



Учредители: Национальная академия наук Украины
Институт электросварки им. Е. О. Патона
Международная ассоциация «Сварка»

Издатель: Международная ассоциация «Сварка»

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор
Б. Е. ПАТОН

Ю. С. Борисов, Н. М. Воропай,
В. Ф. Грабин, В. Н. Замков,
А. Т. Зельчиненко, А. Я. Ищенко,
И. В. Кривцун, С. И. Кучук-Яценко,
Ю. Н. Ланкин,
В. К. Лебедев (зам. гл. ред.),
В. Н. Липодиаев (зам. гл. ред.),
Л. М. Лобанов, А. А. Мазур,
В. И. Махненко, В. Ф. Мошкин,
О. К. Назаренко, И. К. Походня,
И. А. Рябцев, Ю. А. Стеренбоген,
Б. В. Хитровская (отв. секр.),
В. Ф. Хорунов, К. А. Ющенко

МЕЖДУНАРОДНЫЙ
РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

Н. П. Алешин (Россия)
Б. Брейтвейт (Великобритания)
Д. фон Хофе (Германия)
К. Буше (Франция)
Гуань Цяо (Китай)
У. Дилтай (Германия)
П. Зайффарт (Германия)
А. С. Зубченко (Россия)
Т. Игар (США)
К. Иноуэ (Япония)
Н. И. Никифоров (Россия)
Б. Е. Патон (Украина)
Я. Пилиярчик (Польша)
Чжан Янмин (Китай)
В. К. Шелег (Беларусь)

Адрес редакции:

03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11
Институту электросварки
им. Е. О. Патона НАН Украины
Тел.: (38044) 227 6302, 269 2623
Факс: (38044) 268 0486
E-mail: journal@paton.kiev.ua
http://www.nas.gov.ua/pwj

Редакторы:

Е. Н. Казарова, В. И. Котляр, Т. В. Юштина.
Электронная верстка:

И. С. Баташева, А. И. Сулима,
И. Р. Наумова,
И. В. Петушкив.

Свидетельство о государственной
регистрации КВ 4788 от 09.01.2001

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

При перепечатке материалов ссылка
на журнал обязательна.

За содержание рекламных материалов
редакция журнала ответственности
не несет.

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Патон Б. Е., Назаренко О. К., Нестеренков В. М., Морозов А. А., Литвинов В. В., Казимир В. В. Компьютерное управление процессом электронно-лучевой сварки с многокоординатными перемещениями пушки и изделия	3
Хромченко Ф. А., Калугин Р. Н. Расчетно-экспериментальная оценка остаточного ресурса сварных соединений паропроводов	8
Бушма А. И., Зельчиненко А. Т., Кривцун И. В. Сравнительный анализ лазерного, плазменного и комбинированного способов нагрева мелкодисперсных керамических частиц	14
Воропай Н. М., Мажейка А. И., Маркович С. И. Распределение температуры в воздушной струе и напыляемой основе при электродуговой металлизации	18
Попов В. С., Билоник И. М., Бережный С. П., Сидоренко М. В., Селезнев А. А., Попов В. В. Повышение выносивости металла сварного шва при использовании рафинированного комплексного ферросплава в покрытии электродов УОНИ-13/55	22
Кононенко В. Я., Корсун А. О. Структура и механические свойства сварных соединений, выполненных под водой порошковыми проводками	25

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

Ланкин Ю. Н., Тюкалов В. Г., Москаленко А. А., Герасименко А. М., Ковтуненко В. А., Бондаренко О. П., Кузьменко Д. Ю., Марышев П. В., Чабан Г. Н. Применение электрошлаковой сварки при ремонте корпуса доменной печи на ОАО «КГМК «Криворожсталь»	30
Емельянов О. А., Шепотько В. П., Пихота Ю. В., Лубенец С. В., Буренко А. Г. Усталостные повреждения сварных крановых мостов	33
Карасев М. М., Работинский Д. Н., Павленко Г. В., Сорока В. Л., Шолохов М. А. Новые разработки НПО «СЭЛМА-ИТС» для дуговой сварки в защитных газах	40
Спину Г. А., Бернадский В. Н. Промышленные роботы и их классификация	46
Лебедев В. А., Кузьмин И. С., Новгородский В. Г., Ткаченко В. А. Устройство для однокнопочного регулирования режимов работы сварочного полуавтомата	50

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Универсальные установки для воздушно-плазменной резки и электродуговой сварки	54
Диссертация на соискание ученой степени	54
Патенты в области сварочного производства	55
По зарубежным журналам	57

ХРОНИКА

Посещение министром науки, исследований и технологий Исламской республики Иран г-ном Джаяром Тоуфиги ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины	59
К 150-летию со дня рождения Н. Г. Славянова	60
Наши поздравления	62

ИНФОРМАЦИЯ

ИЗДАНИЕ ЖУРНАЛА ПОДДЕРЖИВАЮТ:



Каховский завод электросварочного оборудования



Опытный завод сварочных материалов ИЭС им. Е. О. Патона



Ново-Краматорский
машиностроительный завод

Опытный завод сварочного оборудования ИЭС им. Е. О. Патона



СП «ТМ ВЕЛДТЕК»



ТЕХНОЛУЧ

Avtomicheskaya Svarka (Automatic Welding)

№ 5 (613)
May 2004

WELDING – CUTTING – SURFACING – BRAZING – COATING

Published since 1948

Founders: The National Academy of Sciences of Ukraine
The E. O. Paton Electric Welding Institute
International Association «Welding»

Publisher: International Association «Welding»

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief
B.E.PATON

Yu. S. Borisov, N. M. Voropai,
V. F. Grabin, V. N. Zamkov,
A. T. Zelnichenko, A. Ya. Ishchenko,
I. V. Krivtsun,
S. I. Kuchuk-Yatsenko, Yu. N. Lankin,
V. K. Lebedev (vice-chief ed.),
V. N. Lipodaev (vice-chief ed.),
L. M. Lobanov, A. A. Mazur,
V. I. Makhnenco, V. F. Moshkin,
O. K. Nazarenko, I. K. Pokhodnya,
I. A. Ryabtsev, Yu. A. Sterenbogen,
B. V. Khitrovskaya (exec. secr.),
V. F. Khorunov, K. A. Yushchenko

THE INTERNATIONAL EDITORIAL COUNCIL:

N. P. Alyoshin (Russia)
B. Braithwaite (UK)
C. Boucher (France)
D. von Hofe (Germany)
Guan Qiao (China)
U. Diltey (Germany)
P. Seyfarth (Germany)
A. S. Zubchenko (Russia)
T. Eagar (USA)
K. Inoue (Japan)
N. I. Nikiforov (Russia)
B. E. Paton (Ukraine)
Ya. Pilarczyk (Poland)
Zhang Yanmin (China)
V. K. Sheleg (Belarus)

Address:

The E. O. Paton Electric Welding Institute
of the NAS of Ukraine,
11 Bozhenko str., 03680, Kyiv, Ukraine
Tel.: (38044) 227 63 02, 269 26 23

Fax: (38044) 268 04 86
E-mail: journal@paton.kiev.ua
<http://www.nas.gov.ua/pwj>

Editors:

E. N. Kazarova, V. I. Kotiyar,
T. V. Yushtina.
Electron gallery:

I. S. Batasheva, A. I. Sulima,
I. R. Naumova,
I. V. Petushkov.

State Registration Certificate
KV 4788 of 09.01.2001

All rights reserved.

This publication and each of the articles
contained here in are protected
by copyright.

Permission to reproduce material
contained in this journal must be obtained
in writing from the Publisher.

Journal «Avtomicheskaya Svarka» is published in English under the title «**The Paton Welding Journal**».
Concerning publication of articles, subscription and advertising, please, contact the editorial board.

CONTENTS

SCIENTIFIC AND TECHNICAL

Paton B. E., Nazarenko O. K., Nesterenkov V. M., Morozov A. A., Litvinov V. V., Kazimir V. V. Computer control of EBW process at a multi-coordinate displacement of gun and workpiece	3
Khromchenko F. A., Kalugin R. N. Calculation-experimental assessment of residual life of welded joints of steam pipelines	8
Bushma A. I., Zelnichenko A. T., Krivtsun I. V. Comparative analysis of laser, plasma and combined methods for heating of fine-dispersed ceramic particles	14
Voropaj N. M., Mazhejka A. I., Markovich S. I. Distribution of temperature in air jet and a base being sprayed in electric arc metallizing	18
Popov V. S., Bilonik I. M., Berezhnyi S. P., Sidorenko M. V., Seleznyov A. A., Popov V. V. Increase in weld metal fatigue strength in use of refined complex ferroalloy in coating of UONI-13/55 electrodes	22
Kononenko V. Ya., Korsun A. O. Structure and mechanical properties of welded joints made under water using flux-cored wires	25

INDUSTRIAL

Lankin Yu. N., Tyukalov V. G., Moskalenko A. A., Gerasimenko A. M., Kovtunenko V. A., Bondarenko O. P., Kuzmenko D. Yu., Maryshev P. V., Chaban G. N. Application of electroslag welding in repair of blast furnace body at OJSC KGMK «Krivorozhstal»	30
Emelianov O. A., Shepotko V. P., Pikhota Yu. V., Lubenets S. V., Burenko A. G. Fatigue damages in welded gantries	33
Karasev M. M., Rabotinsky D. N., Pavlenko G. V., Soroka V. L., Sholokhov M. A. New developments of R&P «SELMA-ITS» in the field of shielded-gas arc welding	40
Spynu G. A., Bernadsky V. N. Industrial robots and their classification	46
Lebedev V. A., Kuzmin I. S., Novgorodsky V. G., Tkachenko V. A. Device for a single-button control of operation conditions of welding semi-automatic machine	50

BRIEF INFORMATION

Versatile units for air-plasma cutting and electric arc welding	54
Thesis for scientific degree	54
Patents in the field of welding	55
Review of foreign journals	57

NEWS

Visit of Mr. Jafar Toufighi, Minister of Science, Research and Technology of Islamic Republic of Iran, to the E. O. Paton Electric Welding Institute of NAS of Ukraine	59
Towards the 150th birthday anniversary of N. G. Slavyanov	60
Our congratulations	62

INFORMATION

63



УДК 621.791:004.518

КОМПЬЮТЕРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ С МНОГОКООРДИНАТНЫМИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯМИ ПУШКИ И ИЗДЕЛИЯ

Академик **Б. Е. ПАТОН**, чл.-кор. НАН Украины **О. К. НАЗАРЕНКО, В. М. НЕСТЕРЕНКОВ**, канд. техн. наук
 (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
 чл.-кор. НАН Украины **А. А. МОРОЗОВ, В. В. ЛИТВИНОВ**, д-р техн. наук, **В. В. КАЗИМИР**, канд. техн. наук
 (Ин-т проблем математических машин и систем НАН Украины)

Рассмотрен новый подход к построению систем управления установками ЭЛС с многокоординатной системой перемещений, основной особенностью которого является реализация визуального способа проектирования программ сварок для сложных пространственных конструкций.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, компьютерное управление, сварочные перемещения, виртуальное представление, визуальное проектирование, автоматическое обучение, слежение за стыком

Наиболее развитыми областями промышленного использования электронно-лучевой сварки (ЭЛС) являются аэрокосмическая индустрия, ядерная энергетика, энергетическое машиностроение, электроника и точная электромеханика [1]. Именно на данный способ сварки ориентируются конструкторы при проектировании изделий сложной формы. В последние годы стала очевидной необходимость одновременного многокоординатного перемещения электронной пушки и свариваемого изделия, которое не может быть реализовано без компьютерного управления.

В современных установках для ЭЛС используются распределенные компьютерные системы, которые включают связанные между собой интерфейсными шинами, но отдельно функционирующие устройства типа CNC (Compute Numerical Control) — современный аналог числового программного управления и PLC (Programmable Logic Con-

troller) — программируемый логический контроллер. При этом собственно программы сварки исполняются процессором CNC, а программы управления вспомогательным оборудованием — процессором PLC.

Как известно [2], в CNC программы записываются в G-кодах (рис. 1) и представляют собой последовательность блоков (строк кода), в которых для каждого отрезка пути задаются координаты точки, куда необходимо переместиться, а также способ и параметры интерполяции при выполнении данного перемещения.

В программах для ЭЛС в блоке задаются значения токов сварки CW, фокусировки CF, технологической развертки и отклонения, устанавливаемые при достижении конечной точки программируемого отрезка пути, а также скорость перемещения на данном отрезке. Дополнительные задания, связанные с синхронизацией осей, поддержанием стабильности скорости и др., задаются с помощью специальных команд, которые также записываются в виде отдельных блоков кода. При одновременном использовании нескольких коор-

```

G codes program
Save as
Refresh
G84
FGROUP(X,Y,Z,QG,VG,W,V)
M54
G4      F=0,5
G0      X=0,00 Y=0,00 Z=25,00 QG=0,00 VG=0,00 W=0,00 V=0,00
M54
PRESETON(CF,4,0000)
PRESETON(CW,0,0000)
N2      G93
N3      G1 F=20,00 Z=19,20 W=20,89 CF=6,0000 CW=0,2000
N12     G1 F=8,05 Z=0,00 W=90,00 CW=0,5000
N22     G1 F=4,64 Z=25,00 W=180,00
N32     G1 Z=50,00 W=270,00 CF=5,0000 CW=0,2000
N42     G1 F=8,00 Z=30,66 W=339,64
N52     G1 F=20,52 Z=25,00 W=360,00 CW=0,0000
G54
M30
  
```

Рис. 1. Фрагмент программы ЭЛС, составленной в G-кодах

© Б. Е. Патон, О. К. Назаренко, В. М. Нестеренков, А. А. Морозов, В. В. Литвинов, В. В. Казимир, 2004

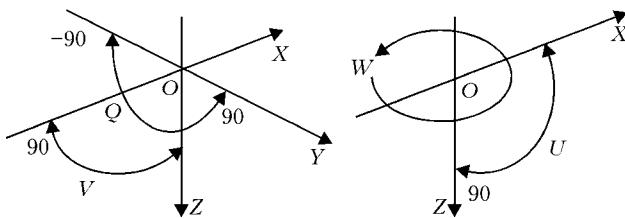


Рис. 2. Система координатных осей и сварочных перемещений: X , Y , Z – линейные оси перемещения пушки; Q – угол перемещения пушки; V – угол наклона; W – угол перемещения пластины стола; U – угол наклона стола

динат, когда итоговая траектория представляет собой сложную пространственную кривую, традиционная процедура предусматривает разработку программы перемещений с использованием чертежа изделия, подлежащего сварке, и CAD/CAM системы со специальным постпроцессором, способным конвертировать траекторию, спроектированную в CAD/CAM системе, в ее машинное представление в виде G-кодов для конкретной CNC. Длительность подготовки такой программы может составить (в зависимости от сложности траектории) от нескольких часов до нескольких дней или недель.

Следует также учесть, что оператор-сварщик еще затратит время непосредственно на установке для адаптации заранее спроектированной программы к реальному изделию с учетом неточностей его изготовления и размещения на позиции сварки. И если такая корректировка достаточно проста при использовании только линейных координат (X , Y , Z), то при формировании траектории путем одновременных линейных и угловых перемещений адаптация становится крайне сложной. Поэтому при сохранении ориентации на использование высокоточных CNC систем поставлена задача разработать встраиваемые в эти системы инструмен-

тальные программные средства, которые позволили бы непосредственно оператору создавать программы сварки сложных конструкций за короткое время и без привлечения дополнительных ресурсов. Данная задача потребовала нового подхода к построению системы управления процессом ЭЛС, основной особенностью которого является применение высокоуровневого интерфейса оператора с развитыми инструментальными средствами, обеспечивающими визуальный метод проектирования программ ЭЛС.

В данной статье рассматриваются основные результаты применения данного подхода.

Архитектура системы компьютерного управления. Рассмотрим некоторые пространственно сложные конструкции и требуемые для их сварки программные перемещения пушки и изделия. В таблице (см. вклейку между с. 6–7) в качестве примеров приведены сложные конструкции, при сварке которых с учетом необходимости обеспечения перпендикулярности луча к поверхности изделия требуется, как минимум, четыре одновременно управляемые оси. Обозначения координатных осей и сварочных перемещений, совокупность которых позволяет осуществить сварку подобных изделий, показана на рис. 2. Аппаратная архитектура системы компьютерного управления, позволяющая реализовать данные сварочные перемещения, показана на рис. 3. Как видно из рисунка, дополнительно к традиционно применяемому [3] вычислительному комплексу, объединяющему в своем составе CNC и PLC, нами используются:

– более высокий уровень HMI (Human Machine Interface) – интерфейс оператора для визуального проектирования рабочих программ и контроля процесса сварки;

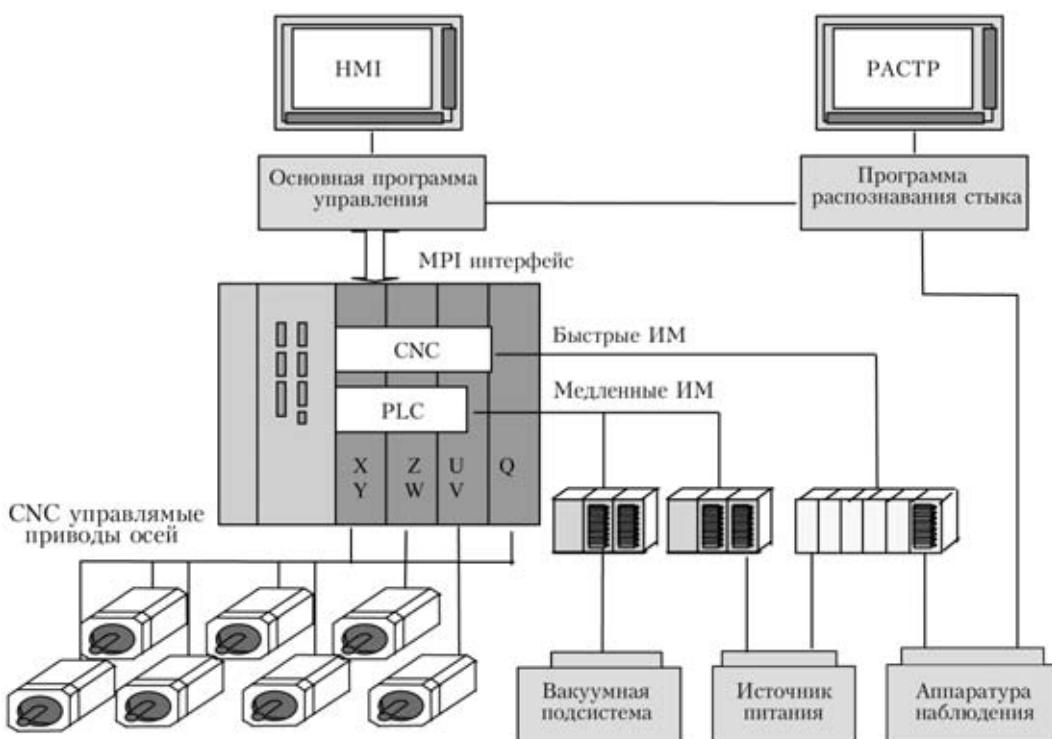


Рис. 3. Аппаратная архитектура системы компьютерного управления



— дополнительный компьютер, который независимо от других процессорных узлов решает задачи распознавания стыка по получаемому от аппаратуры наблюдения РАСТР изображению поверхности изделия, а также совместно с компьютером HMI обеспечивает выполнение функций автоматического обучения, корректировки и слежения за стыком.

Принцип работы аппаратуры наблюдения РАСТР [4] основан на измерении тока вторично-эмиссионных электронов, образующихся при циклическом (с периодом 300 мс) сканировании рабочей зоны изделия острофокусированным пучком малой мощности в кратковременные моменты (до 5 мс) прерывания процесса сварки. Изображение поверхности изделия формируется по сигналам от датчика вторично-эмиссионных электронов, установленного на электронной пушке в непосредственной близости от места сварки. Измеренные и оцифрованные аппаратурой наблюдения уровня яркости участков сканируемой поверхности запоминаются в памяти компьютера в виде кадра (матрицы) изображения и после специальной программной обработки воспроизводятся в отдельном окне монитора РАСТР. На сегодня аппаратура наблюдения позволяет получать только плоские изображения. Интерфейсные модули (ИМ) обеспечивают обмен сигналами управления с оборудованием установки. В частности, через быстрые ИМ в темпе работы CNC, с задержкой до 75 мкс, осуществляется управление токами и синхронизация взаимодействия с аппаратурой наблюдения РАСТР.

Предложенная архитектура позволяет отказаться от традиционного программирования сварки в G-кодах и реализовать программное управление ЭЛС путем последовательного выполнения следующих процессов: построение трехмерного виртуального представления обстановки внутри вакуумной камеры; выбор с помощью созданного виртуального представления начальной точки траектории стыка; обучение системы перемещений для следования вдоль траектории стыка; автоматическое слежение за стыком во время выполнения сварки с целью компенсации возникающих сварочных деформаций.

Виртуальное представление изделия и сварочной траектории. Виртуальное трехмерное представление изделия внутри вакуумной камеры необходимо оператору для выбора характерных точек и задания правильной угловой ориентации пушки во время визуального проектирования траектории.

Разработанный инструментарий виртуального представления позволяет, в частности:

- создавать трехмерные образы изделий (см. таблицу на вклейке);
- отображать реальное расположение изделия и пушки внутри вакуумной камеры;
- изменять масштаб и ракурс обзора формируемого отображения для его более удобного и детального представления;
- отображать расположение запрограммированной сварочной траектории на поверхности изделия;

— задавать допустимые области перемещения пушки и осуществлять автоматический контроль за перемещениями с целью недопущения повреждения изделия и внутrikамерного оборудования;

— отслеживать на поверхности изделия положение электронного луча относительно заданной траектории при выполнении сварки.

Образы изделий формируются самим оператором установки из базового набора автографов и отображаются на мониторе HMI в трехмерном пространстве (x, y, z). Однако для отображения в этом пространстве траектории луча на поверхности изделия, в действительности получаемой в результате сварочного перемещения в многомерном пространстве (X, Y, Z, V, Q, W, U), необходимо трансформировать семикоординатные векторы, описывающие точки траектории, в трехмерные.

С этой целью для учета углов вращения и наклона пушки найдем дополнительный вектор $\mathbf{A} = (-rX, 0, rZ + D)$, где rX — расстояние по координате X от оси луча до оси наклона пушки; rZ — расстояние от оси вращения пушки до ее торца; D — расстояние от торца пушки до поверхности изделия. Далее для каждой точки поворачиваем вектор \mathbf{A} вокруг оси вращения пушки в плоскости YZ на угол Q , а затем — вокруг оси наклона пушки в плоскости XZ на угол V . В результате получаем координаты точки относительно центра вращения и наклона пушки (x_1, y_1, z_1).

Для учета углов вращения и наклона стола найдем дополнительный вектор $\mathbf{B} = (X_{\text{rot}}, Y_{\text{rot}}, Z_{\text{rot}} + dZ_{\text{rot}})$, где $X_{\text{rot}}, Y_{\text{rot}}, Z_{\text{rot}}$ — координаты центра стола в базовой системе координат; dZ_{rot} — расстояние от оси наклона стола до его поверхности. Далее перемещая центр координат в конец вектора \mathbf{B} и поворачивая вектор (X, Y, Z) каждой точки вокруг оси вращения стола в плоскости XY на угол W , получаем точку (x_2, y_2, z_2), а затем путем поворота вокруг оси наклона стола в плоскости XZ на угол U , получаем точку (x_3, y_3, z_3).

В итоге базовые координаты точек, в соответствии с которыми точки будут отображаться внутри вакуумной камеры, пересчитываются согласно следующему выражению:

$$(x, y, z) = (X + X_{\text{rot}} + x_1 + x_2 + x_3, Y + Y_{\text{rot}} + y_1 + y_2 + y_3, Z + Z_{\text{rot}} + z_1 + z_2 + z_3). \quad (1)$$

Визуальное проектирование программы сварки. При проектировании простых, например, одномерных швов, оператор может задать координаты точек сварочного перемещения в виде таблицы. Для составления программы сварки пространственно сложного шва предусматривается процедура автоматического обучения, которая в процессе своего выполнения использует изображение стыка кромок, подлежащих сварке (рис. 4, а, см. вклейку между с. 6–7). Стык на данном изображении представлен в виде темной линии на фоне более светлой поверхности изделия. Крестом показано место нахождения центра электронного пучка. Оператор, вручную перемещая пушку или изделие, совмещает пучок электронов с начальной



точкойстыка свариваемых кромок и выдает команду на выполнение автоматического обучения, которое реализуется в результате совместной работы компьютеров РАСТР и НМІ. В процессе движения в первоначально указанном оператором направлении программа распознавания в каждом новом кадре изображения находитстык (синяя линия) и определяет вектор перемещения (желтая линия, выходящая из креста) в новую точку траектории, расположенную на серединестыка.

Алгоритм распознавания реализует метод сегментации с выделением точекстыка путем наращивания [5]. Для повышения эффективности данный метод был модифицирован путем рассмотрения не отдельных пикселей, а целых групп. После проверки на однородность в областьстыка зачисляется первый пиксель, принадлежащий направлению со средним уровнем яркости, наиболее близким к яркостистыка. Подобным образом находится все множество точек кадра изображения, принадлежащихстыку. Вектор линейного перемещения рассчитывается, исходя из условия обеспечения требуемой точности попадания пучка в серединустыка — не хуже 0,1 мм. CNC отрабатывает перемещение в новую точку с линейной интерполяцией и выдает сигнал компьютеру РАСТР для определения координат очередной точки. В результате крест снова оказывается расположенным на линиистыка. Автоматическое обучение завершается, если очередная найденная точка совпадает с предыдущей (достигнут конецстыка) или начальной (для замкнутой траектории).

Траектория, которая формируется в процессе автоматического обучения, отображается на базовых координатных плоскостях (рис. 5, см. вклейку между с. 6–7) для случая выполнения косого полукольцевого шва на цилиндрическом теле путем четырехкоординатного перемещения пушки — поворот и перемещение по трем линейным осям. По мере обнаружения новых точек траектории они соединяются с предыдущими отрезками прямых линий. Получаемая подобным образом кусочно-линейная модель реальногостыка не учитывает его геометрических особенностей и содержит избыточное количество точек (чем больше кривизнастыка, тем больше точек требуется для его кусочно-линейной аппроксимации), которое может быть сокращено за счет проведения по команде оператора дополнительной аппроксимации.

Особенностью реализованного алгоритма дополнительной аппроксимации является то, что уравнения линии или дуги окружности, полученные с помощью метода наименьших квадратов, корректируются так, чтобы координаты начальной и конечной точек оставались неизменными. При проверке возможности линейной аппроксимации выбранного участка траектории, состоящего из n точек, коэффициенты отрезка прямой линии вычисляются с помощью формул

$$a = \frac{s_{xy} - s_x s_y}{s_x^2 - s_x s_x}, \quad b = \frac{s_x^2 s_y - s_x s_{xy}}{s_x^2 - s_x s_x}, \quad (2)$$

где

$$s_x = \sum_{i=0}^{n-1} x_i; \quad s_x^2 = \sum_{i=0}^{n-1} x_i^2; \quad s_y = \sum_{i=0}^{n-1} y_i; \quad s_{xy} = \sum_{i=0}^{n-1} x_i y_i.$$

Если построенная линейная регрессия не удовлетворяет требуемой точности, предпринимается попытка подобрать дугу окружности, аппроксирующую выбранный участок траектории. Неизвестные коэффициенты a , b и c , которые используются для вычисления радиуса окружности $R = \sqrt{c + a^2 + b^2}$, определяются с помощью системы уравнений

$$\begin{cases} s_y^2 b + s_{xy} a + s_y c = s_y^3 + s_x^2 y, \\ s_{xy} b + s_x^2 a + s_x c = s_{xy}^2 + s_x^3, \\ s_y b + s_x a + nc = s_y^2 + s_x^2, \end{cases} \quad (3)$$

где

$$\begin{aligned} s_x &= \sum_{i=0}^{n-1} x_i; \quad s_x^2 = \sum_{i=0}^{n-1} x_i^2; \quad s_x^3 = \sum_{i=0}^{n-1} x_i^3; \quad s_y = \sum_{i=0}^{n-1} y_i; \\ s_{xy} &= \sum_{i=0}^{n-1} x_i y_i; \quad s_x^2 y = \sum_{i=0}^{n-1} x_i^2 y_i; \quad s_{xy}^2 = \\ &= \sum_{i=0}^{n-1} x_i y_i^2; \quad s_y^3 = \sum_{i=0}^{n-1} y_i^3; \quad s_y^2 = \sum_{i=0}^{n-1} y_i^2. \end{aligned}$$

С учетом того, что начальная и конечная точки участка интерполяции принимаются фиксированными, дополнительно корректируются координаты центра окружности. Если рассчитанная круговая аппроксимация также не удовлетворяет необходимой точности, она автоматически отклоняется, а длина анализируемого участка траектории уменьшается на одну точку. Далее процесс аппроксимации повторяется.

Помимо выполнения описанной выше дополнительной аппроксимации, оператор может отредактировать получаемую траекторию вручную путем изменения координаты точек, способов интерполяции (линейной или круговой) на выбранных участках траектории, добавлением новых точек в уже существующую траекторию или удалением некоторых на полученной траектории. В качестве параметров точек оператор также задает и редактирует все технологические параметры сварки, в том числе токи пучка и фокусировки, скорость сварочного перемещения между точками и пр.

Спроектированная визуально программа сварки при запуске ее на выполнение автоматически, без участия оператора, конвертируется в последовательность G-кодов, исполняемую CNC. Данная программа может быть вызвана для просмотра в отдельном окне монитора НМІ (см. рис. 1).

Ввиду возможных сварочных деформаций изделия предусмотрен режим автоматического слежения застыком непосредственно в процессе выполнения сварки по составленной программе. На кадре изображениястыка, который формируется в процессе слежения застыком (рис. 4, b, см. вклейку между с. 6–7), отображается зона обнаружениястыка, а также реальное и расчетное место



расположения центра электронного пучка. Зона обнаружениястыка выносится вперед относительно текущего места сварки, где образуется сварочная ванна. Обнаруженные уходы траектории отстыка компенсируются за счет отклонений пучка, которые запоминаются программой и могут быть воспроизведены при повторных (например, косметических) проходах постыку.

Описанные выше архитектура построения системы управления и метод визуального проектирования программ управления многокоординатными перемещениями уже реализованы в промышленных установках (см. рис. 6, вклейка между с. 6–7).

В заключение можно отметить, что рассмотренный в данной статье подход к построению установок для ЭЛС нового поколения на основе применения распределенной компьютерной архитектуры с развитым человеко-машинным интерфейсом позволил реализовать весь комплекс задач

управления многокоординатными перемещениями. Разработанные методы и алгоритмы обеспечили автоматическое обучение сложным траекториям и слежение застыком во время сварки, значительно расширили возможности визуального проектирования программ сварок и тем самым повысили качество и эффективность применения ЭЛС в производстве пространственно сложных конструкций.

1. Электронно-лучевая сварка / О. К. Назаренко, А. А. Кайдалов, С. Н. Ковбасенко и др. / Под ред. Б. Е. Патона. — Киев: Наук. думка, 1987. — 256 с.
2. Сосонкин В. Л. Программное управление технологическим оборудованием. — Л.: Машиностроение, 1991. — 512 с.
3. Schiller S., Heisig U., Panzer S. Electron beam technology. — New York: J. Wiley & Sons, 1988. — 136 p.
4. Наблюдение процесса электронно-лучевой сварки и автоматическое слежение застыком / О. К. Назаренко, В. И. Шаповал, Г. А. Лоскутов и др. // Автомат. сварка. — 1993. — № 5. — С. 35–38.
5. Бузовский О. В., Болдак А. О., Мохамед Руми М. Х. Компьютерная обработка изображений. — Киев: Корнійчук, 2001. — 180 с.

A new approach has been considered to construction of control systems of EBW machines with a multi-coordinate displacement system, which has the main feature of implementation of a visual method of development of welding programs for complex three-dimensional structures.

Поступила в редакцию 09.02.2004

**Международный симпозиум
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ**

1–6 августа 2004 г. Иркутск, Россия

Россия • 634021 • г. Томск • пр. Академический, 2/1 • Тел./факс: (3822) 49-10-73 • e-mail: oilgas@ispms.tsc.ru • www.asiaoilgas.tomsk.ru

ОРГАНИЗАТОРЫ: Сибирское отделение Российской академии наук, Консорциум «Сибнефтегазстрой», Москва, Россия, ООО «Управляющая компания Томскподводтрубопроводстрой», Томск, Россия, Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия

Планируется во время работы Симпозиума учредить Международную Ассоциацию «Трансазиатские нефтегазопроводы», необходимость создания которой вызвана развитием транспортной инфраструктуры Сибири как одного из приоритетных направлений реализации Стратегии экономического развития Сибири, утвержденной Правительством Российской Федерации.

Симпозиум будет проходить в Прибайкальском регионе, где планируется интенсивное строительство магистральных нефтегазопроводов с выходом в Азиатско-Тихоокеанские страны.

ОСНОВНЫЕ ТЕМЫ:

- ✖ Экологическая и техногенная безопасность строительства и эксплуатации трубопроводов
- ✖ Новые технологии при строительстве нефтегазопроводов, методы и средства защиты трубопроводов и технологического оборудования от коррозии
- ✖ Технологии и оборудование для ремонта и упрочнения импортозамещающих запасных частей строительной техники, нефтегазодобывающего оборудования
- ✖ Разработка новых экологически чистых и экономически эффективных сварочных технологий и оборудования для строительства трубопроводов
- ✖ Компьютерные и информационные технологии как инструмент контроля и повышения эффективности управления объектами нефтяной и газовой отраслей
- ✖ Технологии мониторинга и оценки ресурса эксплуатации трубопроводов на базе современных средств дефектоскопии и методов неразрушающего контроля
- ✖ Обеспечение охраны и безопасности трубопроводов в процессе эксплуатации



РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПАРОПРОВОДОВ

Ф. А. ХРОМЧЕНКО, д-р техн. наук, **Р. Н. КАЛУГИН**, инж. (ОАО «ВТИ», г. Москва, РФ)

Рассмотрен методологический подход расчетно-экспериментальной оценки остаточного ресурса паропроводов для условий ползучести по длительной прочности и структурному состоянию (микроповрежденности) металла сварных соединений.

Ключевые слова: энергоустановки, сварные паропроводы, длительная прочность, ползучесть, остаточный ресурс, запас прочности

Методологический подход, разработанный и используемый ОАО «ВТИ» при решении задачи оценки остаточного ресурса сварных соединений паропроводов [1–4], основан на сочетании расчетно-экспериментальных методов оценки по длительной прочности металла и структурному состоянию (микроповрежденности) сварных соединений паропроводов в условиях ползучести (рис. 1 и 2).

Расчетно-экспериментальный метод оценки по длительной прочности. Этот метод реализуется в различных вариантах в зависимости от наличия информации о жаропрочности металла: нормативной (по [5]) номинальной оценки длительной прочности основного металла — стали $[\sigma_{d,n}^{0,m}] = 1,5[\sigma]$, где $[\sigma]$ — допускаемые напряжения на сталь (отклонение $\pm 20\%$ номинальных значений); базовой длительной прочности сварных соединений $\sigma_{d,n}^{c,c}$ (отклонение $\pm 10\%$), по данным многолетних исследований ОАО «ВТИ» [4]; фактической остаточной долговечности сварных соединений $\sigma_{d,n(f.o.)}^{c,c}$ по результатам испытаний на длительную прочность образцов сварных стыков, вырезанных из эксплуатируемого паропровода. Допускаемыми являются напряжения $[\sigma]$, назначенные для данной марки стали при заданной температуре и расчетный ресурс паропровода; значения $[\sigma]$ регламентированы нормами расчета на прочность [5].

Расчетные эквивалентные напряжения σ_{ekv} определяются как суммарные от действия всех видов нагрузок (внутреннего давления, весовых нагрузок, самокомпенсации от теплового расширения) с помощью упрощенного подхода [1–4] и/или уточненного [5], но обязательно с учетом особенностей конструкционно-технологического оформления сварных соединений: утонения толщины

стенки за счет расточки внутренней поверхности трубных элементов под подкладное кольцо; возможного дополнительного разупрочнения металла шва при ползучести $\sigma_{0.0}^{M,III} = 0,95 \dots 1,00$, концентрации напряжений от формы шва и сварной детали. Расчет σ_{ekv} производится по фактическим нагрузкам или консервативным способом из условия $\sigma_{ekv} \leq 1,5[\sigma]$.

При упрощенном подходе, при котором эквивалентные напряжения оцениваются консервативным способом из условия $\sigma_{ekv} \leq 1,5[\sigma]$, полученные значения σ_{ekv} принимаются равными для однотип-



Рис. 1. Общий алгоритм расчетно-экспериментальной оценки остаточного ресурса сварных соединений паропроводов

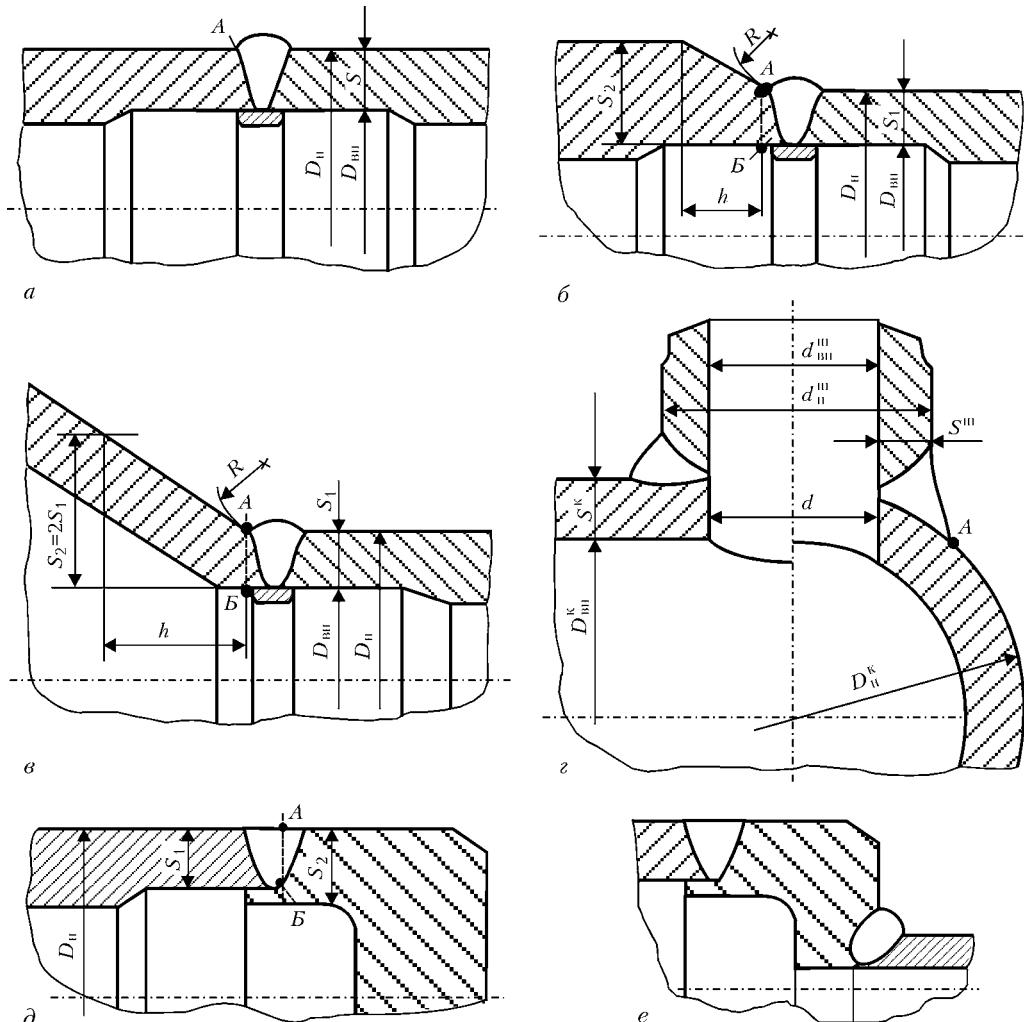


Рис. 2. Расчетные модели сварных соединений паропроводов [6]: а — стыковое сварное соединение трубных элементов с одинаковой толщиной стенки (ССС); б, в — стыковые сварные соединения разнотолщинных трубных элементов (ССС_{р.т.о}), в том числе с толстостенным патрубком (∂) и коническим переходом (σ); г — тройниковое (или штуцерное) сварное соединение (ТСС или ШСС); д — стыковое сварное соединение трубы с донышком (ССС_д); е — штуцерное сварное соединение патрубка с донышком (ШСС_д); А, Б — точки максимальных напряжений

ных сварных соединений по конструкции, размеру и марке стали деталей на данном паропроводе. При уточненном подходе $\sigma_{\text{экв}}$ определяется по фактическим нагрузкам, которые выявляются из результатов обследования опорно-подвесной системы и формоизменения трассы паропровода. В этом

случае значения $\sigma_{\text{экв}}$ будут различными для тех же однотипных сварных соединений в зависимости от их расположения на трассе паропровода и соответственно условий нагружения на участках трассы.

