



УЧРЕДИТЕЛЬ:

Издательский центр "Технология машиностроения"

Издается с января 1930 года

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

Редакционная коллегия:

Гл. редактор **В. А. Казаков**

Зам. гл. редактора **Н. В. Посметная**

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

Редакция:

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

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

Адрес для корреспонденции:

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

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

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

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

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

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

Цена свободная.

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Бабкин А. С., Голубев В. А., Рошупкин В. Н., Гончаров А. Н. — Исследование влияния состава газовых смесей на температуру плазмы сварочной дуги _____	3
Лебедев В. А. — Математическая модель формирования капель электродного металла при механизированной дуговой сварке с импульсной подачей электродной проволоки _____	10
Трыков Ю. П., Трыков А. Ю., Гуревич Л. М., Гурулев Д. Н., Петров А. Э. — Технология изготовления титаностальных переходников с паяно-сварными стыковыми соединениями _____	14
Пашков А. И., Пашков И. Н., Родин И. В. — Новые способы получения припоев системы медь — марганец — никель _____	18

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

Мейстер Р. А., Мейстер А. Р. — Особенности горения дуги при сварке покрыты-ми электродами на малых токах _____	20
Зубков Н. С., Золотов А. А. — Повышение износостойкости наплавленной быст-рорежущей стали с повышенным содержанием серы _____	22
Аммосов А. П., Аммосов Г. С., Аминов Т. Ш., Ильин Г. Ю., Антонов А. А. — Коррозионная повреждаемость сварных соединений резервуаров _____	24
Муравьев В. И., Долотов Б. И., Демьшев П. Г., Физулаков Р. А. — Формирова-ние структуры металла шва титановых сплавов при электронно-лучевой свар-ке и сварке погруженным вольфрамовым электродом _____	28
Шекуров А. В., Коротков В. А. — Влияние полярности дуги на глубину и твер-дость слоя плазменной закалки стали 40 _____	32
Крампит Н. Ю., Крампит А. Г. — Развитие импульсно-дуговых процессов сварки в ЮТИ ТПУ _____	34

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

Волочиенко В. А. — Выполнение оперативных планов производства в реаль-ном масштабе времени на основе распознавания проблемных ситуаций _____	36
---	----

ОБРАЗОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ

Демин В. А., Ужва В. В. — Интегрированная система подготовки специалистов _	41
--	----

ИНФОРМАЦИЯ

Суслов Ан. А. — 5-я Международная специализированная выставка и конферен-ция "Покрытия и обработка поверхности—2008" _____	44
Ильина И. И. — Семинар "Материалы и оборудование для производства паяных конструкций" _____	51

БИБЛИОГРАФИЯ

Содержание зарубежных журналов по сварке _____	52
Патенты РФ на изобретения в области сварки _____	54
Рефераты опубликованных статей _____	55



FOUNDER:

Publishing Centre "Tekhnologiya Mashinostroeniya"

Published since January 1930

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

Editorial board:

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

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

Editorial staff:

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

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

Address for correspondence:

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

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

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

Reference to "Svarochnoe Proizvodstvo" at reprint is obligatory.

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

The journal is registered by RF Ministry of Press, Tele-and-Broadcasting and Mass Communications Media.
Registration certificate ПИ N 77-7778.

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

CONTENTS

SCIENTIFIC-TECHNICAL SECTION

- Babkin A. S., Golubev V. A., Roschupkin V. N., Goncharov A. N. — Study of the gas mixture proportion influence on the plasma temperature of the welding arc _____ 3
- Lebedev V. A. — Mathematical model of the electrode metal droplet formation at mechanized arc welding with core wire pulse feed _____ 10
- Trykov Yu. P., Trykov A. Yu., Gourevich L. M., Guruliov D. N., Petrov A. E. — Processing technique for the titanic-and-steel adapters with soldered-and-welded butt joints _____ 14
- Pashkov A. I., Pashkov I. N., Rodin I. V. — New processes to obtain solders of the copper-manganese-nickel system _____ 18

PRODUCTION SECTION

- Meister R. A., Meister A. R. — Special features of the arcing at the low-discharge covered-electrode welding _____ 20
- Zoobkov N. S., Zolotov A. A. — Enhanced wear resisting property of the weld high-speed steel of increased sulphur content _____ 22
- Ammosov A. P., Ammosov G. S., Aminov T. Sh., Ilin G. Yu., Antonov A. A. — Corrosive damageability of the reservoir welded joints _____ 24
- Muraviov V. I., Dolotov B. I., Demyshev P. G., Fizulakov R. A. — Structure formation of the titanium alloys weld metal at the electron-beam welding and tungsten-electrode welding _____ 28
- Shekurov A. V., Korotkov V. A. — Effect of the arc polarity on the depth and hardness of the steel 40 plasma hardening layer _____ 32
- Krampit N. Yu., Krampit A. G. — CO₂-shielded welding process development at long arc pulse supply _____ 34

ECONOMICS AND PRODUCTION ORGANIZATION

- Volochiyenko V. A. — Real time execution of operating production plans on the base of problem conditions recognition _____ 36

EDUCATION AND PERSONNEL TRAINING

- Diomin V. A., Uzhva V. V. — Personnel training integrated system _____ 41

INFORMATION

- Suslov An. A. — The 5th International specialized exhibition and conference "Expo-Coating—2008" _____ 44

BIBLIOGRAPHY

- Contents of the foreign journals in the field of welding _____ 52
- RF patents, RF certificates for useful models, author's certificates, USSR patents for inventions in the field of welding _____ 54
- Abstracts of the published articles _____ 56

УДК 621.791.75.01:537.523

**А. С. БАБКИН, канд. техн. наук, В. А. ГОЛУБЕВ, инж., В. Н. РОЩУПКИН, инж.,
А. Н. ГОНЧАРОВ, канд. техн. наук**
Липецкий государственный технический университет

Исследование влияния состава газовых смесей на температуру плазмы сварочной дуги

Температура сварочной дуги является важнейшей характеристикой, которая определяет тепловое воздействие на обрабатываемый материал и электрод. Однако в научно-технической литературе недостаточно публикаций об измерении температуры плазмы сварочных дуг с плавящимся электродом и исследовании влияния состава газовых смесей на температуру дугового разряда.

Известно несколько работ, посвященных этим вопросам. В работах [1—3] спектроскопическими методами определена температура (6000—6400 К) дуги в воздухе при сварке плавящимися железными электродами диаметром 12 мм при постоянном дуговом промежутке, токе 5—400 А (обратная полярность) и напряжении дуги 28—30 В.

Установлено [4], что температура дуги при наплавке в углекислом газе проволокой Св-08Г2С диаметром 1,2 мм сварочным током 80 А обратной полярности и напряжении 12 В равна $7000 \pm \pm 300$ К. Экспериментально установлено, что при наплавке в аргоне проволокой Св-08Г2С диаметром 1,2 мм на токе 225—300 А и напряжении 36—38 В (обратная полярность) температура дуги составляет 4500—5800 К [5].

Определена температура дуги, равная 4330—4850 К, при сварке в воздухе проволокой Св-08 диаметром 3 мм с меловой обмазкой переменным током 60—100 А при напряжении 20 В [6].

Во всех случаях применяли метод относительных интенсивностей спектральных линий [7]: CuI [1—3], FeI [4] и как CuI, так и FeI [6].