Остаточный ресурс сварных соединений оценивается из разности:

Таблица 1. Рекомендуемые периодичность и объемы эксплуатационного контроля в зависимости от запаса прочности сварных соединений паропроводов из хромомолибденованадиевых сталей при $T \geq 510^{\circ}\text{C}$

КО	Запас прочности	Периодичность контроля методами МПД, УЗК, МАР стыковых сварных соединений, тыс. ч		Объем контроля сварных соединений (%) методами			
				МПД, УЗК		МАР	
		Тип 1	Тип 2	Тип 1	Тип 2	Тип 1	Тип 2
1	$n_a \geq 1,5$	50	50	20	100	0	10
2–3	$1,5 \geq n_a \geq 1,3$	40...50	20...30	20	100	10...15	20...30
4–5	$1,3 \geq n_a \geq 1,2$	30...40	15...20	40...50	100	20...25	40...50
6–7	$1,2 \geq n_a \geq 1$	20...30	10...15	100	100	40...50	100

П р и м е ч а н и я . 1. Объемы и периодичность последующего контроля уточняются по результатам поверочного расчета на прочность по фактическим типоразмерам сварных соединений и результатам диагностирования. 2. Контролью в указанном объеме и с указанной периодичностью подвергаются сварные соединения каждого типоразмера. В первую очередь контролируются сварные соединения на участках паропровода, примыкающих к котлу, у неподвижных опор и пускорегулирующей арматуры, а также соединения с утонченной стенкой трубных элементов и/или имеющие ремонтные (подварочные) швы. 3. Тип 1 — ССС по [6] (рис. 2, а); тип 2 — ССС_{р.т.о} [6] (рис. 2, б–е); МПД — магнитно-порошковая дефектоскопия; УЗК — ультразвуковой контроль; МАР — металлографический анализ с помощью реплик.

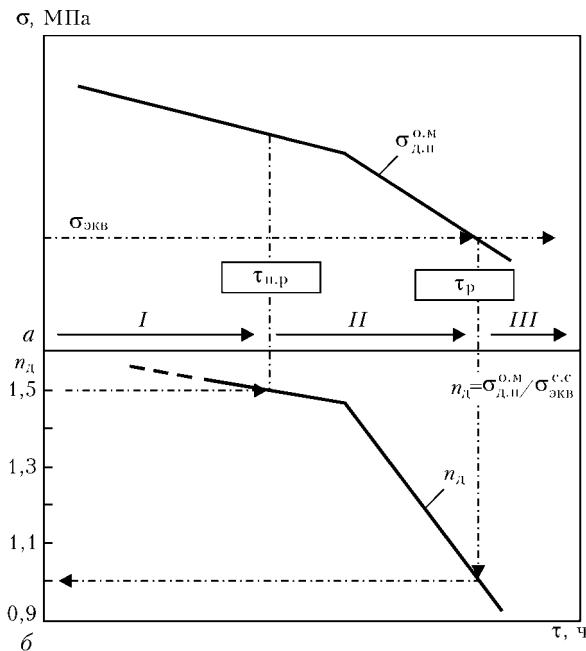


Рис. 3. Схема определения ресурса (*a*) и запаса прочности (*b*) сварных соединений по номинальной долговечности основного металла $\sigma_{d,n}$ в условиях ползучести: τ_p — предельный ресурс, тыс. ч, $n_d = 1$; $\tau_{n,p}$ — индивидуальный ресурс, тыс. ч, $n_d \geq 1$; σ_{ekv} — расчетные эквивалентные напряжения от действия всех видов нагрузок с учетом Φ_ω и Φ_{ω_0} , МПа (Φ_ω — коэффициент прочности сварных соединений с поперечным швом для условий растягивающих нагрузок; Φ_{ω_0} — то же для изгибающих нагрузок); *I* — период надежной эксплуатации (удовлетворяются условия, $n_d \geq 1,5$); *II* — период возможной дальнейшей эксплуатации, $1 \leq n_d < 1,5$ (требуется увеличенный контроль сварных соединений); *III* — период рискованной (опасной) эксплуатации

$$\tau_{o,p} = \tau_{n,p} - \tau_n \text{ (тыс. ч)},$$

где $\tau_{n,p}$ — индивидуальный ресурс (или предельный ресурс τ_p для запаса прочности $n_d = 1$, рис. 3 и 4), который устанавливается по результатам сопоставления длительной прочности стали $\sigma_{d,n}$ с σ_{ekv} с учетом допустимых приемлемых значений n_d ; τ_n — длительность наработки.

Такой вариант решения задачи является типовым, при этом запас прочности сварных соединений определяется из отношения $n_d = \sigma_{d,n}/\sigma_{ekv}$. Запас прочности находится, исходя из периода наработки $n_{d,n}$ и срока остаточного ресурса $n_{d,o,p}$, по схемам, представленным на рис. 3 и 4, с последующей оценкой категории опасности (КО) сварных соединений, которая вычисляется из установленной в ОАО «ВТИ» линейной зависимости с граничными значениями КО = 1 (сварные соединения высокой надежности) и КО = 7 (низкой надежности). По установленным значениям КО назначаются уточненные объемы и периодичность последующего эксплуатационного контроля сварных соединений (табл. 1).

При решении поставленной задачи по фактической остаточной длительной прочности сварных соединений остаточный ресурс устанавливается от периода наработки паропровода (периода вырезки сварных соединений для исследований) до предельного срока τ_p , характеризующего предельное состояние металла $n_d = 1$, т. е. остаточный ресурс

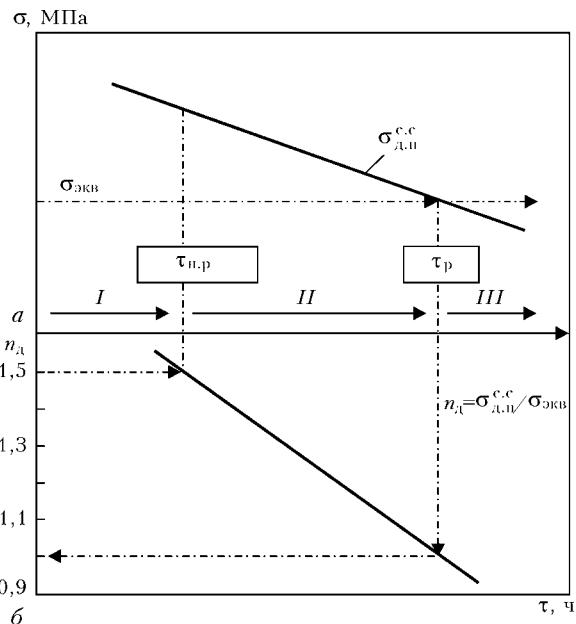


Рис. 4. Схема определения ресурса (*a*) и запаса прочности (*b*) сварных соединений по их длительной прочности $\sigma_{d,n}^{c,c}$ (σ_{ekv} вычисляется без учета Φ_ω и Φ_{ω_0})

оценивается преимущественно из расчета $\tau_{o,p} = \tau_p - \tau_n$.

Из сравнительного анализа эффективности этих методов вытекает следующее:

наиболее корректным для оценки $\tau_{o,p}$ (но одновременно наиболее трудоемким и дорогостоящим) является метод определения ресурса по фактической остаточной длительной прочности сварных соединений с расчетом σ_{ekv} по фактическим нагрузкам; при этом методе оценки ресурса коэффициент достоверности КД $\geq 70\%$;

менее точными (консервативными в сторону запаса прочности), но в то же время более экономичными и оперативными являются методы определения ресурса по нормативной номинальной длительной прочности стали с расчетом σ_{ekv} по упрощенному подходу (КД $\geq 20\%$);

промежуточное положение занимает метод, основанный на использовании базовой долговечности сварных соединений с σ_{ekv} , оцененных по упрощенному подходу (при отсутствии данных по фактическим нагрузкам) (КД $\geq 40\%$).

Расчетно-экспериментальный метод по структурному фактору. Этот метод применяется для экспрессной оценки остаточного ресурса сварных соединений по фактическому состоянию металла (микроповрежденности) в наиболее напряженных зонах. С этой целью для определения зон контроля расчетным способом оценивается конструкционная прочность сварных соединений по признакам запаса по толщине стенки трубных элементов в местах расположения швов S/S_0 (S_0 — расчетная толщина стенки по [5]); относительной равнотолщинности трубных элементов в сварном соединении $\beta = D_{\text{н}}/D_{\text{вн}}$ ($D_{\text{н}}$, $D_{\text{вн}}$ — соответственно наружный и внутренний диаметр трубного элемента в месте сварного шва); ослабления корпуса тройника отверстием под штуцер $d_o/(D_{\text{н}}^K - 2S_{\Phi}^K)$ (d_o — диаметр



Таблица 2. Классификация сварных соединений по параметрам конструкционной прочности с рекомендуемыми объемами контроля методом МАР на паропроводах из стали 12Х1МФ и 15Х1М1Ф

Тип сварного соединения (см. рис. 2)	Параметр конструкционной прочности (ПКП)	ПКП для групп			Объем контроля (%) для групп			Место расположения сварного соединения на трассе паропровода
		1	2	3	1	2	3	
TCC (ШСС)	$d_o/(D_u^k - 2S_{\phi}^k)$	>0,75	<0,75	<0,75	100	50	25	На любом участке (в первую очередь в районе перемычек и пускорегулирующей арматуры и устройств)
	S^k/S_0^k	1,0...1,2	1,3...1,5	≥1,6	100	50	25	
	S^m/S_0^m	1,0...1,2	1,3...1,5	≥1,6	100	50	25	
CCC _{p.r.a} CCC _a	S/S_0	1,0...1,2	1,3...1,5	≥1,6	100	40	20	То же и вблизи расположения неподвижных опор
CCC	S/S_0	1,0...1,2	1,3...1,5	≥1,6	100	20	10	Вблизи неподвижных опор и на перемычках в местах примыкания к тройникам

Примечания. 1. Первоочередному контролю сначала подлежат сварные соединения 1-й, а затем 2-й и 3-й группы. 2. Кроме того, первоочередному контролю подлежат сварные соединения, характеризующиеся следующими признаками: отремонтированные, имеющие подварочные швы; соединения, в которых выявлена неоднородность твердости по зонам $HB_{m.m}/HB_{o.m} < 1$; ранее оцененные категории опасности КО ≥ 3 . 3. Условные обозначения: D_u^k — наружный диаметр трубопровода корпуса тройника; S_{ϕ}^k — фактическая толщина стенки корпуса тройника в зоне углового шва, определяемого УЗК; S^k , S^m — номинальная толщина соответственно стенки корпуса и штуцера тройника; S_0^k , S_0^m , S_0 — расчетная толщина стенки соответственно корпуса тройника, штуцера и трубного элемента стыковых соединений (определяется по нормам расчета на прочность); S — номинальная толщина стенок трубных элементов; $HB_{m.m}/HB_{o.m}$ — твердость соответственно металла шва и основного металла.

отверстия; D_u^k , S_{ϕ}^k — наружный диаметр и фактическая толщина стенки корпуса тройника в месте расположения углового шва, определяемого УЗК). Классификация сварных соединений по параметрам конструкционной прочности (табл. 2) и обоснование зон контроля осуществляются по методике, изложенной в [4].

Металлографический анализ в установленных зонах диагностирования выполняется с помощью реплик (на срезах металла или переносным микроскопом). По его результатам определяется исчерпание ресурса (табл. 3), и с учетом длительности наработки τ_h устанавливается срок остаточного ресурса $\tau_{o.p} = \tau_p - \tau_h$. При этом предельный ресурс τ_p оценивается из отношения τ_h/τ_p (исчерпание ресурса) для данного сварного соединения. Оценка остаточного ресурса сварных соединений по такому методу производится в соответствии с разработанным ОАО «ВТИ» отраслевым руководящим документом [7].

Этот метод отличается высокой достоверностью, поскольку отражает комплексное влияние различных факторов (технологических, конструкционных и эксплуатационных) на фактическое состояние металла — деградацию структуры и свойств в виде микро- вплоть до макроповрежденности наиболее слабых участков сварных соединений. Кроме того, указанный метод является достаточно оперативным и маневренным и используется на тепловых электростанциях. Однако его применение связано с определенной трудоемкостью выполнения вспомогательных подготовительных операций (шлифовки и полировки мест контроля, съема и размещения теплоизоляции, установки временных лесов и др.) и точностью выбора зон контроля (без проведения предварительной оценки конструкционной прочности сварных соединений по фактическим размерам трубных элементов в месте расположения сварных швов).

В зарубежной теплоэнергетике МАР с помощью реплик для сварных соединений паропроводов применяется в объеме 50...100 % [4].

Комплексное использование расчетно-экспериментальных методов оценки по длительной прочности и структурному фактору (см. рис. 1). Этот подход позволяет получать наиболее точные результаты оценки остаточного ресурса сварных соединений. При нем метод оценки по длительной прочности рассматривается как первоочередной и необходимый для определения общей работоспособности сварных соединений на период наработки (оценка индивидуального и остаточного ресурса, запаса прочности и КО, назначение контроля). В этом случае результаты расчетно-экспериментальных исследований распространяются на однотипные (по марке стали, конструкции, размеру) сварные соединения независимо от их расположения на трассе паропровода; при оценке σ_{ekb} по фактическим нагрузкам учитывается расположение соединений на трассе паропровода.

Метод оценки ресурса по структурному фактору позволяет оценить $\tau_{o.p}$ и КО соединений с учетом их реального нагружения исходя из расположения на трассе паропровода. При этом первоочередному диагностированию, как правило, подлежат сварные соединения, которые по результатам предыдущего расчетно-экспериментального метода вызывают сомнение.

Подтверждением служит сравнительная оценка $\tau_{o.p}$ и КО сварных соединений паропровода ОП энергоблока мощностью 300 МВт станции № 5 Костромской ГРЭС по результатам расчетно-экспериментальных исследований, проведенных ОАО «ВТИ» (табл. 4). Так, для ТСС с помощью расчетно-экспериментального метода оценки по длительной прочности металла остаточный ресурс классифицирован как исчерпанный $\tau_{o.p1} = 0$ и КО = = 7 независимо от расположения ТСС на трассе паропровода. По результатам последующего диагностирования ТСС и расчетно-экспериментальной



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Таблица 3. Категория опасности и исчерпание ресурса сварных соединений в зависимости от микроповрежденности металла при ползучести на паропроводах

КО	Вид поврежденности металла по [7]	Классификация поврежденности металла [7]		Исчерпание ресурса τ_u / τ_p		Сроки следующего контроля, тыс. ч	
		Стадия	Этап	сталь 12Х1МФ	сталь 15Х1М1Ф	Тип 1	Тип 2
1	—	I _{II}	—	$\leq 0,50$	$\leq 0,60$	По [6]	
2	Единичные поры плотностью $\rho \leq 100 / \text{мм}^2$	II _{II}	—	0,50...0,60	0,60...0,75	40...50	20...25
3	То же, но $\rho \leq 250 / \text{мм}^2$	III _{II}	III.1 _{II}	0,61...0,70	0,68...0,75	15...20	10...15
4	То же, но $\rho \leq 1000 / \text{мм}^2$		III.2 _{II}	0,70...0,76	0,75...0,80	10...15	7...10
5	То же, но $\rho > 1000 / \text{мм}^2$		III.3 _{II}	0,76...0,82	0,80...0,85	7...8	7...8
6	Цепочки мелких пор размером 1...2 мкм	IV _{II}	IV.1 _{II}	0,82...0,87	0,85...0,89	7...8	7...8
	Цепочки укрупненных пор, слившиеся поры и/или скопления пор, микротрешины		IV.2 _{II}	0,87...0,92	0,89...0,93	5...7	5...7
7	Микро- и макротрешины	V _{II}	V.1 _{II} V.2 _{II}	0,92...1,00	0,93...1,00	3...4	3...4

Приложения . 1. КО оценивается следующим образом: безопасная (КО = 1), незначительно ухудшенная (КО = 2); слабоопасная (КО = 3); повышенной опасности (КО = 4); весьма опасная (КО = 5); значительно рискованная (КО = 6); критическая (КО = 7), при которой возможно разрушение сварного соединения. При ситуации КО = 3 может быть назначен ремонт, при КО = 4+6 ремонт обязателен, в случае КО = 7 необходимо выполнить немедленный ремонт или переварку сварного соединения.

оценки по структурному фактору сроки остаточного ресурса устанавливали для каждого типа сварного соединения, они уточнялись и характеризовались в диапазоне $\tau_{o,p2} = 14 \dots 123$ тыс. ч с соответствующим $KO_2 = 1,0 \dots 6,1$. Аналогично были проведены операции по определению остальных типоразмеров ССС и ССС_{р.т.э} (табл. 4).

Другим примером является комплексный подход, разработанный в ОАО «ВТИ», к оценке остаточного ресурса на основе использования базовой долговечности сварных соединений в сочетании с методом диагностирования с помощью реплик. На первой стадии по результатам расчетно-экспериментальных исследований оценивается предельный

Таблица 4. Сравнительные сроки $\tau_{o,p}$ и КО, установленные расчетно-экспериментальными методами оценки сварных соединений паропровода ОП из стали 15Х1М1Ф (наработка 185 тыс. ч при температуре 545 °C и давлении 25,5 МПа)

Тип сварного соединения (см. рис. 2)	$D_{\text{ш}} \times S$, мм	Остаточный ресурс, тыс. ч		КО ₁	КО ₂	Номер сварного соединения на схеме паропровода
		$\tau_{o,p1}$	$\tau_{o,p2}$			
ССС	325×60	215	>123	1	1	15, 18, 4
	325×60	215	79	1	2,1	7
ССС _{р.т.э}	325×60 + Ду200	50	>123	4	1	70, 71
TCC	325×60 245×45	0	>123	7	1	76a, 78a
		0	79	7	2,1	77a
		0	43	7	4	68a
		0	14	7	6,1	31a, 75a

Примечания . 1. $\tau_{o,p1}$ и КО₁ установлены расчетно-экспериментальным методом по длительной прочности металла; $\tau_{o,p2}$ и КО₂ оценены методом расчета по структурному фактору (микроповрежденности) металла. 2. Сварные соединения ССС относятся к типу 1, а ССС_{р.т.э} и ТСС — к типу 2 по [6]. 3. У ССС_{р.т.э} трубные элементы изготовлены из стали 15Х1М1ФЛ.

ресурс τ_p по длительной прочности сварных соединений с последующим уточнением остаточного ресурса по структурному фактору (рис. 5). Период $\tau_{I\text{II}}$ устанавливается по [7]. Начиная с этого периода назначается диагностирование методом МАР для последующего уточнения остаточного ресурса сварных соединений.

ОАО «ВТИ» проводит на договорных условиях работы по оценке ресурса сварных соединений паропроводов с разработкой регламента контроля для многих тепловых электростанций, в том числе Костромской ГРЭС, Рязанской ГРЭС, Новочеркасской ГРЭС, Сургутской ГРЭС-2, Новогорьковской ТЭЦ и др.

По результатам комплексных расчетно-экспериментальных исследований с учетом накопленного опыта эксплуатации и результатов статистического анализа результатов контроля и повреждаемости можно отметить, что после наработки 100 тыс. ч при температуре 545 °C на паропроводах энерго-

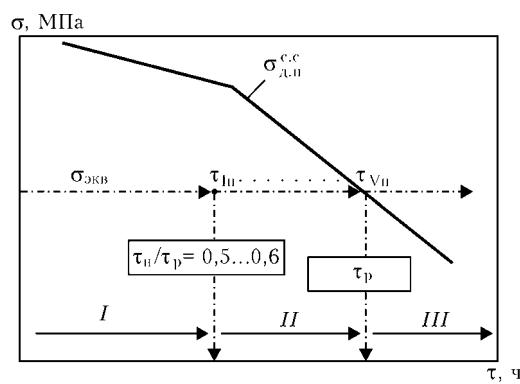


Рис. 5. Схема комплексного подхода к определению предельного ресурса τ_p по длительной прочности сварных соединений $\sigma_{d,n}$ с последующей оценкой остаточного ресурса $\tau_{o,p} = \tau_p = \tau_u$ через τ_u / τ_p методом оценки по структурному фактору; τ_u — период, оцениваемый по [7]; этапы I–III — соответственно период надежной, возможной и рискованной (опасной) эксплуатации. На этапе II необходимо диагностирование по [7]



установок мощностью 300 МВт и менее остаточный ресурс сварных соединений характеризуется следующими сроками: 150...300 тыс. ч для ССС; 50...200 тыс. ч для ССС_{р.т.э} и до 50...100 тыс. ч для ТСС (см. рис. 2).

Для сварных соединений паропроводов энергоблоков мощностью 800 МВт остаточный ресурс более ограничен.

1. Хромченко Ф. А., Лаппа В. А., Калугин Р. Н. Диагностика и ресурс сварных соединений паропроводов ТЭС // Свароч. пр-во. — 2001. — Ч. 2. — 2001. — № 8. — С. 21–24; Ч. 3. — 2001. — № 9. — С. 15–19.
2. Хромченко Ф. А., Федосеенко А. В., Лаппа В. А. Оценка остаточного ресурса длительно эксплуатирующихся сварных соединений паропроводов // Теплоэнергетика. — 1995. — № 4. — С. 12–16.
3. Хромченко Ф. А., Лаппа В. А., Калугин Р. Н. Диагностирование и прогнозирование ресурса сварных соединений паропроводов // Электрические станции. — 2001. — № 7. — С. 55–62.
4. Хромченко Ф. А. Ресурс сварных соединений паропроводов. — М.: Машиностроение, 2002. — 352 с.
5. РД 10-249-98. Нормы расчета на прочность стационарных котлов и паропроводов пара и воды / АООТ «НПО ЦКТИ», 1999.
6. РД 10-262-98 (РД 153-34.1-17.421-98). Типовая инструкция по контролю металла и продлению срока службы основных элементов котлов, турбин и трубопроводов тепловых электростанций. — М.: СПО ОРГРЭС, 1999.
7. РД 153-34.1-17.467-2001. Экспрессный метод оценки остаточного ресурса сварных соединений коллекторов котлов и паропроводов по структурному фактору. — М.: АООТ «ВТИ», 2001.

A procedural approach is considered to design-experimental evaluation of residual life of steam pipelines for creep conditions by long-term strength and structural condition (microdamage) of welded joint metal.

Поступила в редакцию 12.03.2003

Новости НКМЗ

НКМЗ осваивает выпуск сушильных машин

В настоящее время на НКМЗ (г. Краматорск, Донецкая область) спроектирована и изготовлена по заказу Центральной обогатительной фабрики (ЦОФ) «Кураховская» первая отечественная уникальная установка для сушки энергетического шлама. Ее создание продиктовано сложившейся ситуацией перенакопления шлама, остающегося на фабриках после первого углеобогащения, но еще пригодного в производстве. Как правило, этот шлам повышенной влажности сваливается в специальные шламохранилища, занимающие большие и дорогостоящие ныне земельные угодья. Новая сушильная машина обеспечит возможность углеобогатительным фабрикам сразу же после первой переработки стандартной угольной массы проводить ее повторное обогащение, доводя до требуемых норм, и реализовывать потребителю для повторного применения. Одна сушилка способна обогащать в год до 40 тыс. т шлама. Таким образом, появляется возможность экономить земельные богатства, уменьшить загрязнение окружающей среды.

Для сушки продуктов обогащения угля предназначена и современная барабанная сушилка, которая будет поставлена ЦОФ «Комендантская» объединения «Ровенькииантрацит».



СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЛАЗЕРНОГО, ПЛАЗМЕННОГО И КОМБИНИРОВАННОГО СПОСОБОВ НАГРЕВА МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ

А. И. БУШМА, инж., А. Т. ЗЕЛЬНИЧЕНКО, канд. физ.-мат. наук, И. В. КРИВЦУН, д-р техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Путем решения нестационарного уравнения теплопроводности для сферической частицы с объемным, поверхностным и комбинированным источниками тепла рассчитаны температурные поля в мелкодисперсных керамических частицах (Al_2O_3 и SiO_2), нагреваемых излучением CO_2 -лазера, потоком аргоновой плазмы и их комбинацией, с учетом зависимости оптических и теплофизических свойств материалов частиц от температуры. Показано существенное влияние способа нагрева, а также оптических и теплофизических свойств материала на пространственно-временное распределение температуры в указанных частицах.

Ключевые слова: лазерное излучение, плазменный поток, мелкодисперсные керамические частицы, источник тепла, температурное поле, комбинированный лазерно-плазменный нагрев

Наряду с известными технологиями газотермического нанесения покрытий, например такими, как плазменное напыление [1], в последнее время все большее развитие получают процессы лазерного напыления, основывающиеся на введении частиц порошка в лазерный пучок, их нагреве (плавлении) и осаждении на поверхности основного материала [2]. Принципиальное отличие этих технологических процессов состоит в использовании различных механизмов нагрева мелкодисперсных материалов. В одном случае нагрев напыляемых частиц осуществляется потоком горячего газа или плазмы (поверхностный источник тепла), а в другом — поглощением частицами лазерного излучения. Следует отметить, что при нагреве металлических частиц излучением CO_2 -лазера выделение тепла сосредоточено в очень тонком приповерхностном слое их материала [3], т. е. источник тепла также может считаться поверхностным. Картина существенно меняется в случае лазерного нагрева мелкодисперсных диэлектрических, например керамических частиц. В отличие от металлов большинство керамических материалов достаточно прозрачны для излучения CO_2 -лазера с длиной волны $\lambda = 10,6 \text{ мкм}$ и при $d/\lambda \approx 1$ (где d — размер частицы) поглощают его энергию во всем объеме частицы [4]. В этом случае источник тепла является объемным, причем в некоторых случаях сосредоточенным вблизи центра частицы [3, 4].

Таким образом, способы плазменного и лазерного напыления мелкодисперсных керамических материалов могут существенно отличаться не только по интегральным характеристикам источника тепла, определяющим скорость нагрева частиц, но и, что особенно важно, по распределенным характеристикам тепловыделения в напыляемых частицах. Поскольку керамические материалы обладают относительно низкой теплопроводностью,

температурные поля в керамических частицах могут быть достаточно неоднородными по сечению частицы и существенно зависеть от способа ее нагрева. Исходя из изложенного выше целью данной работы является исследование особенностей лазерного, плазменного и комбинированного (лазерно-плазменного) нагрева мелкодисперсных керамических частиц.

Исследуем указанные особенности на примере сферических частиц Al_2O_3 и SiO_2 , полагая, что радиус частицы соизмерим с длиной волны лазерного излучения. Поскольку неравномерность нагрева таких частиц может приводить к существенной неоднородности распределения оптических и теплофизических свойств материала частицы, зависящих от температуры, в дальнейшем будем считать частицы радиально-неоднородными.

При определении распределенных и интегральных характеристик поглощения лазерного излучения рассматриваемыми частицами можно использовать подход, предложенный в работе [4]. Пусть на частицу радиусом a в направлении оси Oz сферической системы координат (r, φ, ϑ) с началом в центре частицы падает плоская электромагнитная волна. Поглощаемая в единицу времени в единице объема частицы электромагнитная энергия может определяться с помощью известного соотношения [5]

$$D = -\operatorname{div} \mathbf{S},$$

где $\mathbf{S}(r, \varphi, \vartheta)$ — среднее по времени (за период колебания поля волны) значение вектора Пойнтинга электромагнитного поля, возбуждаемого в частице падающим излучением. Предполагая, что частица вращается вокруг собственной оси, перпендикулярной оси Oz , и считая исходное лазерное излучение неполяризованным, вместо $D(r, \varphi, \vartheta)$ можно ввести усредненную по углам мощность, выделяющуюся в единице объема материала частицы:

$$D(r) = -\frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^\pi \sin \vartheta \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} [r^2 S_r(r, \phi, \vartheta)] d\vartheta.$$

Если период полного оборота частицы значительно меньше характерного времени изменения ее температуры, то тепловое поле частицы можно считать сферически симметричным, а неоднородность ее диэлектрической проницаемости — существенной только в радиальном направлении.

Для нахождения полей, возбуждаемых электромагнитной волной в радиально-неоднородной сферической частице, имеющей комплексную диэлектрическую проницаемость $\epsilon(r)$, и определения явного вида величины $D(r)$ воспользуемся методом слоистой аппроксимации [6]. Условно разделим частицу на N сферических слоев и положим, что диэлектрическая проницаемость ее материала ϵ постоянна в пределах каждого слоя:

$$\epsilon(r) = \epsilon_l \equiv \epsilon'_l + i\epsilon''_l; a_{l-1} < r \leq a_l (l = 1, 2, \dots, N),$$

где ϵ'_l , ϵ''_l — соответственно действительная и мнимая часть диэлектрической проницаемости; a_l и a_{l-1} — внешний и внутренний радиусы l -го слоя ($a_0 = 0$, $a_N = a$). Очевидно, что путем увеличения количества слоев можно добиться сколь угодно точной аппроксимации оптических свойств неоднородно нагретой частицы. При этом следует отметить, что данный метод позволяет также на-

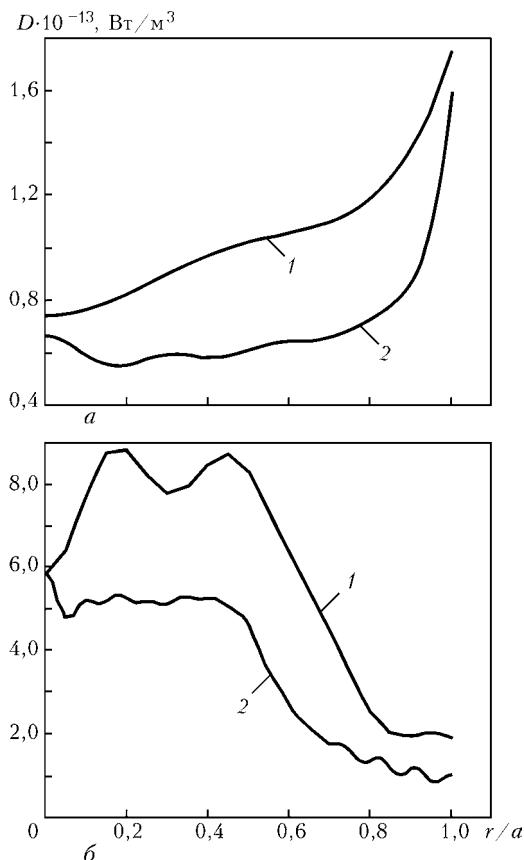


Рис. 1. Радиальные распределения мощности излучения СО₂-лазера, поглощаемой однородными сферическими частицами Al₂O₃ (а) и SiO₂ (б), при $S^{inc} = 1 \cdot 10^9$ Вт/м²: $a = \epsilon' = 0,490$; $\epsilon'' = 0,028$; $b = \epsilon' = 4,750$; $\epsilon'' = 0,096$; $1 - a = 10$; $2 - 30$ мкм

ходить распределения поглощаемой мощности в слоистых частицах, состоящих из различных материалов.

Используя аналитическое решение задачи дифракции плоской волны на слоисто-неоднородном шаре [7], находим

$$D(r) = \frac{S^{inc} \epsilon_l''}{8k} \sum_{m=1}^{\infty} (2m+1) \times \\ \times \sum_{\gamma=1,2} \left\{ |d_{\gamma}^{(l)}|^2 F_{\gamma}^{(l)}(r) + 2\operatorname{Re} \left[d_{\gamma}^{(l)} \tilde{d}_{\gamma}^{(l)*} H_{\gamma}^{(l)}(r) \right] + |\tilde{d}_{\gamma}^{(l)}|^2 G_{\gamma}^{(l)}(r) \right\}, \\ a_{l-1} < r \leq a_l (l = 1, 2, \dots, N). \quad (1)$$

Здесь S^{inc} — интенсивность падающего на частицу лазерного излучения; $k = 2\pi/\lambda$ — его волновой вектор; функции $F_{1,2}^{(l)}(r)$, $H_{1,2}^{(l)}(r)$, $G_{1,2}^{(l)}(r)$ и величины $d_{1,2}^{(l)}$, $\tilde{d}_{1,2}^{(l)}$ определены в работе [4]; звездочкой обозначена комплексно-сопряженная величина.

Решение задачи дифракции [7] позволяет, наряду с величиной $D(r)$, найти полные сечения поглощения Q^d и рассеяния Q^s электромагнитных волн радиально-неоднородной сферической частицей. Конечный результат расчета может быть представлен в следующем виде:

$$Q^e = -\frac{\pi}{k^2} \sum_{m=1}^{\infty} (2m+1) \sum_{\gamma=1,2} \operatorname{Re}(q_{\gamma}), \\ Q^s = \frac{\pi}{2k^2} \sum_{m=1}^{\infty} (2m+1) \sum_{\gamma=1,2} |q_{\gamma}|^2,$$

где $Q^e = Q^d + Q^s$ — сечение экстинкции [8]; величины $q_{1,2}$ определены в [4]. На рис. 1 представлены результаты расчетов радиальных распределений мощности излучения СО₂-лазера, поглощаемой однородными сферическими частицами Al₂O₃ и SiO₂ различного диаметра (оптические постоянные указанных диэлектрических материалов для излучения с $\lambda = 10,6$ мкм взяты из работы [9]). У частиц Al₂O₃ мощность лазерного излучения, диссилируемая в единице объема сферической частицы, убывает по направлению от ее поверхности к центру, причем с возрастанием значений a неравномерность нагрева усиливается (ср. кривые 1 и 2 рис. 1, а). У частиц SiO₂ наблюдается противоположная картина. Максимум зависимости $D(r)$, формирующийся внутри частицы, уменьшается с ростом ее радиуса (рис. 1, б), в результате нагрев частиц SiO₂ излучением СО₂-лазера при увеличении ее радиуса происходит более равномерно. Полная мощность излучения Q^l , поглощаемая рассматриваемыми частицами, может быть определена как произведение соответствующего сечения поглощения на интенсивность падающего на частицу лазерного излучения, что при $S^{inc} = 1 \cdot 10^9$ Вт/м² дает $Q^l = 0,92$ Вт для частиц Al₂O₃ и $Q^l = 2,3$ Вт для частиц SiO₂. В обоих случаях радиус частиц составлял 30 мкм.

При плазменном нагреве сферических частиц для описания обмена энергией между потоком плаз-

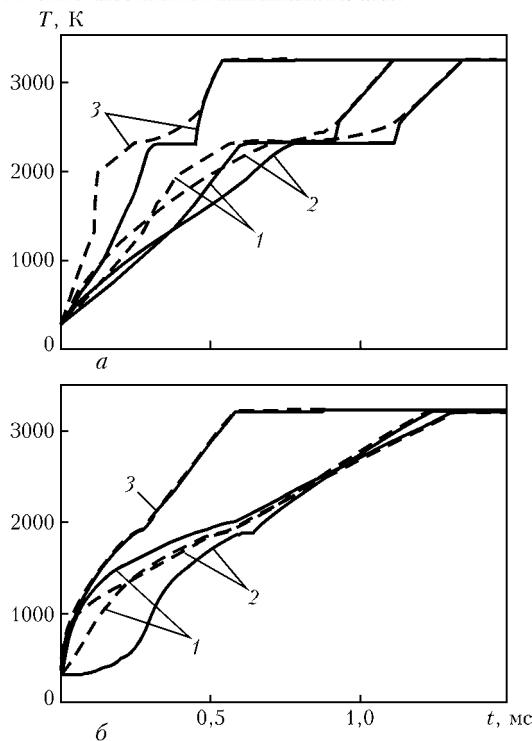


Рис. 2. Временные зависимости температуры в центре (сплошные кривые) и на поверхности (штриховые) сферических частиц Al_2O_3 (а) и SiO_2 (б) радиусом $a = 30 \text{ мкм}$, нагреваемых излучением CO_2 -лазера (1), потоком аргоновой плазмы (2) и их комбинацией (3), при скорости обтекания частиц $u_p = 150 \text{ м/с}$: 1 — $S^{\text{inc}} = 10^9 \text{ Вт/м}^2$, $T_p = 300 \text{ К}$; 2 — $S^{\text{inc}} = 0$, $T_p = 8000 \text{ К}$; 3 — $S^{\text{inc}} = 10^9 \text{ Вт/м}^2$, $T_p = 8000 \text{ К}$

мы и частицей воспользуемся комбинированной моделью конвективно-радиационного теплообмена [10], согласно которой тепловой поток через поверхность частицы может быть представлен в виде

$$q = \alpha(T_p - T_s) + \xi\sigma_0(T_p^4 - T_s^4), \quad (2)$$

где α — коэффициент теплообмена; T_p — температура невозмущенного плазменного потока, набегающего на частицу; T_s — температура поверхности частицы; ξ — приведенная степень черноты для системы плазма—поверхность частицы; σ_0 — постоянная Стефана–Больцмана. Коэффициент конвективного теплообмена для сферической частицы может быть рассчитан на основе критериальной зависимости для обтекания сферы [11]:

$$\text{Nu} = 2 \frac{\chi_s}{\chi_p} + 0,5 \text{Re}^{0,5} \text{Pr}^{0,4} \left(\frac{\rho_p \eta_p}{\rho_s \eta_s} \right)^{0,2}. \quad (3)$$

Здесь $\text{Nu} = (\alpha 2a)/\chi_p$ — число Нуссельта; $\text{Re} = (\rho_p u_p 2a)/\eta_p$ — число Рейнольдса; $\text{Pr} = (C_p \eta_p)/\chi_p$ — число Прандтля; χ_p — коэффициент теплопроводности невозмущенной плазмы; ρ_p — ее плотность; C_p — коэффициент динамической вязкости; η_p — удельная теплоемкость (индексом s обозначаются соответствующие свойства плазмы при температуре поверхности частицы); u_p — скорость плазменного потока по отношению к частице. Например, при обтекании рассматриваемых частиц потоком аргоновой плазмы атмосферного давления с температурой $T_p = 8000 \text{ К}$ и

скоростью $u_p = 150 \text{ м/с}$ тепловой поток через поверхность частицы радиусом 30 мкм, рассчитанный по (2), (3), составляет $q = 2,0 \cdot 10^8 \text{ Вт/м}^2$ (полная мощность, вкладываемая в частицу $Q^p = 2,3 \text{ Вт}$) для Al_2O_3 и $q = 1,2 \cdot 10^8 \text{ Вт/м}^2$ ($Q^p = 1,4 \text{ Вт}$) для частиц SiO_2 , имеющих температуру 300 К (данные о необходимых теплофизических свойствах и коэффициентах переноса аргоновой плазмы взяты из работы [12]).

С учетом возможной неоднородности пространственного распределения температуры для расчета температурных полей в керамических частицах, нагреваемых лазерным излучением, потоком плазмы или их комбинацией, в общем случае будем использовать нестационарное уравнение теплопроводности с распределенным источником тепла. Принимая во внимание предположение о сферической симметрии температурного поля частицы и зависимость свойств ее материала от температуры, это уравнение можно записать в виде

$$\rho \bar{C} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \chi \frac{\partial T}{\partial r} \right) + D(r, t), \quad 0 \leq r \leq a(t). \quad (4)$$

Здесь $\rho(T)$ — плотность вещества частицы;

$\bar{C}(T)$ — его эффективная теплоемкость, вычисляемая с учетом скрытой теплоты плавления W_M и парообразования W_B ; $T(r, t)$ — пространственно-временное распределение температуры в частице; $\chi(T)$ — коэффициент теплопроводности; $a(t)$ — текущее значение ее радиуса;

$$\bar{C} = c + W_M \delta(T - T_M) + W_B \delta(T - T_B),$$

где $c(T)$ — удельная теплоемкость материала; T_M , T_B — соответственно температуры плавления и кипения; $\delta(x)$ — дельта-функция. Величина $D(r, t)$, описывающая выделение энергии в объеме частицы в случае лазерного и комбинированного нагрева, рассчитывается по (1) с учетом изменения во времени как пространственного распределения $\epsilon[T(r, t)]$, связанного с неоднородным нагревом частицы, так и радиуса частицы, например при ее испарении. При моделировании плазменного нагрева частицы объемный источник тепла в уравнении (4) полагается равным нулю.

Начальные и граничные условия для уравнения (4) можно записать в следующем виде:

$$T(r)|_{t=0} = T^0, \quad a|_{t=0} = a^0; \quad -\left(\chi \frac{\partial T}{\partial r} \right)|_{r=a} = q, \quad \frac{\partial T}{\partial r}|_{r=0} = 0,$$

где T^0 , a^0 — исходные значения соответственно температуры и радиуса частицы. В случае плазменного и комбинированного нагрева величина q рассчитывается по (2), (3). При моделировании лазерного нагрева предполагается, что нагреваемая частица находится в потоке холодного газа с температурой T_{ext} и относительной скоростью u_{ext} . В этом случае для описания теплоотдачи с ее поверхности также можно воспользоваться соотношениями (2), (3), положив в них $T_p = T_{\text{ext}}$, $u_p = u_{\text{ext}}$.



Для численного решения уравнения (4) использовали полностью неявную разностную схему с дроблением шага по времени для полного учета скрытой теплоты плавления и парообразования. Предполагалось, что испаренный материал мгновенно удаляется с поверхности частицы, при этом он не ослабляет падающий на нее поток излучения и не влияет на условия теплообмена частицы с окружающей средой.

На рис. 2 показано изменение во времени t расчетных значений температуры в центре T_c и на поверхности T_s частиц Al_2O_3 и SiO_2 в процессе их нагрева излучением CO_2 -лазера, потоком аргоновой плазмы и их комбинацией (необходимые температурные зависимости теплофизических параметров и оптических свойств рассматриваемых материалов взяты из работы [4]). Как следует из рис. 2, неоднородное распределение объемного источника тепла в частицах, нагреваемых лазерным излучением (см. рис. 1), приводит к тому, что на начальных этапах нагрева температура на поверхности частицы Al_2O_3 возрастает быстрее, чем в ее центре (ср. штриховую и сплошную кривые 1 рис. 2, а), тогда как в случае SiO_2 наблюдается обратная картина (см. рис. 2, б). При плазменном (поверхностном) нагреве частиц температура на поверхности частицы возрастает быстрее, чем в ее центре для обоих материалов (кривые 2 рис. 2). Что касается комбинированного способа нагрева, то у частиц Al_2O_3 неоднородность нагрева заметно усиливается (кривые 3 рис. 2, а), а у частиц SiO_2 существенно ослабляется (кривые 3 рис. 2, б). В результате комбинированный нагрев частиц SiO_2 может происходить практически равномерно.

Проведенный численный анализ различных способов нагрева мелкодисперсных керамических материалов применительно к условиям напыления

позволяет сделать вывод о возможности управления пространственно-временным распределением температуры в напыляемых частицах путем определенной комбинации плазменного (поверхностного) и лазерного (объемного) способов нагрева, осуществляющейся в рамках нового технологического процесса — гибридного плазменно-лазерного напыления.

1. Петров С. В., Карп И. Н. Плазменное газовоздушное напыление. — Киев: Наук. думка, 1993. — 496 с.
2. Pawłowski L. Thick laser coatings: A rev. // J. Thermal Spray Technol. — 1999. — 8(2). — P. 279–295.
3. Bushma A. I., Krivtsun I. V. Peculiarities of absorption and scattering of different wavelength laser radiation by fine spherical particles // Lazer technologies in welding and materials processing: Proc. of the Intern. conf. — Katsiveli, Crimea, Ukraine. — Kiev: E. O. Paton Welding Institute, NASU, 2003. — P. 103–107.
4. Бушма А. И., Кривцун И. В. Особенности нагрева мелкодисперсных керамических частиц лазерным излучением // Физика и химия обраб. материалов. — 1992. — № 2. — С. 40–48.
5. Ландай Л. Д., Лишиц Е. М. Электродинамика сплошных сред. — М.: Наука, 1982. — 620 с.
6. Бреховских Л. М. Волны в слоистых средах. — М.: Наука, 1973. — 344 с.
7. Излучение неоднородного плазменного шара / В. С. Гвоздецкий, А. Г. Загородний, И. В. Кривцун и др. — Киев, 1983. — 26 с. — (Препр. / АН УССР. Ин-т теорет. физики; 83-167 Р).
8. Борн М., Вольф Е. Основы оптики. — М.: Наука, 1968. — 719 с.
9. Золоторев В. М., Морозов В. Н., Смирнова Е. В. Оптические постоянные природных и технических сред: Справочник. — Л.: Химия, 1984. — 215 с.
10. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена. — М.: Атомиздат, 1979. — 416 с.
11. Цветков Ю. В., Панфилов С. А. Низкотемпературная плазма в процессах восстановления. — М.: Наука, 1980. — 359 с.
12. Boulos M. I., Fauchais P., Pfender E. Thermal plasmas: Fundamentals and applications. — New York, London: Plenum press, 1997. — Vol. 1. — 454 p.

Temperature fields in finely dispersed ceramic particles (Al_2O_3 and SiO_2) heated by the CO_2 -laser radiation, argon plasma flow and their combination, using the volume, surface and combined heat sources, have been calculated through solving the non-stationary equation of heat conduction for a spherical particle, allowing for dependence of optical and thermal-physical properties of particle materials upon the temperature. Shown is the effect of a heating method, as well as optical and thermal-physical properties of materials on space-time distribution of temperature for the above methods.

Поступила в редакцию 20.11.2003



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ВОЗДУШНОЙ СТРУЕ И НАПЫЛЯЕМОЙ ОСНОВЕ ПРИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ

Н. М. ВОРОПАЙ, д-р техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
А. И. МАЖЕЙКА, канд. техн. наук, **С. И. МАРКОВИЧ**, инж. (Кировоград. гос. техн. ун-т)

Рассмотрено влияние технологических режимов электродуговой металлизации на распределение температуры в воздушной струе и напыляемой основе. Использован метод зондирования температуры отдельных участков струи и подложки при изменении тока дуги, давления воздуха и дистанции напыления. Показано, что температура струи и подложки возрастает с увеличением тока дуги и давления воздуха.

Ключевые слова: электродуговая металлизация, параметры режимов, электродная проволока, воздушная струя, температура струи, температура подложки, толщина покрытия

Качество формирования покрытий при электродуговой металлизации существенно зависит от аксиального и радиального распределения температуры в воздушной струе и тепловых условий на границе контактирования расплавленных частиц напыляемого материала с поверхностью основного металла (подложки) [1–3]. Источником энергии при электродуговой металлизации является электрическая дуга, горящая между двумя плавящимися электродами в струе сжатого воздуха. Основными технологическими параметрами этого процесса являются ток дуги I_d , напряжение на дуге U_d , давление сжатого воздуха P и дистанция напыления L_n . Ранее выполнены исследования [4] влияния некоторых параметров технологического режима плазменного напыления на температуру струи аргона и его смеси с водородом.

В настоящей работе использован метод зондирования отдельных участков зоны электродуговой металлизации для определения распределения температуры в воздушной струе и подложке при изменении технологических параметров процесса.

Опыты проводили на установке электродугового напыления КДМ-4(5), состоящей из металлизатора ЭМ-14М с центральной сопловой системой подачи сжатого воздуха, источника питания постоянного тока типа ВС-632 с пологопадающей внешней характеристикой и подвижного стола для перемещения напыляемых образцов. В качестве электродных материалов применяли две проволоки: одну порошковую НПП-5 с наполнителем системы Fe–C–Cr–Mn (катод), вторую — цельнотянутую марки Св-08А (анод). Диаметр каждой из них составлял 2 мм, скорость подачи —

360...540 м/ч. Как и в работе [4], замер температур в воздушной струе осуществляли с помощью хромель-алюмелевых термопар диаметром 0,5 мм. Ширина сваренного торца термопары не превышала 1,2 мм. Во избежание попадания капель металла на термопару рабочий участок последней изолировали термостойкой керамической трубкой с наружным диаметром 4 мм. Температуру неподвижной подложки замеряли хромель-копелевыми термопарами диаметром 0,2 мм. Образцы подложки из стали 09Г2 толщиной 3 мм размером 200×200 мм изготавливали с верхними отверстиями глубиной 1,5 мм. В последние с помощью конденсаторного аппарата вваривали термопары. Термоэлектрический эффект от термопар, погруженных в воздушную струю и подложку, записывали на осциллографе.

Наиболее типичные режимы напыления, использованные в опытах, приведены в таблице. Расстояние от среза сопла до точки определения температуры

Технологические режимы электродуговой металлизации

№ режима электродуговой металлизации	Ток дуги I_d , А	Напряжение на дуге U_d , В	Давление воздуха P , МПа	Дистанция напыления L_n , мм	Расстояние от сопла до точки определения температуры L_c , мм
1	150	24	0,1	150	30
2	150	24	0,3	150	30
3	150	24	0,4	150	30
4	250	28	0,1	150	30
5	250	28	0,3	150	30
6	250	28	0,4	150	30
7	150	24	0,3	150	60
8	150	24	0,3	150	90
9	250	28	0,3	150	60
10	250	28	0,3	100	90
11	150	24	0,3	100	60
12	250	28	0,3	100	60
13	150	24	0,3	200	60
14	250	28	0,3	200	60

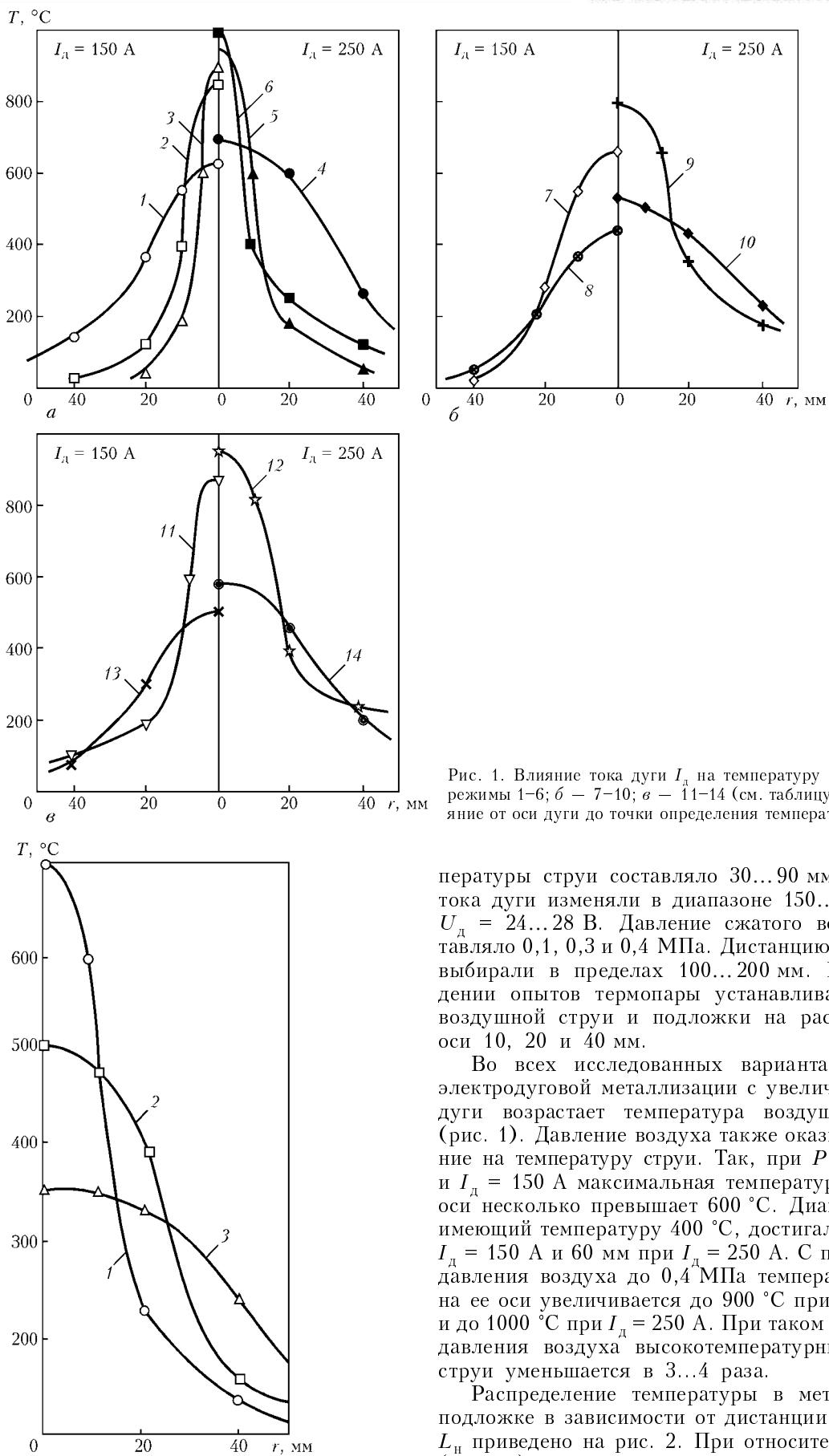


Рис. 1. Влияние тока дуги I_d на температуру струи T : a — режимы 1–6; b — 7–10; c — 11–14 (см. таблицу); r — расстояние от оси дуги до точки определения температуры струи

пературы струи составляло 30...90 мм. Значение тока дуги изменяли в диапазоне 150...250 А при $U_d = 24\ldots28$ В. Давление сжатого воздуха составляло 0,1, 0,3 и 0,4 МПа. Дистанцию напыления выбирали в пределах 100...200 мм. При проведении опытов термопары устанавливали по оси воздушной струи и подложки на расстоянии от оси 10, 20 и 40 мм.

Во всех исследованных вариантах режимов электродуговой металлизации с увеличением тока дуги возрастает температура воздушной струи (рис. 1). Давление воздуха также оказывает влияние на температуру струи. Так, при $P = 0,1$ МПа и $I_d = 150$ А максимальная температура струи на оси несколько превышает 600 °C. Диаметр струи, имеющей температуру 400 °C, достигал 40 мм при $I_d = 150$ А и 60 мм при $I_d = 250$ А. С повышением давления воздуха до 0,4 МПа температура струи на ее оси увеличивается до 900 °C при $I_d = 150$ А и до 1000 °C при $I_d = 250$ А. При таком увеличении давления воздуха высокотемпературный участок струи уменьшается в 3...4 раза.

Распределение температуры в металлической подложке в зависимости от дистанции напыления L_h приведено на рис. 2. При относительно малой (100 мм) дистанции напыления температура подложки достигает 700 °C и продолжает возрастать с уменьшением L_h . При дистанции напыления до

Рис. 2. Влияние дистанции напыления на распределение температуры в металлической подложке при $I_d = 200$ А, $U_d = 26$ В, $P = 0,4$ МПа, $t = 6$ с: 1 — $L_h = 100$; 2 — 150; 3 — 200 мм

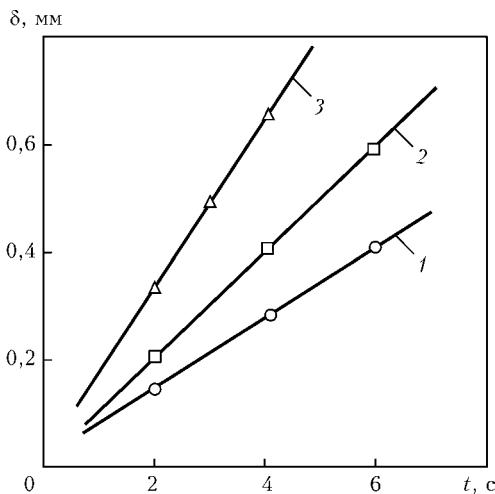


Рис. 3. Влияние времени напыления t на толщину покрытия δ в центре пятна нагрева при различном токе дуги: 1 — $I_d = 100$; 2 — 150; 3 — 200 А

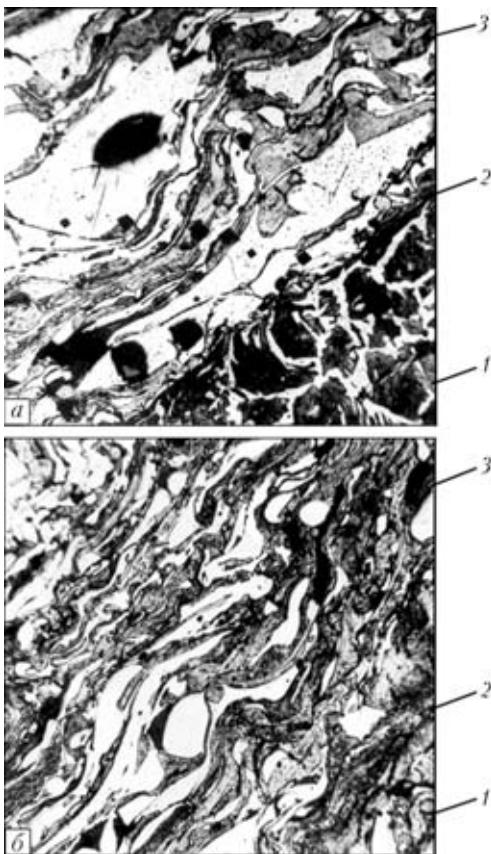


Рис. 4. Микроструктура ($\times 200$) покрытия, напыленного порошковой и цельнотянутой проволоками при $P = 0,1$ (а) и $P = 0,4$ МПа (б): 1 — подложка; 2 — граница раздела; 3 — покрытие

150...200 мм температура нагрева подложки снижается до 350...500 °C, что приводит к увеличению зоны подогрева до 300 °C. Аналогичным образом изменяется и толщина покрытия в пятне нагрева: чем больше ток дуги и время напыления, тем толще покрытие в центре пятна нагрева (рис. 3).

Для заданного диаметра электродных проволок (2 мм) при электродуговой металлизации оптимальные значения тока дуги и напряжения на дуге составляют соответственно 250 А и 28 В. При меньших значениях тока (100...150 А) производитель-

ность процесса напыления уменьшается. При этом прочность сцепления покрытия с подложкой относительно мала. С повышением тока до 350 А и более длина и диаметр факела дуги возрастают. Одновременно с этим увеличиваются уровень разбрзгивания электродного металла и степень окисления поверхности напыленного материала.

Качество напыляемого покрытия существенно зависит также от давления воздуха и дистанции напыления. При малых значениях давления воздуха (0,1...0,2 МПа) образуются покрытия, металл которых отличается крупнозернистой структурой (рис. 4, а). С увеличением давления воздуха до 0,4 МПа размер зерна уменьшается (рис. 4, б). В обоих случаях матричной фазой в структуре металла покрытия является твердый раствор хрома в α -либо γ -железе. В структуре покрытия формируется карбидная фаза, заметно повышающая его твердость [3]. При дистанции напыления до 150 мм частицы расплавленного электродного металла достигают поверхности подложки, способствуя образованию плотных покрытий, отличающихся прочным сцеплением. При дистанции напыления более 200 мм возможно переохлаждение частиц напыляемого материала и снижение прочности сцепления покрытия с основным металлом. Для каждого типоразмера напыляемой детали требуются соответствующие параметры технологических режимов электродуговой металлизации. Дополнительно для повышения стабильности горения дуги в порошковую проволоку необходимо ввести небольшое количество легкоионизируемых соединений щелочных и щелочноземельных металлов [6]. Такие добавки позволяют производить электродуговую металлизацию на переменном токе и импульсной дугой.

Выводы

1. Температура воздушной струи при электродуговой металлизации повышается с увеличением тока дуги и давления воздуха. С увеличением дистанции напыления от 100 до 200 мм температура струи вдоль оси уменьшается с 900...1000 до 500...600 °C. При увеличении давления воздуха до 0,4 МПа высокотемпературный участок струи практически по всей ее длине уменьшается в 3...4 раза. При всех указанных условиях, чем ближе к соплу, тем резче градиент температур в периферийных слоях струи.

2. С увеличением дистанции напыления от 100 до 200 мм температура подложки из стали 09Г2 толщиной 3 мм уменьшается с 700 до 350 °C. Наибольшая толщина покрытия на подложке наблюдается по оси пятна нагрева. Чем больше значения тока дуги и время напыления, тем большая толщина покрытия.

1. Газотермические покрытия из порошковых материалов: Справочник / Ю. С. Борисов, Б. А. Харламов, С. А. Сидоренко и др. — Киев: Наук. думка, 1987. — 544 с.
2. Харламов Ю. А., Будагянц Н. А. Основы технологии восстановления и упрочнения деталей машин. — Луганск: Изд-во Восточноукр. нац. ун-та им. В. Даля, 2003. — Т. 1. — 496 с.
3. Структура и свойства покрытий на основе феррохрома и ферроалюминия, полученных электродуговой металлизацией.

- цией из порошковых проволок / А. Л. Борисова, И. В. Миль, Т. В. Кайда, А. Ш. Клейман // Автомат. сварка. — 1995. — № 6. — С. 3–6.
4. Экспериментальное исследование температуры плазменной струи / О. Б. Чевела, И. А. Морозов, В. Е. Логинов, Ю. К. Панцырев // Свароч. пр-во. — 1975. — № 10. — С. 1–3.
5. Агеев В. А., Бурякин А. В., Бувайло В. В. Комплект электродуговой металлизации КДМ-4М // Там же. — 2003. — № 4. — С. 43–48.
6. Воропай Н. М., Костенюк Н. И., Маркович С. И. Влияние лекоионизируемых добавок на характеристики процессов сварки в углекислом газе на переменном токе и импульсной дугой // Автомат. сварка. — 1998. — № 7. — С. 11–14.

The influence is considered of process modes of electric-arc metallizing on temperature distribution in an air jet and sprayed base. A method of temperature probing in individual sections of the jet and substrate at variation of arc current, air pressure and spraying distance is used. It is shown, that the temperature of the jet and substrate rises with increase in arc current and air pressure.

Поступила в редакцию 22.10.2003

ВЫСТАВКИ-ЯРМАРКИ

**«МЕТАЛЛУРГИЯ-2004», «СВАРКА», «РОСМАШ», «АВТОМАТИЗАЦИЯ»
(19–22 ОКТЯБРЯ 2004 Г. НОВОКУЗНЕЦК КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ)**

ТЕМАТИЧЕСКИЕ РАЗДЕЛЫ

- Технологии и оборудование для предприятий металлургической, машиностроительной и металлообрабатывающей промышленности
- Черные, цветные, редкоземельные и драгоценные металлы. Сплавы. Заготовка. Прокат. Литье. Трубы. Проволока. Метизы. Штамповка. Канаты
- Руда. Концентрат. Окатыши. Кокс. Ферросплавы. Огнеупоры. Флюсы. Шихты
- Оборудование. Машины. Станки. Оснастка. Малая механизация
- Продукция производственно-технического назначения. Приспособления. Инструмент
- Металлоконструкции. Технологии и оборудование для изготовления металлоконструкций. Проектирование и строительство металлургических предприятий, шахт, рудников, мостов и других промышленных и гражданских зданий и сооружений
- Сварка. Сварочное оборудование. Технологии и сварочные материалы. Средства и оборудование контроля
- Электротехническое оборудование промышленного назначения. Электроосветительные приборы
- Продукция машиностроения для всех отраслей промышленности
- Продукция машиностроения для населения
- Технологии, оборудование, машины, механизмы, станки, агрегаты, автоматы
- Художественное литье, ковка, штамповка, чеканка, роспись по металлу
- Спецодежда и средства защиты
- Автоматизированные системы и технические средства управления производством и технологическими процессами
- Промышленные контроллеры
- Системы контроля, регулирования и управления
- Промышленная автоматизация. Роботы. Манипуляторы. Периферийное оборудование. Лазерная техника
- Обеспечение и контроль качества
- Информационные технологии и программное обеспечение: системы CAD/CAM, базовые системы и средства разработки программ, инжиниринг, услуги и сервис

НАУЧНАЯ ПРОГРАММА ВЫСТАВОК-ЯРМАРОК:

- ✓ Всероссийская научно-практическая конференция «Металлургия: реорганизация, управление, инновация и качество»;
- ✓ Научно-практические семинары: «Новые материалы для металлургии и машиностроения»; «Сварочное оборудование, технологии, методы, контроль и управление качеством»; «Автоматизация управления металлургическими процессами»;
- ✓ Круглые столы
- ✓ Конкурс на лучший экспонат выставки
- ✓ Презентации предприятий и фирм
- ✓ Посещение промышленных предприятий

По вопросам участия в выставке просьба обращаться по
тел./факс: (3843) 46-63-72, 46-63-73 E-mail: metal@kuzbass-fair.ru



ПОВЫШЕНИЕ ВЫНОСЛИВОСТИ МЕТАЛЛА СВАРНОГО ШВА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАФИНИРОВАННОГО КОМПЛЕКСНОГО ФЕРРОСПЛАВА В ПОКРЫТИИ ЭЛЕКТРОДОВ УОНИ-13/55

В. С. ПОПОВ, д-р техн. наук, **И. М. БИЛОНICK**, канд. техн. наук, **С. П. БЕРЕЖНЫЙ**, **М. В. СИДОРЕНКО**, инженеры
(Запорож. нац. техн. ун-т),
А. А. СЕЛЕЗНЕВ, **В. В. ПОПОВ**, инженеры (ОАО «Южцветметгазоочистка», г. Запорожье)

Показано, что применение комплексного ферросплава взамен традиционных ферросплавов-раскислителей в покрытии электродов приводит к снижению содержания неметаллических включений в малоуглеродистом металле шва, повышению уровня его кратковременных механических свойств и предела выносливости.

Ключевые слова: электрофильтры, механизм встряхивания, балка встряхивания, боек, наковальня, трещины, ферросплавы

На тепловых электростанциях, металлургических комбинатах и цементных заводах для очистки воздушного потока, запыленного взвешенными частицами, применяют осадительные электрические фильтры. Эффективность и длительность их эксплуатации в значительной мере зависят от работы механизма встряхивания, осуществляющего сброс осаждающихся на электроде частиц. Рабочими органами механизма встряхивания являются боек и наковальня.

Для сварки наковальни с балкой встряхивания используют электроды основного типа УОНИ-13/55, обеспечивающие получение наплавленного металла с максимальными для нелегированных сталей прочностными и пластическими свойствами. Тем не менее, в сварных швах, соединяющих наковальню с балкой встряхивания, обнаруживали трещины, располагающиеся преимущественно по металлу сварного шва (рис. 1). Сами по себе такие трещины не вызывают разрушения металлоконс-

трукций электрофильтра. Однако, поскольку балка встряхивания выполняет роль упругого волновода, их наличие приводит к увеличению диссипативных свойств материала и рассеиванию энергии ударного импульса.

Согласно работе [1] при усталостной трещине, охватывающей до 35 % сечения консольного двутавра, коэффициент поглощения энергии повышается в 5 раз. Следовательно, возникающие трещины повышают демпфирующие свойства металла сварных швов, в результате чего стряхивание уловленных на осадительном электроде частиц осуществляется недостаточно эффективно, что снижает степень очистки пылегазового потока. Происходит налипание пыли на электродах, увеличение массы приводит к прогибанию несущих конструкций и преждевременному выходу из строя всего фильтра.

Целью настоящей работы являются исследование причин появления трещин в местах сварки наковален с балкой встряхивания и разработка мероприятий, исключающих их возникновение и повышающих выносливость металла сварного шва.

За время работы балки встряхивания (5–7 лет) она должна выдержать в зависимости от интенсивности встряхивания от $2 \cdot 10^5$ до $1 \cdot 10^6$ циклов

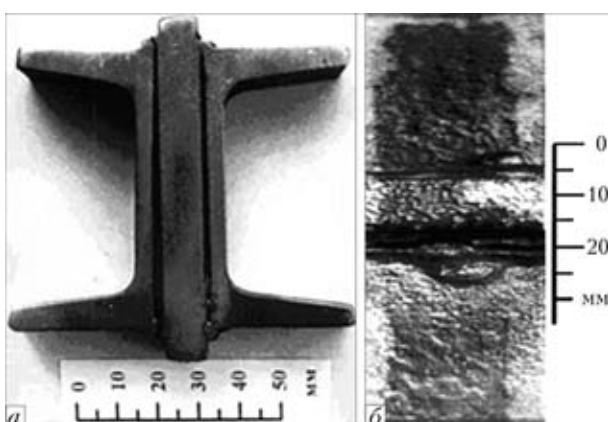


Рис. 1. Трещины в металле сварного шва, выполненного электродами УОНИ-13/55, в местах приварки наковален к балке встряхивания, обнаруженные в процессе ремонта: *а* — поперечное сечение балки; *б* — то же, вид сверху

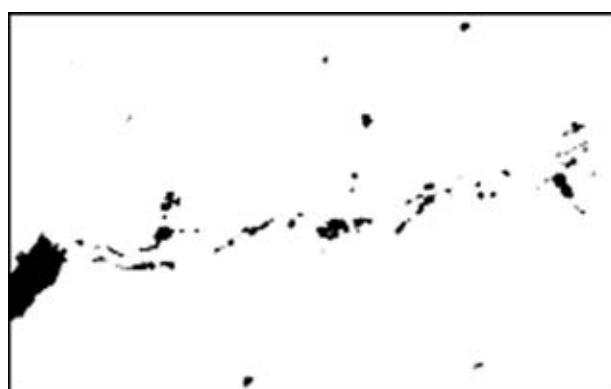
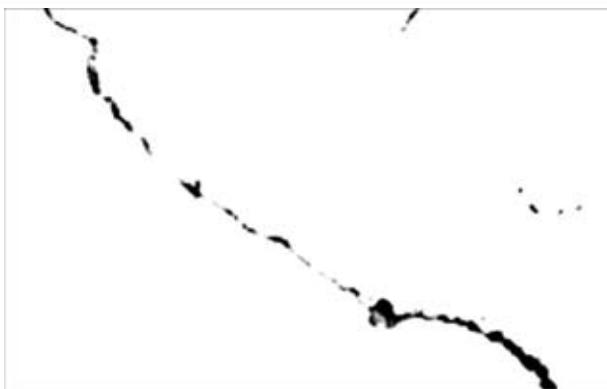


Рис. 2. Серия микротрещин в районе расположения неметаллических включений в металле сварного шва, $\times 420$

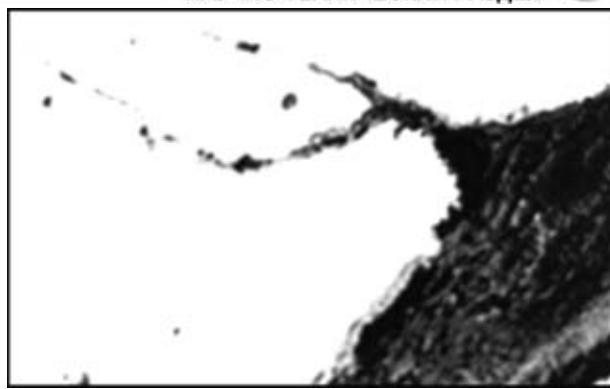
Рис. 3. Трещина, проходящая через экзогенные включения, $\times 420$

нагружения [2]. Исследование металла сварных швов в местах соединения наковален с балкой после окончания срока эксплуатации показало, что появление микротрещин происходит в районах скопления неметаллических включений (рис. 2). В условиях упругой деформации металла шва при передаче ударного импульса включения произвольной формы размером 1...20 мкм провоцируют в сварных швах возникновение и дальнейший рост трещин. Магистральные и ответвляющиеся трещины наиболее часто проходят по включениям типа тиалита ($\text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{TiO}_2$), геленита ($\text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{SiO}_2$) и перовскита ($\text{CaO} \times \text{TiO}_2$) (рис. 3, 4).

Количество неметаллических включений в металле шва значительно больше, чем в основном металле и сварочной проволоке. Включения в металле шва являются не только продуктом раскисления в процессе сварки, но и следствием загрязнения шихтовых материалов, особенно ферросплавов в составе покрытия электродов. В покрытии электродов УОНИ-13/55 используют ферросилиций ФС-45, ферромарганец ФМн-1,0 и ферротитан ФТи30А.

В работе [3] показано, что при замене в покрытии электродов УОНИ-13/55 ферросплавов промышленного производства комплексным рафинированием ферросплавом электрошлаковой выплавки в наплавленном металле снижается содержание примесей и неметаллических включений типа тиалита, геленита, перовскита и корунда. Уменьшение содержания неметаллических включений достигает 36 %, а тугоплавких, включающих оксид алюминия, — 50 %. При этом происходит формирование преимущественно глобулярных включений [4], что в меньшей мере влияет на снижение прочностных и пластических характеристик наплавленного металла. Однако полученные при кратковременных статических испытаниях даже сравнительно высокие показатели механических свойств металла сварного шва еще не являются гарантией надежности работы сварных швов в конструкциях, подверженных ударным и знакопеременным нагрузкам в течение требуемого срока эксплуатации. При интенсивной ударной нагрузке решающим фактором, определяющим прочность и надежность сварного соединения, является сопротивление усталостному разрушению.

Положительное влияние рафинирования металла при электрошлаковом процессе на его плас-

Рис. 4. Ответвление микротрещины по неметаллическим включениям в металле сварного шва, $\times 420$

тические свойства и предел усталости описано в работах [5–7]. Для проверки выносливости металла, наплавленного электродами УОНИ-13/55, в покрытии которых использовали рафинированный электрошлаковым способом комплексный ферросплав [3], выполнены сравнительные испытания на выносливость металла сварного шва при симметричном нагружении. Исследования проводили на стыковых сварных образцах из стали СтЗсп размером 23×150 мм, толщиной 5 мм с центральным отверстием 7 мм, сваренных промышленными электродами УОНИ-13/55 с раздельным введением ферросплавов в покрытие электродов и опытными электродами УОНИ-13/55, в покрытии которых использовали комплексный ферросплав электрошлаковой выплавки. Образцы для сварки вырезали вдоль направления проката. Пластины сваривали двусторонним швом в кондукторе электродами диаметром 4 мм при токе 160...180 А и напряжении на дуге 24...26 В. Усиление термически не обработанных сварных соединений зачищали заподлицо с основным металлом.

Пределы выносливости образцов (рис. 5) определяли в динамической лаборатории Запорожского национального технического университета на установке осевого циклического нагружения. Частота нагружения составляла 20...22 Гц, а точность поддержания амплитуды нагружения — 3 %. Построение левой ветви кривой усталости производили по методу наименьших квадратов. Среднеквадра-

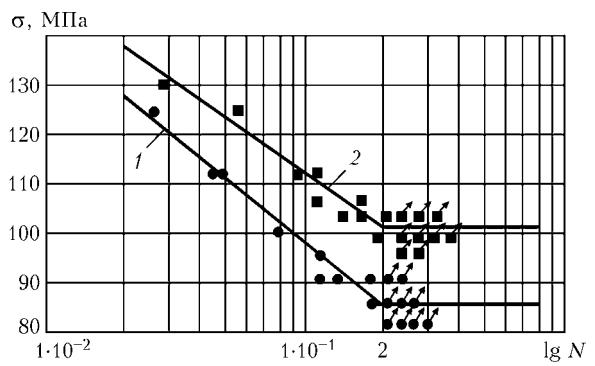


Рис. 5. Результаты испытания на выносливость металла сварного шва, выполненного электродами УОНИ-13/55: 1 — сварное соединение, выполненное электродами с раздельным введением в покрытие ферромарганца, ферросилиция и ферротитана; 2 — сварное соединение, выполненное электродами с введением в покрытие комплексного ферросплава электрошлаковой выплавки



тичное отклонение логарифма долговечности для образцов, сваренных электродами с раздельным введением ферросплавов и с комплексным ферросплавом электрошлаковой выплавки, равнялось соответственно 0,044 и 0,040.

Во всем диапазоне изменения нагрузок сопротивление усталости металла, наплавленного электродами с комплексным ферросплавом электрошлаковой выплавки выше, чем электродами с раздельным введением ферросплавов. С увеличением количества циклов нагружения эта разница в значениях предела усталости закономерно увеличивается в пользу сварных швов, выполненных электродами с комплексным ферросплавом в покрытии.

Пределы выносливости определяли по методике, приведенной в работе [8]. Шаг нагрузки составлял 4 МПа. Предел выносливости металла σ_{-1} , наплавленного промышленными электродами с раздельным введением ферросплавов, составил $(86,9 \pm 3,1)$ МПа, а среднеквадратичное отклонение $S_{\sigma_{-1}}$ – 3,36. Для образцов металла, наплавленного опытными электродами с комплексным ферросплавом электрошлаковой выплавки, предел выносливости достигал $(100,7 \pm 3,4)$ МПа, а среднеквадратичное отклонение – 3,25. Доверительные интервалы получены для вероятности разрушения, равной 95 %. Таким образом, применение комплексного ферросплава электрошлаковой выплавки в покрытии электродов УОНИ-13/55 обеспечивает повышение предела выносливости наплавленного металла на 16 %.

Оценка стабильности полученных свойств произведена по коэффициенту вариации среднего значения предела выносливости $\bar{S}_{\sigma_{-1}}/\sigma_{-1}$, характеризующего рассеяние показателей, который для металла шва электродов УОНИ-13/55 с раздельным введением ферросплавов в покрытие электродов оказался равным 0,04 и 0,033 – для электродов с комплексным ферросплавом электрошлаковой выплавки. Таким образом, при использовании комплексного ферросплава в покрытии электродов УОНИ-13/55 в 1,2 раза снижается рассеяние показателей предела выносливости наплавленного металла.

Способность металла сварных швов наковальня–балка встрихивания противостоять ударным нагрузкам в условиях работы встрихивающих устройств электрофильтров оценивали по результатам испытаний натурных деталей, установленных на специальном ударном стенде, разработанном

совместно кафедрой оборудования и технологии сварочного производства Запорожского национального технического университета и ОАО «Южвестметгазоочистка». Стенд имитирует реальные энергетические параметры ударной нагрузки, которую воспринимает балка встрихивания электрического фильтра.

Испытания на базе $1 \cdot 10^6$ циклов натурных моделей на ударном стенде показали, что в 18 % сварных швов, выполненных электродами УОНИ-13/55 с раздельным введением ферросплавов, визуально зафиксированы трещины, которые зарождались в области корня шва и развивались по наплавленному металлу. В сварных швах, выполненных опытными электродами с комплексным ферросплавом в покрытии, после $1 \cdot 10^6$ циклов испытаний визуально трещины не обнаружены.