Исследования температуры плазмы сварочных дуг, горящих между вольфрамовым электродом-катодом и водоохлаждаемыми медными анодами в аргоне, были выполнены спектрографическими методами [8—11]. В этих работах применен метод абсолютных интенсивностей спектральных линий ArI. Установлено, что при токе 10—25 А температура изменяется от 8000 К на периферии сварочной дуги до 11 000 К вблизи электрода-анода [10, 11].

В научно-технической литературе отсутствуют данные о температуре плазмы сварочных дуг, горящих в смесях газов $Ag + O_2$, $Ag + CO_2$, $CO_2 + O_2$. Поэтому цель данной работы — исследование температуры плазмы дугового разряда в сварочных газовых смесях при сварке плавящимся электродом и определение количественных зависимостей влия-

ния состава смеси на температуру плазмы.

Известно [12, 13], что экспериментальное исследование температуры плазмы, проводимое методом фотографического фотометрирования, достаточно точно (ошибка не превышает 10 %), однако трудоемко и требует специальных фотоматериалов и оборудования для измерения интенсивности излучения. Современные приборы регистрации излучения, построенные на приборах с зарядовой связью (ПЗС), позволяют определять интенсивность излучения в реальном масштабе времени, исключая фотографический процесс.

В данной работе для измерения температуры применяли метод относительных интенсивностей. Установка для исследования температуры плазмы (рис. 1) состоит из спектрографа ДФС-542 и многоканального оптического регистратора спектра (МОРС) на приборах с зарядовой связью LX511 SONY производства ООО "МОРС" (ИС АН, Троицк Московской обл.) [14]. Оптический регистратор спектра предназначен для работы в спектральном диапазоне 270—950 нм. Ослабление светового потока дуги достигалось с помощью нейтральных светофильтров НС-1. Изображение ду-

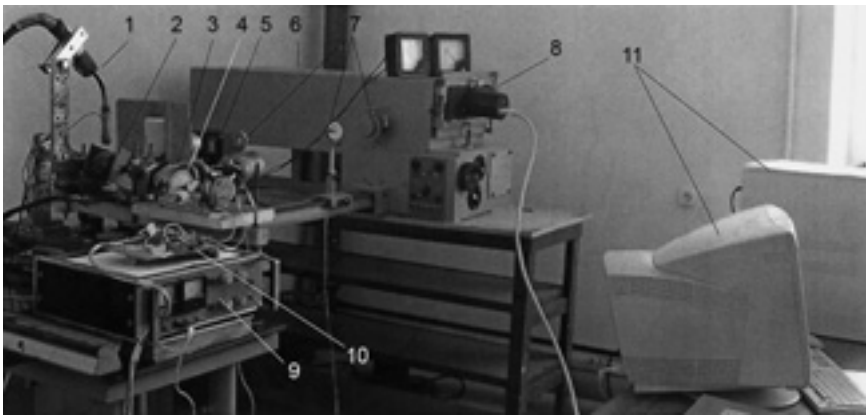


Рис. 1. Установка для исследования температуры плазмы сварочной дуги: 1 — горелка полуавтомата "Форсаж 315"; 2 — образец; 3 — устройство перемещения образца; 4 — тахометр; 5 — нейтральный светофильтр; 6 — спектрограф ДФС-542; 7 — трехлинзовая система; 8 — МОПС; 9 — блок питания устройства перемещения образца; 10 — электронная плата тахометра; 11 — компьютер с программным обеспечением МОПС

ги проецировали через трехлинзовую осветительную систему на щель спектрографа шириной 0,024 мм.

Для плазмы электрической дуги при атмосферном давлении характерна определенная температура, так как в такой плазме имеет место термодинамическое равновесие, при котором процессы возбуждения и ионизации могут быть описаны соответственно формулами Больцмана и Саха.

Температуры оценивали по методу относительных интенсивностей спектральных линий с применением уравнения Эйнштейна—Больцмана [15]

$$I = \frac{N}{u} \frac{8\pi^2 e^2 h}{m \lambda^3} \frac{gf}{e} e^{-\frac{E}{kT}}, \quad (1)$$

где I — интенсивность линии, измеренная экспериментально в некоторых условных единицах (отсчетах МОПС); N — концентрация частиц верхнего возбужденного уровня; u — сумма состояний для любого отдельного атома или иона; e/m — удельный заряд электрона; h, k — постоянные Планка и Больцмана соответственно; g — статический вес нижнего уровня; f — сила осциллятора для эмиссионной линии; λ — длина волны; E — энергия верхних уровней; T — температура.

Связь между интенсивностью спектральных линий в виде $\lg\left(\frac{I\lambda^3}{gf}\right)$ и энергией верхних уровней E может быть получена статистической обработкой экспериментальных данных [16]:

$$\lg \frac{I\lambda^3}{gf} = B - \frac{5040}{T} E, \quad (2)$$

где B — постоянная, объединяющая универсальные константы.

Выбор условных единиц измерения интенсивности не влияет на величину температуры, поскольку она определяется тангенсом угла наклона прямой (2).

Следует отметить, что значения gf определяли на основе данных работ [15, 17], а также международной базы данных Vienna Atomic Line Data-Base (VALD) [7]. Работа [7] содержит результаты современных исследований ученых Оксфордского университета и других научных организаций по определению спектроскопических свойств атомов и ионов, в том числе значений gf , для целей астрофизики. Значения gf из различных источников приведены на рис. 2. Видно, что имеет место существенное расхождение значений gf для некоторых переходов.

Интенсивность линий определяли по спектрограммам с помощью программного обеспечения [14]. Примеры полученных спек-

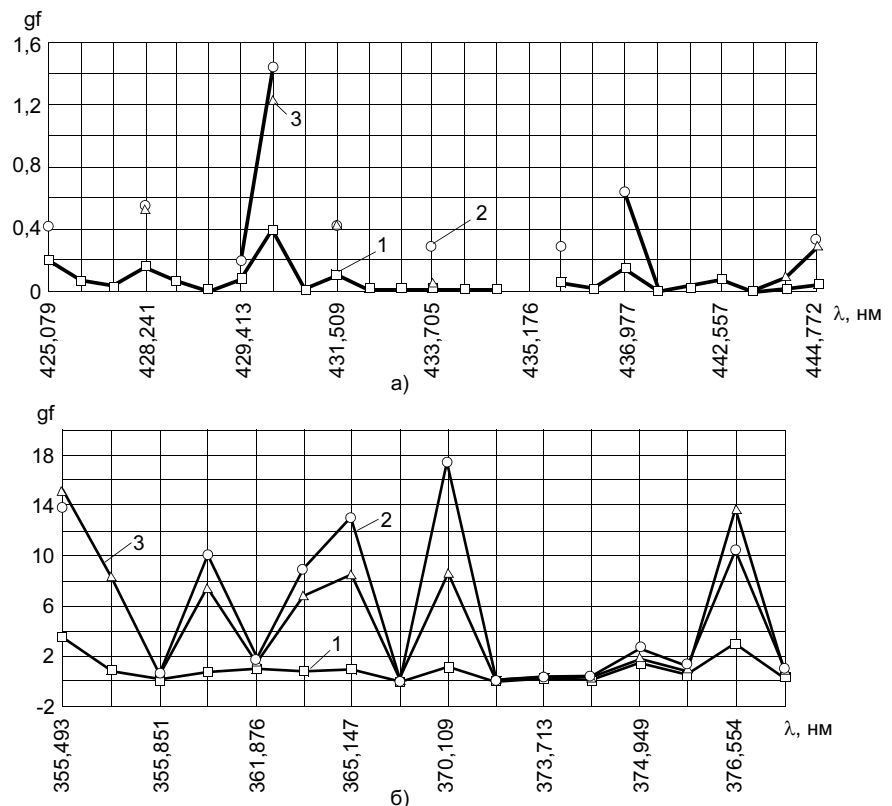


Рис. 2. Значения gf Fe I из различных источников для диапазонов длин волн $\lambda = 425,079 \div 444,772$ нм (а) и $\lambda = 355,495 \div 376,719$ нм (б): 1 — [7]; 2 — [15]; 3 — [17]