Таким образом, при замене всех ферросплавов в покрытии электродов УОНИ-13/55 комплексным рафинированным ферросплавом электрошлаковой выплавки в результате уменьшения содержания неметаллических включений в металле сварного шва происходит повышение не только кратковременных механических свойств, определяемых при испытании металла, наплавленного такими электродами, но и предел выносливости металла сварного шва в процессе длительной эксплуатации при циклическом и ударном нагружении.

1. Бовсуновский А. П. К вопросу о механизме рассеивания энергии в трещине усталости // Пробл. прочности. – 2002. – № 5. – С. 80–99.
2. Электрофильтры в цветной металлургии / М. И. Биргер, А. Е. Гончаров, Г. М. Гордон, А. А. Гурвиц / Под ред. А. А. Гурвица. – М.: Металлургия, 1982. – 136 с.
3. Влияние состава ферросплавов на содержание и форму неметаллических включений в металле, наплавленном электродами УОНИ-13/55 / В. С. Попов, И. М. Бilonik, С. П. Бережный, В. П. Пирожкова // Автомат. сварка. – 2000. – № 8. – С. 23–25.
4. Попов В. С., Бilonik I. M., Berежний C. P. Зниження вмісту шкідливих домішок у металі шва при використанні комплексного розкислювача в покритті зварювальних електродів // Матеріалознавство та оброб. металів. – 2000. – № 3. – С. 58–61.
5. Электрошлаковый металл / Под ред. Б. Е. Патона, Б. И. Медовара. – Киев: Наук. думка, 1981. – 680 с.
6. Усталость и хрупкость металлических материалов / В. С. Иванов, С. Е. Гуревич, И. М. Копьев, В. Г. Кудряшов. – М.: Наука, 1968. – 216 с.
7. Догаева В. А., Георгиев Н. М., Анучкин М. Н. Влияние рафинирования жидким синтетическим шлаком на вязкие свойства низколегированной строительной стали // Металлурд. и терм. обраб. металлов. – 1966. – № 11. – С. 17–20.
8. Степнов М. Н. Статистическая обработка результатов механических испытаний. – М.: Машиностроение, 1972. – 232 с.

It is shown that a complex ferroalloy used instead of traditional ferroalloys, i.e. deoxidisers, in electrode coverings leads to decrease in the content of non-metallic inclusions in low-carbon weld metal, increase in its short-time mechanical properties and fatigue limit.

Поступила в редакцию 24.10.2003,
в окончательном варианте 09.02.2004

УДК 621.791.75(204.1)

СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ ПОД ВОДОЙ ПОРОШКОВЫМИ ПРОВОЛОКАМИ

В. Я. КОНОНЕНКО («Экотехнология», г. Киев), **А. О. КОРСУН**, кандидаты техн. наук

Изучено влияние содержания никеля на механические свойства соединений, полученных мокрой сваркой под водой самозащитными порошковыми проволоками. Установлено, что введение никеля повышает механические свойства металла швов. Исследования состава неметаллических включений позволили установить отсутствие в некоторых из них адгезионной связи между неметаллическим включением и ферритной матрицей. Это объясняется повышением концентрации водорода, который в процессе формирования структуры собирается на границе неметаллического включения и матрицы. Наличие таких «ловушек» может снижать скорость массопереноса водорода при сварке под водой. Установлено, что при массовой доле никеля более 1,2 % формируется смешанная ферритная структура металла швов с химической микронеоднородностью.

Ключевые слова: мокрая сварка, порошковые проволоки, механические свойства, неметаллические включения, структура металла швов

Известно, что металл в процессе формирования швов, выполненных мокрой сваркой под водой плавящимся электродом, подвергается следующим воздействиям окружающей среды: интенсивному охлаждению (в 2–9 раз выше чем при сварке на воздухе [1–5]), высокой концентрации в парогазовом пузыре кислорода и водорода [6, 7], повышенному давлению, переходу в металл солей, растворенных в воде при испарении последней в реакционной зоне.

Если интенсивное охлаждение способствует упрочнению металла швов, выполненных мокрой сваркой под водой, то благодаря высокой концентрации кислорода в реакционной зоне происходит практически полное выгорание основных легирующих элементов (углерода, кремния, марганца) [6–8]. В этих условиях повышение механических и пластических свойств металла соединений может быть достигнуто путем правильного выбора системы легирования.

Одним из элементов, успешно применяемых для легирования ряда сталей, является никель [9]. Благодаря его введению увеличивается прочность межатомных связей в кристаллической решетке железа. Он также способствует ослаблению связи углерода в решетке аустенита и увеличивает его коэффициент диффузии [9]. При легировании стали никелем понижается ее склонность к хрупкому разрушению [10].

Известны примеры легирования металла швов никелем при создании самозащитных порошковых проволок для мокрой сварки под водой [11–13]. Никель использовали в системе легирования порошковой проволоки ППС-АН5 [12]. Однако при сварке этой проволокой сталей 09Г2 и 09Г2С наблюдали снижение пластических свойств металла швов.

Цель настоящей работы — установление влияния никеля на механические свойства и структуру

металла соединений низколегированных сталей, полученных в условиях сварки под водой порошковыми проволоками с системой легирования Mn-Al-Ce-Ni.

При проведении эксперимента предполагалось выполнить сварку тремя порошковыми проволоками рутового типа (аналог ППС-АН5), в состав которых последовательно вводили 0,8, 1,2 и 1,6 мас. % Ni за счет уменьшения содержания железного порошка. Массовую долю остальных шлакообразующих и легирующих компонентов не изменяли. Порошковые проволоки были изготовлены в лабораторных условиях. Коэффициент их заполнения составлял 31...33 %, диаметр — 1,6 мм. В нижнем положении на глубине 0,6 м в пресной воде этими проволоками на рекомендованных режимах были выполненыстыковые соединения. При этом использовали источник питания дуги АСУМ-400 с жесткой внешней вольт-амперной характеристикой. Общая длина сварочной цепи сечением 70 мм² составляла 80 м. Основным металлом являлась сталь 09Г2 (0,093 % C; 1,48 % Mn; 0,27 % Si; 0,025 % S; 0,027 % P) толщиной 12 мм. Из полученных стыковых соединений были вырезаны по восемь продольно расположенных пятикратных образцов (диаметр их рабочей части составлял 3 мм) для испытания металла швов на разрыв, а также поперечные шлифы. Испытание образцов на растяжение до разрушения выполняли на жестких разрывных машинах УММ-5 и «Instron-1250».

Таблица 1. Содержание легирующих элементов (мас. %) в металле швов, полученное с помощью локального спектрального анализа

Номер эксперимента	Массовая доля никеля в шихте, %	Fe	Mn	Ni	S
938	0,8	99,16	0,193	0,515	0,120
939	1,2	98,70	0,173	0,913	0,210
940	1,6	98,05	0,228	1,536	0,088

Примечание. Массовая доля кремния в металле швов составляет 0,01...0,02 %; алюминий и церий — следы.



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Таблица 2. Влияние температуры на механические свойства металла швов, полученных сваркой под водой порошковыми проволоками с различным содержанием никеля

$T, ^\circ\text{C}$	$\sigma_{0,2}, \text{МПа}$	$\sigma_b, \text{МПа}$	$\delta, \%$	$\psi, \%$
<i>Массовая доля никеля 0,8 %</i>				
+20	373	451	14,2	46,2
-60	430	521	16,5	55,1
-120	572	603	11,1	60,3
-160	631	634	9,8	59,9
-170	634	642	7,4	40,2
-180	722	724	7,9	12,9
-196	713	713	0,2	0,7
<i>Массовая доля никеля 1,2 %</i>				
+20	375	458	12,5	31,1
-60	416	515	15,5	49,6
-120	560	606	13,9	61,6
-160	639	668	9,3	45,2
-170	651	656	2,3	11,6
-180	722	724	5,8	6,6
-196	713	723	0,2	0,7
<i>Массовая доля никеля 1,6 %</i>				
+20	378	464	7,2	27,2
-50	416	515	21,3	41,7
-120	475	557	15,4	51,5
-170	662	679	8,4	46,7
-180	682	693	4,3	24,3
-185	713	719	6,3	36,0

(фирма «Instron», Великобритания), оснащенных специально разработанными приставками, позволяющими терmostатировать образцы при температуре от -196 до +20 °C. В процессе испытания на растяжение диаграммы записываются в координатах усилие–время. Благодаря обработке диаграмм нагрузления и замерам сечения образцов до и после разрушения были определены условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, временное сопротивление σ_b , а также относительное поперечное сужение ψ . Анализ микроструктуры металла швов и изломов осуществляли с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ) JSM-840 (фирма «Jeol», Япония) и просвечивающего электронного микроскопа (ПЭМ) «JEM-200cx» (фирма «Jeol», Япо-

ния). Микроанализ выполняли на спектральных и энергодисперсионных спектрометрах, которыми оснащен РЭМ «Superprobe-733» (фирма «Jeol», Япония). Распределение элементов на поверхности образцов анализировали с помощью программы «Digimap». Концентрацию водорода определяли на масс-спектрометре «XAS-2000» (фирма «Riber», Франция).

Результаты локального спектрального анализа металла швов приведены в табл. 1, а результаты механических испытаний образцов — в табл. 2.

Из данных табл. 1 следует, что весь введенный в состав проволоки никель переходит в металл шва.

Анализ данных, приведенных в табл. 2, показал, что с увеличением содержания никеля в металле швов наблюдается улучшение прочностных свойств металла швов, однако его пластические свойства при этом несколько ухудшаются.

Проведен металлографический анализ структуры металла швов с различным содержанием никеля. Определено, что введение никеля, помимо измельчения ферритного зерна (рис. 1, *a*, *b* и *c*, *d*, *e*) приводит также к увеличению объемной доли игольчатой структурной составляющей (рис. 1, *d*, *e*). Увеличение содержания никеля в швах способствует образованию определенной структурной неоднородности — областей с игольчатой ферритной структурой.

Анализ характера и распределения неметаллических включений (НВ) в металле швов показал, что большая часть НВ не связана с ферритной матрицей, а отделена от нее микрополостями, что хорошо видно на рис. 2. Это объясняется тем, что в пограничной области между НВ и матрицей резко уменьшается концентрационное содержание элементов (рис. 3).

Это подтверждается результатами исследований, проведенных на масс-спектрометре «XAS-2000». Установлено, что в структурных областях с повышенным содержанием НВ с микрополостями зафиксировано большее содержание водорода, чем

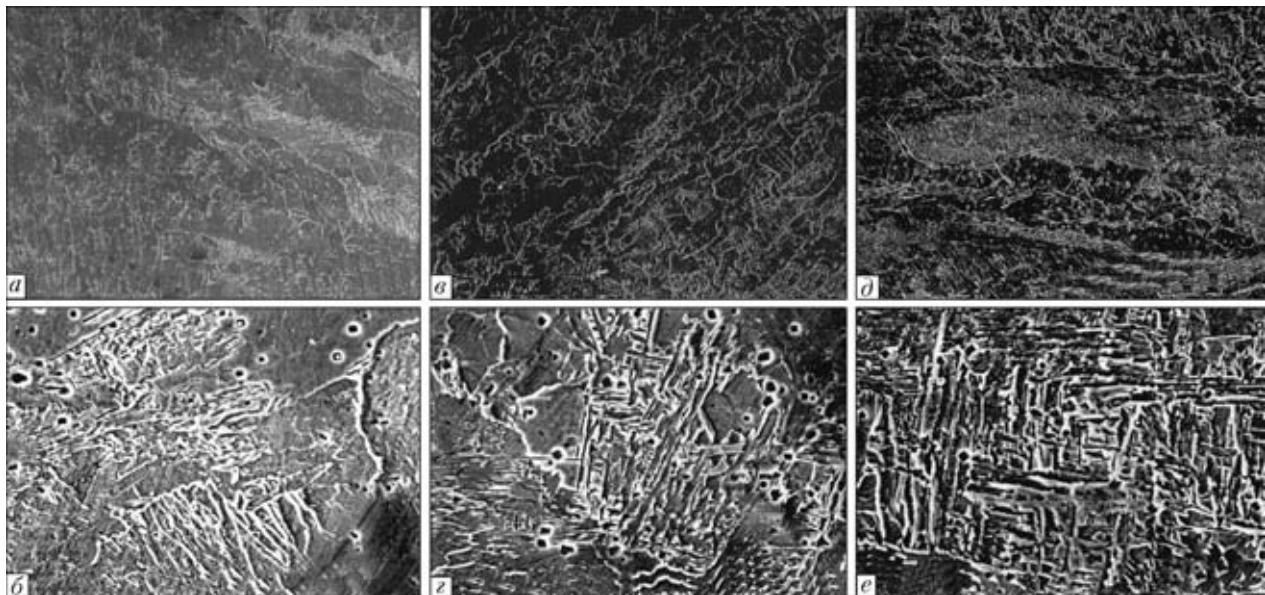


Рис. 1. Микроструктура (*a*, *b*, *c*, *d*, *e*, $\times 200$; *b*, *c*, *e*, $\times 1000$) металла швов с различным содержанием никеля: *a*, *b* — 0,5; *c*, *e* — 1,0; *d* — 1,5 мас. % Ni

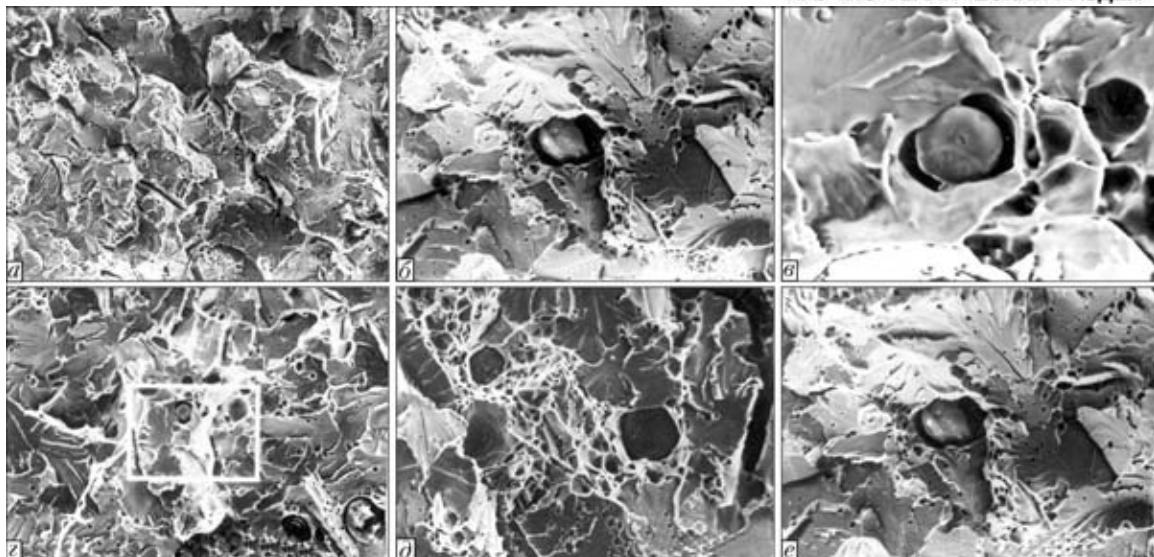


Рис. 2. Фрактографическая картина поверхности разрушения сварных швов, выполненных сваркой под водой: *a*, $\times 500$; *b*, $\times 1400$; *c*, $\times 5000$; *d*, $\times 1500$; *e*, $\times 1700$

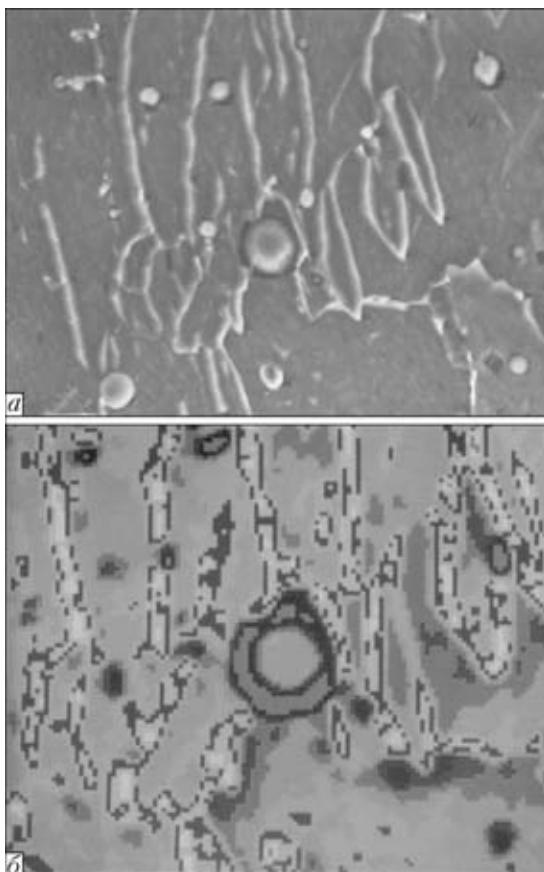


Рис. 3. Распределение никеля в металле шва, полученного по-рошковой проволокой с 1,5 мас. % Ni ($\times 4500$): *a* – исследуемая структура; *b* – концентрационная карта

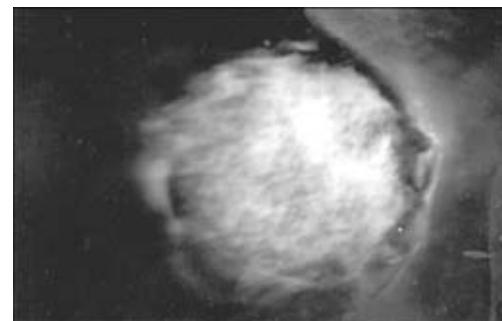


Рис. 4. НВ в матрице ферритного зерна, $\times 50000$

в структурных областях с меньшим содержанием НВ. Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод, что значительное количество НВ отделено от матрицы микрополостями, заполненными водородом. Такие «ловушки», как и при сварке на воздухе электродами рутилового типа, могут изменить скорость массопереноса водорода в металле швов [13]. С увеличением количества «ловушек» массоперенос в условиях мокрой сварки под водой замедляется.

Исследования НВ при больших увеличениях позволяют установить наличие по их краю структурных областей, отличающихся фазовым составом (рис. 4, 5). Наиболее вероятно, что это области осаждения серы.

Как следует из результатов анализа (рис. 6–8), структура металла швов состоит из ферритной матрицы и фазы с повышенным содержанием углерода.



Рис. 5. Светло- (*a*) и темнопольное (*b*, *c*) изображение ($\times 15000$) НВ в металле швов, выполненных сваркой под водой



Рис. 6. Дифракционные картины ($\times 55000$) матрицы (а), карбидной фазы (б) и структуры зерен (в) металла швов, выполненных сваркой под водой

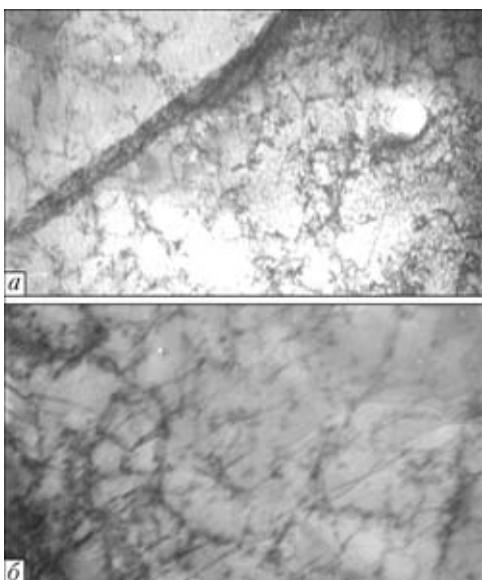


Рис. 7. Микроструктура зерен в металле швов, выполненных сваркой под водой: а, $\times 30000$; б, $\times 8000$

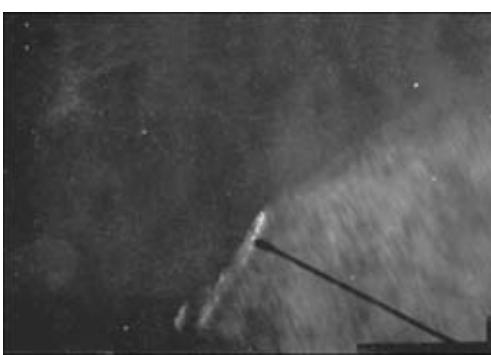


Рис. 8. Темнопольное изображение ($\times 55000$) карбидной фазы в структуре металла швов, выполненных сваркой под водой

Существенное влияние на форму ферритного зерна оказывает и характерное распределение по его телу основного легирующего элемента — никеля. На рис. 3, 9, 10 представлены зона анализа и характер распределения никеля между ферритными зернами различной формы. Как следует из экспериментальных результатов, приведенных на этих рисунках, при содержании никеля в швах более 1,2 % формируются ферритные зерна игольчатой формы.

Можно предположить, что наличие смешанной структуры в данном случае связано с химической микронеоднородностью распределения никеля. Так, в ферритных зернах игольчатой формы наблюдается увеличение его содержания, в полигон-

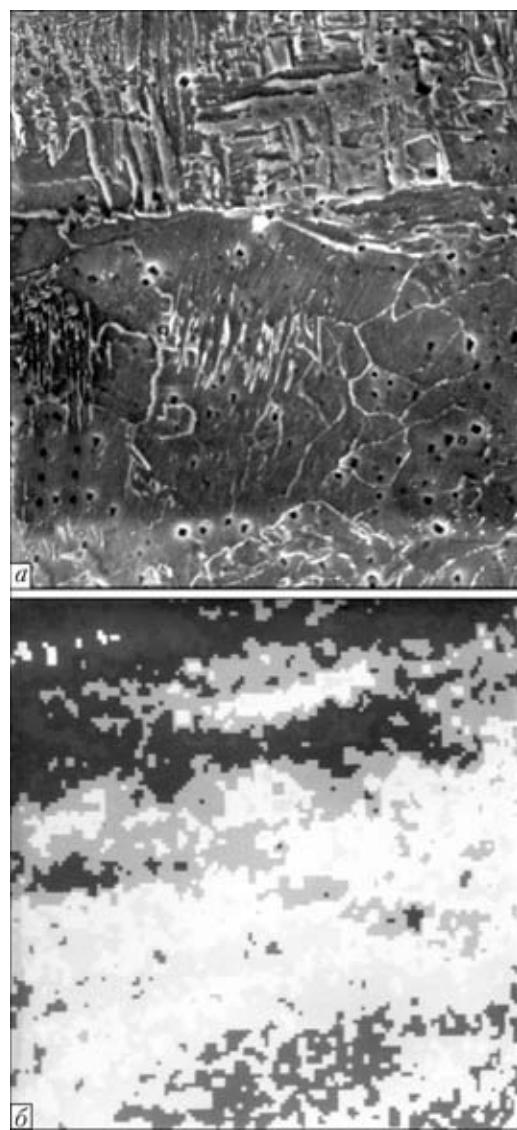


Рис. 9. Распределение никеля между ферритными зернами различной формы в металле швов, полученных при сварке под водой проволокой с 1,5 мас. % Ni: а, б — см. рис. 3

нальных ферритных зернах — наоборот, уменьшение.

Следовательно, для того чтобы обеспечить повышенные механические свойства соединений, полученных мокрой сваркой под водой, необходимо устраниТЬ или максимально уменьшить в структуре металла швов концентрационные перепады никеля. Это осуществимо за счет ограничения содержания

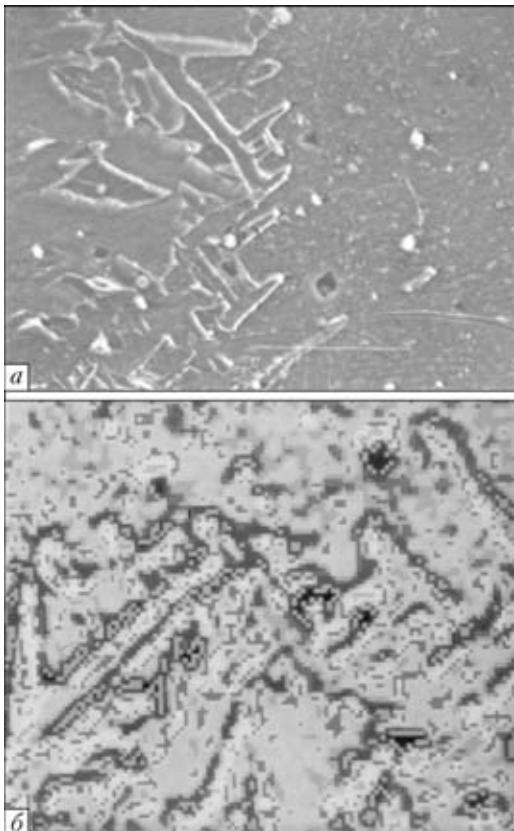


Рис. 10. Распределение никеля между игольчатым и полигональным ферритом в металле швов, полученных при сварке под водой проволокой с 1,5 мас. % Ni: а, б — см. рис. 3

последнего или повышения массовой доли марганца в наплавленном металле.

Выводы

- С увеличением содержания никеля возрастают прочностные показатели металла швов, выполненных сваркой под водой, а пластические свойства металла швов несколько снижаются.
- У некоторых НВ отсутствует адгезия между включением и матрицей, что, вероятно, вызвано повышенной концентрацией водорода, который собирается на границе НВ и матрицы. Наличие таких «ловушек» для водорода может снизить скорость

Effect of the content of nickel on mechanical properties of the joints produced by wet underwater welding using self-shielded flux-cored wire has been studied. As established, an addition of nickel improves mechanical properties of the weld metal. Investigations of the composition of non-metallic inclusions proved the absence of adhesion between an inclusion and matrix in some of them. This is related to increase in the concentration of hydrogen accumulated at the non-metallic inclusion - matrix interface during the structure formation process. The presence of such "traps" may decrease the rate of hydrogen mass transfer in underwater welding. It has been found that a mixed ferritic structure of the weld metal characterised by chemical heterogeneity is formed at a nickel content above 1.2 wt. %.

Поступила в редакцию 27.05.2003,
в окончательном варианте 02.06.2003

его массопереноса в процессе формирования сварных соединений при сварке под водой.

3. При содержании никеля более 1,2 мас. % формируется смешанная структура металла швов с химической микронеоднородностью. Уменьшить ее уровень можно путем изменения соотношения легирующих элементов.

- Савич И. М., Мельник Ю. П., Глухова Е. В.* Определение температуры капель электродного металла при сварке порошковой проволокой под водой // Автомат. сварка. — 1978. — № 9. — С. 12–14.
- Савич И. М., Конопенко В. Я., Гусаченко А. И.* Структура металла шва и околощовной зоны при сварке в воде различной солености // Там же. — 1984. — № 4. — С. 50–52.
- Hasui A., Suga Y.* On cooling of underwater welds // Trans. JWS. — 1980. — № 1. — P. 21–28.
- Yara H., Kikuta Y., Matsuda H.* The TRC test for high-strength steel in wet underwater welding // Ibid. — 1988. — № 1. — P. 75–80.
- Christensen N.* The metallurgy of underwater welding // Underwater welding: Proc. Intern. conf. (Trondheim, Norway, June 27–28, 1983). — Oxford: s. l., 1983. — P. 71–94.
- Конопенко В. Я.* Влияние электрических параметров дугового процесса при механизированной сварке под водой на состав парогазового пузыря и содержание в металле шва кислорода и водорода // Автомат. сварка. — 1993. — № 11. — С. 18–21.
- Конопенко В. Я.* Металлургические особенности сварки в водной среде порошковыми проволоками // Там же. — 1996. — № 9. — С. 22–26.
- Влияние скорости охлаждения на искажения кристаллической решетки металла при сварке под водой и на воздухе / И. М. Савич, Н. Л. Карета, А. А. Гришанов, В. Н. Сладкова // Там же. — 1982. — № 5. — С. 27–28.*
- Гольдштейн Я. Е.* Низколегированные стали в машиностроении. — М.: Машгиз, 1968. — 240 с.
- Георгиев М. Н.* Вязкость малоуглеродистых сталей. — М.: Металлургия, 1973. — 224 с.
- Аспис А. Е., Игнатченко А. А., Дьяченко Ю. В.* Меры снижения содержания водорода в зоне термического влияния при механизированной подводной сварке // Автомат. сварка. — 1983. — № 8. — С. 1–4.
- Конопенко В. Я.* Технология механизированной сварки в морской воде низколегированных сталей с G_t до 350 МПа самозадицными порошковыми проволоками: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Киев, 1987. — 17 с.
- Грецкий Ю. Я., Максимов С. Ю.* Влияние никеля на структуру и свойства швов при подводной сварке порошковой проволокой // Автомат. сварка. — 1995. — № 8. — С. 56–57.
- Походня И. К.* Проблемы сварки высокопрочных низколегированных сталей // Сучасне матеріалознавство: ХХІ сторіччя / Под ред. И. К. Походни. — Киев: Наук. думка, 1998. — С. 31–69.



ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ ПРИ РЕМОНТЕ КОРПУСА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ НА ОАО «КГМК «КРИВОРОЖСТАЛЬ»

Ю. Н. ЛАНКИН, д-р техн. наук, **В. Г. ТЮКАЛОВ**, А. А. МОСКАЛЕНКО, А. М. ГЕРАСИМЕНКО, инженеры,
В. А. КОВТУНЕНКО, **[О. П. БОНДАРЕНКО]**, кандидаты техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
Д. Ю. КУЗЬМЕНКО, **П. В. МАРЫШЕВ**, Г. Н. ЧАБАН, инженеры (ОАО «КГМК «Криворожсталь», г. Кривой Рог)

Приведены механические свойства металла сварного соединения стали 06Г2Б толщиной 45 мм, выполненного способом скоростной электрошлаковой сварки с дополнительным сопутствующим охлаждением. Обоснован выбор способа электрошлаковой сварки для укрупнения блоков и монтажа пояса неохлаждаемой части самонесущего кожуха при ремонте первого разряда доменной печи ДП-9 на ОАО «КГМК «Криворожсталь». Описана технологическая схема с применением нового монтажного аппарата для электрошлаковой сварки АД-381.

Ключевые слова: электрошлаковая сварка, кожух доменной печи, монтажный аппарат, экономнолегированная сталь 06Г2Б повышенной прочности

Крупнейшая в Европе доменная печь ДП-9 вместимостью 5 тыс. м³ ОАО «КГМК «Криворожсталь» введена в строй в 1974 г. Самонесущий кожух печи изготовлен из стали марки 16Г2АФ (ЧМТУ 1-349-68) класса 440 повышенной прочности с нитридным упрочнением толщиной 40 и 45 мм.

В процессе непрерывной эксплуатации в тяжелых специфических условиях в конструкциях печи накопились деформации, дефекты и повреждения, потребовавшие замены ряда участков. Для замены участков неохлаждаемой части кожуха выбран листовой прокат из качественной экономнолегированной малоперлитной стали повышенной прочности 06Г2Б (ТУ У 14-16-150-99), легированной микродобавками молибдена, ниобия, титана, алюминия. Сталь толщиной 45 мм имеет предел текучести не ниже 440 МПа.

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

торый характеризуется высокой устойчивостью протекания процесса. Это способствует получению сварных соединений стабильно повторяемого качества. К тому же, отсутствие повышенных требований к подготовке кромок, возможность использования стандартных сварочных материалов, высокие производительность и экономичность делают этот способ сварки наиболее приемлемым для выполнения протяженных вертикальныхстыковых соединений металла толщиной 30...60 мм, особенно при монтаже.

Поскольку сталь 06Г2Б использовали в строительстве впервые, необходимо было выбрать такой способ электрошлаковой сварки, который позволил бы получить требуемые свойства сварного соединения в монтажных условиях. Успешный опыт применения электрошлаковой сварки с дополнительным сопутствующим охлаждением высокопрочных сталей толщиной 40 мм [1-4] дал возможность рекомендовать этот способ для получения сварных соединений стали 06Г2Б повышенной прочности толщиной 45 мм. Для подтверждения правильности такого выбора в лабораторных условиях Института электросварки им. Е. О. Патона проведены исследования свойств металла сварных соединений. В качестве сварочных материалов использовали сварочную проволоку Св-10НМА (ГОСТ 2246-70) диаметром 3 мм и сварочный флюс АН-8 (ГОСТ 9087-69).

Таблица 1. Результаты испытания металла сварного соединения на растяжение

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

Примечание. Здесь и в табл. 2 в числителе указан разбег значений, в знаменателе — среднее.



Целью исследований было определение механических свойств металла шва и околошовной зоны (предела текучести, временного сопротивления, относительного удлинения после разрыва, ударной вязкости, способности металла сварного соединения воспринимать статический изгиб, прочности наиболее слабого участка при статическом растяжении), а также изучение макро- и микроструктуры металла сварного соединения.

Механические свойства металла сварного соединения стали 06Г2Б, выполненного электрошлаковой сваркой с сопутствующим охлаждением (табл. 1, 2), практически не уступают соответствующим свойствам основного металла.

Макро- и микроструктурный анализы показали отсутствие дефектов структуры, пор, трещин, непроваров, опасных закалочных структур и достаточно равномерное распределение твердости по металлу шва, зоны термического влияния и основному металлу.

В образцах металла сварного соединения, испытанных на статический изгиб (угол загиба 145°), трещины отсутствовали.

На основании проведенных исследований разработаны практические рекомендации по технике и технологии скоростной электрошлаковой сварки с дополнительным сопутствующим охлаждением стали марки 06Г2Б толщиной 45 мм при ремонте самонесущего кожуха доменной печи ДП-9 на ОАО «КГМК «Криворожсталь». Основные параметры режима следующие:

количество электродов, шт.	2
сварочный зазор, мм	24+2
сварочный ток, А	1200±100
скорость сварки, м/ч	4±0,5

Разработанная технологическая схема проведения ремонтных работ предусматривала размещение на монтажной площадке рядом с поддоменником спроектированного и изготовленного на КГМК «Криворожсталь» специализированного стенда для электрошлаковой сварки укрупненных монтажных блоков, оборудованного переставными стеллажами и лестницами для перемещения обслуживающего персонала. Три полотница размером 7000×2400 мм предварительно вальцевали по требуемому радиусу, а затем собирали на стенде в монтажный блок в вертикальном положении. Сборочный зазор фиксировали скобами, размещенными с внутренней вогнутой стороны, а сварочный аппарат перемещали по направляющей рейке – уголку, установленному с выпуклой стороны собранного монтажного блока. Входными и выходными планками при электрошлаковой сварке служили технологические припуски на полотницах, удаляемые при обрезке укрупненного до требуемых размеров монтажного блока. Обрезку технологических припусков заготовки производили способом газокислородной резки машинным резаком с использованием тележки сварочного аппарата.

На временном стенде на монтажной площадке производили контрольную сборку всех укрупненных блоков в соответствующий пояс кожуха печи. Положение отдельных блоков и всего собранного

Таблица 2. Ударная вязкость металла сварного соединения (образцы с круглым надрезом по Менаже)

Место расположения надреза	<i>KСU, Дж/см², при T, °C</i>	
	+20	-40
Шов	215,1...266,8 236,5	90,5...161,1 131,6
2,5 мм от линии сплавления	272,6...360,0 330,9	63,7...261,6 175,1
5 мм от линии сплавления	360,0...360,0 360,0	360,0...360,0 360,0
Основной металл	360,0...360,0 360,0	360,0...360,0 360,0

пояса как на стенде, так и затем на кожухе контролировали с помощью геодезических инструментов. После этого на кожухе доменной печи из пояса, подлежащего замене, вырезали фрагмент. Точность реза обеспечивали посредством применения механизированной резки машинным газокислородным резаком, установленным на тележке сварочного аппарата.

На место вырезанного фрагмента устанавливали соответствующий укрупненный блок, фиксировали его с помощью сборочных приспособлений и выполняли сварку верхнего и нижнего горизонтальных швов. Затем вырезали следующий фрагмент, устанавливали другой укрупненный блок, выполняли электрошлаковую сварку вертикального шва, соединяющего оба установленных монтажных блока. Далее производили сварку верхнего и нижнего швов, соединяющих второй укрупненный блок с кожухом. Затем вырезали еще один фрагмент пояса, устанавливали следующий укрупненный блок, выполняли электрошлаковую сварку шва, соединяю-



Рис. 1. Электрошлаковая сварка вертикального стыка монтажных блоков (вид с монтажной подвесной площадки, расположенной внутри кожуха домны)



Рис. 2. Новый двухэлектродный монтажный аппарат АД-381 для электрошлаковой сварки металла толщиной 30...60 мм

щего вновь установленный блок с предыдущим, а также сварку швов между блоком и кожухом. В таком порядке монтировали все девять укрупненных блоков и электрошлаковым способом сваривали все девять вертикальных швов.

Каждый укрупненный монтажный блок и демонтируемый элемент кожуха транспортировали монтажным краном через внутреннюю купольную часть печи. Технологическая схема предусматривала перемещение сварочного аппарата по внутренней поверхности корпуса. Причем направляющую рейку – уголок аппарата устанавливали на уже вваренном монтажном блоке. Это позволяло (в случае необходимости создания требуемого сборочного зазора) использовать тележку аппарата в качестве базы для газокислородного резака. Сборочный зазор под электрошлаковую сварку между монтажными блоками фиксировали сборочными скобами, установленными с наружной стороны корпуса. Сварочный аппарат, источники питания, кас-

сеты со сварочной проволокой размещали на подвесной площадке рядом со сварным швом внутри корпуса домны (рис. 1).

Для осуществления разработанной технологической схемы с учетом особенностей параметров режима сварки (скорость сварки повышена до 4 м/ч) создан новый монтажный аппарат для электрошлаковой сварки АД-381 (рис. 2) [5].

Качество всех сварных швов контролировали визуально-оптическим и ультразвуковым методами контроля. Места остановки и пересечений сварных швов дополнительно контролировали гаммографированием. Перед пуском печи в работу, согласно требованиям СНиП III-18-75, проведены испытания са- монесущего кожуха на прочность и плотность.

Таким образом, благодаря строгому соблюдению разработанной технологии в запланированные сроки осуществлена уникальная операция по замене отслужившего свой срок металла пояса кожуха домны новой высокопрочной экономнолегированной сталью марки 06Г2Б.

Все вертикальные укрупнительные и монтажныестыки выполняли скоростной электрошлаковой сваркой с дополнительным сопутствующим охлаждением. Суммарная протяженность этих швов составляла 140 м, т. е. примерно 60 % массы всего металла, наплавленного различными способами сварки при ремонте кожуха.

Успешно опробован в производственных условиях специализированный монтажный аппарат нового поколения для электрошлаковой сварки металла толщиной 30...60 мм.

Применение электрошлаковой сварки наряду с высокой производительностью процесса позволило получать требуемые свойства соединений.

1. Сварка высокопрочной стали 12ГН2МФАЮ / В. Ф. Мусииченко, Б. С. Касаткин, Л. И. Миходуй и др. // Автомат. сварка. – 1982. – № 5. – С. 47–50.
2. Выбор режима охлаждения при электрошлаковой сварке стали 14Х2ГМР / И. И. Сущук-Слюсаренко, В. М. Хрундже, И. И. Лычко и др. // Там же. – 1978. – № 7. – С. 43–45.
3. Электрошлаковая сварка стали 12ГН2МФАЮ толщиной 40 мм / И. И. Сущук-Слюсаренко, А. А. Москаленко, В. М. Хрундже, В. Г. Тюкалов // Там же. – 1983. – № 11. – С. 58–59.
4. Хакимов А. Н. Электрошлаковая сварка с регулированием термических циклов. – М.: Машиностроение, 1984. – 208 с.
5. Ковалев В. Д. Автомат АД-381 для электрошлаковой сварки с принудительным формированием вертикальных стыков // Сварщик. – 2003. – № 4. – С. 3.

Mechanical properties of metal of 45 mm thick 06G2B steel welded joint, made by high-speed electroslag welding with additional concurrent cooling are given. The choice of the electroslag welding method for enlargement of units and erection of girth of a non-cooled part of the self-bearing casing in repair of the first stage of blast furnace DP-9 at «KGMK «Krivorozhstal» is substantiated. The process flow diagram using the new apparatus AD-381 for site electroslag welding is described.

Поступила в редакцию 26.02.2004



УДК 621.791.052:539.3

УСТАЛОСТНЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ СВАРНЫХ КРАНОВЫХ МОСТОВ

О. А. ЕМЕЛЬЯНОВ, канд. техн. наук, **В. П. ШЕПОТЬКО**, **Ю. В. ПИХОТА**, **С. В. ЛУБЕНЕЦ**, инженеры
 (Донбас. гос. машиностроит. акад., г. Краматорск),
А. Г. БУРЕНКО, канд. техн. наук (АО «Новокраматор. машиностроит. з-д»)

Представлены результаты анализа усталостных повреждений сварных крановых мостов на 1500 кранах за последние 25 лет. Отмечена необходимость в пересмотре подходов к методам и принципам проектирования, изготовления и расчета сварных конструкций крановых мостов.

Ключевые слова: сварные конструкции, сварные мосты кранов, концентрация напряжений, переменные напряжения, вибрация, циклическая долговечность

С начала использования в краностроении сварочные технологии постоянно совершенствовались с целью повышения прочности и циклической долговечности сварных соединений.

Однако, как показали результаты диагностики, эти работы, выполненные в течение 50 лет, не всегда способствовали существенному увеличению долговечности сварных крановых мостов.

Сварные соединения на крановых мостах в процессе эксплуатации имеют значительно меньшее и весьма нестабильное сопротивление усталости, чем определенное в лабораторных условиях при испытании натурных образцов для тех же режимов нагружения.

Усталостные трещины обычно обнаружаются на всех участках сварных мостов, особенно там, где имеются приваренные к балкам различные конструктивные элементы или выполнены технологические вырезы в элементах для пропуска сварных швов (рис. 1–4).

В клепанных крановых мостах трещины могут появиться после длительного срока эксплуатации. Например, на АО «Новокраматорский машино-

строительный завод» до сих пор работают 150 кранов фирмы «Шкода» с клепанными мостами 1933–1935 гг. изготовления, на которых в процессе эксплуатации заменяли ходовые колеса, подшипниковые узлы, зубчатые передачи в редукторах приводов и различные узлы электрооборудования, но не было повреждений металлоконструкций мостов.

Краностроители на основании опыта эксплуатации клепанных и сварных мостов утверждают, что причинами зафиксированного снижения циклической долговечности сварных мостов могут быть только теплофизические и химико-металлургические воздействия на сварные изделия, в результате которых образуются местные различия химического состава, структуры и геометрической формы, приводящие к ухудшению механических свойств и увеличению концентрации напряжений, а также остаточных напряжений и пластических дефор-

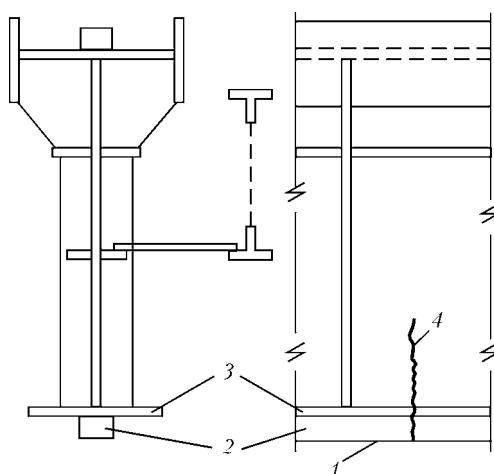


Рис. 1. Конструктивный концентратор напряжений, образованный незаваренным стыком брусьев (рельсов): 1 — узкий зазор между торцами брусьев 2; 3 — пояс балки; 4 — трещина в поясе

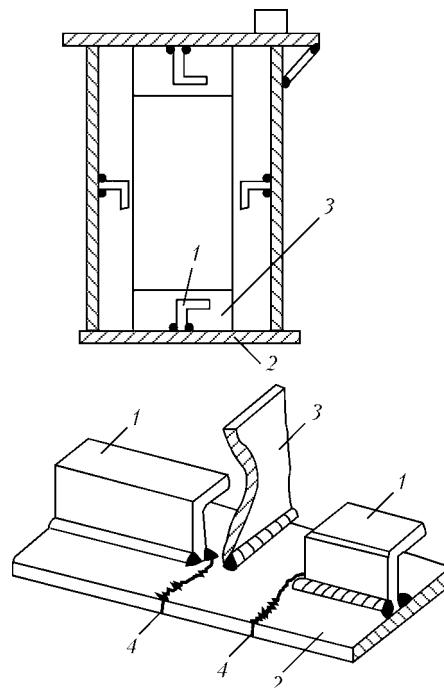


Рис. 2. Конструктивный концентратор напряжений, образованный приваркой продольного ребра 1 и элементов к нижнему поясу 2 диафрагмой 3 с относительно малым зазором между ними; 4 — трещины

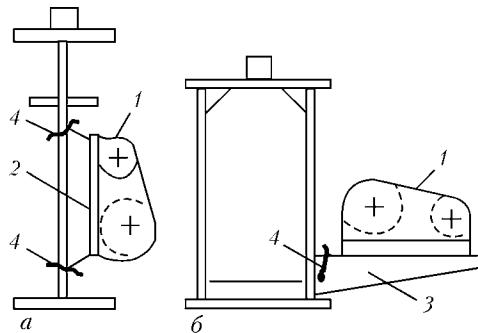


Рис. 3. Конструктивный концентратор напряжений, образованный прикреплением рамы (а) или кронштейна (б) к листу стенки главной балки: 1 — редуктор; 2 — рама; 3 — кронштейн; 4 — трещины

маций в околосшовной зоне. Поэтому проблема увеличения долговечности конструкций должна решаться специалистами-сварщиками.

Усталостные повреждения сварных крановых мостов, кроме коррозионных, достигают 100 % их преждевременных отказов и являются основным фактором, определяющим долговечность этих конструкций [1, 2].

Лаборатория технической диагностики Донбасской государственной машиностроительной академии (ДГМА) с 1978 г. проводит исследования по созданию рациональных сварных конструкций грузоподъемных сооружений. За прошедшие 25 лет диагностировано 1500 мостовых кранов. Установлено, что до 60 % обследованных машин имеют усталостные повреждения, образующиеся, как правило, в местах, где расчеты, выполненные по общепринятым методикам, и тензометрирование в условиях эксплуатации показывают низкий уровень напряжений от нагрузок, вызываемых подъемом-опусканием грузов и перемещением их тележкой по главным балкам, т. е. там, где их появление не прогнозировалось.

Причем повреждения растянутого наиболее нагруженного нижнего пояса главных балок обнаружены только в шести случаях и вызваны нерациональной конструкцией сварных узлов и расслоением листа поясов (рис. 1–3).

Причины повреждения мостов, согласно результатам анализа, заключались в наличии концентрации напряжений некоторых сварных соединений,

дефектов швов и в снижении пластичности стали, вызванном деформационным старением [1].

Исследования показали, что большинство сварных узлов на крановых мостах, где образовались усталостные трещины, подвержены действию циклических нагрузок от подъема-опускания груза и перемещения тележки с грузом, однако этих нагрузений до момента образования трещины было немного, и они не могли привести к разрушению.

Аналогичная ситуация наблюдается при эксплуатации пролетных строений железнодорожных мостов [3]. Чтобы выяснить причины усталостных повреждений сварных крановых мостов, необходимо объективно учитывать правомочность допущения, согласно которому циклическая долговечность крановых мостов может определяться только нагрузками, возникающими в процессе подъема-опускания груза и его перемещения тележкой по главным балкам мостов, т. е. нагрузками только от изменения уровня и места приложения сил массы груза и тележки.

В процессе проектирования крана следует принимать во внимание таких два критерия:

значение нормируемого прогиба главных балок на середине пролета (жесткость балок) при действии нагрузок от собственной массы и массы тележки с грузом;

допустимый уровень напряжений в балке.

Многочисленные расчеты на прочность подтверждают, что напряжения от переменной нагрузки на главных балках кранов общего назначения с грузоподъемностью от 5 до 50 т и пролетом от 10,5 до 34,5 м имеют асимметричный цикл с коэффициентом асимметрии $r = \sigma_{\min}/\sigma_{\max} = 0,2 \dots 0,4$. Обеспечение нормативной жесткости главных балок моста $[f] = L/k$, где f — допускаемый прогиб балки; L — пролет крана; $k = 600 \dots 700$ — коэффициент, зависящий от режима работы крана вызывает уменьшение значений нормальных напряжений в нижнем растянутом поясе балки до значений $\sigma = 110 \dots 120$ МПа. Предел выносливости $R_{0,25}$ при нагружении асимметричным циклом с коэффициентом асимметрии $r = 0,25$ на базе испытаний $N = 2 \cdot 10^6$ цикл равен 126 МПа [4] при условии, что сварное соединение стыковое, пересекаемое продольным швом. Такое соединение аналогично

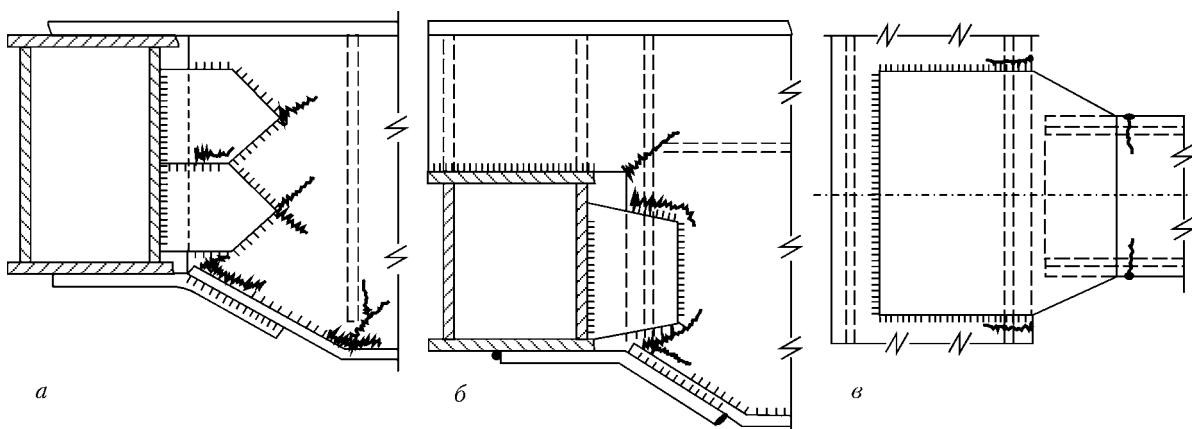


Рис. 4. Конструктивные концентраторы напряжений разных типов (а–с), образованные приваркой различных элементов и технологических вырезов; волнистыми линиями обозначены трещины



стыковому шву пояса, пересекаемому швом, прикрепляющим лист стенки к поясу, т. е. $\sigma_{\max} < R_{0,25}$, где $R_{0,25} = 126$ МПа — расчетное сопротивление усталости низкоуглеродистой стали.

Если допустить, что кран работает непрерывно круглый год и каждый цикл его равен 10 мин, то в течение года он выполнит $T = 360 \cdot 24 \cdot 60 / 10 = 51840$ цикл и до появления первой трещины должен работать $A = N/L = 2 \cdot 10^6 / 51840 = 39$ лет.

На практике подтверждается высокая циклическая долговечность наиболее нагруженных в среднем поперечном сечении главных балок мостовых кранов при подъеме—опускании и перемещении грузов тележкой, т. е. при действии основных напряжений.

Тогда возникает вопрос, как объяснить массовые усталостные повреждения других слабонагруженных мест конструкций?

В статье [3] высказано мнение о том, что в сварных конструкциях различного назначения, отвечающих требованиям ныне действующих норм проектирования и изготовления, усталостные трещины могут появиться даже на ранней стадии работы. Следовательно, имеются дополнительные, негативные факторы, снижающие сопротивление усталости сварных конструкций, которые не учитываются ныне действующими методиками и нормами проектирования.

К таким факторам прежде всего следует отнести нагрузки, вызывающие вторичные напряжения [1, 3], вибрацию конструкций и их отдельных элементов. В последние годы получены новые доказательства важности учета вибраций при проектировании сварных конструкций крановых мостов. Поэтому требуется коренной пересмотр подходов к методике и принципам проектирования, изготовления и расчетов сварных конструкций крановых мостов в части обеспечения их сопротивления усталости.

Целесообразность скорейшего решения этих проблем подтверждается результатами исследований, полученных ДГМА и другими научными организациями. Некоторые новые положения, установленные в ДГМА [1], приведены ниже:

место зарождения и конфигурация основной массы усталостных трещин свидетельствуют о том, что они образуются от действия нагрузок, вызываемых главным образом силовым взаимодействием колес крана с рельсами при его движении вдоль путей;

повреждения сварных мостов, как правило, происходят при интенсивном износе колесных реборд, вызываемом действием поперечных сил в контакте колесо—рельс при движении кранов, имеющих монтажный перекос ходовых колес в горизонтальной плоскости, т. е. когда силовое взаимодействие в контактах колесо—рельс инициирует высокочастотные нагрузки [1, 5];

поперечные нагрузки являются суммой двух (или нескольких) переменных сил, действующих на колеса крана как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях, и получаются наложением на

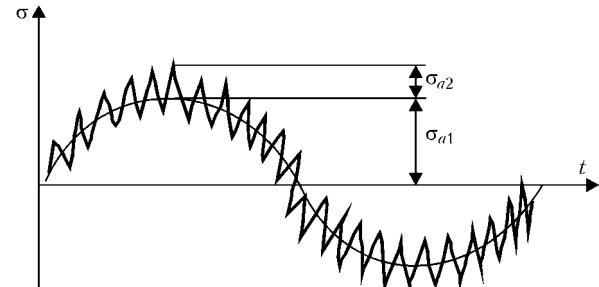


Рис. 5. Схема формы цикла при двухчастотном нагружении (σ_{a1} , σ_{a2} — амплитуды соответственно низко- и высокочастотных составляющих нагружений)

переменную составляющую (рис. 5) с низкой частотой и большой амплитудой высокочастотных составляющих с меньшими амплитудами [6, 7];

низкочастотная составляющая возбуждается при движении крана по рельсам, установленным с отклонениями по высоте. Уровни амплитуд низкочастотных составляющих прямо пропорциональны крутильной жесткости моста и разности отклонений рельсов по высоте в одном поперечном сечении пролета. Высокочастотные составляющие, действующие в горизонтальной плоскости, возбуждаются при качении колес, имеющих монтажный перекос в горизонтальной плоскости [6], а в вертикальной — при выполнении вверх и последующем срыве вниз колесных реборд по боковой грани рельсов [1];

причиной появления вибрации могут быть неудовлетворительные центровка и балансировка вращающихся деталей приводов, а также контакт зубьев колесных пар в редукторах;

циклическая долговечность сварного моста при действии двухчастотной (или поличастотной) нагрузки, получаемой наложением на переменную составляющую с низкой частотой и большой амплитудой высокочастотных составляющих с меньшими амплитудами, может существенно снизиться, если место источника вибрации (контакты колесо—рельс, редуктор), расположенного близко к сварному шву, подвержено действию низкочастотной составляющей (буксовые узлы концевых балок, места примыкания главных балок к концевым, монтажные швы концевых балок). Более подробно образование двухчастотных нагрузок на мостовых кранах изложено в работе [1].

Существует мнение, что образование трещин в описанных выше случаях может быть вызвано вторичными напряжениями, которые не учитываются в общепринятых методиках расчета конструкций на прочность [8]. Эти напряжения часто образуются в результате совместных деформаций элементов, входящих в сварной узел или конструкцию и имеющих различную жесткость. Как следует из статьи [3], сами по себе вторичные напряжения не могут привести к снижению циклической долговечности, но это снижение вполне объяснимо, если принять во внимание, что на вторичные низкочастотные накладываются более высокочастотные напряжения от вибрации элементов (рис. 6). Это суммарное воздействие двухчастотных (или поличастотных) нагрузений необходимо

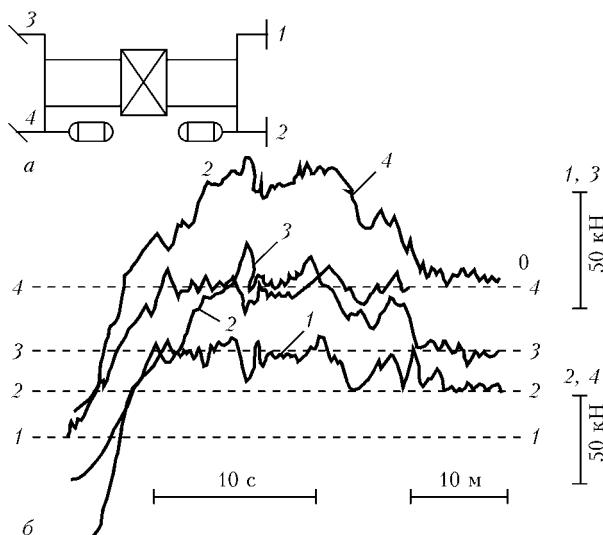


Рис. 6. Форма цикла поличастотного нагружения ходовых колес мостового крана: *а* — схема перекоса колес; *б* — осциллография нагрузок колес; 1—4 — номера колес

принять в целом как «единий вид внешнего воздействия».

Исследования причин усталостных повреждений атомных реакторов и корпусов подводных лодок также показали, что двух- и поличастотные (в общем случае) нагрузки [8] существенно снижают циклическую долговечность материалов и соединений.

Методы повышения сопротивления усталости сварных соединений и конструкций кранов можно разделить на три принципиально отличные группы: повышение сопротивления усталости местной обработкой сварных швов, рациональное конструктивное оформление сварных узлов и рациональное схемно-конструктивное решение крановых мостов в целом.

Первая группа методов. Подробно рассмотрена в работах [3, 6] и широко применяется в настоящее время для повышения сопротивления усталости сварных соединений. Основана на уменьшении концентрации напряжений в местах перехода металла шва к основному металлу, где чаще всего зарождаются усталостные трещины, либо на искусственном наведении остаточных напряжений сжатия в поверхностных слоях металла шва и околосшовной зоны.

Вторая группа методов. Детально рассмотрена в работах [1, 9, 10]. Основа методов — рациональное конструктивное оформление сварных узлов, входящих в мост крана. Позволяет обеспечить равномерную передачу силового потока в элементах конструкции моста, входящих в узел, т.е. устранить концентрацию напряжений конструктивным путем в пределах сварного узла и примыкающих к нему элементах, уменьшить влияние остаточных напряжений на сопротивление усталости сварных швов и узла в целом, устранить деформационное старение стали в сварных соединениях. Рациональность и достаточность применения их в конструкции при создании машин зависит от квалификации проектировщика, т. е. инженера-специ-

алиста по подъемно-транспортной технике, который должен иметь соответствующую подготовку.

Третья группа включает методы устранения факторов [1, 9], вызывающих усталостные повреждения сварного моста при его движении вдоль пролета, которые основаны на совершенствовании схемно-компоновочного решения моста и крана в целом с целью устраниить или существенно уменьшить размах сил реакций в контактах колесо-рельс, т. е. устраниить изменение усилий и напряжений в конструкции моста при движении крана по путям, имеющим отклонения от проектных размеров, а также возможность появления вибрации.

Выполненные в ДГМА исследования показали, что главный фактор, позволяющий предотвратить появление переменных усилий (и напряжений) в процессе движения крана, — это ходовые качества кранов.

При движении крана вдоль путей массовые нагрузки на мост по уровню и месту приложения не изменяются. Переменность нагрузления получается за счет размаха вертикальных опорных реакций, вызываемого в основном перемещением крана по путям, имеющим неровность по высоте, и изменения горизонтальных опорных реакций при качении колес, установленных с перекосом [1, 9]. Следовательно, нагруженность моста можно снизить путем выравнивания вертикальных и уменьшения горизонтальных опорных реакций. Все методы, позволяющие решить эту проблему, целесообразно назвать «повышением ходовых качеств кранов».

Под ходовыми качествами крана (грузовой тележки) понимается его способность выполнять подъемно-транспортные операции, передвигаясь вдоль путей без контакта реборд с боковыми гранями рельсов и пробуксовки приводных колес, иметь равные вертикальные нагрузки на колеса в пределах каждой концевой балки моста, минимальные боковые силы в контактах колесо-рельс и минимальные нагрузки от узлов привода передвижения крана на металлоконструкции моста.

Ходовые качества крана определяются вписываемостью его конструкции в пути подкрановой эстакады, способностью сохранить устойчивое прямолинейное движение без контакта реборд, не создавать (и не воспринимать) боковых горизонтальных сил на колеса, мост и подкрановый путь в процессе работы и движения.

Под вписываемостью крана в пути понимается его способность свободно передвигаться вдоль рельсов эстакады, установленных с отклонениями от номинальных проектных размеров в горизонтальной и вертикальной плоскостях, без контакта реборд с рельсами и перераспределения вертикальных нагрузок на колеса.

Анализ повреждений сварных крановых мостов показал следующие причины, не зависящие от сварки, но влияющие на ходовые качества и нагруженность при движении крана:

— рациональность схемно-компоновочного решения моста в целом, конструктивного оформления сварных узлов моста, конструкции приводов передвижения крана;

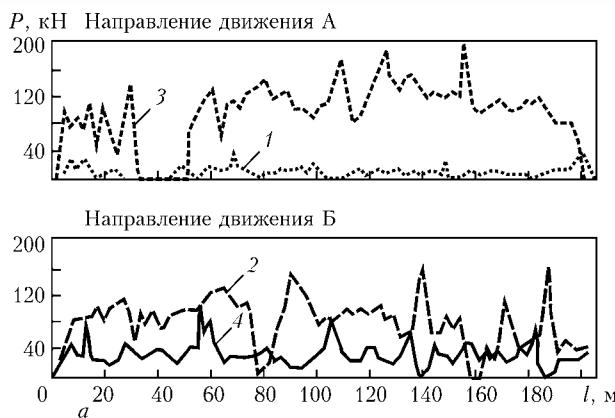


Рис. 7. Боковые нагрузки P на удерживающие ролики мостового крана: a — колеса с перекосом; b — перекос колес устранен; 1—4 — номера роликов; l — длина балки

жесткость депланации моста (депланация — деформация из плоскости рамы);

точность установки подкрановых путей, сборки моста крана и установки ходовых колес крана (тележки) в горизонтальной плоскости;

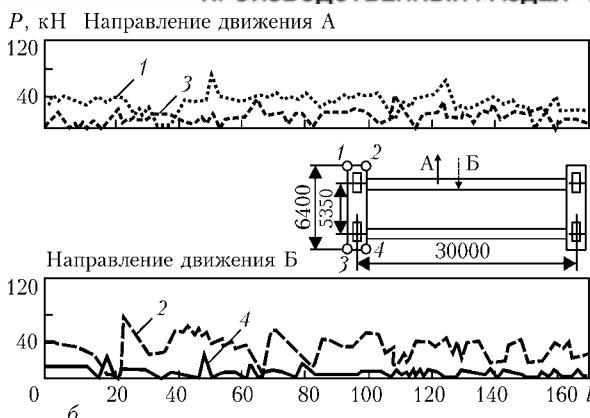
силы трения в контактах ходовое колесо—рельс, т. е. неголономность и нестационарность связей в кинематических парах колесо—рельс вследствие влияния упругого скольжения на их силовое взаимодействие;

вторичные напряжения;

силы упругости отдельных узлов и моста в целом, влияющие на возбуждение вибрации в кране, ее частоту и амплитуду;

качество наладки электрических схем приводов.

Перечисленные факторы при движении кранов способствуют появлению низкочастотной составляющей с большой амплитудой и вибрационных нагрузок, а в итоге, — к усталостным повреждениям в слабонагруженных местах. Их устранение существенно повышает циклическую долговечность моста, что свидетельствует о сравнительно слабом влиянии последствий сварки на сопротивление ус-



талости. В этой ситуации усталостная прочность определяется сугубо конструктивными недостатками, успешное устранение которых — пророгатива и широкое поле для деятельности специалистов по подъемно-транспортной технике.

Выше упоминались три метода повышения усталостной прочности сварных конструкций. Первый — обработка сварных швов — повышает сопротивляемость усталости металла самого шва и околосшовной зоны. Второй — конструктивный — повышает выносливость сварного узла более благоприятной передачей силового потока в его поперечных сечениях.

Оба этих метода являются пассивными, поскольку не влияют на общую нагруженность крана и подкрановой эстакады, а также на непроизводительные потери энергии, потребляемой на передвижение крана.

Третий — тоже конструктивный — снижает нагруженность моста и подкрановой эстакады при движении крана (рис. 7), а также непроизводительные потери энергии, снижает или устраивает размах ам-

Конструктивные формы главных балок

Стержневые (ферменные)	Листовые коробчатые	Листовые двутавровые
Главная 1 и вспомогательная 2 фермы, соединенные горизонтальными верхней 3 и нижней 4 фермами Две главные фермы 1 и 2, соединенные горизонтальными верхней 3 и нижней 4 фермами	С двумя сплошными стенками, с тормозной площадкой 1 или без нее С одной облегченной вырезами стенкой 1	Двутавровая балка 1 и вспомогательная ферма 2, соединенные горизонтальными фермами 3 и 4 Двутавровая балка 1 с развитыми верхним поясом и перильной фермой 2



плитуд усилий и напряжений в конструкции. Метод основан на улучшении ходовых качеств крана.

Рассмотрим нагруженность кранового моста в процессе работы.

Было показано, что обеспечение нормативной жесткости главных балок моста $[f] = L/k$, $k = 600 \dots 700$ за счет увеличения момента сопротивления изгибу вызовет уменьшение уровня нормальных напряжений в балке до значений $\sigma_{\max} < R_f = 126 \dots 161$ МПа.

Таким образом, наибольшие напряжения не превышают предела выносливости, определенного на базе $N = 2 \cdot 10^6$ цикл, при этом на мост действует только низкочастотная нагрузка с наибольшей амплитудой σ_{\max} . Опыт эксплуатации показывает, что работа механизмов подъема и передвижения тележки не возбуждает вибрации и не приводит к появлению двухчастотной нагрузки. Следовательно, нет причин для ускоренного появления усталостных повреждений от действия основных нагрузок, изгибающих главные балки.

Усталостные трещины могут образовываться только под действием вторичных напряжений, т. е. продавливания листа верхнего пояса рельсом, отрывов «петушков», прикрепляющих рельс к балке, отрывов тупиковых упоров тележки, трещин в местах приварки к стенкам балок кронштейнов рам для установки приводов и шкафов с электрооборудованием, в местах крепления главных балок к концевым и т. п.

Причины повреждений главных балок подробно описаны в монографиях [1, 9]. В ряде случаев трещины в элементах главных балок (от воздействия вторичных напряжений) начинают ускоренно развиваться под влиянием основных напряжений от изгиба главных балок.

Очевидно, что в этих случаях предупредить усталостные повреждения главных балок нагрузками при перемещении грузов лебедкой подъема и тележкой можно устранив факторы, вызывающие появление вторичных напряжений.

При движении крана вдоль пролета при постоянных уровне и месте приложения сил массы груза и тележки низкочастотные составляющие могут образовываться только от изменения опорных реакций крана при движении его по путям, имеющим перепады по высоте.

Размах значений вертикальных опорных реакций может быть в пределах $0 \leq P_v \leq \alpha 2P_v$ (P_v – наибольшая вертикальная нагрузка на колесо при положении тележки на средине пролета, α – коэффициент, учитывающий увеличение этой нагрузки в случае приближения тележки к концевой балке, перепад значений P_v в пределах одной концевой балки) и зависит от крутильной жесткости рамы моста. В таблице показаны поперечные сечения основных типов главных балок, которые существенно отличаются по жесткости на кручение.

Мосты с низкой жесткостью депланации или шарнирными сочленениями («податливые») имеют более стабильное значение опорных реакций, на которое не влияет деформативность конструкции в процессе движения, поэтому нет причин для

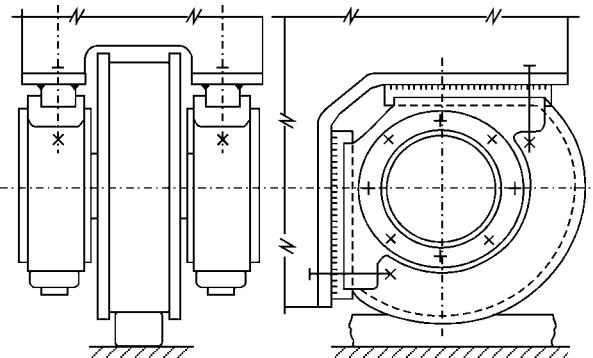


Рис. 8. Концевая балка с выкатными колесами

образования низкочастотной нагрузки, а следовательно, и двухчастотных нагрузок.

Выше упоминались три способа, обеспечивающих устранение усталостных повреждений сварных крановых мостов, из которых наиболее экономически выгодным и перспективным является третий. Главное его достоинство заключается в том, что он позволяет устранять переменность нагрузки моста от изменения уровня вертикальных реакций при движении крана по путям, имеющим отклонения по высоте, или выплызание колесных реборд по боковым граням рельсов и изменения горизонтальных опорных реакций при качении колес, установленных с перекосом [6].

Весьма нежелательно для конструкции действие двухчастотного нагружения, которое существенно снижает предел выносливости. Требуемой долговечности можно достичь, устранив низкочастотную составляющую либо вибрации, либо то и другое вместе путем улучшения ходовых качеств крана.

После 1945 г., когда началось массовое изготовление крановых мостов в сварном варианте, частые их повреждения показали, что простое копирование формы клепанных узлов и конструкций для сопряжения в них деталей с применением сварки недопустимо.

Популярные ранее стержневые конструкции мостов стали заменять сплошностенчатыми с замкнутым поперечным сечением коробчатых балок, чему способствовало широкое внедрение высокопроизводительной автоматической сварки под флюсом. В середине 1950-х гг. с целью применения подшипников качения была повсеместно внедрена типовая конструкция буксовых узлов ходовых колес, которая существенно ухудшила точность установки колес и прочность несущих конструкций в местах крепления букс (рис. 8). Ослабление опорных узлов и увеличение перекоса колес в горизонтальной плоскости способствовали различным массовым повреждениям конструкций мостов, интенсивному износу реборд ходовых колес и появлению вибрации, которая генерируется в контактах колесо-рельс, если колесо установлено с перекосом в горизонтальной плоскости.

Листовая коробчатая конструкция, выполненная в виде плоской рамы [1] и составленная из балок с замкнутым профилем поперечного сечения, имеет очень высокую жесткость депланации, которая дополнительно усугубляется жесткостью самих соединений элементов, выполненных сваркой.



Такая конструкция способствует свободному распространению бегущей волны высокочастотных колебаний (вибраций) от места их образования (контакты колесо–рельс) до различных участков моста (буксовые узлы и монтажные стыки концевых балок, места перегиба поясных листов концевых балок и прикрепления главных балок к концевым), в которых кинетическая энергия бегущей волны поглощается в концентраторах напряжений этих узлов, способствуя постепенному накоплению усталостных повреждений и образованию трещин.

Аналогично эти колебания передаются в верхнюю часть подкрановых балок, вызывая ускоренные повреждения сварных соединений, прикрепляющих лист пояса и вертикальные ребра к стенке.

Выходы

1. Установлено, что до 60 % мостовых кранов имеют усталостные повреждения пролетного строения, которые образуются, как правило, в местах, где согласно расчетам, выполненным по общепринятым методикам, низкий уровень напряжений от нагрузок, вызываемых подъемом–опусканием грузов и перемещением их тележкой по главным балкам, что объясняется действием двухчастотной нагрузки.

2. Установлена необходимость в коренном пересмотре подходов к методике и принципам проектирования, изготовления и расчетов сварных конструкций крановых мостов в части обеспечения их сопротивления усталости.

3. Определено, что усталостные трещины образуются под действием нагрузок, возникающих при движении мостовых кранов по пролету в результате возникновения вторичных напряжений,

которые не учитываются в общепринятых методиках расчета на прочность.

4. Наиболее целесообразно повышать долговечность сварных крановых мостов путем улучшения ходовых качеств, т. е. стабилизации уровня нагрузки как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях, что будет способствовать повышению циклической долговечности конструкции моста.

1. Емельянов О. А. Мосты сварные крановые. Конструкция, нагруженность, диагностика, обеспечение ресурса. — Краматорск: Донбас. гос. машиностроит. акад., 2002. — 334 с.
2. Задирака В. Ф., Емельянов О. А. О повышении несущей способности и долговечности сварных конструкций мостовых кранов // Автомат. сварка. — 1983. — № 10. — С. 52–58.
3. Труфяков В. И. Повышение сопротивления усталости сварных соединений и конструкций // Там же. — 1998. — № 11. — С. 11–19.
4. Методические указания. Надежность в технике. Вероятностный метод расчета на усталость сварных конструкций. РД 50-694-90.
5. Образование и кинетика поперечных двухчастотных нагрузок, действующих на сварной мост крана / О. А. Емельянов, В. П. Шепотько, С. В. Лубенец, Ю. В. Пихота // Техн. диагностика и неразрушающий контроль. — 2001. — № 1. — С. 13–18.
6. Прочность сварных соединений при переменных нагрузках / В. И. Труфяков, В. И. Дворецкий, П. П. Михеев и др. — Киев: Наук. думка, 1990. — 254 с.
7. Ковальчук В. С. Определение циклической долговечности металлов при двухчастотном малоцикловом нагружении // Автомат. сварка. — 1998. — № 9. — С. 12–14.
8. Фишер Дж., Мертц Д. Трещинообразование в стальных мостах // Граждан. стр.-во. — 1985. — № 2. — С. 9–13.
9. Емельянов О. А. Мостовые краны // Сварные конструкции (справочник). — Киев: Наук. думка, 1997. — Т. 2. — С. 619–673.
10. Емельянов О. А., Жемчужников Г. В., Котенко Э. В. Ремонт металлоконструкций электросваркой. — Донецк: Донбасс, 1976. — 78 с.

Results of analysis of fatigue damages in welded gantries at 1500 cranes, covering a period of the last 25 years, are presented. The need to revise approaches to methods and principles of design, fabrication and calculation of welded gantry structures is noted.

Поступила в редакцию 13.02.2004

Новости НКМЗ

Новокраматорский машиностроительный завод обеспечивает ядерную безопасность Украины

Первая партия нетрадиционной для Новокраматорского машиностроительного завода продукции — облицовок контейнеров для захоронений отходов ядерного топлива — отгружена для Запорожской атомной электростанции. Таким образом завод практически включился в решение серьезной общегосударственной проблемы, связанной с обеспечением ядерной безопасности. Выпуск новой продукции продиктован вводом в эксплуатацию на Запорожской АЭС сухого хранилища отработанного ядерного топлива.

Выход Новокраматорского машиностроительного завода на рынок атомщиков предшествовала большая и кропотливая работа. Проведено обучение руководящих и инженерно-технических работников, аттестованы соответствующие лаборатории. Киевской комиссией Госцентра качества проведен аудит предприятия, получен положительный отзыв о возможностях производства оборудования, связанного с ядерной радиационной безопасностью. Новокраматорский машиностроительный завод готов к выпуску оборудования резки и прессования твердых радиоактивных отходов для объекта «Укрытие», контейнеров для транспортировки отходов ядерного топлива.



НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ НПО «СЭЛМА-ИТС» ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ

М. М. КАРАСЕВ, д-р техн. наук, Д. Н. РАБОТИНСКИЙ, Г. В. ПАВЛЕНКО,
В. Л. СОРОКА, М. А. ШОЛОХОВ, инженеры

Проведен сравнительный анализ сварочного оборудования (источники питания, сварочные установки, полуавтоматы) для дуговой сварки в защитных газах проволоками малого диаметра. Отмечены недостатки оборудования ведущих западных фирм и рассмотрены подходы совершенствования сварочной техники, реализованные фирмой НПО «СЭЛМА-ИТС».

Ключевые слова: дуговая сварка, защитный газ, инверторы, выпрямители, разбрзгивание металла, конкурентоспособность, универсальные установки, подающие механизмы, технические характеристики

Начиная с 2002 г. в России наибольшее применение при сварке в защитных газах имеет сварочная проволока диаметром 1,2 мм. Применение проволоки диаметром 1,6 и 2,0 мм при сварке в углекислом газе приводит к повышенному разбрзгиванию (более 10 %), низкой стабильности процесса, который зачастую при повышении тока дуги переходит в стадию сварки заглубленной дугой. Это вызывает значительное количество дефектов.

Общепринятое мнение о том, что применение проволок больших размеров повышает производительность сварочного процесса в большинстве случаев не всегда верно. Это вызвано тем, что при сварке проволокой меньшего диаметра, уменьшаются как размеры разделки, так и общее количество требуемого наплавленного металла. Общее время сваркистыка при этом падает. Учитывая, что при сварке проволокой диаметром 1,2 мм в углекислом газе разбрзгивание электродного металла уменьшается как минимум на 30 %, это создает очевидные преимущества при сварке проволокой диаметром 1,2 мм перед традиционными проволоками диаметром 1,6 и 2,0 мм.

Применение смесей газов несколько выравнивает положение, однако все равно при сварке на проволоках диаметром 1,6 и 2,0 мм остаются проблемы, связанные с заглублением дуги в сварочную ванну и повышенной вероятностью дефектов. Кроме того, применение смесей газов достаточно проблематично при сварке корневых швов с формированием обратного валика на весу. Это вызвано тем, что применение смесей газов значительно снижает теплосодержание сварочной дуги. При этом резко возрастает вероятность непровара кромок. Поэтому в организациях, которые используют формирование обратного валика на весу (ОАО «Газпром», ОАО «Транснефть»), использование газовых смесей строго регламентировано.

Целью настоящей работы является сравнительный анализ сварочной техники, обеспечивающей качественное формирование сварных швов во всех пространственных положениях, всех стадий формирования сварных соединений (корневые, заполн-

яющие и облицовочные проходы), при минимальном разбрзгивании (менее 5 %), с максимальной стабильностью и повторяемостью, проволоками диаметром не более 1,2 мм сплошного сечения и порошковыми.

При подготовке настоящей статьи исследования и анализ производили на базе группы предприятий «ИТС» (г. С.-Петербург) и ОАО «Фирма СЭЛМА» (г. Симферополь) — крупнейших производителей и поставщиков сварочного оборудования в России, Украине и других странах СНГ.

Зарубежные инверторы ведущих западных фирм, наряду с очевидными достижениями в области сварки (пульсирующий режим, синергетическое управление, малые массогабаритные показатели, высокий КПД и др.), имеют ряд недостатков, а именно:

- низкую надежность инверторной сварочной техники при эксплуатации в условиях низких температур (менее -10°C), загрязнения воздуха цеха или повышенной влажности;
- невозможность использования импульсных режимов и низкую надежность инверторной сварочной техники при длинных соединительных кабелях (более 20 м от источника питания до подающего механизма), что не позволяет применять в ряде случаев эту технику;

• повышенную вероятность дефектов в сварном соединении при корневых проходах при использовании рекомендованных импульсных режимов. Это вызвано тем, что при небольших изменениях геометрии разделки или наличии загрязнения на поверхности разделки рекомендованные параметры импульсных режимов самопроизвольно изменяются;

• сложность реализации сварочного импульсного процесса при токах дуги более 300 А, что вызвано низкой управляемостью процесса и повышенной вероятностью дефектов в сварном соединении;

• дорогостоящее программирование параметром сварочного режима при необходимости сварки в нестандартном для данного сварочного аппарата режиме и сложность технического обслуживания.