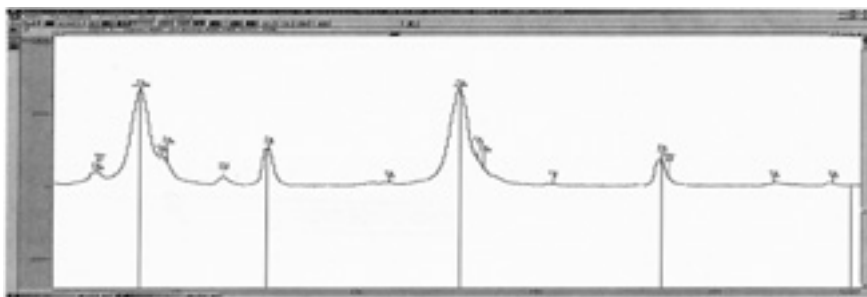


Рис. 3. Фрагмент спектрограммы плазмы сварочной дуги, полученной средствами аппаратного и программного обеспечения МОРС

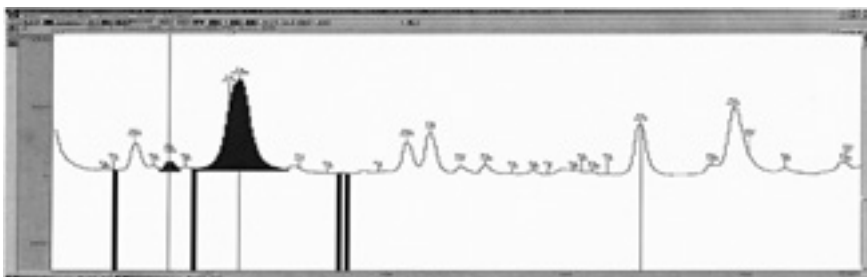


Рис. 4. Интенсивность линий спектра, определенная средствами программного обеспечения МОРС

трограмм и их обработки приведены на рис. 3 и 4.

Для отработки методики определения температуры плазмы сварочных дуг исследовали аргоновую плазму дугового разряда при малых токах двух видов (вариантов). Первый вариант — плазма сварочной дуги, горящая между неплавящимся вольфрамовым электродом ЭВЛ-2 (катод) и пластиной размером $100 \times 50 \times 5$ мм из низкоуглеродистой стали (анод). Параметры вольфрамового электрода-катода: диаметр 3 мм, угол заточки 30° , притупление 0—1 мм.

Второй вариант — плазма сварочной дуги между электрод-

ной проволокой Св-08Г2С диаметром 3 мм (анод) и пластиной из низкоуглеродистой стали — катодом. Использовали аргон высшего сорта (ГОСТ 10157). В качестве источника питания применяли источник инверторного типа ВМЕ-140. Параметры дуги с неплавящимся электродом: ток 40—50 А, длина дугового промежутка 3 мм. Дуга с плавящимся электродом горела при токе 60—50 А, напряжении 25 В. Время накопления сигнала составляло 1 с. Исследования проводили в диапазоне длин волн 350—380 нм с решеткой 600 штр/мм во втором порядке. Калибровку спектральной шкалы многоканального оп-

тического регистратора проводили по линиям Hg при λ , равной 365,015, 365,484 и 366,328 нм.

По полученным спектрограммам выбрали несомообращенные спектральные линии нейтральных атомов FeI (для первого варианта — 22 линии, для второго — 16). Энергии верхних уровней E соответствующих переходов изменяли от 3,36 до 6,53 эВ.

Принимая значения gf в соответствии с различными источниками, получили значения температуры, приведенные в табл. 1. Соответствующие зависимости

$\log\left(\frac{I\lambda^3}{gf}\right) = a - bE$ (a — отрезок, отсекаемый на координатной оси Y , b — угловой коэффициент, равный $5040/T$) приведены на рис. 5.

В табл. 1 приведены результаты обработки экспериментальных значений температуры аргоновой плазмы дуги с вольфрамовым электродом-катодом. Полученная в данной работе температура $T = 8016 \pm 650$ К (рассчитанная с применением данных VALD [7]) равна нижнему пределу значений температуры, полученных другими исследователями [8—11]. Полученные более низкие значения температуры можно объяснить наличием атомов Fe в плазме вследствие использования стальных анодов. При расчете с применением данных работ [15, 17] получены более низкие значения температуры по сравнению с известными [9—11].

Таблица 1

Вид плазмы	Номер эксперимента	$5040/T$	Коэффициент корреляции R^*	gf по данным работы	T , К
С неплавящимся электродом	1	$-0,859 \pm 0,046$	-0,97	[15]	5870 ± 330
	2	$-0,629 \pm 0,047$	-0,95	[7]	8016 ± 650
	3	$-0,880 \pm 0,041$	-0,98	[17]	5730 ± 280
С плавящимся электродом	1	$-0,815 \pm 0,039$	-0,99	[15]	6187 ± 280
	2	$-0,5716 \pm 0,0445$	-0,96	[7]	8821 ± 745
	3	$-0,850 \pm 0,0366$	-0,99	[17]	5932 ± 266
	4	$-0,77 \pm 0,050$	-0,98	[15]	6548 ± 400
	5	$-0,5631 \pm 0,048$	-0,96	[7]	8954 ± 700
	6	$-0,852 \pm 0,046$	-0,98	[17]	5918 ± 315

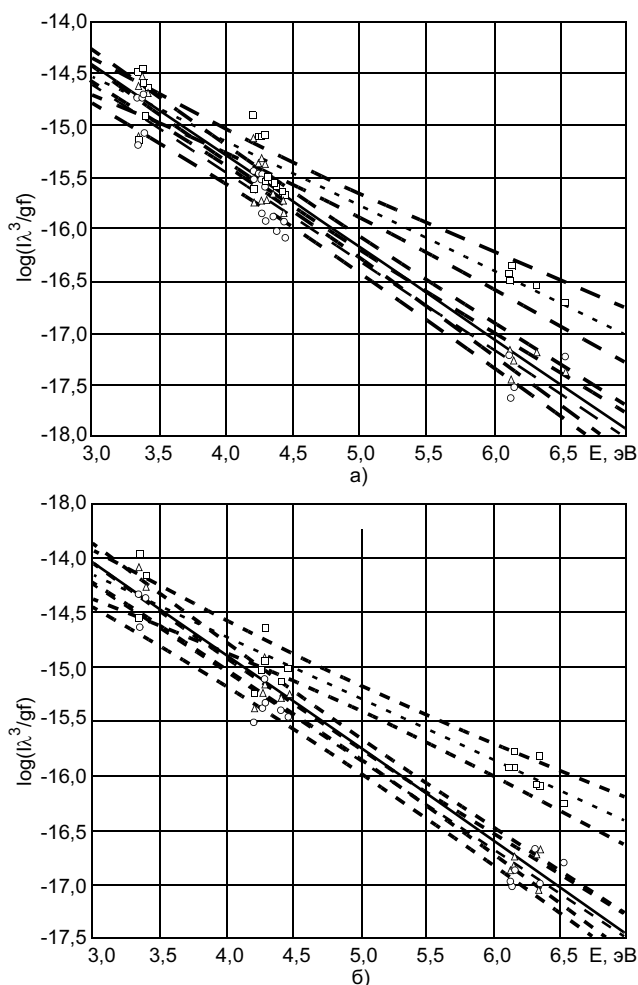


Рис. 5. Зависимость для определения температуры аргоновой плазмы при применении неплавящегося (а) и плавящегося (б) электродов (обозначения — см. рис. 2)