Из новых разработок сварочных выпрямителей наибольшее внимание заслуживает сварочный процесс, идеология которого разрабатывалась в работах А. Г. Потапьевского [1], Ю. Н. Сараева



[2], ростовской школы сварки [3] и промышленно реализованный фирмой «Линкольн электрик» (США) под названием STT-процесс. Основной идеей этого процесса является управление процессом массопереноса электродного металла не путем традиционного формирования импульсов, отрывающих капли электродного металла и реализующего таким образом сварку без коротких замыканий (режим «пульс»), а принудительное формирование коротких замыканий путем управления током и напряжением на дуге. При этом главной особенностью массопереноса является то, что переход капли электродного металла в сварочную ванну осуществляется под действием сил поверхностного натяжения капли расплавленного электродного металла, что позволяет производить сварку в различных пространственных положениях с высоким качеством формирования сварного соединения и при минимальном разбрызгивании.

Поэтому в НПО «СЭЛМА-ИТС» основные разработки производили на основе имеющегося негативного опыта по копированию зарубежных сварочных установок и необходимости использования отечественных наработок стратегического плана, выполненных в бывшем СССР.

При разработке собственного оборудования использовали критерии, изложенные в ГОСТ 25616–83. Особое внимание обращалось на разбрызгивание (не более 5 % при сварке в углекислом газе и не более 2 % при сварке в смеси газов), стабильность процесса в любых пространственных положениях проволокой сплошного сечения (стальной и алюминиевой) и порошковой, включая самозащитную и коэффициент формы сварного шва.

Другой критерий новых разработок в НПО «СЭЛМА-ИТС» – это конкурентоспособность с ведущими мировыми фирмами по надежности в эксплуатации и технологичности в применении. Так, использование сложных вольт-амперных характеристик (ВАХ) при сварке в защитных газах привело к регулируемому массопереносу электродного металла, достижимому ранее только на наиболее дорогостоящих моделях зарубежных инверторных сварочных установок.

Наиболее известной разработкой последних двух лет явился выпуск новой серии отечественных выпрямителей с индексом «ДК» (Дистанционное управление; комбинированная ВАХ – ВД-306ДК, ВД-506ДК серии 03). Это универсальные выпрямители, которые обеспечивают механизированную сварку плавящимся электродом и порошковыми проволоками, включая самозащитные, аргонодуговую сварку неплавящимся электродом (с возможностью импульсных режимов) и ручную дуговую сварку покрытыми электродами, включая сварку электродами с основными и целлюлозными видами покрытия. Имеется возможность плавно регулировать глубину проплавления и эластичность сварочной дуги.

В этих выпрямителях создан и впервые промышленно реализован новый вид схем управления. Внешние комбинированные ВАХ обеспечивают режим работы, когда каждый их участок определяет любую стадию плавления и переноса капли элек-

тродного металла при ручной дуговой сварке и механизированной сварке плавящимся электродом. В них осциллограммы тока и напряжения смещаются на угол, обеспечивающий минимум тока в момент короткого замыкания, что приводит к перетеканию капли электродного металла в сварочную ванну под действием сил поверхностного натяжения при минимуме тока короткого замыкания и электродинамических сил, действующих на каплю.

Это делает сварочный процесс близким с STT-процессом и обеспечивает близкие технологические возможности по формированию сварных соединений, особенно при сварке в защитных газах.

Новый метод, получивший название «вынужденные короткие замыкания» (ВКЗ), имеет ряд технологических возможностей, недостижимых ранее при полуавтоматической сварке:

- возможность формирования на весу обратного валика сварного шва с усилием 0...2 мм при сварке во всех пространственных положениях (включен в ведомственную руководящую документацию ОАО «Газпром» при сварке неповоротных стыков трубопроводов);
- обеспечение разбрызгивания металла при сварке методом ВКЗ в углекислом газе не более 5 % и при сварке в смеси газов не более 2 %;
- обеспечение при технологической необходимости потребности плавного перехода от сварки ВКЗ к сварке со струйным переносом электродного металла с разбрызгиванием электродного металла, близким к нулю (эффективно при сварке нержавеющих сталей или при заполнении и облицовке стыков сварных соединений);
- обеспечение эффективной сварки стальными, нержавеющими и алюминиевыми проволоками сплошного сечения, а также порошковыми проволоками (при сварке порошковыми проволоками процесс автоматически переходит в струйный);
- обеспечение значительного снижения выгорания легирующих элементов (что характерно при стандартной импульсной сварке по принципу «один импульс – одна капля») и повышение, таким образом, механических свойств сварного соединения;
- снижение коробления свариваемых деталей из-за уменьшение нагрева (время горения дуги сокращается из-за наличия коротких замыканий);
- плавная регулировка глубины проплавления основного металла и переход таким образом к различным режимам сварки корневого прохода, заполнения и облицовки разделки, наплавки;
- регулирование эластичности сварочной дуги, что необходимо при автоматической наплавке на поверхность переменного сечения (изменяя угол наклона ВАХ на лицевой панели выпрямителя);
- обеспечение надежной и эффективной эксплуатации сварочной техники при длине соединительного кабеля от выпрямителя до механизма подачи проволоки до 50 м (управление процессом производится не традиционно по току дуги, а по напряжению на дуге).

Из рис. 1, 2 становится понятна сущность процесса ВКЗ и его отличия от импульсно-дугового

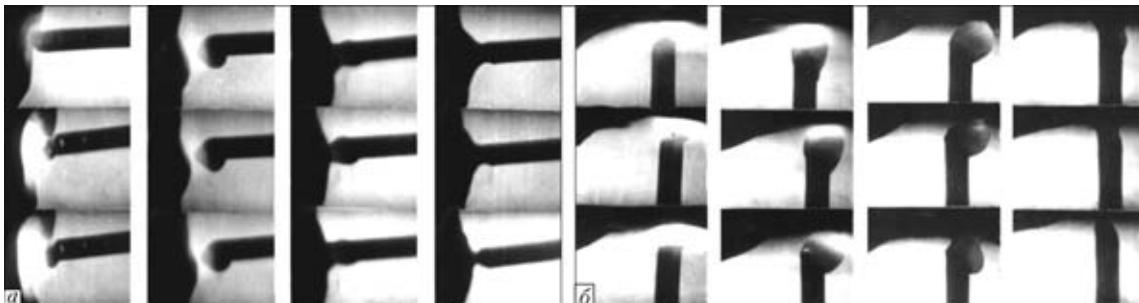


Рис. 1. Кинограмма процесса каплепереноса методом ВКЗ в вертикальном (а) и потолочном (б) пространственных положениях

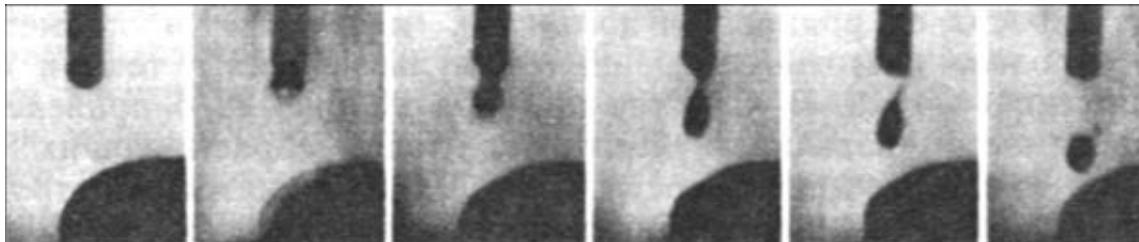


Рис. 2. Кинограмма процесса каплепереноса импульсным методом в нижнем пространственном положении

процесса. При течении процесса ВКЗ значительно уменьшается как время контакта капли электродного металла с дугой, так и время горения дуги (на длительность коротких замыканий) и размеры сварочной ванны, процесс становится более гибким и регулируемым с технологической точки зрения.

Выпрямители обеспечены подробной технологической документацией (Минэнергетики РФ) на все виды сварочных работ (ручная дуговая, полуавтоматическая и аргонодуговая сварка). Аттестованы ВНИИСТ и ВНИИГАЗ, г. Москва на выполнение сварочных работ при ремонте и строительстве трубопроводов в ОАО «Газпром» и ОАО «Транснефть». Имеются методические рекомендации по правильному ведению технологического процесса [4].

Внешний вид и процесс формирования на весу обратного валика при сварке в углекислом газе на установках типа ДК показан на рис. 3.

Следует отметить, что температурный интервал эксплуатации установок типа ДК составляет $-40\dots+50^{\circ}\text{C}$, что не обеспечивает ни один инверторный источник питания. Зимой 2003 г. в России эти выпрямители успешно эксплуатировались при -44°C , когда все зарубежные сварочные установки, включая

тиристорные (DC-400, PS-3500 и др.) и инверторные, были парализованы.

На базе этих выпрямителей создана и промышленно выпускается первая отечественная мультисистема, обеспечивающая все виды дуговой сварки с использованием одного источника, сочетающая надежность работы и высокое качество сварных соединений на уровне лучших зарубежных образцов.

Как следует из анализа табл. 1, выпрямители с комбинированными ВАХ обладают оптимальными динамическими характеристиками из числа исследованных и соответственно оптимальным размером капли электродного металла (из работы [3] известно, что оптимальный размер капли переносимого металла не должен быть более чем в 1,5 раза больше диаметра электрода).

Дальнейшим развитием выпрямителей класса ДК является выпрямитель ВД-506ДК серии 04 (рис. 4), имеющий существенные отличия от серийно выпускаемых установок типа ДК предыдущего поколения:

ступенчатое регулирование индуктивности сварочного дросселя, что необходимо при сварке на больших токах дуги (более 300 А) и на различных

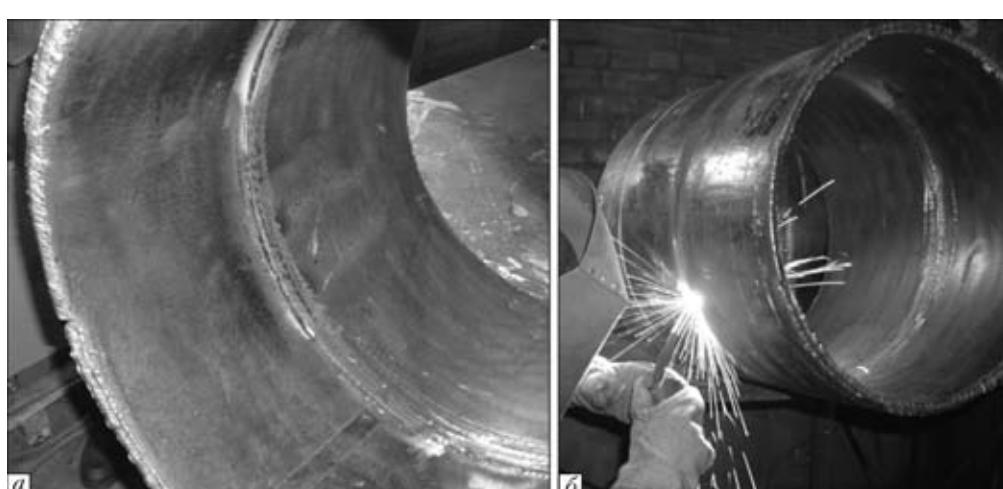


Рис. 3. Внешний вид (а) и процесс формирования на весу обратного валика при сварке в углекислом газе на установках типа ДК (б)

Таблица 1. Размеры капель электродного металла при сварке с короткими замыканиями

Источник	$t_{\text{к.з.}}^{\text{ср}}$, мс	Диаметр капли, мм
ВД-506ДК	2,76	1,24
ВД-506ДК	1,02	—
ВДУ-506С	0,70	—
ВДУ-506С	2,64	1,43
ВС-300Б*	1,87	1,96
ВС-300Б**	1,35	1,42

Примечание. Высокая индуктивность источников отмечена одной звездочкой, низкая — двумя.



Рис. 4. Внешний вид нового выпрямителя ВД-506ДК серии 04 полуавтоматической сварке, встроенный блок снижения напряжения при ручной дуговой сварке.

Другие свойства новой сварочной установки серии 04, по крайней мере, не хуже, чем у предыдущих сварочных установок типа ДК серии 03. Постановка на серийное производство — третий квартал 2004 г. В данный момент установочная партия проходит промышленные испытания.

Следующим этапом развития установок для сварки в углекислом газе является новая версия известного выпрямителя, получившая название

Таблица 2. Технические данные новых сварочных выпрямителей для механизированной сварки плавящимся электродом

Параметр	ВД-306ДК	ВД-506ДК-4	ВДГ-401	КСУ-320	ВС-300	ВС-600	ПДГ-351 (в моноблокном исполнении)	ВДУ-511
Напряжение питающей сети, В	3×380 (50 Гц)	3×380 (50 Гц)	3×380 (50 Гц)	3×380 (50 Гц)	3×380 (50 Гц)	3×380 (50 Гц)	3×380 (50 Гц)	3×380 (50 Гц)
Номинальная потребляемая мощность, кВт	17	22	28	11	25	47	16	34
Сварочный ток, А (ПВ)	315 (60 %)	400	400 (60 %)	320 (60 %)	315 (85 %)	700	315 (60 %)	500 (60 %)
Пределы регулирования сварочного тока, А	40...350 (при MMA) 12...350 (при ТИГ) 30...350 (при МИГ/МАГ)	40...500 (при MMA) 12...500 (при ТИГ) 50...500 (при МИГ/МАГ)	80...500	30...320 (при MMA) 40...320 (при МИГ/МАГ)	50...350	100...700	50...440	50...500
Пределы регулирования сварочного напряжения, В	17...45	17...45	18...42	Определяется напряжением холостого хода питающего трансформатора	17...35	19...49	19...35	21...45
Напряжение холостого хода, В	85	85	75	≤ 90	41	65	45	85
Вид регулирования сварочного напряжения	Плавное	Плавное	Плавно-ступенчатое	Плавное	Ступенчатое	Ступенчатое	Ступенчатое	Плавное
Виды сварочных работ	MMA, МИГ/МАГ, ТИГ	MMA, МИГ/МАГ, ТИГ	МИГ/МАГ	MMA, МИГ/МАГ	МИГ/МАГ	МИГ/МАГ	МИГ/МАГ	MMA, МИГ/МАГ
Габаритные размеры, мм	615×400×600	615×420×700	750×605×950	183×210×550	850×420×800	845×605×765	810×450×860	750×650×1150
Масса, кг	140	160	250	11	120	280	135	260



ВДУ-511. В настоящее время выпускается упрощенная версия ВДУ-506 серии 04. Постановка ВДУ-511 на серийное производство — третий квартал 2004 г. Этот тиристорный выпрямитель не имеет такой универсальности как выпрямители типа ДК. Он предназначен только для полуавтоматической сварки. Он также имеет комбинированную внешнюю ВАХ, обеспечивает сварку методом ВКЗ и струйный перенос электродного металла. Отличием от выпрямителей типа ДК является то, что на лицевой панели установлен регулятор размера сварочных капель при переносе металла и регулятор глубины провара. Эти технологические функции необходимы для регулирования формы сварного шва, его химического состава, разбрызгивания при сварке.

В табл. 2 приведены технические характеристики новых выпрямителей для сварки в углекислом газе, серийно выпускаемые предприятиями ИТС.

Выпрямители ВС-300 и ВС-600 (табл. 2) запущены в серийное производство два года назад по многочисленным заявкам предприятий. Аналогичные сварочные выпрямители до сих пор выпускаются за рубежом фирмой ESAB, так как хорошо себя зарекомендовали при сварке в смеси газов и по надежности. Их характерной чертой, как и выпрямителей типа ВДГ, в отличие от тиристорных, является синусоидальная форма кривых тока и напряжения на выходе сварочных источников. Они имеют ступенчатую регулировку сварочного напряжения с шагом 0,5 В, диодные выпрямители, переключение сварки с повышенной и пониженной индуктивностью. Нами выпущены переработанные версии с учетом пожеланий предприятий. Характерной чертой этих установок также является повышенная надежность.

ПДГ-351 (табл. 2) выпущен в 2003 г. как дальнейшее развитие моноблочных полуавтоматов типа ПДГ-252,150. Он имеет встроенный подающий механизм фирмы «Фортранс», ступенчатое переключение напряжение, диодный выпрямитель. По сварочным свойствам этот выпрямитель соответствует выпрямителям типов ВС-300 и ВС-600.

Работа по разработке инверторных источников питания сосредоточена в области создания сварочных конверторов — чопперов. Это вызвано их повышенной надежностью по сравнению с традиционными инверторами. Промышленную опробацию в 2002–2003 гг. на предприятиях судостроения прошли первые чопперы — КСУ-320. Их промышленный выпуск освоен в конце 2003 г. Выпускаются универсальные установки, работающие в режимах MMA и МИГ/МАГ. Их технические характеристики приведены в табл. 2. Наибольший интерес вызывают установки типа КСУ-320, предназначенные для сварки нержавеющих сталей в режиме MMA. В этом случае брак снижается на 40...50 %, что обеспечивает окупаемость новой техники за полгода.

Среди подающих механизмов, появившихся за последние годы, предназначенных для сварки проволокой диаметром 1,2...1,6 мм, наибольшего внимания заслуживают подающие механизмы ПДГ-421 («Адмиралтеец»), ПДГ-322М для работы с кассетой диаметром 200 мм, ПДГО-510 (серия 05) и ПДГО-511 для работы с кассетой массой 18 кг.

В ОАО «Фирма СЭЛМА» и ЗАО НПФ «ИТС» на протяжении последних двух лет велась активная работа по выбору схемного решения подающих механизмов. На сегодня эта задача успешно решена. За базовый выбран подающий механизм типа ПДГ-510 серии 05, имеющий следующие преимущества:

Таблица 3. Сравнительные технические характеристики современных подающих механизмов

Параметр	ПДГ-421	ПДГ-322М	ПДГО-510-02	ПДГО-510-05	ПДГО-511
Исполнение	Закрытое	Закрытое	Открытое	Открытое	Закрытое
Диаметр проволоки, мм	0,6...1,4	0,6...1,4	1,2...2,0 (спл.) 1,6...3,2 (пор.)	1,2...2,0 (спл.) 1,6...3,2 (пор.)	1,2...2,0 (спл.) 1,6...3,2 (пор.)
Масса кассеты, кг	5	5	15	15	15
Разъем горелки	Евро, штыревой	Евро, штыревой	Евро, штыревой	Евро, штыревой	Штыревой
Наличие вспомогательного блока	БП-02 с любым выпрямителем	БУСП-06 с любым выпрямителем	БП-01 с любым выпрямителем, напрямую с ВДУ-506-04	БП-01 с любым выпрямителем, напрямую с ВД-306 (506)ДК	БП-01 с любым выпрямителем, напрямую с ВДУ-506-04, ВД-506ДК-4
Мощность привода, Вт	90	90	120	120	90
Количество роликов, шт.	4	4	4	4	2
Максимальное удаление от выпрямителя, м	25	40	40 (до 100 м с ВД-306(506)Д при подключении провода обратной связи)	40	40 (до 100 м с ВД-506ДК-04 при подключении провода обратной связи)
Масса без кассеты, кг	7	7	15	15	14
Габаритные размеры, мм	450×175×295	460×154×292	650×215×410	650×215×410	483×229×521



Рис. 5. Новые подающие механизмы ПДГ-322М (а), ПДГО-511 (б), ПДГО-510 серии 05 (в)

- стабилизация скорости подачи проволоки при затруднении ее прохождения по каналу горелки и колебаниях напряжения питающей сети;
- размещение платы управления в отдельном отсеке корпуса, что повышает ее защищенность от механических повреждений и воздействия окружающей среды;
- защита платы от заклинивания привода, повышенное усилие привода, повышенная надежность подающего механизма (пневмоклапана, платы управления, использование двух прижимных регулировочных устройств);
- подающий механизм имеет регулировки времени продувки газа до и после сварки, «мягкого» старта, регулировку времени отключения источника после прекращения подачи сварочной проволоки, функцию продувки защитного газа, подачи сварочной проволоки без напряжения источника питания;
- максимальное удаление от подающего механизма до выпрямителя составляет 40 м. Имеется специальная версия подающего механизма ПДГ-510 серии 02, где имеется возможность обеспечить удаление до 100 м с выпрямителем типа ДК, возможность сварки самозащитной проволокой и регулировки тока дуги с горелки.

На базе этих подающих механизмов в 2004 г. освоен серийный выпуск подающего механизма ПДГ-511. Технические решения этого подающего механизма описаны выше.

Отличием является вертикальная компоновка корпуса подающего механизма, улучшенная защита от механических повреждений и атмосферных осадков, возможность предварительной настройки двух различных режимов сварки (по току и напряжению на дуге) и переключение их прямо с горелки, цифровая индикация сварочных режимов (скорость сварочной проволоки и напряжение на дуге),

возможность переключения вида управления электронной платой — зависимая (для порошковых проволок) и независимая (для проволок сплошного сечения), скорость подачи сварочной проволоки. Имеет систему обратных связей, позволяющих при подключении провода обратной связи производить сварку самозащитной порошковой проволокой и увеличивать расстояние от выпрямителя до подающего механизма до 100 м. Вертикальная компоновка очень удобна в эксплуатации: позволяет подвешивать механизм подачи, значительно экономит усилия при переноске. В целом конструкция корпуса является эргономичной. За прототип построения вертикальной компоновки был выбран подающий механизм LN-23 фирмы «Линкольн электрик».

В табл. 3 приведены сравнительные технические характеристики современных подающих механизмов.

Заказ сварочной продукции и техническое обслуживание производится в ЗАО НПФ «ИТС», г. С.-Петербург, тел. (812) 321-61-61, 321-61-71 и представительствах в Москве, Екатеринбурге, Самаре.

Каталог продукции смотри на сайте www.etscompany.spb.ru, а также у производителя электросварочного оборудования ОАО «Фирма СЭЛМА» (г. Симферополь), тел. (0652) 48-18-62, 48-57-96, 48-59-12, www.selma.ua.

1. Потапьевский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. — М.: Машиностроение, 1974.
2. Сараев Ю. Н. Управление переносом электродного металла при сварке в CO₂ с короткими замыканиями дугового промежутка // Автомат. сварка. — 1988. — № 12. — С. 16–23.
3. Ленивкин В. А., Дюргеров Н. Г., Сагиров Х. Н. Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах. — М.: Машиностроение, 1989.
4. Технология полуавтоматической (механизированной) сварки корневого слоя шва с использованием процесса ВКЗ. — СПб., М.: ООО «ВНИИГАЗ», ЗАО НПФ «ИТС», 2003.

Comparative analysis has been performed of welding equipment (power sources, welding units, semi-automatic machines) for arc welding in shielded gases with small-diameter wires. Drawbacks of the equipment of leading Western companies are noted, and approaches to improvement of welding equipment, implemented by NPO "SELMA-ITS", are considered.

Поступила в редакцию 05.04.2004



ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Г. А. СПЫНУ, д-р техн. наук (НТУУ «Киевский политехнический институт»),
В. Н. БЕРНАДСКИЙ, канд. техн. наук (Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены принятые Международной федерацией робототехники основные принципы и системы классификации многофункциональных промышленных роботов, в том числе сварочных. Дано краткая информация о состоянии современного мирового рынка и парка промышленных роботов.

Ключевые слова: промышленные роботы, производство, парк промышленных роботов, системы классификации, классификаторы

Современное промышленное производство отличается интенсивным ростом применения промышленных роботов (ПР), что обеспечивает наиболее эффективное решение проблемы автоматизации производственного процесса одновременно с повышением производительности и обеспечением стабильно высокого качества продукции. Тенденции развития современной робототехники наиболее полно отражены в экономико-статистических обзорах Международной федерации робототехники (IFR) и Европейской экономической комиссии ООН (UN ECE), которые ежегодно проводят сбор и анализ статистических данных мирового и национального производства и потребления ПР. В соответствии с принятой IFR классификацией ПР разграничиваются на две категории — многоцелевые и специализированные. В упомянутых ежегодных обзорах статистические данные охватывают только многоцелевые роботы-манипуляторы, отвечающие требованиям стандарта ISO 8373 «Многоцелевые манипуляционные промышленные роботы. Определение и классификация». Специализированные ПР (для загрузки/выгрузки инструмента, автоматизированных систем складирования, оборудование для клеймения и др.) в статистику IFR не включаются.

На конец 2003 г. общемировой парк единичных ПР по данным официальной статистики IFR насчитывал примерно 800 тыс., а фактически около 1 млн ед. Такой разброс связан с тем, что на практике многие роботы успешно эксплуатируются уже после истечения их нормативного срока службы. Несмотря на некоторые годичные колебания мировой рынок и парк ПР в последнее десятилетие имеют устойчивую тенденцию роста. По прогнозу IFR в 2006 г. ожидаемый объем общемировых продаж превысит 91,0 тыс. ед., а общемировой (нормативный) парк составит 875,0 тыс. ед. ПР [1].

Непрерывно расширяются технологические области применения ПР. В соответствии с принятой IFR системой предусмотрена базовая классификация ПР по отраслям их технологического применения или видам операций, которая охватывает технологические процессы электрофизической, физико-химической и механической обработки и со-

единения материалов, а также таких сопутствующих процессов, как метрология, неразрушающий контроль, упаковка и др. [2]. Вспомогательной является классификация ПР по отраслям промышленности, применяющим ПР, что отражает их отраслевое распространение, она соответствует Международной классификации экономической деятельности (ISIC) [1]. Основной установившейся сферой технологического применения ПР является сварка (класс IFR: 160). Так, из общего количества введенных в эксплуатацию в 2002 г. ПР сварочные роботы составили 32 %. С учетом ПР для специальных, родственных сварке процессов (класс IFR: 190) и сборки (класс IFR: 200) в 2002 г. в мировом сварочном производстве установлено более 40 % общего количества введенных в эксплуатацию ПР. Следует отметить, что доля собственно сварочных роботов в промышленности различных стран колеблется в среднем от 30 до 53 % общей численности парка ПР [2].

До последнего времени ПР находили применение преимущественно в серийном и крупносерийном производстве. Первое место по их применению занимает автомобилестроение, а затем отрасли, производящие строительно-дорожное, электротехническое и энергетическое оборудование. Нарастают объемы применения ПР, и в первую очередь сварочных, в судостроительном производстве.

Расширение мирового производства роботов сопровождается снижением цены единичных ПР. Среднемировая цена последних в США снизилась со 103,0 в 1999 г. до 50,0 тыс. дол. в 2002 г. Уменьшение стоимости последних моделей ПР при одновременном повышении их функциональных показателей во многом определяется переходом к блочно-модульной конструкции их с учетом международной стандартизации и унификации набора узлов, элементов и компонентов как механической части, так и системы управления ПР. Все это создает реальные предпосылки для роботизации мелкосерийного и серийного производства, в том числе в условиях малых и средних предприятий. Именно здесь применение сварочных роботов в производстве сварных изделий и конструкций позволяет создавать гибкие, легко перестраиваемые производственные ячейки и робототехнические системы с высокой степенью автоматизации технологического цикла. Роботизация сварочного производства на таких предприятиях наряду с повышением производительности и качества обеспе-



Классификация ПР по их компоновке - механической структуре [1]

№ рисунка	Конструкция ПР и наименование компоновки	Кинематическая схема	Конфигурация рабочего пространства	Внешний вид образца ПР
1	Прямоугольная			
2	Цилиндрическая			
3	Сферическая			
4	SCARA робот			
5	Шарнирная			
6	Параллельная			

чивает условия для ликвидации постоянного дефицита квалифицированного сварочного персонала, а также повышения экологической безопасности сварочного производства [3]. Последнее сегодня

жестко регламентировано требованиями международного стандарта ISO 14000.

В условиях глобализации мировой экономики происходит и концентрация производства ПР. Се-



годня их выпуск в основном обеспечивают пять-шесть транснациональных корпораций и объединений, среди которых ABB (США), FANUC (Япония), International Robotics (США) и KUKA (Германия). Кроме того, созданы специализированные производства по изготовлению соответствующего технологического инструментария и оснастки. Сварочная индустрия ведущих промышленных стран выпускает специализированное сварочное оборудование, горелки для сварки, резки и напыления; технологические лазерные системы; источники питания, системы управления и др., предназначенные для оснащения единичных роботов-манипуляторов или робототехнологических комплексов. Таким образом, мировой и национальные рынки ПР и сварочной техники сегодня предлагают производителям широкий выбор роботов и соответствующего технологического оборудования и оснастки.

В зависимости от конкретных задач производства, рабочей технологии и типа изготавливаемой продукции проводится первичный выбор модели ПР. При этом оцениваются основные параметры технологического функционирования: количество степеней свободы, скорость перемещения, точность позиционирования, воспроизводимость, надежность, грузоподъемность, структура и параметры системы программирования и управления ПР, рабочие и установочные габариты и др. Практика производителей показала, что в условиях значительного конструкционного разнообразия базовым моментом выбора манипуляционного ПР, в частности для целей сварки, резки и других смежных технологий, является выбор собственно типа ПР. Для облегчения этой инженерно-технологической задачи в конце 1990-х гг. IFR расширил систему классификации ПР, разработав и включив в нее три дополнительных классификатора:

1. Классификация ПР по количеству степеней свободы:

- роботы с тремя степенями свободы;
- роботы с четырьмя степенями свободы;
- роботы с пятью и более степенями свободы.

2. Классификация ПР по типам управления:

- программное управление (воспроизведение перемещения от точки к точке);
- контурное управление (воспроизведение непрерывной траектории);
- адаптивные роботы (ПР с сенсорным или адаптивным управлением);
- телеуправляемые (дистанционно управляемые оператором) и другие типы ПР.

3. Классификация ПР по их компоновке – механической структуре.

В отечественной литературе по робототехнике более широкое распространение получил термин «компоновка промышленного робота», которая несколько шире, чем манипулятор или механическая структура ПР. По мере развития конструктивных особенностей расширялись и типы компоновок – механических структур ПР, что постепенно пополняло их классификацию [3, 4]. IFR предложила обобщающую классификацию ПР по их компоновке – механической структуре [1], которая

представлена в виде таблицы-рисунка. Краткое описание отдельных типов ПР по этой классификации приведено ниже. Представленный материал может оказать помощь пользователям в выборе необходимой компоновки модели робота, отвечающей заданным условиям их технологического применения, в том числе и в условиях сварочного производства, в частности, предусмотрена возможность оценки геометрии и параметров рабочего пространства ПР.

Прямоугольная компоновка (ПР) (рис. 1) существует достаточно давно, за многие годы накоплен большой опыт эксплуатации ПР такого типа. Перемещение рабочего инструмента совпадает с декартовыми координатами X , Y , Z и осуществляется по трем линейным направляющим. Максимальный горизонтальный размер зоны обслуживания всегда меньше длины основания и линейных направляющих. Определенным недостатком этой компоновки следует считать большую площадь основания и малую зону рабочего пространства. ПР прямоугольной компоновки применяются в сварочном производстве в тех случаях, когда стоит задача сварки длинных прямолинейных швов и при создании специальных сварочных комплексов. Привод перемещения подвижных частей, как правило, электромеханический. Устройство управления всегда монтируют в отдельном шкафу.

Цилиндрическая компоновка ПР (рис. 2) называется по форме рабочего пространства – рабочей зоне обслуживания, которая представляет собой усеченный тор. Основные координаты – одна вращательная и две поступательные оси образуют цилиндрическую систему координат. Площадь основания невелика, устройство управления монтируется в отдельном шкафу. Зона обслуживания имеет небольшие размеры. Привод роботов этого типа, как правило, комбинированный, иногда электромеханический. ПР этой компоновки главным образом применяют для перемещения технологического инструмента или деталей малой массы, а также выполнения несложных циклов. Широкого производственного распространения данный тип роботов не получил.

Сферическая компоновка ПР (рис. 3) – первая в истории создания ПР. В этом случае рабочие оси соответствуют полярной системе координат. Отличается большой площадью основания и тем, что манипулятор объединен с устройством управления в один блок. Зона обслуживания относительно невелика, основные координаты: две вращательные оси и одна поступательная. Привод комбинированный электрогидравлический, в корпусе имеется специальная насосно-аккумулирующая станция. Кинематика манипулятора достаточно сложна в конструктивном и технологическом отношении. ПР этого типа, несмотря на очевидные недостатки, получили широкое распространение в 1960–1970 гг. в США, Японии и некоторых странах Европы. В последние годы XX в. и в настоящее время выпуск ПР этого типа практически прекращен.

Горизонтально-плечевая компоновка ПР (рис. 4) известна больше под названием «SCARA». Отличается малой площадью основания, имеет три вра-



щательных движения в параллельных плоскостях и одно поступательное по вертикали. Эта компоновка построена на принципе ориентированной руки, имеет относительно небольшой объем зоны обслуживания, применяется для сборки, укладки деталей на палеты. Манипуляции с технологическим инструментом или деталями массой до 10 кг. Обладает большой жесткостью в вертикальной плоскости. Привод электромеханический, устройство управления монтируется в отдельном шкафу.

Шарнирно-рычажная (антропоморфная) компоновка ПР (рис. 5) относится к современному решению, отличающемуся высокими конструктивными и эксплуатационными показателями. Площадь основания роботов этой компоновки имеет минимальные размеры, зона рабочего обслуживания по объему самая большая среди прочих компоновок. Манипулятор имеет три основные вращательные пары (шарниры), линейные перемещения отсутствуют. В настоящее время именно для ПР шарнирно-рычажного типа наиболее широко применяется модульный принцип конструирования. Изложенные выше соображения привели к тому, что сегодня почти все ведущие фирмы мира перешли на выпуск ПР шарнирной компоновки, что свидетельствует о ее несомненной перспективности.

Идея *параллельной компоновки ПР* (рис. 6) впервые опубликована в 1982 г. и более подробно представлена в работе [5] как манипулирующая система ПР по «методу 1 координат». В настоящее время эта компоновка достаточно широко рассматривается в литературе по мехатронике и робототехнике. Выходное звено в ней (платформа Стюарта) связано с основанием шестью кинематическими цепями, каждая из которых имеет свой привод и определяет положение выходного звена в пространстве. Такие механизмы в отличие от традиционных компоновок и механических структур роботов имеют замкнутые кинематические цепи и воспринимают нагрузку как пространственные фермы, что обеспечивается их высокой точностью. Зона рабочего обслуживания такого манипулятора сравнительно невелика и имеет вид полусферы. Рабочий орган устанавливается в центре верхней платформы вверху или внизу. Эта компоновка получила применение в конструкциях специали-

зированных металлообрабатывающих станков, в частности, фрезерных.

По схеме параллельной компоновки в Европе уже созданы и выпущены первые промышленные образцы сварочных роботов серии TRICEPT (модели 600 и 805), предназначенные для выполнения пространственных швов способом сварки трением с перемешиванием. На выходном звене такого специализированного робота укрепляется приводная головка со сварочным инструментом — вращающимся шпинделем. Конструкция манипулятора сварочных роботов TRICEPT обеспечивает необходимые для сварки с перемешиванием высокие усилия по вертикали (15...45 кН) и вдоль траектории сварки (3,5...10 кН). Предельная скорость перемещения сварочного инструмента 40...90 м/мин [6].

Все представленные и классифицированные в таблице ПР успешно применялись и применяются в конструкциях сварочных роботов для дуговой и контактной сварки, лазерной резки, сварки и обработки, гидроабразивной резки, нанесения газотермических покрытий. Наиболее распространенной и эффективной компоновкой современных ПР является шарнирно-рычажная (рис. 5). Совершенствование конструкции и технологических характеристик манипуляционных ПР, особенно в повышении точности позиционирования и расширения возможностей систем управления, позволяют уверенно прогнозировать расширение применения этого оборудования также для роботизации заготовительных и сборочных операций в производстве сварных конструкций и изделий.

1. World robotics 2003: United Nations Economic Commission for Europe (UN ECE). — New York; Geneva: IFR, 2003. — 370 p.
2. Бернадский В. Н. Промышленные роботы в современном производстве (Обзор) // Автомат. сварка. — 2001. — № 11. — С. 37–42.
3. Стину Г. О., Бернадський В. М., Даниленко О. В., Юматов В. Е. Промислові роботи в машинобудуванні. — Житомир: Житомир. держ. техн. ун-т, 2003. — 128 с.
4. Патон Б. Е., Стину Г. А., Тимошенко В. Г. Промышленные роботы для сварки. — Киев: Наук. думка, 1977. — 224 с.
5. Манипуляционные системы роботов / Под ред. А. И. Кореняева. — М.: Машиностроение, 1989. — 108 с.
6. Strombeck A. von, Schillina C., Santos J. F. Zrobotyzowane zgrzewanie tarciowe z mieszaniem materiału zgrzeiný — narzędzie, technologia i zastosowanie // Biuletyn Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach. — 2001. — № 6. — S. 49–51.

The paper deals with the main principles and systems of classification of multifunctional industrial robots, including welding robots, accepted by the International Federation of Robotics. Brief information is given on the status of the modern world market and industrial robot fleet.

Поступила в редакцию 18.02.2004



УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОДНОКОПОЧНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СВАРОЧНОГО ПОЛУАВТОМАТА

В. А. ЛЕБЕДЕВ, канд. техн. наук, **И. С. КУЗЬМИН**, **В. Г. НОВГОРОДСКИЙ**, **В. А. ТКАЧЕНКО**, инженеры
(Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрен один из способов построения регуляторов режимов работы дугового механизированного оборудования с обратной связью по напряжению дуги. Показано, как с минимальными техническими и аппаратными издержками можно модернизировать сварочные полуавтоматы, эксплуатируемые длительное время. При этом достигается улучшение условий труда сварщика, повышение качества сварного соединения.

Ключевые слова: механизированная сварка, режимы, управление, регулирование, устойчивость, электропривод, ток, напряжение

Совершенствование оборудования для дуговой механизированной сварки осуществляется несколькими путями. Прежде всего за счет внедрения технологий сварки с использованием, например, нестационарных процессов [1], а также разработки оборудования, позволяющего облегчить сварщику задачу выбора оптимальных режимов сварки [2]. Имеется и обобщенный подход к совершенствованию дугового механизированного оборудования — организация синергетического управления сварочным процессом, реализуемым полуавтоматами [3].

Как показывает опыт, все это применимо в основном для новых образцов техники — полуавтоматов с современными конструкциями источников сварочного тока, систем управления и регулирования.

Вместе с тем на предприятиях Украины и в ближнем зарубежье имеется достаточно большой парк сварочного оборудования с источниками сварочного тока, которые могут находиться в эксплуатации еще длительное время (полуавтоматы типа А547Ум, А825 с источниками ВС300 (ВС300Б) и др.). При ремонте, замене вышедших из строя узлов и элементов возможно их некоторое усовершенствование (как механических элементов системы подачи [4], так и систем регулирования).

Цель настоящей работы — разработка технических решений для систем регулирования сварочных полуавтоматов, которые могут существенно повысить эффективность их работы, упростить выбор режимов и поддерживать в оптимальном соотношении, облегчая работу сварщика и повышая качество сварного шва.

Одним из способов, упрощающих установку режимов работы сварочного оборудования в оптимальной области, является способ однокнопочного управления (координирования), который может быть реализован несколькими основными способами:

координированием сварочного тока и напряжения в результате воздействия на источник сварочного тока [5];

координированием сварочного тока и напряжения посредством воздействия на электропривод механизма подачи электродной проволоки [6].

Первый способ требует наличия источника питания с плавным регулированием напряжения холостого хода. При втором — источник сварочного тока может быть любой конструкции, но механизм подачи электродной проволоки должен быть оснащен электродвигателем постоянного тока. Следовательно, второй способ решения предпочтителен для такого многообразия и количества полуавтоматов, уже имеющихся в распоряжении пользователей, поскольку может быть реализован с источником сварочного тока любой конструкции.

При этом следует каким-либо способом задать необходимый для сварочного процесса уровень напряжения сварки U_{cb} , а система регулирования должна установить требуемый (оптимальный) для этого напряжения сварочный ток I_{cb} . Такая операция обычно выполняется за счет обратной связи по напряжению, действующему на регулируемый электропривод механизма подачи и реализующей зависимость $I_{cb} = f(U_{cb})$. В наиболее простом случае, необходимом для качественного процесса сварки, указанная зависимость носит линейный характер. Также учитывается, что сварочный ток и скорость подачи электродной проволоки v_p связаны линейной зависимостью. Два указанных условия могут служить в качестве принимаемых допущений при рассмотрении работы регулятора по принципу $I_{cb} = f(U_{cb})$. Подчеркнем, что рассматриваемое регулирование осуществляется за счет положительной обратной связи по напряжению сварки.

В работе [7] нами выполнен анализ системы регулирования, реализующей зависимость $I_{cb} = f(U_{cb})$. Определены условия устойчивой работы такой системы с минимизацией ошибок регулирования как по сигналу задания режима, так и по сигналу возмущения (изменение напряжения источника сварочного тока).

На основании произведенного анализа можно выполнить техническое построение системы регу-

лирования любой сложности и на любой элементной базе. Такая работа осуществлена в ИЭС им. Е. О. Патона. При этом учтено, что для сварки сплошными электродными проволоками в углекислом газе при различных прочих условиях зависимость $I_{\text{св}} = f(U_{\text{св}})$ можно в определенном диапазоне режимов описать следующим линейным уравнением:

$$I_{\text{св}} = \frac{U_{\text{св}} - U_{\text{св}0}}{k_x},$$

где k_x — коэффициент наклона характеристики $I_{\text{св}} = f(U_{\text{св}})$; $U_{\text{св}0} = \text{const}$.

Для исследованного диапазона режимов сварки определено, что $U_{\text{св}0} = 15$ В и это является основанием для существенного упрощения схемы регулятора. Рассматриваемая зависимость представлена на рис. 1. Следует учесть, что наклон зависимости $I_{\text{св}} = f(U_{\text{св}})$ определяется рядом факторов, в том числе диаметром электродной проволоки, видом защитного газа, используемого для свариваемого материала, пространственным положением шва и др.

Задача технической реализации регулятора в наиболее простом, повторяемом и ремонтопригодном в любых условиях виде может быть решена на основе общедоступной элементной базы. Именно такая оригинальная конструкция представлена на рис. 2.

Основу регулятора составляет регулируемый электропривод на тиристоре $VD1$ [8] (на схеме обведен штриховой линией), питание которого осуществляется от двухполупериодного выпрямителя с нефильтрованным выходным напряжением. В электропривод введена отрицательная обратная связь по напряжению на якоре электродвигателя $M1$. Напряжение этой связи сравнивается с напряжением задания, установленным резистором $R2$. Разность указанных напряжений прикладывается к управляющему переходу база — эмиттер транзистора $VT1$, усиливается им и управляет тиристором $VD1$ таким образом, чтобы поддерживать частоту вращения вала электродвигателя (т. е. ЭДС) близкой к той, которая определена напряжением задания. Очевидно, что ток сварочного процесса в начальной рабочей точке задается (настраивается) упомянутым резистором. Напряжение отсечки (15 В) настраивается резистором $R1$. Отметим, что напряжение стабилизации стабилитрона $D3$ выбрано на уровне 15 В. Наклон характеристики $I_{\text{св}} = f(U_{\text{св}})$ настраивается резистором $R3$. Согласование относительно низкоуровневого напряжения задания с напряжением якоря электродвигателя осуществляется делителем, составленным из резисторов $R8$ и $R9$. Этот делитель соединен с тиристором $VD1$ перемычкой A . Когда тиристор открыт, перемычка A не выполняет никаких функций, а в периоды его закрытого состояния по перемычке A че-

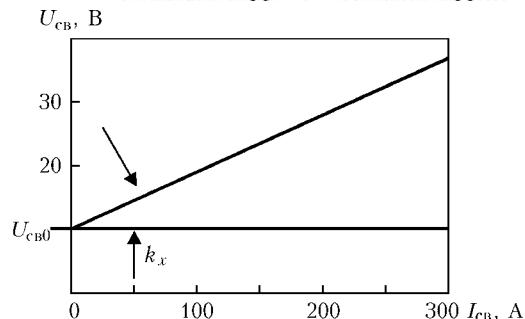


Рис. 1. Зависимость $I_{\text{св}} = f(U_{\text{св}})$ при $U_{\text{св}0} = 15$ В

рез делитель $R8$ и $R9$ отводится ЭДС электродвигателя в цепь обратной связи для сравнения с напряжением задания.

Диод $D1$ дает возможность току открытого тиристора пройти непосредственно на якорь электродвигателя, минуя делитель $R8$ и $R9$, т. е. не ослабляется последним.

Конденсатор $C1$ вместе с резистором $R4$ до некоторой степени устраняют недостатки, присущие выбранной простой тиристорной схеме электропривода (т. е. на малых частотах вращения вала электродвигателя исключают его толчковый режим работы, возможный как следствие режима работы тиристорного электропривода в зоне прерывистых токов).

Структура, состоящая из резисторов $R5$, $R6$, $R7$ и конденсатора $C3$, соответствует структуре пассивного интегрирующего контура — фильтра, рассмотренного выше. Кроме того, этот фильтр дополнительно служит средством фильтрации всплесков напряжения, являющихся следствием работы источника сварочного тока и физических явлений при ведении дугового процесса.

Предложенный регулятор в полном схемном объеме испытывался с рядом моделей сварочных полуавтоматов, которые уже длительное время ра-

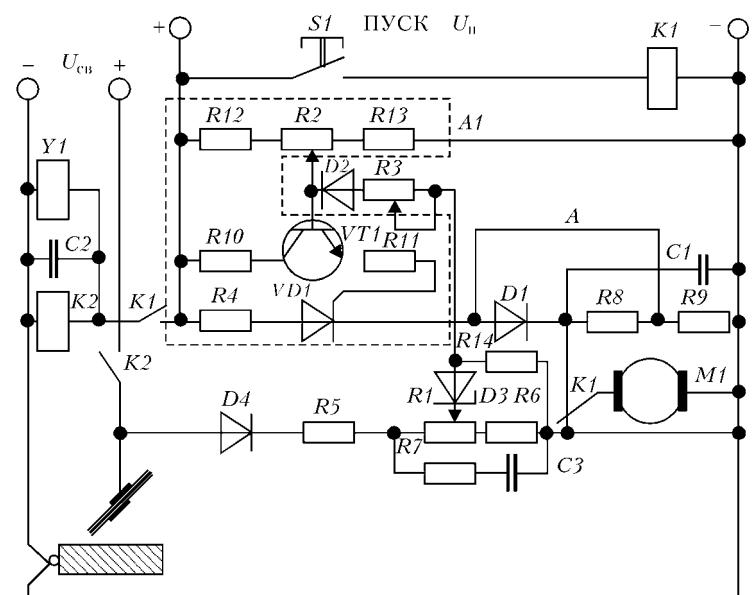


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема системы регулирования дугового процесса по принципу однокнопочного управления с использованием регулируемого тиристорного электропривода; $K1$, $K2$ — реле управления; $Y1$ — газовый клапан; остальные обозначения, кроме указанных в тексте, — элементы согласований и развязок

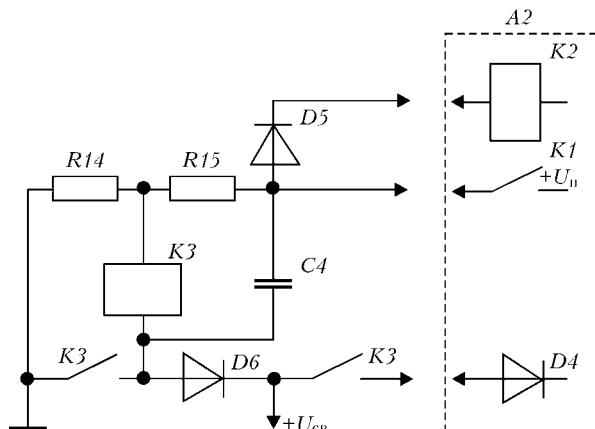


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема устройства, исключающего работу электропривода на повышенных скоростях подачи электродной проволоки; обозначения, не приведенные в тексте, — элементы согласований и развязок

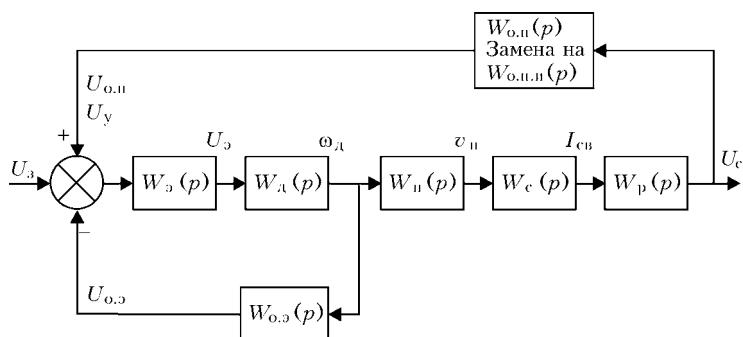


Рис. 4. Структурная схема регулятора дугового процесса при механизированной сварке плавящимся электродом: $W_a(p)$ — передаточная функция электродвигателя постоянного тока; $W_s(p)$ — передаточная функция регулятора частоты вращения вала электродвигателя (электропривод); $W_{o,n}(p)$ — передаточная функция цепи обратной положительной связи по напряжению сварочного процесса; $W_n(p)$ — передаточная функция механизма подачи электродной проволоки; $W_e(p)$ — передаточная функция звена, определяющего зависимость $I_{cb} = f(v_n)$; $W_{o,o}(p)$ — передаточная функция цепи отрицательной обратной связи, стабилизирующей частоту вращения вала приводного электродвигателя; $W_p(p)$ — передаточная функция звена, определяющего зависимость $I_{cb} = f(U_{cb})$; U_z — напряжение задания; $U_{o,n}$ — напряжение обратной связи; U_y — напряжение управления; U_o — напряжение регулятора; ω_d — частота вращения вала электродвигателя; v_n — скорость подачи электродной проволоки; $W_{o,n}(p)$ — передаточная функция обратной связи измененная

ботали в разных условиях и при выполнении различных работ. Это полуавтоматы А547Ум, А825, А1230 с электродвигателями соответственно Д90, СЛ570С, КПА561. Применили источники сварочного тока типов ВС300, ВС300Б, ВДГ303. Во всех случаях получены ожидаемые результаты, высоко оцененные сварщиками, пользовавшимися при изменении режима только установкой напряжения холостого хода источников сварочного тока. Диапазона регулирования частоты вращения вала приводного электродвигателя, создаваемого тиристорным электроприводом, входящим в состав регулятора режимов, вполне достаточно для обеспечения режимов сварки, указанных в паспортах на полуавтоматы и в ряде случаев даже превышающих их в 1,2...1,5 раза.

В несколько усеченном виде испытывали подобную систему регулирования, введенную в состав полуавтоматов, имеющих собственные регулируемые электроприводы. Полуавтоматы типов

ПДГ312, ПДГ516 укомплектованы источниками сварочного тока с плавным регулированием выходного напряжения. В этом случае решается задачастыковки регулируемых электроприводов полуавтоматов (электроприводы систем БУСП-2) с устройством выделения сигнала положительной обратной связи по напряжению сварки. Результаты такой модернизации полуавтоматов эффективны.

Можно также отметить, что схема полуавтомата в некоторых случаях имеет особенность, которую не все сварщики воспринимают положительно (рис. 2). Она состоит в том, что если процесс долго не устанавливается (торец электродной проволоки далек от места его касания или др.), то напряжение положительной обратной связи, пропорциональное напряжению холостого хода источника сварочного тока, позволяет электроприводу подавать электродную проволоку с несколько повышенной скоростью. Указанная проблема сопровождает любое техническое решение, связанное с подобной организацией обратных связей. Ее можно решать разными способами, в том числе путем применения датчиков сварочного тока.

Для этого случая с учетом принципа минимальных технических и аппаратных издержек предложено устройство (рис. 3), позволяющее достаточно просто устранить отмеченный недостаток. На рис. 3 также показан вариант подключения устройства к регулятору (рис. 2). Рассмотрим работу этого устройства. Здесь A_2 обозначены элементы регулятора (рис. 2). Подключение цепи обратной связи по напряжению сварки к входу электропривода осуществляется контактом реле K_3 (соединение с цепью диода D_4) при срабатывании реле K_3 . При включении цикла работы полуавтомата через контакт реле K_1 подается напряжение $+U_{ii}$ в цепь катушки реле K_3 . Последнее не срабатывает вследствие того, что подаваемое напряжение $+U_{ii}$ компенсируется напряжением $+U_{cb}$, находящимся на катоде развязывающего диода D_6 .

При касании электродной проволокой изделия напряжение источника сварочного тока резко снижается, т. е. $U_{cb} \rightarrow 0$, при этом разность потенциалов на обмотке реле K_3 оказывается достаточной для его срабатывания. Срабатывая, реле K_3 своими контактами берется на самоудержание и остается включенным на протяжении всего цикла сварки, обеспечивая работу цепи обратной связи по сварочному напряжению. Конденсатор C_4 служит для гарантированного включения реле K_3 при кратковременном периоде начального короткого замыкания сварочной цепи. Эффективность и надежность работы описанной схемы проверена в составе как регулятора режимов работы сварочного полуавтомата, так и различных устройств, контролирующих момент возбуждения сварочной дуги.

Выбор параметров схемы регулятора может быть осуществлен путем исследования передаточной



функции системы регулирования на устойчивость, точность с необходимыми корректирующими звенями и пр., которая составляется в соответствии со структурной схемой, представленной на рис. 4.

Следует заметить, что именно при исследовании структуры регулятора определилась необходимость введения в схему регулятора пассивного интегрирующего фильтра с необходимыми параметрами.

Одной из основных задач, которая ставилась при разработке схемы регулятора, была задача обеспечения максимально возможной простоты и доступности при повторении. Эти же технические решения могут стать основой для разработок на других элементных базах для применения в серийном сварочном оборудовании.

Для новых разработок рекомендуем использовать в качестве и регулятора, и устройства циклового управления одну из версий программируемого контроллера «ZELIO», относительно простого при программировании и доступного для обслуживания персоналу практически любых современных предприятий.

One of the methods is considered of construction of controllers of the modes of operation of mechanized arc welding equipment with arc voltage feedback. It is shown that semi-automatic welding machines, operated for a long time, can be upgraded at minimum engineering and hardware costs. This allows improving the welder's labour conditions and welded joint quality.

1. Управление процессом дуговой сварки путем программирования скорости подачи электродной проволоки // Б. Е. Патон, Н. М. Воропай, В. Н. Бучинский и др. // Автомат. сварка. — 1977. — № 1. — С. 1–5, 15.
2. Подоля Н. В., Руденко П. Н., Кобылин А. М. Полуавтомат для дуговой механизированной сварки с однокнопочным управлением // Там же. — 1993. — № 11. — С. 42–44.
3. Lucas Head W. Synergic pulsed MIG welding-process, equipment and application // FWP J. — 1985. — 25, № 6. — Р. 7–23.
4. Лебедев В. А., Пичак В. Г. Новый подход к конструированию механизма подачи электродных проволок // Автомат. сварка. — 2000. — № 4. — С. 35–38.
5. Лебедев В. А. Координированное управление режимами работы сварочного полуавтомата // Там же. — 1990. — № 12. — С. 56–56.
6. Автоматическое регулирование режима сварки порошковой проволокой // И. К. Походня, В. Н. Шлепаков, С. А. Супрун и др. // Там же. — 1975. — № 7. — С. 35–36.
7. Лебедев В. А., Кузьмин И. С., Новгородский В. Г. Регулирование дугового механизированного процесса сварки плавящимся электродом при оптимальном соотношении параметров режимов // Технология металлов. — 2002. — № 1. — С. 12–17.
8. Лебедев В. А., Полосков С. И., Братчук С. Д. Функциональные особенности электроприводов постоянного тока для сварочного оборудования // Свароч. пр-во. — 2002. — № 6. — С. 34–41.

Поступила в редакцию 23.07.2003,
в окончательном варианте 30.10.2003

ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОСВАРКИ им. Е. О. ПАТОНА НАН УКРАИНЫ

Объявляет ежегодный набор в

ДОКТОРАНТУРУ по специальностям:

- сварка и родственные технологии
- автоматизация технологических процессов
- металловедение и термическая обработка металлов
- металлургия высокочистых металлов и специальных сплавов

АСПИРАНТУРУ по специальностям:

- сварка и родственные технологии
- автоматизация технологических процессов
- металловедение и термическая обработка металлов
- металлургия высокочистых металлов и специальных сплавов

Прием в аспирантуру проводится в сентябре.

Контактный телефон: 220-84-11

Документы направлять по адресу: 03680, Украина, Киев-150, ГСП, ул. Боженко, 11

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, ученому секретарю



УНИВЕРСАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВОЗДУШНО-ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ И ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ



Научно-производственное предприятие «Плазмотрон» НТК «ИЭС им. Е. О. Патона» является традиционным разработчиком и производителем установок для воздушно-плазменной резки (ВПР). Накопленный многолетний опыт позволил создать оригинальные, не имеющие аналогов в мировой практике, установки «Дуплекс-1М», «Дуплекс-1А» и «Дуплекс-2М», сочетающие ряд важных преимуществ. К ним относятся:

зак газ–воздух вместо баллонных кислорода и ацетилена), обеспечивает в несколько раз большую скорость резания, маневренность при вырезке сложных профилей и фигурной резке, исключает коробление тонколистового металла;

в-четвертых, техника резки довольно проста. Малогабаритный ручной резак опирается на разрезаемый металл, дуга не слепит глаза, шум и газопылевые выделения почти не ощущимы, кроме реза пригодны для последующей электродуговой сварки.

Установки находят широкое промышленное применение благодаря своей простоте, универсальности, экономичности и надежности в следующих областях производства:

- в мелких мастерских по производству металлоизделий бытового назначения, в том числе при выполнении художественных работ по металлу, на металлобазах;

- при ремонте тепловых, водяных и газовых трубопроводов городского коммунального хозяйства;

- при ремонте оборудования и емкостей из нержавеющих сталей на предприятиях химической и пищевой промышленности («Дуплекс-1А»);

- при ремонте сельхозтехники и строительных работах на агрофермах.

Для осуществления ВПР к установке необходимо подать сжатый воздух под давлением 4...6 кг/см² и расходом 2,5 м³/ч от цеховой пневмосети или от маломощного компрессора.

В качестве легкосменных деталей резака применяются специальные медно-циркониевые катоды и медные сопла, срок службы которых при непрерывной работе составляет 10...15 ч.

При невысоких ценах на установки и сменные детали к ним с учетом эксплуатационных затрат их окупаемость составляет 2...3 месяца, а срок службы — неограниченный.

Предприятие «Плазмотрон» обеспечивает обучение специалистов заказчика, поставку ему необходимых запасных частей, выдает технологические рекомендации.

По всем вопросам просьба обращаться:

*Украина, 03057, Киев-57, ул. Женев Потье, 9а
тел./факс 044-456-23-36, тел. 044-456-40-50*

E-mail: plasmtec@iptelecom.net.ua

ДИССЕРТАЦИЯ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины

А. Д. Рябцев (Донецкий национальный технический университет) 17 марта 2004 г. защитил докторскую диссертацию на тему «Электрошлаковый переплав металлов и сплавов под флюсами с активными добавками в печах камерного типа».

Диссертация посвящена разработке теоретических основ камерного электрошлакового переплава (КЭШП), исследованию его основных закономерностей, созданию и реализации технологии получения товарных слитков из различных металлов и сплавов.

На основе термодинамического анализа характеристик активных флюсов создана математическая модель поведения компонентов металлсодержащих шлаковых систем на фторидной основе ($\text{MgF}_2\text{--Me}$). Исследованы физико-химические, электрические и тепловые особенности КЭШП под флюсами системы $\text{CaF}_2\text{--Ca}$. Установлено, что присадки во флюс металлического кальция приводят к переходу ЭШП в неустойчивую дуговую

область с уровнем коэффициента гармоник в пределах 25...30 %. Впервые получены данные об электропроводности флюсов системы $\text{CaF}_2\text{--Ca}$ в условиях КЭШП ($19\ldots23 \Omega^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$ при температурах процесса от 1920 до 2170 К и содержаниях кальция 3...15 вес. %). Для условий КЭШП определены оптимальные с точки зрения технологичности и глубины рафинирования металла содержания кальция в шлаках системы $\text{CaF}_2\text{--Ca}$, которые зависят от температуры процесса и находятся в пределах от 2 до 6 вес. %. Показаны возможности рафинирования, модификации и микролегирования металлическим кальцием сталей различного класса при КЭШП под флюсом системы $\text{CaF}_2\text{--Ca}$.

Теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены механизмы удаления включений нитрида титана из титана и титановых сплавов при КЭШП. Разработана технология рафинирования титана и его сплавов от нитридных включений, обеспечивающая разрушение включений со скоростью 0,7...1,1 мм/с. По данной технологии выплавлена партия слитков из титанового сплава BT 6-4 для фирмы «Дженерал электрик» (США). Результаты испытаний металла подтвердили высокую эффективность технологии, что позволило фирме



«Дженерал электрик» рекомендовать ее для промышленного опробования на ряде предприятий США и Западной Европы.

Показана возможность легирования стали и титана азотом из газовой фазы при ЭШП в камерной печи в атмосфере азота при давлении в 101 кПа под кальцийсодержащим шлаком за счет организации эффекта «накачки».

Рассмотрены перспективные направления использования разработанной технологии для производства ряда специальных сплавов. Предложен и опробован комплексный вариант решения задачи получения изделий из углеродистого титана, который включает производство слитков углеродистого титана методом КЭШП, получение из них порошкообразного материала и изготовление изделий методами порошковой металлургии.

На основании установленных закономерностей легирования металла РЗМ при КЭШП разработана технология получения сплавов железо–неодим–бор для изготовления постоянных маг-

нитов медицинских систем изображения, которая предусматривает одновременное плавление матрицы сплава под флюсом системы $\text{CaF}_2\text{--Ca--Nd}_2\text{O}_3$ и легирования ее неодимом, восстановленным металлическим кальцием из оксида неодима.

Предложены конструкторские решения по переоборудованию без больших капиталовложений действующих установок ЭШП в камерные электрошлаковые печи, надежно обеспечивающие контролируемую печную атмосферу. Впервые в бывшем СССР создан промышленный участок камерных печей ЭШП.

Новый технологический процесс получения металлов и сплавов на базе камерного ЭШП и применения активных металлоконтактирующих флюсов стал основой инновационного проекта, включенного в «Программу научно-технического развития Донецкой области на период до 2020 года», утвержденную Указом Президента Украины № 341 от 25 мая 2001 г.

УДК 621.79(088.8)

ПАТЕНТЫ В ОБЛАСТИ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА*

Устройство управления сварочного аппарата, отличающееся тем, что имеет последовательную шину данных, соединенную с ним, к которой присоединены сварочная горелка и/или другие элементы сварочного аппарата и/или сварочной установки. Патент РФ 2218251. Х. Фридль, Ф. Нидередер (Фрониус Швайссмашинен Продукцион ГмбХ унд Ко, Австрия) [34].

Способ соединения полос, включающий обрезку концов полосы под сварку, отличающийся тем, что соединяемые концы устанавливают на расстоянии $A = 130\ldots350$ мм друг от друга, затем сверху равномерно по ширине полос накладывают не менее трех пластин и сваривают их с концами полос с помощью контактной сварки, причем ширину накладываемых пластин C выбирают в пределах 100…300 мм, а крайние пластины располагают на расстоянии $B = 50\ldots80$ мм от боковых кромок полосы с меньшей шириной. Патент РФ 2218252. А. А. Морозов, Р. С. Тахаутдинов, С. Ю. Спирин и др. (ОАО «Магнитогорский меткомбинат») [34].

Датчик системы управления клещами для контактной точечной сварки от бортовок переменной ширины, отличающийся тем, что в головки подпружиненных стержней вмонтированы коленчатые валики, имеющие с одной стороны подпружиненные рычаги с возможностью качательного движения перпендикулярно плоскости сварочных клещей, взаимодействующие с конечными переключателями системы управления, а с другой — в отогнутую часть коленчатых валиков вставлены пыльцы с двумя контактными поверхностями: торцевыми, контактирующими с изгибами от бортовок изделия независимо от их ширины и поджатыми встречно друг другу, и опорными, контактирующими непосредственно с кривизной свариваемых панелей изделия и поджатыми параллельно от бортовкам. Патент РФ 2218253. Н. Н. Новиньев [34].

Устройство управления сварочной машиной, содержащей блок управления, скобу и привод скобы, отличающийся тем, что дополнительно вводятся второй вычислительный блок, второй счетчик, третий счетчик, третий задатчик установок и датчик тока, при этом вход датчика тока соединен с выходом сварочного источника питания, с которого снимается текущее значение тока сварочного источника питания, а выход датчика тока соединен с одним из входов второго вычислительного блока. Приведены и другие отличительные признаки. Патент РФ 2218254. А. Б. Рысс, А. Ф. Новицкий, А. Л. Гольдельман (ОАО АХК «ВНИПКИ» металлургического машиностроения им. акад. Целикова) [34].

Установка для лазерной обработки, отличающаяся тем, что в нее введены датчик расстояния, закрепленный на лазерной головке и соединенный через систему управления с вновь введенным следящим приводом, на штанге которого, выполненной с возможностью перемещения, установлена сама лазерная головка, привод углового поворота лазерной головки, на штанге которого, выполненной с возможностью углового поворота, установлен следящий привод, привод вертикального перемещения лазерной головки. Приведены и другие отличительные признаки. Патент РФ 2218255. В. Н. Егоров, В. Г. Корзюков, Е. А. Печерский, В. В. Синайский (ГУП «НПО Астрофизики») [34].

Порошковая проволока для наплавки открытой дугой, отличающаяся тем, что в состав шихты дополнительно введены ферроцерий, рутил, плавиковый шпат и мрамор, а вольфрамо-содержащий компонент введен в виде карбида вольфрама при следующем соотношении компонентов, мас. %: 15…22 хрома; 10…17 ферромолибдена; 2…5 феррованадия; 10…15 карбида вольфрама; 3…7 ферромарганца; 3…8 ферросилиция; 0,1…1,0 ферроцерия; 15…17 рутила; 13…15 плавикового шпата; 3,5…7,0 мрамора, причем коэффициент заполнения составляет $K_3 = 30\%$. Патент РФ 2218256. С. А. Штоколов, Л. П. Мойсов (ОАО НИИ по монтажным работам) [34].

Способ изготовления порошковой проволоки в металлической оболочке с фальцевым швом, отличающийся тем, что ширину формируемого U-образного желоба выбирают равной диаметру замкнутой оболочки порошковой заготовки, при этом предварительно разравненный и уплотненный в желобе порошковый наполнитель дополнительно обжимают валками прокатной клети перед формированием замкнутой трубчатой оболочки. Патент РФ 2218257. В. Д. Есипов (ОАО «Череповецкий сталепрокатный завод») [34].

Способ электродуговой сварки плавящимся электродом, отличающийся тем, что для изолирующего покрытия электрода выбирают шлакообразующие, парообразующие и газообразующие неметаллические материалы, включающие оксиды, галогениды и карбонаты, взятые в соотношении соответственно 1–6…4–10…1–12, обеспечивающим создание в зазоре между стенками свариваемого изделия и электрода в зоне действия дуги потока, состоящего из газа, пара и шлака, движение которого ориентировано в направлении, противоположном пути оплавления электрода. Патент РФ 2219021. В. Г. Кузьменко, Г. В. Кузьменко [35].

Устройство для дуговой сварки в среде защитных газов, содержащее сварочную горелку и газозащитную приставку с торцевой шторкой, выполненной из пластин, отличающейся тем, что пластины выполнены из упругой металлической фольги и

*Приведены сведения о патентах, опубликованных в бюллетенях РФ «Изобретения. Полезные модели, № 34–36, 2003 г. (в квадратных скобках указан номер бюллетеня).



жестко закреплены на вертикальном стержне с образованием угла между собой, при этом стержень установлен с возможностью перемещения вдоль своей оси и фиксации. Патент РФ 2219022. В. П. Гордо, В. Н. Елкин, Н. Г. Фролов (ФГУП «НИКИ энергетики им. Н. А. Доллежаля») [35].

Способ получения сваркой взрывом изделий с внутренними каналами, отличающийся тем, что полостеобразующий материал в виде полимерных волокон размещают в трубчатой облицовке, ориентируя их вдоль осевого канала трубчатой облицовки, а в верхней части трубчатой облицовки устанавливают стальной конический обтекатель с углом при вершине конуса, равным 60...90°, и заполняют трубчатую оболочку прессуемым порошком. Приведены и другие отличительные признаки. Патент РФ 2219023. С. П. Писарев (Волгоградский ГТУ) [35].

Способ изготовления биметаллических переходников малого диаметра методом диффузионной сварки, отличающийся тем, что в отверстии наружной трубчатой заготовки выполняют, по крайней мере, одну кольцевую проточку, диаметром, превышающим наружный диаметр резьбы, которую заполняют металлом стержня с обеспечением диффузионной сварки его по всей поверхности проточки. Патент РФ 2219024. А. Н. Семенов, В. Н. Тюрин, Г. Н. Шевелев (ФГУП «НИКИ энергетики им. Н. А. Доллежаля») [35].

Малогабаритный переходник для сварки разнородных трубок малого диаметра, отличающийся тем, что на внутренней поверхности наружной втулки на расстоянии не менее 2 мм от края нахлестки в разъёбе выполнены, по крайней мере, один кольцевой вакуумноплотный затвор в виде проточки, шириной не менее 2 шагов резьбы, заполненный металлом внутренней втулки, диффузионно сваренным с металлом наружной втулки. Патент РФ 2219025. А. Н. Семенов, В. Н. Тюрин, Г. Н. Шевелев (То же) [35].

Заготовка для диффузионной сварки внахлестку трубчатых переходников, отличающаяся тем, что длина внутренней втулки выполнена минимум на 20 мм больше по сравнению с длиной втулки, достаточной для изготовления переходника, а длина проточки для нахлестки наружной втулки увеличена, по крайней мере, до длины увеличенной внутренней втулки. Патент РФ 2219026. А. Н. Семенов, В. Н. Тюрин, Г. Н. Шевелев (То же) [35].

Способ изготовления неразъемного соединения двух тел, выполненных из разнородных металлов, отличающийся тем, что покрытие наносят из металла, способного образовывать эвтектику и по меньшей мере один интерметаллид по меньшей мере с тем из разнородных металлов, который имеет меньшую температуру плавления, при этом покрытие наносят толщиной, достаточной для образования градиентного композита и полного перехода металла покрытия в градиентный композит, нагрев и компрессию осуществляют в условиях, обеспечивающих полный переход металла покрытия в градиентный композит, а процесс образования градиентного композита контролируют. Патент РФ 2219027. Б. А. Земнов, Б. С. Крылов, В. Ф. Юдкин и др. (ООО «Амалгамэйтед Технологическая группа») [35].

Устройство для лазерной сварки тонких проводников, отличающегося тем, что оно снабжено фокусирующими линзой, размещенной в оптическом канале корпуса, отражатель выполнен коническим с отверстием на входе с диаметром, равным диаметру лазерного луча, прямоугольное основание призматического делителя имеет длину основания $A = D_{л.л.}$, а ширину основания $B = (0,4...0,6)D_{л.л.}$, где $D_{л.л.}$ — диаметр лазерного луча. Патент РФ 2219028. В. А. Гребенников, С. С. Бабинов, Г. И. Джанджкова, А. А. Ефанов (ОАО Раменское приборостроительное КБ) [35].

Способ размерной обработки композиционного материала, отличающийся тем, что в качестве модового состава излучения используют комплексную моду, а фокус луча направляют внутрь материала на расстояние от поверхности в пределах $1/2...5/8$ его толщины, поддерживая при этом мощность излучения 500...700 Вт и скорость движения луча в пределах 0,8...2,5 см/с. Патент РФ 2219029. Н. А. Кузьменко, Е. А.

Жуков, А. П. Кузьменко (Ин-т материаловедения Хабаровского НЦ Дальневосточного отделения РАН) [35].

Пропой для низкотемпературной пайки, отличающейся тем, что он дополнительно содержит висмут, кадмий, кремний, марганец, серебро при следующих соотношениях компонентов, мас. %: 8...20 меди; до 2,1 цинка; 0,05...2,0 железа; 0,1...1,0 никеля; 0,1...0,5 сурьмы; до 0,1 висмута; до 0,05 кадмия, до 0,05 марганца, серебра, кремния; остальное олово. Патент РФ 2219030. Д. С. Пришвин, З. П. Шмикина, Б. А. Павлов, Н. В. Щербаков (ОАО «ГАЗ») [35].

Покрытие для защиты поверхности от налипания брызг расплавленного металла, отличающееся тем, что в качестве наполнителя введен сапропель при следующем содержании компонентов, г на 1 л воды: 100...150 сульфитно-спиртовой барды; 40...50 кальцинированной соды; 200...250 сапропели. Патент РФ 2219031. В. Т. Федыко, С. Б. Сапожков, А. Н. Дведенидов и др. (ОАО «Юрчинский машзавод») [35].

Состав электродного покрытия, отличающейся тем, что в него дополнительно введены каолин, рутил, полевой шпат и органический пластификатор при следующем соотношении компонентов, мас. %: 10...12 плавикового шпата; 2...4 каолина; 10...14 рутила; 6...9 полевого шпата; 4...8 ферромарганца; 9...12 ферросилиция; 1...2 органического пластификатора; остальное мрамор. Патент РФ 2219032. М. М. Лозовский, А. П. Волохов, Е. В. Ашихмин и др. (ЗАО «Сибэс») [35].

Экономнолегированный электрод для износостойкой наплавки, отличающейся тем, что покрытие дополнительно содержит медный порошок и феррованадий при следующем соотношении компонентов, мас. %: 18,0...22,0 плавикового шпата; 10,0...16,0 полевого шпата; 18,0...22,0 феррохрома; 8,0...11,0 ферросилиция; 4,0...6,0 графита серебристого; 0,3...0,7 медного порошка; 0,3...0,7 феррованадия; остальное мрамор; 25,0...35,0 жидкого стекла (к массе сухой смеси), при этом отношение содержания феррованадия к содержанию графита (FeV/C) должно составлять 0,055...0,170. Патент РФ 2219033. В. В. Рыбип, А. С. Орыщенко, В. Н. Слепнев и др. (ФГУП ЦНИИКМ «Прометей») [35].

Способ изготовления сборочно-сварочного кондуктора кузовных деталей транспортных средств при переходе с одной модели на другую, отличающейся тем, что на контрольную плиту трехкоординатной измерительной машины размещают кондукторную плиту, устанавливают и выверяют на ней промежуточную раму с узлами фиксации, размещаемыми во время работы вне плиты кондуктора, затем все остальные узлы фиксации, располагаемые в процессе работы на плите кондуктора. Приведены и другие отличительные признаки. Патент РФ 2219034. Е. С. Герлов, А. Е. Хабаров, Е. А. Пушкин (ОАО «ГАЗ») [35].

Машина для кислородной резки труб, отличающаяся тем, что механизм крепления резака содержит подпружиненную штангу, установленную с возможностью продольного относительно оси трубы перемещения по регулируемым направляющим качения, струну и направляющий механизм для струны в виде шарнирного уравновешенного параллелограмма, установленного на цапфах с возможностью поворота вокруг их общей оси, направленной, как и ось струны, в точку пересечения оси резака с поверхностью трубы, при этом остается неизменной длина образующей конуса, описываемого струной. Патент РФ 2220032. А. Я. Хардин (ФГУП Комбинат «Электрохимприбор») [36].

Машина для кислородной резки труб, отличающаяся тем, что она снабжена тормозным устройством, установленным на ведущие колеса и состоящим из тренияных дисков, нажимных рычагов с пальцами и толкателей с пружинами, и быстросъемной переналаживаемой цепью, состоящей из роликов с осями, звеньев с отверстиями для осей роликов и с шарнирно закрепленными крючками, соединительных звенев с отверстиями для осей роликов и элементов фиксации звенев на осях. Патент РФ 2220033. А. Я. Хардин (То же) [36].

Способ дуговой сварки с короткими замыканиями дугового



промежутка, отличающийся тем, что в момент коротких замыканий дугового промежутка осуществляют подогрев зоны сварки и переход металла электрода в сварочную ванну энергией постоянно действующего дополнительного источника электрической энергии с напряжением 0,5...1,0 минимального напряжения горения дуги. Патент РФ 2220034. Е. А. Копиленко, Г. В. Павленко, М. В. Каравес и др. (ЗАО НПФ «Инженерный и технологический сервис») [36].

Система управления установкой для электродуговой сварки, выполняющей процесс сварки, включающий дугу между электродом и заготовкой, причем упомянутая система содержит быстродействующий источник питания импульсного типа с выходным током, управляемым величиной входного сигнала; датчик для измерения фактического выходного тока; датчик для измерения фактического выходного напряжения; первую схему для создания управляющего сигнала; вторую схему для создания сигнала реального времени, отображающего мощность упомянутой дуги и третью схему для регулировки упомянутого входного сигнала посредством сравнения упомянутого сигнала управления и упомянутого сигнала дуги реального времени. Приведены и другие отличительные признаки. Патент РФ 2220035. Брюс Э. Фалмер, Стивен Р. Питерс (Линкольн Глобал, Ник, США) [36].

Токопроводящий наконечник для дуговой сварки плавящимися электродом, отличающийся тем, что удлиненный корпус выполнен в виде трубки, вкладыш выполнен длиной не менее половины длины удлиненного корпуса по меньшей мере из двух частей, сопряженных между собой по продольным контактным поверхностям, на которых выполнены продольные канавки, образующие его центральное продольное сквозное отверстие, при этом на наружных боковых поверхностях каждой из сопряженных частей вкладыша выполнен фиксирующий элемент, а сопряженные части вкладыша установлены в удлиненном корпусе так, что все их граничащие поверхности размещены плотно прилегающими друг к другу. Патент РФ 2220036. Н. А. Роптанов, А. И. Осикин, В. А. Фролов, В. А. Шушурин (ОАО «АВТОВАЗ») [36].

Ся электродом, отличающийся тем, что удлиненный корпус выполнен в виде трубки, вкладыш выполнен длиной не менее половины длины удлиненного корпуса по меньшей мере из двух частей, сопряженных между собой по продольным контактным поверхностям, на которых выполнены продольные канавки, образующие его центральное продольное сквозное отверстие, при этом на наружных боковых поверхностях каждой из сопряженных частей вкладыша выполнен фиксирующий элемент, а сопряженные части вкладыша установлены в удлиненном корпусе так, что все их граничащие поверхности размещены плотно прилегающими друг к другу. Патент РФ 2220036. Н. А. Роптанов, А. И. Осикин, В. А. Фролов, В. А. Шушурин (ОАО «АВТОВАЗ») [36].

Токопроводящий наконечник для дуговой сварки плавящимися электродом, отличающийся тем, что удлиненный корпус выполнен в виде трубки, вкладыш выполнен длиной не менее половины длины удлиненного корпуса путем смыкания двух поверхностей, полученных в результате изготовления в нем радиального выреза, соединенного с поверхностью центрального продольного сквозного отверстия, при этом на наружной боковой поверхности вкладыша выполнен фиксатор, а центральное продольное сквозное отверстие вкладыша имеет в поперечном сечении заданные форму и размеры. Патент РФ 2220037. Н. А. Роптанов, А. И. Осикин, В. А. Фролов, В. А. Шушурин (То же) [36].