Учитывая большую точность метода абсолютных интенсивностей, можно утверждать, что разработанная установка и предлагаемая методика расчета с использованием относительных интенсивностей позволяют получать адекватные результаты и могут применяться для оценки температуры плазмы сварочных дуг. Также установлено, что предпочтительно использование данных VALD [7] с уточненными значениями gf .

Предлагаемая методика была применена для исследования сварки плавящимся электродом в защитных газах и их смесях. В табл. 2 приведены исследуемые газы и газовые смеси, а также режимы наплавки. Эксперименты проводили, используя обратную полярность.

Применение спектрографических методов для исследования свойств плазмы сварочной дуги с плавящимся электродом затруднительно по нескольким причинам. Во-первых, из-за излучения, создаваемого наплавленным металлом и формирования выпуклости, скрывающей исследуемый источник излуче-

ния — электрическую дугу, во-вторых, вследствие нестабильности дугового промежутка из-за перехода капле расплавленного электродного металла. Поэтому некоторые эксперименты [4] проводили при повышенном напряжении с целью увеличения времени между короткими замыканиями.

Устранить первую из указанных трудностей возможно при наплавке металла на вращающийся цилиндрический образец. В связи с этим в исследовательскую установку включили устройство перемещения цилиндрического образца, обеспечивающее скорость сварки от 0,3 до 1,5 см/с. Ось образца перпендикулярна оптической оси спектрографа и вал наплавленного металла смещается вращением образца за пределы оптической оси спектрографа. Скорость вращения образца контролировали с помощью тахометра.

Применяли источник питания "Форсаж 315" с механизмом подачи "Форсаж МП" проволоки Св-08Г2С диаметром 1,2 мм, углекислый газ сварочный (ГОСТ 8050), кислород технический 1-го сорта (ГОСТ 5583). Смеси газов получали в универсальном газовом смесителе УГС-1-А3. Расход газов контролировали ротаметром РМ-2,5ГУЗ, состав смесей газов — газохроматографическим методом.

В качестве катода использовали образцы, изготовленные из трубы диаметром 100 мм из стали Ст3. Вылет электродной проволоки устанавливали 15 мм. Скорость наплавки составляла 8 мм/с.

Для определения максимально возможного времени накопления сигнала ПЗС и исключения влияния коротких замыканий на процесс регистрации спектра выполняли осциллографирование тока и напряжения процесса сварки в приведенных газах и на режимах с помощью электронного осциллографа BORDO 421. На рис. 6 приведены типичные осциллограммы исследованных процессов.

Таблица 2

Номер эксперимента	Газ	$I_{св}$, А	$U_{св}$, В
1	CO ₂	120—140	20—21
2	CO ₂ + 10 % O ₂		20
3	CO ₂ + 20 % O ₂	120—130	20
4	CO ₂ + 30 % O ₂		20
5	CO ₂ + 40 % O ₂		20—22
6	Ar	130—140	20—22
7	Ar + 5 % CO ₂	140—150	20
8	Ar + 10 % CO ₂		20
9	Ar + 20 % CO ₂	130—140	20—21
10	Ar + 40 % CO ₂	140—150	20
11	Ar + 5 % O ₂	130—140	20—22
12	Ar + 10 % O ₂		20—21
13	Ar + 15 % O ₂	120—140	20

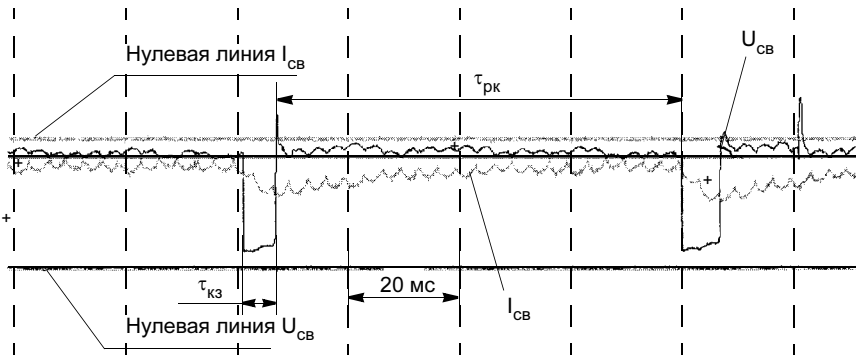


Рис. 6. Типичная осциллограмма процесса сварки ($\tau_{кз}$ — время короткого замыкания)

Установлено, что период роста капле $\tau_{рк}$ составляет не менее 20 мс. В связи с этим для устранения влияния процесса переноса капле электродного металла на регистрацию излучения применяли короткое время накопления сигнала (10 мс) при съемке спектрограмм.

Съемку спектров осуществляли в диапазоне длин волн 422—445 нм с решеткой 600 штр/мм во втором порядке. Калибровку спектральной шкалы многоканального оптического регистратора проводили по линиям Hg при λ , равной 433,922, 434,719 и 435,833 нм, а затем по линиям FeI исследуемого диапазона. Всего были выбраны 25 линий FeI.

Свойства спектральных линий нейтральных атомов FeI приняты по данным работ [7, 15, 17] (табл. 3). Из табл. 3 следует, что данные работ [17, 15] обеспечивают значения gf для 10—11 линий.

Характеристики исследуемых газов для $T = 8000 \div 9300$ К приведены в табл. 4.

Зависимость между относительной интенсивностью спек-

тральных линий в виде $\log\left(\frac{I\lambda^3}{gf}\right)$ и энергией верхних уровней E для определения температуры плазмы в углекислом газе приведена на рис. 7.

На рис. 8 представлены результаты исследований. Температура плазмы дуги при применении углекислого газа при значении gf по данным VALD [7] состав-

ляет 9000 ± 200 К. При расчете по значениям gf по данным работы [17] $T = 6600 \pm 200$ К, что совпадает с данными работы [4] и близко к результатам работы [5], где

$T = 7000 \pm 200$ К. При использовании аргона для сварки плавящимся электродом температура плазмы ниже, чем при сварке в CO_2 и составляет 8300 ± 500 К (gf по VALD [7]). По данным работы [4], температура плазмы дуги в Ar равна 4500—5800 К. Эти данные ближе к полученным результатам с использованием gf по данным работы [15] — 6800 ± 200 К, [17] — 6200 ± 200 К.

Расхождение полученных результатов с известными можно объяснить следующими причинами. Во-первых, в работе [4] проводили измерения при повышенном напряжении дуги ($U_d = 36 \div 38$ В), а это должно было привести к сни-

Таблица 3

Номер линии FeI	λ , нм	E , эВ	$\log(gf)$		
			[7]	[15]	[17]
1	425,079	4,473	-0,714	-0,38	
2	426,783	6,015	-1,174		
3	426,876	6,204	-1,568		
4	427,176	4,386	-0,164	0,16	0,1
5	428,241	5,07	-0,779	-0,26	-0,27
6	428,545	6,129	-1,196		
7	428,815	5,649	-2,062		
8	429,413	4,371	-1,11	-0,71	
9	429,924	5,308	-0,405	0,160	0,09
10	430,219	5,928	-1,716		
11	431,509	5,07	-0,965	-0,380	-0,37
12	433,096	6,129	-2,24		
13	434,326	6,105	-1,7		
14	433,705	4,415	-1,695	-0,540	-1,33
15	434,656	6,153	-1,717		
16	435,155	5,839	-1,729		
17	435,274	5,07	-1,287	-0,54	
18	435,850	5,792	-1,683		
19	436,977	5,883	-0,840	-0,190	
20	437,593	2,832	-3,033	-2,57	-2,69
21	439,095	5,48	-1,52		
22	442,557	5,648	-1,115		
23	442,731	2,851	-2,924	-2,54	-2,62
24	443,062	5,02	-1,659	-0,48	-1,03
25	444,772	5,009	-1,342		-0,55

Таблица 4

Газ	λ , Вт/(м·К)	c , кДж/(кг·К)	h , кДж/г	$\sigma_s 10^{-20}$, м ²	R , нм	U_i , эВ
CO ₂	2,30—2,90	5,3—5,0	52,0—54,0	4,1	0,1130*	13,790
O ₂	0,56—0,65	—	27,0—29,0	7,6	0,1207*	12,080
Ar	0,23—0,37	0,5	5,0—5,5	1,0	0,1920	15,755
CO	—	—	—	17,0	0,1120*	14,010

Обозначения. λ — теплопроводность [18—20], c — теплоемкость [18], h — теплосодержание [18, 19], R — радиус атома, R^* — межъядерное расстояние [21, 22], σ_s — транспортное сечение для энергии электрона, равной 1 эВ [22], U_i — потенциал ионизации [21, 22].

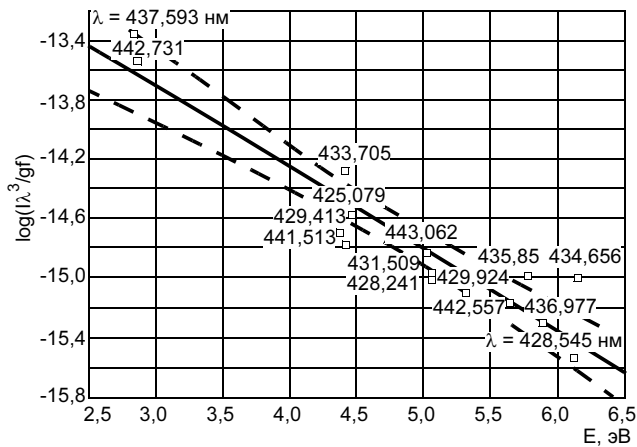
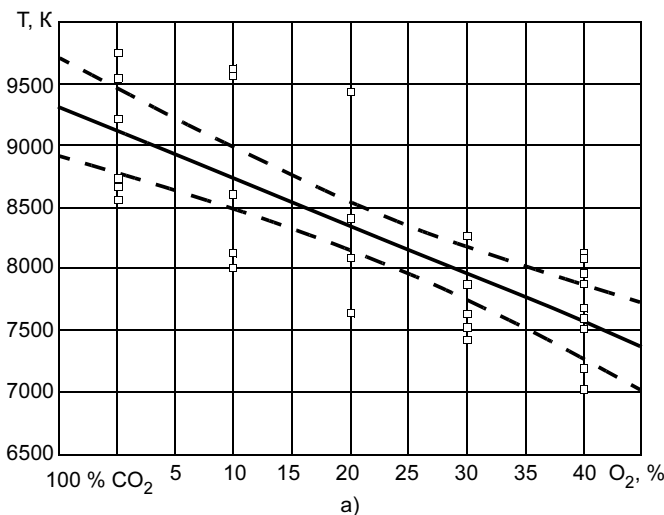
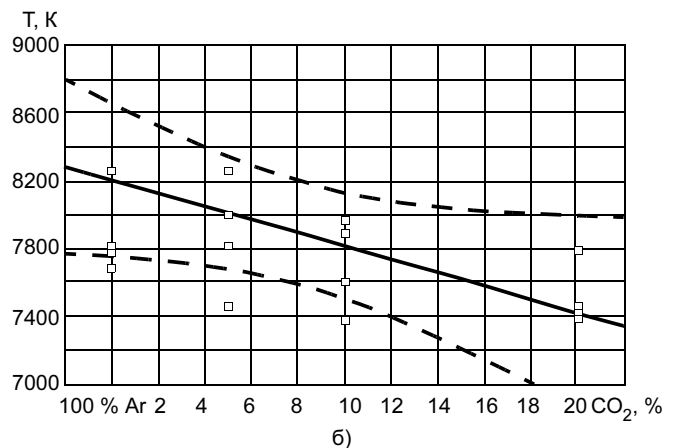


Рис. 7. Зависимость для определения температуры плазмы в углекислом газе (штриховые линии ограничивают доверительный интервал значений)

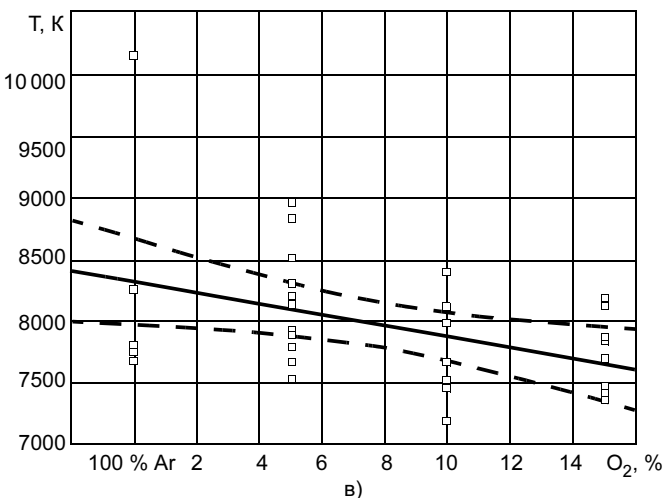
жению температуры плазмы по сравнению с полученными измерениями при $U_d = 20$ В, так как, согласно данным работы [4], повышение напряжения приводит к снижению температуры приблизительно-