ПО ЗАРУБЕЖНЫМ ЖУРНАЛАМ*



(Германия), 2003. — № 9 (нем. яз.)

Mohr G. Очень хорошие успехи немецкого сварщика в международном соревновании, с. 465–466.

Hornig H. Лазерная горелка для высокотемпературной пайки деталей кузовов, с. 468.

Разделка утонувшего грузового судна «Tricolor», с. 470.

Janssen-Timmen R., Moos W. Сварка и резка 2002 — твердая позиция в трудной ситуации, с. 476, 478–482, 484, 486–487.

Drews P., Starke G. et al. Автоматическая наплавка при ремонте инструмента для обработки давлением, с. 488, 490–493.

Bach F.-W., Krussel T., Bruns C. Приварка шпилек — дуговая и трением на соединительных элементах с металлической пеной, с. 494, 496, 498, 500–501.

Dilthey U. et al. Разработка и сварка износостойких алюминиевых сплавов для изготовления алюминиевых форм, с. 502–503, 506–508, 510–511.

Haferkampf H. et al. Применение термографического способа для определения свариваемости лазерным лучом пластмасс при различной длине волны, с. 512, 514, 516, 518–520, 522–523.

Seemann K. et al. Конференция и демонстрация по термическому напылению в мае 2003 г., США, Орландо, с. 530–533.

(Германия), 2003. — № 10 (нем. яз.)

Вступление в ЕС новых членов активизирует восточноевропейский рынок сварочной техники, с. 540–541.

Электронно-лучевая сварка в атмосфере элементов легких конструкций, с. 543–547.

Hoffmann G. Автоматизация повышает производительность автогенной резки, с. 544–545.

Выставка в Дюссельдорфе A+A «Производственные и личные средства защиты обеспечивают безопасность и охрану здоровья», с. 548–549.

Mecke H. et al. Магнитные поля вблизи установок для контактной сварки, с. 550, 551–558.

Bach F.-W. et al. Подготовка субстрата за один рабочий процесс путем сухого облучения и термического напыления, с. 560, 562, 564–565.

Weber G., Momeni K., Goklu S. Сварка тонких стальных листов для легких кузовов. Влияние сварочных параметров при контактной точечной сварке, с. 566, 568–572, 574–575.

Flory H. Актуализация справочника DVS-98 по системе управления качеством, с. 576.

Zwartz R. Требования к квалификации способов сварки металлических материалов, с. 581–582.

Schambach B. Сварка и практические процессы. Заседание Технического комитета в Париже в июле 2003 г., с. 583–587.

Orlick H. Соединение и конструирование в производстве рельсового транспорта, с. 588–590.



(Испания), 2003. — Ano XIV, № 79 (Enero/Febrero) (исп. яз.)

Hilkes J. et al. Характеристики современных расходуемых материалов для сварки нержавеющих сталей, с. 12–16.

Pahl E. Сварка, используемая при изготовлении вагонов высокоскоростных поездов в Германии, с. 17–22.

(Испания), 2003. — Ano XIV, № 80 (Marzo/Abril) (исп. яз.)

Quintino L. Международная система по обучению, аттестации и сертификации персонала, работающего в области сварки, с. 16–21.

Farrow N., Studholme S. Новые разработки присадочных металлов для сварки под флюсом, с. 22–25.

(Испания), 2003. — Ano XIV, № 81 (Mayo/Junio) (исп. яз.)

Европейская директива для сосудов давления без огневого подвода теплоты (97/23/CE) применительно к аттестации сварных соединений, с. 12–16.

Salazar J. M. G. de et al. Импульсно-дуговая сварка МИГ дуплексной стали марки Avesta 2205 — влияние содержания N₂ в защитном газе, с. 18–25.

(Испания), 2003. — Ano XIV, № 82 (Julio/Agosto) (исп. яз.)

* Раздел подготовлен сотрудниками научной библиотеки ИЭС им. Е. О. Патона. Более полно библиография представлена в Сигнальной информации (СИ) «Сварка и родственные технологии», издаваемой в ИЭС и распространяемой по заявкам (заказ по тел. (044) 227-07-77, НТБ ИЭС).



КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Marshall A. W., Farrar J. C. M. Состояние сварки ферритных и мартенситных сталей с 11...14% хрома, с. 14–20, 22–28, 30–32, 34–41.



(Испания), 2003. — Ano XIV, № 83 (Sept./Octubre) (исп. яз.)

Asta et al. Оценка сварных швов, выполненных на высокопрочных сталях с помощью метода сварки порошковой автоматизированной проволокой в среде защитного газа.

Оптимизация качества работ, а также пригодности к использованию для резки в области судостроения, с. 22–26.

(Испания), 2003. — Ano XIV, № 84 (Enero/Febrero) (исп. яз.)

Berride J. et al. Дуговая приварка шпилек к анкерным элементам в судостроении, с. 18.

Gross V. et al. Сварка нового поколения мартенситных сталей для тепловых электростанций, с. 24–33.

(Франция), 2003. — Vol. 57, № 5/6 (франц. яз.)

Lawrjaniec D. et al. Численное моделирование процесса сварки трением с перемешиванием, с. 3–8.

Контроль окружающей среды в сварочном производстве, с. 11–13.

Выставка POLLUTEC в Вильпенте (Северный Париж), 2–5 декабря 2003 г., с. 23–24.

Выставка «Welding Week 2003», 14–17 окт.ря 2003 г., с. 35–58.

Круглый стол, посвященный обсуждению выставки «Welding Week 2003», с. 59–64.



(Великобритания), 2003. — № 127 (англ. яз.)

Высокий уровень услуг для авиационной промышленности, с. 1.

Общий обзор дефектов сварных швов — типы и причины, с. 4–5.



(Югославия), 2003. — Let. 52, № 2 (словен. яз.)

Rihar G. Сварка резервуаров небольшого размера для хранения сжиженного нефтяного газа, с. 46–49.

Diaci J. et al. Формирование ядра сварной точки в процессе контактной точечной сварки разнородных сталей, с. 50–54.



(Германия), 2003. — № 6 (англ. яз.)

Признаки восстановления европейского промышленного производства сварочного оборудования, с. 310–312.

Killing R. Причины разрыва капель при сварке плавящимся электродом в среде активного защитного газа малоглеродистых и низколегированных сталей, с. 313–315.

Dilthey U., Hichiri H. Конструкция системы наблюдения и управления для контроля в реальном масштабе времени процессов сварки МИГ на основе нейронной сети с нечеткой логикой, с. 316–321.

Meschut G., Gansicke T. Экспериментальный и компьютерный анализ напряжений в клеевых слоях соединений между термически несопоставимыми материалами, с. 322–326, 329–332.

Klimpel A. Порошковая наплавка легированного чугуна с шаровидным графитом, с. 334–339.

Bach F.-W. et al. Высокотемпературная пайка с частичным нагревом тонких компонентов из титановых сплавов, с. 340–342.

Matthes K.-J., Alaluss K. Применение метода конечных элементов при изготовлении инструментов горячей штамповкой с использованием фасонной наплавки, с. 348–354.



(США), 2003. — Vol. 82, № 10 (англ. яз.)

Chang C. S., Jha B. Применение сварки прокаткой в сочетании с высокотемпературной пайкой, с. 28–31.

Shapiro A., Rabinkin A. Современное состояние высокотемпературных припоеv на основе титана, с. 36–43.

Petegrew R. D. et al. Влияние гравитации на паяные соединения в космических летательных аппаратах, с. 44–48.

Kay D. Галтели при низкотемпературной пайке — хорошо или плохо?, с. 50–54.

Gould J. E. Теоретический анализ параметров контактной роликовой сварки тонколистовой стали с раздавливанием кромок, с. 263–267.

Vianco P. T. et al. Извлечение титана в паяных соединениях Ag–Cu–Ti, с. 268–276.

Solomon H. D. et al. Баланс высокотемпературного смачивания и влияние пескоструйной обработки на высокотемпературный припой из IN718, с. 278–287.

Collins M. G., Lippold J. C. Исследование образования трещин провала пластичности в присадочных материалах на основе никеля. Ч. 1, с. 288–295.

Mendez P. F., Eagar T. W. Проплавление и образование дефектов при сварке многоамперной дугой, с. 296–306.



(Югославия), 2003. — Vol. 46, № 3–4 (сербскохорв. яз.)

50-я годовщина Общества сварщиков Хорватии, с. 85–88.

Ferraz R. O. Системы международного обучения, аттестации и сертификации в области сварки, с. 89–95.

Hackl H. Высокотемпературная пайка оцинкованных тонколистовых материалов, с. 101–104.



(Словакия), 2003. — Vol. 52, № 3–4 (словац. яз.)

Kalna K. Расчет и изготовление сосудов давления и резервуаров-хранилищ согласно новым европейским стандартам и спецификациям, с. 49–52.

Hrvnak I., Jesensky M. Лазерная и электронно-лучевая сварка двухфазной нержавеющей стали, с. 53–59.

Bruncko J., Uherek F. Лазерная сварка и методы контроля технологическими процессами, с. 59–63.

Brunsko J., Michalka M., Uherek F. Эмиссионная спектроскопия лазерной плазмы при лазерной сварке, с. 64–67.

Schmidova E. Эксплуатационная прочность поверхности раздела структурно-неоднородных сварных швов, с. 68–71.

(Словакия), 2003. — Vol. 52, № 5–6 (словац. яз.)

Ondrejcek P. Проблемы сварки в исследовательских программах Европейского Союза, с. 93–96.

Sobotka J. et al. Оценка свойств сварных соединений толстых плит из углеродистой стали, стойкой к ползучести, при длительной эксплуатации, с. 96–103.

Kulekci M. K. Механические свойства сварных соединений из сплава AlCu₄SiMg, выполненных сваркой трением с перемешиванием, с. 104–107.

Leitner B. Термитная сварка контактных проводов на газопроводе, с. 108–110.

Kolenak R. et al. Низкотемпературная пайка тонких покрытий с использованием бессвинцовых припоеv, с. 111–113.

Bielak R., Stiglbrunner C. Европейская виртуальная лазерная лаборатория, с. 114–115.

Jajcay A. Возможности и меры повышения производительности процесса производства сварных изделий и конструкций, с. 116–121.

Посещение министром науки, исследований и технологий Исламской Республики Иран г-ном Джаяфаром Тоуфиги ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины

10 марта 2004 г. в рамках официального визита в Украину министр науки, исследований и технологий Исламской Республики Иран г-н Джаяфар Тоуфиги в сопровождении Чрезвычайного и Полномочного посла Исламской Республики Иран в Украине г-на Бахмана Мобараеке и других иранских официальных лиц посетил ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, где встретился с президентом НАН Украины, директором ИЭС им. Е. О. Патона академиком Б. Е. Патоном. С украинской стороны во встрече участвовали заместитель министра образования и науки Украины В. С. Стогний, директор Национальной библиотеки Украины им. В. И. Вернадского академик НАН Украины А. С. Онищенко, заместитель директора ИЭС им. Е. О. Патона академик НАН Украины Л. М. Лобанов, а также ряд ведущих ученых и специалистов НАН Украины и ИЭС им. Е. О. Патона.

Академик Б. Е. Патон подробно ознакомил г-на Джаяфара Тоуфиги со структурой и основными направлениями деятельности Национальной академии наук Украины, с последними достижениями украинских ученых, а также с результатами крупных проектов, которые совместно в последние 5...10 лет разрабатывали украинские и иранские ученые и специалисты, в том числе в рамках Договора о Сотрудничестве между НАН Украины и Организацией развития и восстановления Ирана, меморандумов с Центром индустриально-технологических исследований Ирана и Исламским AZAD-университетом. Все эти документы были подписаны в январе 1995 г. во время визита в Иран делегации НАН Украины во главе с президентом НАН Украины академиком Б. Е. Патоном.

В качестве примеров успешного сотрудничества академик Б. Е. Патон назвал совместные исследования в области оптики и лазерной физики Института физики НАН Украины и Университета Малек-Аштар из города Шахин, Института математики НАН Украины и Института теоретической физики и математики в Тегеране.

Есть достижения и в гуманитарной области — реализуется двусторонний договор о международном сотрудничестве между Национальной библиотекой им. В. И. Вернадского НАН Украины и Посольством Исламской Республики Иран в Украине. В 2003 г. при поддержке Министерства иностранных дел Исламской Республики Иран и Посольства Исламской Республики Иран в Украине библиотека провела международную конференцию «Современная иранская поэзия» с участием ученых, специалистов и литераторов из Ирана и Украины.

Далее академик Б. Е. Патон остановился на сотрудничестве ИЭС им. Е. О. Патона с научными учреждениями и фирмами Исламской Республики Иран. В качестве одного из примеров такого сотрудничества можно привести контракт, выполненный для Департамента же-

лезных дорог Ирана, который предусматривает поставку машин для контактной сварки рельсов нового поколения. В настоящее время ведутся переговоры о поставке в Иран электронно-лучевых установок для выплавки титановых слитков, поставке оборудования и передаче технологии наплавки стальных и чугунных валков прокатных станов и др.

В 2000 г. между ИЭС им. Е. О. Патона и Министерством труда и социальных вопросов Исламской Республики Иран было подписано соглашение об организации Иранского института сварки. В рамках этого соглашения ИЭС также принял на себя обязательства выполнить работу по приведению профессиональных систем обучения Ирана в соответствие с требованиями Международного стандарта ISO 9606-1. К сожалению, эти соглашения пока не реализованы по причинам, не зависящим от специалистов ИЭС им. Е. О. Патона.

В целом, несмотря на отдельные недостатки, академик Б. Е. Патон весьма позитивно оценил сотрудничество между институтами НАН Украины и соответствующими организациями Исламской Республики Иран.

В ответном выступлении министр Джаяфар Тоуфиги поблагодарил академика Б. Е. Патона за обстоятельную информацию о Национальной академии наук Украины и результатах сотрудничества институтов и учреждений академии с научными и учебными институтами и университетами, а также производственными фирмами Исламской Республики Иран. В мире широко известны достижения украинских ученых и иранская сторона придает большое значение сотрудничеству с Национальной академией наук Украины.

В своем выступлении г-н Джаяфар Тоуфиги отметил необходимость активизации научно-технического сотрудничества и устранения тех факторов, которые могут негативно влиять на развитие сотрудничества ученых двух стран.

В заключение академик Б. Е. Патон и г-н Джаяфар Тоуфиги подписали Меморандум о взаимопонимании в области науки, исследований и технологий между НАН Украины и Министерством науки, исследований и технологий Исламской Республики Иран.

В демонстрационном зале академик Б. Е. Патон ознакомил высокого гостя и сопровождающих его лиц с последними разработками института в области сварки, наплавки и нанесения защитных покрытий, производства сварных конструкций и изделий в различных областях промышленного производства. Особый интерес у иранских гостей вызвали разработки института, предназначенные для использования в космосе и Мировом океане.

Пресс-группа ИЭС

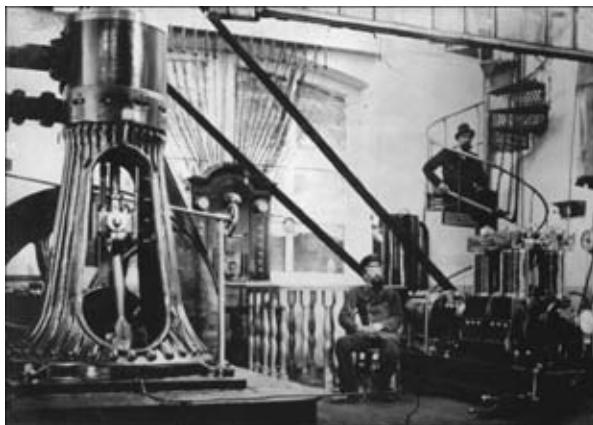


К 150-летию со дня рождения Н. Г. Славянова

Николай Гаврилович Славянов родился 5 мая (23 апреля) 1854 г. в селе Никольское Задонского уезда Воронежской губернии (ныне Липецкая область). После окончания гимназии с золотой медалью он в 1872 г. был принят в Петербургский горный институт, а в 1877 г. молодой горный инженер первого разряда стал работать на заводах Урала. С 1883 г. до конца жизни Н. Г. Славянов работал на Пермских казенных пушечных заводах.

Пермские заводы, оснащенные передовой техникой и укомплектованные опытными специалистами, выпускали артиллерийские орудия, снаряды и другую военную продукцию, а также различные машины и механизмы. Здесь Николай Гаврилович с увлечением работал над созданием электрического освещения, нового метода соединения металлов и ремонта металлических деталей.

Идеи дуговой сварки плавящимся электродом неоднократно выдвигались во второй половине XIX в. Однако только в ноябре 1888 г. впервые в мире российский изобретатель Н. Г. Славянов осуществил процесс сварки дугой прямого действия металлическим (стальным) электродом. Этому практическому внедрению предшествовало решение комплекса проблем по созданию оборудования, разработке технологии и применению сварочных материалов. В частности, изобретатель предложил исключить из



Электромашинный зал Пермских пушечных заводов. Н. Г. Славянов около динамомашины (сварочного генератора)



Н. Г. Славянов с рабочими и мастерами «электроплавильного» участка

сварочной цепи аккумуляторную батарею Н. Н. Бенардоса, оставив в качестве источника питания только генератор. Для реализации этой идеи Н. Г. Славянов разработал специальный сварочный генератор тока. Важнейшим элементом изобретения является применение для защиты зоны сварки металлургических флюсов.

Серьезное внимание Н. Г. Славянов уделял механизации и автоматизации дуговой электросварки. Он сконструировал и опробовал первый в мире сварочный полуавтомат («электроплавильник»), элементы которого использованы и в некоторых типах современных автоматических сварочных головок.

Н. Г. Славянов, изучив процессы плавления металла ванны, положил начало научным основам дуговой сварки. Ему удалось широко использовать результаты исследований в производстве. Для становления и развития дуговой сварки особое значение имела книга Н. Г. Славянова «Электрическая отливка металлов», изданная в 1892 г. Она фактически стала первым в мире научным руководством по дуговой сварке и позже была переиздана в Берлине (1929), Москве (1954).

Доведя свой способ и аппарат до совершенства, Н. Г. Славянов подал заявки и получил в 1890–1891 гг. патенты на «Способ электрического уплотнения металлических отливок» и «Способ и аппараты для электрической отливки металлов» в России, Франции, Германии, Англии, Австро-Венгрии и Бельгии, а также подал заявки в США,



Грамота Всемирной Колумбийской выставки (1893, США), которой отмечен вклад Н. Г. Славянова в создание электросварки

Швецию, Италию. Так он назвал способ сварки и способ заполнения усадочных раковин при остывании отливок.

Изобретения российского инженера содержат несколько технических решений, которые в последующие годы послужили основой для развития сварки. Н. Г. Славянов предложил: специальный сварочный генератор; принципиальную схему сварочного поста; плавящийся электрод с дугой прямого действия; флюс для защиты и легирования; формирующие устройства и технику принудительного формирования шва; механизм ручной и автоматической подачи электрода со слежением по напряжению дуги; сварку (наплавку) разнородных металлов; сварку двумя дугами; предварительный подогрев. Кроме того, в 1982 г. при воспроизведении технологии сварки на аппарате Н. Г. Славянова в ИЭС им. Е. О. Патона было установлено, что: 1) электрод подается с колебаниями, вызванными инерционностью взаимодействия соленоида и пружины; 2) периодически при низкой плотности тока и высоком слое жидкого флюса возникает электрошлаковый процесс.

Н. Г. Славянов, будучи горным начальником Пермских пушечных заводов, с 1891 г. и до конца жизни руководил сварочно-литейными работами в специально созданном цехе и продолжал совершенствовать технологию и оборудование. Изобретатель так научился управлять процессом «электрической отливки», что обеспечил самое высокое качество сварки и наплавки любого металла, использовавшегося в то время в промышленности. На Пермских пушечных заводах сварка применялась в большом объеме для изготовления и ремонта дефектов изделий по государственным заказам (детали паровых машин, рамы паровозов, котлы, части пушек и др.). Выполнялись и многочисленные частные заказы на ремонт узлов мельниц, колоколов и др. В 1897 г. по проекту Н. Г. Славянова был изготовлен сварочный аппарат в Екатеринославе. Установки «электрической отливки» металлов работали на заводах в Севастополе, Коломне, Луганске, Златоусте, Одессе, Ижевске и других городах России, а также за рубежом — в Германии, Бельгии и др. Способы электродуговой сварки и уплотнения слитков были высоко оценены на выставках в России и за рубежом (Франция, США).

Николай Гаврилович занимался организационными, научно-исследовательскими, производственными работами и не щадил себя, несмотря на слабое здоровье. Руководя сварочными работами на открытом воздухе, Н. Г. Славянов простудился, тяжело заболел и умер в Перми 17 (5) октября 1897 г.

К началу XX в. применение сварки по способу Славянова сильно сократилось. Объясняется это в первую очередь сложностью (по тем временам) техники выполнения сварки. Попытки упростить способ, исключить некоторые операции приводили к резкому ухудшению качества соединения. Однако уже в первом десятилетии XX в. получила развитие идея сварки металлическим электродом, сначала без покрытия, а затем и со стабилизирующими и легирующими покрытиями (А. Строменгер, О. Кельберг и др.). Продолжалось совершенствование генераторов. К концу 1930-х гг. исследователи вернулись к идеи Н. Г. Славянова защищать зону сварки насыпным флюсом, а электрод подавать без покрытия. Высоких результатов достигли в США (фирма «Линде», Г. Э.



Открытие памятника Н. Г. Славянову. Пермь, 14 сентября 1988 г.

Кеннеди и др.) и в СССР (Институт электросварки, под руководством Е. О. Патона В. И. Дятлов и А. М. Лапин). В истории сварки начался период интенсификации известных и разработки новых высокопроизводительных видов сварки. С решением проблемы сварки вертикальных и горизонтальных швов (1949 г. — ИЭС им. Е. О. Патона; 1957 г. — США), с созданием шланговых полуавтоматов сварка под флюсом стала более универсальной. Благодаря двухдуговому процессу, а затем и сварке большим количеством дуг, скорость сварки достигла нескольких сот метров в час. Таким образом, к концу 1950-х гг. все существенные элементы изобретения Н. Г. Славянова были реализованы в новых способах сварки с высокими техническими и экономическими эффектами.

Вклад Н. Г. Славянова в становление сварочного производства высоко оценили крупнейшие специалисты К. К. Хренов, В. П. Никитин, Г. А. Николаев и др. Е. О. Патон, доказывая приоритет отечественных разработок, ссылался на изобретения Н. Г. Славянова. С докладами на конференциях, посвященных 100-летию и 125-летию со дня рождения выдающегося инженера-изобретателя нового способа сварки, выступал Б. Е. Патон.

В 1988 г. сварочная общественность широко отмечала 100-летие изобретения сварки по методу Н. Г. Славянова. В Перми состоялась научная конференция. К этому событию по предложению академика Б. Е. Патона был создан мемориальный музей и сооружен памятник изобретателю.

А. Н. Корниенко, канд. техн. наук

НАШИ ПОЗДРАВЛЕНИЯ!

Я. И. МИКИТИН — ГЕРОЙ УКРАИНЫ



Коллектив Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины горячо и сердечно поздравляет председателя правления ОАО «Каховский завод электросварочного оборудования» (КЗЭСО) — академика Академии инженерных наук Ярослава Ивановича Микитина с присвоением ему звания «Герой Украины» с вручением ордена Государства.

Многие знают и высоко ценят Я. И. Микитина как высококвалифицированного специалиста в области электросварочной техники, талантливого и успешного руководителя и организатора производства, горячего поборника технического прогресса, специалиста, который решительно берется за выполнение самых сложных задач и умеет мобилизовать и использовать все ресурсы для достижения положительного результата.

Более 30 лет Ярослав Иванович неразрывно связан с Каховским заводом электросварочного оборудования, где

прошел путь от конструктора до руководителя предприятия. В чрезвычайно сложных условиях перехода страны на принципы рыночной экономики Я. И. Микитин обеспечил улучшение финансово-экономических показателей работы завода благодаря его реорганизации, оснащению производственных мощностей современной техникой и определению перспективной специализации производства.

Большая заслуга Я. И. Микитина в дальнейшем укреплении, развитии и повышении эффективности тесного научно-технического и коммерческого сотрудничества завода с ИЭС, что позволило освоить производство нового поколения разработанных в институте высокопрогрессивных рельсосварочных машин типа К 900, К 920, К 922 и К 1000. Эта техника имеет необычайно широкий спрос и стablyно экспортируется, расширяя авторитет и славу КЗЭСО и ИЭС среди специалистов-железнодорожников.

От всего сердца желаем Я. И. Микитину крепкого здоровья и новых творческих успехов.

Институт электросварки им. Е. О. Патона

УКАЗ

ПРЕЗИДЕНТА УКРАЇНИ
від 1 квітня 2004 р. № 384/2004
Київ

Про присвоєння Я. Микитину звання «Герой України»

За визначний особистий внесок у зміцнення промислового потенціалу України, виробництво конкурентоспроможної на світовому ринку електrozварювальної техніки, багаторічну сумлінну працю постановляю:

Присвоїти звання «Герой України» з врученням ордена Держави Микитину Ярославу Івановичу — голові правління акціонерного товариства «Каховський завод електrozварювального устаткування», Херсонська область.

Президент України Л. КУЧМА

Новая продукция завода сварочного оборудования

«Уралтермосвар»

Завод сварочного оборудования «Уралтермосвар» расположен в центре уральского промышленного района. Штаб-квартира предприятия с салоном-магазином образцов продукции находится в Екатеринбурге. Производственные участки размещены в городах Свердловской области — Первоуральске и Богдановиче.

«Уралтермосвар» впервые вышел на рынок сварочного оборудования в 1996 г. В 1997 г. была организована сборка сварочных агрегатов с покупными генераторами. В 1998 г. разработан и поставлен на серийное производство первый сварочный генератор и начат серийный выпуск сварочных выпрямителей.

За короткий срок удалось нарастить объемы производства всех видов источников питания таким образом, что «Уралтермосвар» ныне является крупнейшим поставщиком сварочного оборудования подразделения РАО «ГАЗПРОМ» и всех известных нефтедобывающих компаний страны.

Предприятием производятся все основные виды источников питания для ручной дуговой сварки покрытыми электродами:

- сварочные генераторы;
- автономные сварочные агрегаты;
- сварочные трансформаторы и выпрямители;
- сварочные установки на тракторах;
- многопостовые энергосварочные комплексы.

Типоразмерный ряд генераторов и агрегатов предприятия распространяется на номинальные токи сварки от 200 до 400 А, одно- и двухпостовые. Производимые генераторы индукторного типа, с выпрямлением тока повышенной частоты, простой ремонтопригодной конструкции: без вращающихся обмоток, коллектора и контактных колец, что зарекомендовало себя как надежное решение в сложных полевых условиях эксплуатации.

Серийно производятся выпрямители типа ВД и ВДУ, а также трансформаторы типа ТДМ на номинальные токи 315, 400 и 500 А.

Новой разработкой является сварочно-резательный генератор ГДПР-2Х2501 для агрегата сварочного двухпостового с функцией воздушно-плазменной резки **АДПР-2Х2501ВУ1** (свидетельство РФ на полезную модель № 28465). Кроме питания сварочных постов ручной дуговой сварки, агрегат можно использовать для качественной ручной резки любых металлов, а также механизированной резки труб под фаску. Толщина разрезаемого стального металлопроката от 0,5 до 25 мм, диаметр трубы от 10 до 1420 мм. Скорость резки стального листа толщиной 15 мм составляет 50 см/мин при высоком качестве кромок (без коробления и грата, с шириной зоны термического влияния 1...2 мм). Применяется простой по конструкции, надежный и безопасный плазменный резак воздушного охлаждения РПВ-101 (патент РФ на изобретение № 2041039), возбуждаемый без осциллятора. Резак работает с кабель-шлангом длиной 20 м (по заказу возможно до 60 м). С набором сменных сопел и электродов он входит в комплект агрегата. В комплект может быть включен также орбитальный труборезный станок. Для питания электроинструмента, компрессора и освещения в агрегате установлен трехфазный вспомогательный генератор на 220/380 В, 50 Гц, 6 кВт. Агрегат позволяет заменить газопламенную резку в полевых условиях (при температурах до -40 °С), исключив затраты на баллонное хозяйство. Несмотря на размещение под капотом агрегата дополнительного компрессора с ресивером, удалось сохранить габаритные размеры обычного двухпостового агрегата.

Предприятие постоянно совершенствует производимые им сварочные генераторы. Чтобы устранить такие недостатки генераторов серии ГД, как: узкий диапазон дистанционного регулирования тока, невозможность ведения полуавтоматической сварки, недостаточное быстродействие, невозможность управления формой внешней вольт-амперной характеристики, на заводе «Уралтермосвар» создан генератор **ГДУ-4001У2** с тиристорным регулятором сварочного тока. Тиристорный регулятор управляет микроконтроллером, в котором запрограммированы требуемые внешние характеристики: комбинированная падающая, жесткая, штыковая, а также импульсные режимы сварки. Микроконтроллер формирует комбинированные внешние характеристики с регулируемыми параметрами участков этих характеристик, например, углов наклона с реализацией режимов arcfor, hotstart, antistik. Успешно решена сложная проблема регулирования вырабатываемого индукторным генератором специфического несинусоидального напряжения и тока высокой частоты весьма искаженной формы (действие реакции якоря). Разработанный новый принцип динамической осциллографмной калькуляции реализован в оригинальной схеме. Благодаря этому по управляемости сварочным процессом ГДУ-4001 уступает лишь инверторам и находится на уровне источников типа ВДУ и IDEALARC фирмы «Lincoln Electric». Генератором ГДУ-4001 обеспечивается питание не только ручной дуговой сварки электродами с различным типом покрытия и в различных пространственных положениях, но и полуавтоматической,



Electric» порошковой самозащитной проволокой марки «Innershield».

Агрегат АДДУ-4001У1 является также источником электропитания потребителей на напряжение 220 В частотой 50 Гц, что позволяет питать прожекторное освещение и мощный электроинструмент как от автономной электростанции.

Ввиду значительно меньшей стоимости сварочных агрегатов, выполненных по прямой схеме, дизель — сварочный источник по сравнению с энергетически затратной схемой дизель — электростанция — сварочный источник агрегаты типа АДДУ-4001У1 в ближайшее время составят более серьезную конкуренцию выпрямителям типа ВДУ, требующим для питания мощных, дорогих и громоздких электростанций в условиях автономного применения.

Для сварочных работ по ремонту трубопроводов в условиях труднопроходимой местности в ЗАО «Уралтермосвар» создан мобильный тракторный агрегат АСТ-155 и модульный сварочно-энергетический комплекс КЭСМ-100.

Агрегат АСТ-155 представляет собой утепленный кузов, установленный на мощный колесный трактор ЛТЗ-155. Четыре поста сварки питаются от двух двухпостовых генераторов, установленных в кузове и приводимых во вращение от вала отбора мощности трактора. Кроме сварки, агрегатом обеспечивается воздушно-плазменная резка, одно- и трехфазное электропитание электроинструмента и освещения, сжатый воздух, прокалка электродов. Трактор имеет бульдозерный отвал и стрелу грузоподъемностью 0,5 т на вылете 5 м. Масса агрегата (8,7 т) выгодно отличается от известных агрегатов на базе трактора К-701 (23 т).

В сотрудничестве с коллективом технических специалистов ОАО «Тюменьтрансгаз» разработаны и поставлены на серийное производство сварочно-энергетические комплексы КЭСМ-100 модульного типа. В составе комплекса модуль-электростанция мощностью 100 кВт и модуль сварочный на 4-5 постов. Сварочный модуль утеплен и оснащен вспомогательным оборудованием. Компактность и масса модулей комплекса позволяют разместить их в кузове одного автомобиля КАМАЗ и вести работы непосредственно с кузова, а при необходимости доставлять модули к месту работ вертолетом. Применена схема питания сварочных постов от отдельных однопостовых выпрямителей, что повышает

вероятность бесперебойного ведения сварочных работ в сравнении со схемой питания от многопостового выпрямителя. В качестве постовых выпрямителей сварочного модуля использованы рядовые надежные ВД-306М. Такое решение продиктовано также соображениями повышения живучести и ремонтопригодности: отказ, например, одного выпрямителя не повлияет на ход сварочных работ остальными постами и отказавший источник может быть легко заменен, учитывая распространенность выпрямителей типа ВД-306М.

В последующем для комплектации модулей планируется применять высокотехнологичные источники питания из новой серии.



Новая серия высокотехнологичных источников питания на токи 300 и 500 А, недавно разработанная на предприятии, представлена выпрямителями **ВДУ-306МТ** и **ВДУ-506МТ**. В них использована проверенная на практике традиционная силовая полностью управляемая мостовая трехфазная схема на надежных отечественных тиристорах. Схема управления, построенная на базе микроконтроллера, обеспечивает формирование оригинальных внешних характеристик для различных видов сварки.

Система управления полностью адаптирована для сварки труб, в том числе в условиях монтажа магистральных трубопроводов с максимальным удовлетворением требований ВНИИСТ к источникам питания.

Преимущества этих источников заключаются в усовершенствованной схеме управления, обеспечивающей комбинированные внешние характеристики, которые можно легко перестраивать соответственно условиям сварки.

Применительно к **ручной сварке** покрытым электродом выпрямители ВДУ-306МТ и ВДУ-506МТ обеспечивают:

- комбинированную внешнюю статическую вольт-амперную характеристику, состоящую из четырех участков (высоковольтного, жесткого, рабочего и участка короткого замыкания);
- высоковольтную подпитку (95 В, 20 А) для получения хорошего сглаживания выпрямленного тока;
- плавное, в том числе дистанционное, регулирование режима смещения рабочего участка обеспечивает широкий диапазон настройки тока от 30 до 500 А;
- плавное изменение наклона рабочего участка в интервале 0,4–2 В/А обеспечивает как высокую стабильность тока, так и возможность его резкого изменения в процессе сварки, например, для управления плавлением, при выполнении вертикального шва;
- автоматическую настройку форсирования тока короткого замыкания в зависимости от тока нагрузки, покрытия электрода и вида сварного шва с достижением, с одной стороны, малого разбрызгивания, а с другой — энергичного переноса капли без прилипания электрода к ванне, что особенно важно при сварке вертикальных швов;
- начальное ограничение напряжения холостого хода безопасной величиной 12 В, снимаемое через 1 мс после начала зажигания и восстанавливаемое через 1 с после окончания сварки;
- горячий пуск, т.е. увеличение начального тока в 1,5 раза в течение 0,1...3 с с достижением практически безупречного зажигания, а также высокого качества начального участка шва;
- защиту от прилипания электрода ограничением длительности тока короткого замыкания, что облегчает отрыв прилипшего электрода.

Для облегчения настройки выше перечисленных параметров сварщиком имеется возможность синергетического управления, при котором рациональные сочетания параметров «защиты» в память микроконтроллера, а при настройке указывается тип покрытия электрода (рутоловый, основной, целлюлозный) и пространственное положение шва (нижнее, вертикальное на подъем, вертикальное на спуск); выбранные параметры отображаются и контролируются на двух цифровых дисплеях.

Применительно к **argonодуговой сварке** вольфрамовым электродом всех металлов, кроме алюминия, источники обеспечивают:

- благоприятную внешнюю характеристику с высоковольтной подпиткой, жестким и вертикальным рабочим участком;
- плавную, в том числе дистанционную, настройку от 30 до 500 А;
- циклограмму процесса сварки с плавной регулировкой всех интервалов — подача газа до сварки, мягкий пуск с плавным нарастанием тока, сварка при заранее установленном токе, плавное снижение тока для заварки кратера, защита шва газом после сварки;
- мягкий пуск, т. е. зажигание дуги коротким замыканием при понижении тока до 20 % настроенного сварочного тока без повреждения электрода и оплавления детали, позволяет отказаться от осциллятора;
- двухтактный цикл пользования кнопкой на горелке применяется при сварке коротких швов, четырехтактный — длинных швов;
- предварительную настройку двух режимов с быстрым переходом от одного к другому при толчковом нажатии кнопки на горелке;
- сварку пульсирующей дугой с независимой настройкой тока и времени в интервалах импульса и паузы;
- для подключения аргонодуговой горелки предусмотрено комплектование источника вспомогательным блоком с газовым клапаном и штуцерами защитного газа и охлаждающей воды.

Применительно к **полуавтоматической сварке** источники обеспечивают:

- внешнюю характеристику с высоковольтной подпиткой и жестким (основным) участком;
- плавную, в том числе дистанционную, настройку сварочного напряжения;
- горячий старт за счет начального полнофазного включения тиристоров с быстрым установлением дугового процесса;

ИНФОРМАЦИЯ

• автоматическую подстройку индуктивности дросселя и оптимизацию динамических параметров осцилограммы тока при коротком замыкании каплей (с целью снижения разбрызгивания при достаточно энергичном переносе электродного металла обеспечивается специальной подпрограммой микроконтроллера);

• возможность подключения к различным типам сварочных полуавтоматов, в том числе специально предназначенному для эксплуатации в тяжелых трассовых условиях при сварке трубопроводов самозащитной порошковой проволокой.

При любом способе сварки рабочие параметры задаются в цифровом виде в абсолютных значениях, предусмотрено хранение и воспроизведение заранее установленных режимов, в том числе подобранных сварщиком. Предусмотрена стабилизация параметров при любых возмущающих воздействиях, в том числе и колебаниях напряжения питающей сети.

Конструкциям выпрямителей присущи традиционные особенности любой аппаратуры ЗАО «Уралтермосвар»:

- защита от механических повреждений прочным каркасным корпусом;
- первичные и вторичные катушки силового трансформатора разнесены по высоте и хорошо изолированы, что повышает эксплуатационную надежность и электрическую безопасность;
- имеется автоматическая защита от нарушения вентиляции, значительной перегрузки и превышения температуры тиристоров;
- охлаждение тиристоров и трансформаторов производится мощным вентилятором, что гарантирует нормальный тепловой режим при максимальных паспортных нагрузках выпрямителя;
- для подключения сварочных проводов имеются удобные стандартные токовые разъемы.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ВДУ-306МТ (ВДУ-506МТ)

Наименование параметра	Способ сварки		
	MIG / MAG	TIG	MMA
Номинальное напряжение питания, В (линейное)		380	
Номинальная частота, Гц		50	
Число фаз		3	
Номинальный сварочный ток, А		300 (500)	
Номинальная продолжительность нагрузки, ПН, %		60	
Мощность, потребляемая при номинальной нагрузке, кВ·А, не более		28 (41,5)	
Напряжение холостого хода, В		95 ± 2	
Продолжительность цикла сварки, мин	10	10	5
Пределы регулирования сварочного тока, А	30–300 (30–500)	30–300 (30–500)	30–300 (30–500)
Пределы регулирования рабочего напряжения, В	16–29 (16–39)	11–22 (11–30)	21–32 (21–40)
Коэффициент наклона внешних характеристик, В/А	0	Штыковая	0,4–2,0
Коэффициент мощности, cos φ, не менее	0,7	0,6	0,6
Коэффициент полезного действия, %, не менее		80	
Габаритные размеры, мм, не более		815 × 640 × 755 (860)	
Масса, кг, не более		150 (250)	
Примечание . Данные в скобках относятся к ВДУ-506МТ.			

Заложенные в схему источников новой серии принципы управления позволили значительно улучшить динамику переходных процессов и организовать перенос электродного металла на уровне такого же у известных источников IDEALARC DC-400 фирмы «Electric» при сравнительно низкой стоимости (цена ВДУ-306МТ составит ориентировочно 50 тыс. руб.).

Россия, 620014, г. Екатеринбург, Московская ул., 49-67
+7 (343) 212-64-58, 376-59-82, 376-46-80
www.uraltermosvar.ru