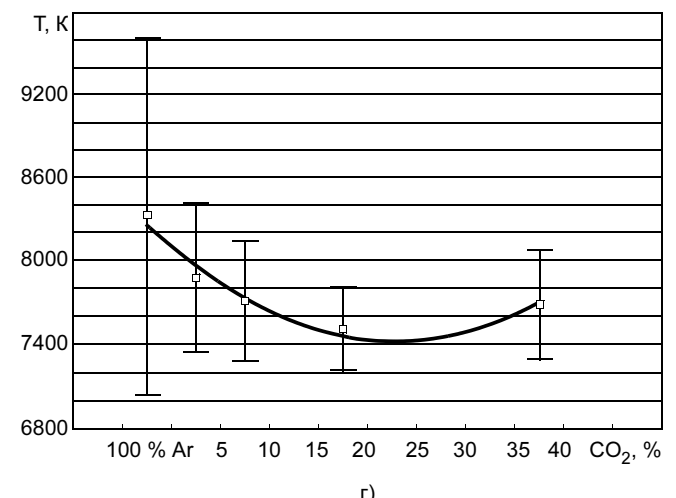
а)



б)



в)



г)

Рис. 8. Зависимость температуры плазмы дуги от содержания кислорода в смесях $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ (а) и $\text{Ar} + \text{O}_2$ (в) и углекислого газа в смеси $\text{Ar} + \text{CO}_2$ (б) при содержании диоксида углерода не более 20 (б) и до 40 (в) %

но на 30 К/В. Во-вторых, в связи с меньшими значениями gf [7] по сравнению с приведенными в работах [15, 17] их использование закономерно приводит к более высоким расчетным температурам.

Авторы работы [18] объясняют более высокую температуру плазмы дуги в углекислом газе, чем в аргоне большей теплопроводностью и теплоемкостью углекислого газа. В связи с этим энергетические процессы при горении дуги в углекислом газе сосредоточены в более узкой области по сравнению с дугой в аргоне, что способствует более интенсивным процессам тепловыделения в плазме дуг углекислого газа.

Из анализа полученных данных следует (см. рис. 8, а), что температура плазмы дуги в смесях $\text{CO}_2 + \text{O}_2$, $\text{Ar} + \text{CO}_2$ и $\text{Ar} + \text{O}_2$ снижается с увеличением содержания кислорода и углекислого газа (до 20 %). Причем влияние содержания примесей в смесях на температуру плазмы дуги примерно одинаково и описывается выражением

$$T = T_r - 40x, \quad (3)$$

где T_r — температура основного газа, К; x — содержание примеси в смеси, %.

Известно, что при $T \geq 8000$ К плазма при сварке стальных конструкций в углекислом газе в основном состоит из атомов и ионов O, C, а также Fe, Mn и других металлов. Причем содержание атомарного кислорода должно возрасти с увеличением содержания O_2 в смеси. Однако теплопроводность кислорода меньше, чем углекислого газа и потенциал ионизации кислорода также меньше, чем углерода (см. табл. 4). Эти факты не объясняют закономерность (4) для смеси $CO_2 + O_2$. Объяснить снижение температуры плазмы с увеличением содержания кислорода в смеси $CO_2 + O_2$ можно, рассмотрев такую характеристику газа, как сечение рассеяния электронов на атомах и молекулах.

Интегральное сечение, определяющее изменение энергии и импульса при упругих столкновениях, называется тормозным или транспортным сечением рассеяния. Последнее название связано с тем, что это сечение входит в основные уравнения кинетики плазмы, описывающие процессы переноса частиц и энергии [23]. Интегральное сечение рассеяния электронов на нейтральных атомах, определяющих кинетику их движения в слабо ионизированной плазме, описывается соотношением [23]

$$\sigma_s = \left(\frac{Ze^2}{2m_e v^2} \right)^2 \frac{1}{\sin^4\left(\frac{\theta}{2}\right)}, \quad (4)$$

где Z — кратность заряда иона; e , m — соответственно заряд и масса электрона; v — скорость его движения; θ — угол рассеяния.

С учетом связи между скоростью электрона v и температурой плазмы T_e при $\theta = 180^\circ$ получена формула [24]

$$\sigma_s = 4 \cdot 10^{-5} \left(\frac{Z}{T_e} \right)^2. \quad (5)$$

Таким образом, имеет место обратное пропорциональное влияние величины $\sqrt{\sigma_s}$ на электронную температуру плазмы. Из табл. 4 следует, что σ_s кислорода больше, чем углекислого газа, поэтому электронная температура и, следовательно, температура смеси снижаются с увеличением содержания кислорода.

Снижение T с увеличением содержания углекислого газа и кислорода в смесях $Ar + CO_2$ и $Ar + O_2$ происходит как вследствие большей теплопроводности углекислого газа и кислорода, чем аргона, так и из-за влияния транспортного сечения (см. табл. 4). Кроме того, потенциал ионизации атомарного кислорода и углерода ниже, чем аргона. Однако при содержании 40 % углекислого газа в смеси $Ar + CO_2$ дальнейшее снижение температуры не наблюдается

(см. рис. 8, *з*). По-видимому, это происходит из-за приближения свойств плазмы образованной смеси к свойствам плазмы углекислого газа.

ВЫВОДЫ

1. Разработанная методика позволяет измерять температуру плазмы сварочной дуги при сварке плавящимся электродом в аргоне и углекислом газе с применением многоканального оптического регистратора спектра.

2. Температура плазмы сварочных дуг при сварке в смесях газов $Ar + CO_2$, $Ar + O_2$ и $CO_2 + O_2$ зависит от содержания углекислого газа и кислорода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лапин И. Л. Определение температуры сварочной дуги по атомным линиям меди // Сварочное производство. 1966. № 8. С. 1—3.
2. Лапин И. Л. Оптическое исследование радиального распределения температуры и электропроводности плазмы в сильноточной Fe-дуге // Сварочное производство. 1971. № 4. С. 5—6.
3. Лапин И. Л. Температура дуги с плавящимся электродом при сварке без защиты // Автоматическая сварка. 1975. № 3. С. 10—11.
4. Ибатулин Б. Л. Средняя температура столба дуги при сварке в защитном газе плавящимся электродом // Сварочное производство. 1975. № 2. С. 71—72.
5. Ибатулин Б. Л. Влияние активирования электродной проволоки на среднюю температуру столба дуги в углекислом газе // Сварочное производство. 1970. № 5. С. 11—12.
6. Говоров И. И., Ларионов В. П. Температура дуги при сварке в условиях низких температур окружающей среды // Сварочное производство. 1978. № 7. С. 10—12.
7. <http://www.astro.univie.ac.at/vald/>
8. Мечев В. С., Ерошенко Л. Е. Радиальное распределение температуры электрической дуги в аргоне // Автоматическая сварка. 1975. № 3. С. 6—9.
9. Мечев В. С., Ерошенко Л. Е. Аксиальное распределение температуры электрической дуги в аргоне // Автоматическая сварка. 1975. № 6. С. 14—17.
10. Новокрепцов М. М., Виноградов В. А. Влияние азота на свойства столба сварочной дуги в аргоне // Сварочное производство. 1974. № 3. С. 1—3.
11. Виноградов В. А., Гумма В. В., Романенков Е. И. Влияние параметров режима на температуру дуги в аргоне и методы ее измерения // Сварочное производство. 1976. № 8. С. 13—15.
12. Методы исследования плазмы / Под ред. В. Лохте-Хольтгривена. М.: Мир, 1971. 552 с.
13. Очерки физики и химии низкотемпературной плазмы / Под ред. Л. С. Полака. М.: Наука, 1971. 433 с.
14. www.ooo-mors.ru
15. Корлисс Ч., Бозман У. Вероятность переходов и сил осцилляторов 70 элементов. М.: Мир, 1968. 562 с.
16. Прокофьев В. К., Нагибина И. М. Спектральные приборы и техника спектроскопии: Руководство по практическим занятиям. М.: Mashgiz, 1963. 272 с.
17. Зайдель А. Н., Прокофьев В. К. Таблицы спектральных линий. М.: Наука, 1977. 800 с.
18. Мечев В. С. Теплофизические свойства углекислого газа и их влияние на процессы в сварочной дуге // Автоматическая сварка. 1982. № 4. С. 30—34.
19. Донской А. В., Клубник В. С. Электроплазменные процессы и установки. Л.: Машиностроение, 1979. 221 с.
20. Физические величины: Справочник / А. П. Бабичев и др.; Под ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. М.: Энергоатомиздат, 1991. 1232 с.
21. Свойства элементов: Справочник. В 2 кн. / Под ред. М. Е. Дрица. М.: Руда и металлы, 2003.
22. Краткий справочник физико-химических величин / Под ред. К. П. Мищенко, А. А. Равделя. М.: Химия, 1965. 159 с.
23. Голант В. Е., Жилинский А. П., Сахаров И. Е. Основы физики плазмы. М.: Атомиздат, 1977. 384 с.
24. Арцимович Л. А. Элементарная физика плазмы. М.: Атомиздат, 1966. 200 с.

Математическая модель формирования каплей электродного металла при механизированной дуговой сварке с импульсной подачей электродной проволоки

Управление переносом электродного металла при дуговой механизированной сварке и наплавке является одной из основных проблем, так как определяет не только качество сварного шва, но и энерго- и трудозатраты процесса.

При разработке технологий сварки с управляемым переносом электродного металла с применением импульсных алгоритмов работы источников сварочного тока и импульсных подач электродной проволоки необходимо определить параметры плавления электродного металла, и в частности времени образования капли электродного металла с оптимальными характеристиками.

Задача математического описания процесса переноса электродного металла при сварке с импульсными алгоритмами работы источника сварочного тока частично решена в работе [1].

Целью данной работы является математическое описание процесса плавления электродной проволоки при механизированной дуговой сварке с импульсной подачей электрода.

Кинетика процесса сварки тонкими электродными проволоками в углекислом газе с систематическими короткими замыканиями дугового промежутка и элементами количественных соотношений хорошо изучена и представлена в научно-технической литературе. Так, в работе [2] приведена зависимость скорости плавления электродной проволоки $v_{пл}$ от времени t с момента возбуждения дуги для характерных факторов. На рис. 1 по данным работы [2], выполненной на основании исследования кинограмм процесса сварки с короткими замыканиями, и исследований автора по методикам данной работы с некоторыми усовершенствованиями в части применения современной техники видеосъемки с лазерной подсветкой [3], а также дополнительно работы [4], приведены усредненные характерные зависимости $v_{пл} = f(t)$.

Из анализа приведенных на рис. 1 зависимостей следует, что в начальный момент времени при возбуждении дуги после окончания очередного короткого замыкания $v_{пл}$ максимальна и зависит от скорости подачи электродной проволоки v_n , затем в течение непродолжительного времени снижается

до уровня $v_{пл} < v_n$. Можно предположить, что в итоге это обстоятельство обуславливает необходимость короткого замыкания капли с остальным расплавленным металлом и ее переход в сварочную ванну. В реальном процессе, согласно работе [3], короткие замыкания будут происходить даже при $v_n < v_{пл}$, а их неизбежность определяется в первую очередь некоторым "накопительным" характером формирования капли электродного металла. Другими словами, даже если $v_n < v_{пл}$, граница плавления между каплей и электродной проволокой медленно движется вверх, накапливающийся расплавленный металл вызывает короткое замыкание дугового промежутка, если его длина меньше размера капли, которая могла бы оторваться от торца электрода без замыкания дугового промежутка. Из-за колебаний тока с большим значением в момент короткого замыкания и малым значением непосредственно перед коротким замыканием могут быть справедливыми обе ситуации, когда $v_{пл} < v_n$ и $v_n < v_{пл}$ (см. рис. 1). При исследованиях процесса сварки электродной проволокой Св-08Г2С диаметром 0,8—1,2 мм для токов в диапазоне 60—180 А и напряжения 17—25 В характер и количественные соотношения скоростей плавления проволоки в начальный период весьма близки друг к другу. При

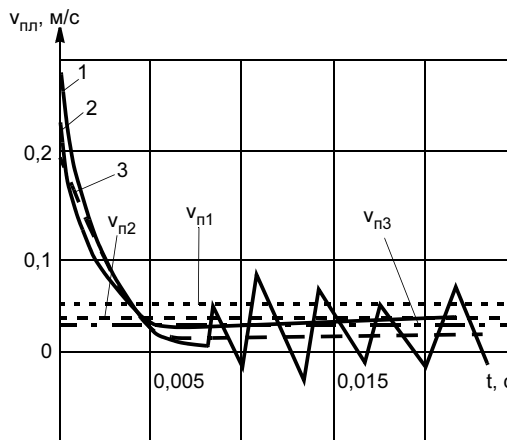


Рис. 1. К определению скорости плавления электродной проволоки (скорость подачи электродной проволоки 234, 102 и 80 м/с соответственно)

этом больший период времени $v_{пл}$ при подаче с постоянной скоростью практически также постоянна. С учетом выводов работы [4], а также исходя из рационального анализа для начального периода плавления электродной проволоки можно записать следующее уравнение:

$$v_{пл} = v_{пл.у} + (v_{пл.маx} - v_{пл.у})e^{-t/T}, \quad (1)$$

где $v_{пл.у}$, $v_{пл.маx}$ — установившаяся и максимальная скорости плавления электродной проволоки; T — постоянная времени сварочной цепи с учетом характеристик источника сварочного тока, сварочных проводов и самой дуги.

Скорость подачи электродной проволоки при невозмущенном характере ее перемещения в зону горения дуги

$$v_{п} = v_{п.ср} = s/t_{ф}, \quad (2)$$

где $v_{п.ср}$ — среднее значение скорости подачи электродной проволоки; s — участок электродной проволоки, который подается за время формирования капли электродного металла или горения дуги $t_{ф}$.

Исходя из того, что при установившемся процессе сварки с устойчивыми параметрами дугового процесса $v_{п.ср}$ и $v_{пл.ср}$ должны соответствовать друг другу, можно записать следующее уравнение:

$$\frac{1}{t_{ф}} \int_{t_1}^{t_2} [v_{пл.у} + (v_{пл.маx} - v_{пл.у})e^{-t/T}] dt = v_{п.ср}, \quad (3)$$

где t_1 , t_2 , $t_{ф}$ — время начала и окончания образования капли и ее существования соответственно.

Из уравнения (3) можно определить важнейший для решения задач управляемого переноса электродного металла параметр — время формирования капли заданного диаметра. Для этого следует задать размеры капли, которую необходимо перенести в сварочную ванну и определить значения $v_{пл.маx}$ и $v_{пл.у}$. Решение трансцендентного уравнения (3) относительно искомого времени t аналитическими методами не представляется возможным. Применение численных способов, например, с разложением функции $e^{-t_{ф}/T}$ в ряды Тейлора, — рутинная и трудоемкая задача, а получаемый при этом результат мало пригоден для применения в инженерной практике. В работе предлагается следующий способ определения времени формирования капли электродного металла при невозмущенном характере движения.

На рис. 2 приведены упрощенные (усредненные в установившемся режиме горения дуги) по сравнению с рис. 1 зависимости изменения скорости плавления и подачи электродной проволоки во времени. При этом практически изменение скорости плавления заканчивается при условии

$$v_{пл} = v_{п}. \quad (4)$$

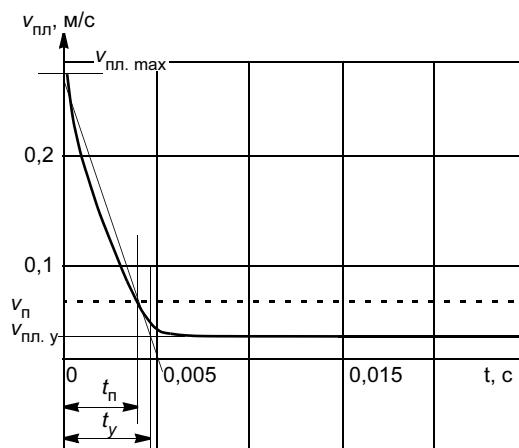


Рис. 2. К определению времени образования капли электродного металла при заданном диаметре электродной проволоки

Рассматривая характер изменения скорости плавления электродной проволоки на участке $0 - t_y$ (t_n — момент времени, когда $v_{пл} = v_{п}$), можно с достаточной для оценочных расчетов точностью заменить экспоненциальную кривую скорости плавления наклонной прямой, уравнение которой определяется при выполнении условия (4).

Из уравнения (1) при $t = t_n$ следует

$$t_n = T \ln \frac{v_{пл.маx} - v_{пл.у}}{v_{пл} - v_{пл.у}}. \quad (5)$$

Исходя из геометрических построений на рис. 2, определим время t_y , при котором процесс плавления электродной проволоки принимает установившийся характер:

$$t_y = \frac{(v_{пл.маx} - v_{пл.у})}{(v_{пл.маx} - v_{п})} T \ln \frac{v_{пл.маx} - v_{пл.у}}{v_{пл} - v_{пл.у}}. \quad (6)$$

Уравнение линеаризованной зависимости $v_{пл} = f(t)$ можно представить в следующем виде:

$$v_{пл} = (v_{пл.маx} - v_{пл.у})(1 - t/t_y) + v_{пл.у}. \quad (7)$$

Определим длину оплавления электродной проволоки за время t , равное $t_y - 0$ и $t_{ф} - t_y$, проинтегрировав по частям уравнение (7):

$$\begin{aligned} l_0 &= \int_0^{t_y} (v_{пл.маx} - v_{пл.у})(1 - t/t_y) dt + \int_{t_y}^{t_{ф}} v_{пл.у} dt = \\ &= \frac{(v_{пл.маx} - 3v_{пл.у})t_y}{2} + v_{пл.у}t_{ф}. \end{aligned} \quad (8)$$

При устойчивом процессе сварки длина оплавленной электродной проволоки в цикле переноса электродного металла при условии, что эти циклы носят регулярный характер, должна быть равна длине электродной проволоки $l_{п}$, которая перемещается в зону горения дуги механизмом подачи за

время t_{ϕ} , т. е. $I_0 = I_{\text{п}}$. Учитывая, что $I_{\text{п}} = v_{\text{п}} t_{\phi}$, выражение (8) можно представить в следующем виде:

$$\frac{(v_{\text{пл. max}} - 3v_{\text{пл. у}})t_{\text{у}}}{2} + v_{\text{пл. у}} t_{\phi} = v_{\text{п}} t_{\phi} = I_{\text{п}} \quad (9)$$

Известно [5], что в процессе формирования капли на торце электродной проволоки ее форма достаточно близка к шаровидной (по крайней мере, в начальный период ее существования) и при аналитическом описании условий существования процесса переноса электродного металла с короткими замыканиями дугового промежутка для первоначального анализа достаточно представить каплю в виде шара радиусом $r_{\text{к}}$. В этом случае будет справедливым следующее соотношение:

$$\frac{4\pi r_{\text{к}}^3}{3} = \pi r_{\text{э}}^2 I_{\text{п}} \quad (10)$$

где $r_{\text{э}}$ — радиус электродной проволоки.

Из анализа данных работ [6] и результатов исследований автора, полученных при сварке тонкими электродными проволоками в углекислом газе, следует, что процесс сварки будет устойчивым с низкими потерями электродного металла при разбрызгивании и формировании сварного шва при определенном соотношении размеров капли и диаметра электродной проволоки, а также соотношении времени короткого замыкания дугового промежутка $t_{\text{к.з}}$ и горения дуги t_{ϕ} . При этом весьма важным является то, что эти соотношения также взаимосвязаны. Учитывая вышеизложенное, можно отметить, что $r_{\text{к}} \leq k r_{\text{э}}$, где k — оптимальный параметр, равный 1,2—1,5.

Тогда из уравнения (10) определим

$$I_{\text{п}} = 4k^2 r_{\text{к}} \quad (11)$$

На основании выражений (9) и (11) можно записать уравнение, которое аналитически описывает кинетику процесса формирования капли электродного металла:

$$\frac{(v_{\text{пл. max}} - 3v_{\text{пл. у}})(v_{\text{пл. max}} - v_{\text{пл. у}})}{2(v_{\text{пл. max}} - v_{\text{п}})} \times \\ \times T \ln \left[\frac{(v_{\text{пл. max}} - v_{\text{пл. у}})}{v_{\text{пл}} - v_{\text{пл. у}}} \right] + v_{\text{пл. у}} t_{\phi} = \frac{4k^2 r_{\text{к}}}{3} \quad (12)$$

Из уравнения (12) можно с достаточной степенью точности определить время, необходимое для формирования капли определенного (заданного) размера. Это время зависит от ряда параметров цикла переноса электродного металла, которые можно с некоторыми допущениями условно сгруппировать следующим образом:

— зависящие от технических средств, используемых материалов, физических процессов и условий: $v_{\text{пл. max}}$, $r_{\text{к}}$, $v_{\text{пл. у}}$ и T ;

— зависящие только от технических средств: $v_{\text{п}}$, T .

Заметим, что для дальнейших исследований и практического применения уравнение (12) необходимо упростить. Такое упрощение можно сделать исходя из следующих соображений. Время установления процесса плавнения $t_{\text{у}} = 4 \div 5 T$ (за это время заканчивается переходный период, описываемый зависимостью $e^{-t/T}$ [7], определим, что $t_{\text{у}} = 4T$).

При $4k^2 r_{\text{к}}/3 = r_{\text{к1}}$; $v_{\text{пл. max}}/v_{\text{пл. у}} = \alpha$; $v_{\text{п}}/v_{\text{пл. у}} = \beta$ запишем выражение для определения времени формирования капли электродного металла заданного (оптимального) диаметра:

$$t_{\phi} = \frac{r_{\text{к1}}}{v_{\text{пл. у}}} - \frac{2T(\alpha - 3)(\alpha - 1)}{(\alpha - \beta)} \quad (13)$$

Из анализа уравнения (13) следует, что любые изменения скоростей плавнения электродной проволоки $v_{\text{пл. у}}$ и $v_{\text{пл. max}}$ ведут к изменению времени формирования капли: с их увеличением время формирования капли уменьшается и наоборот.

Из рассмотренных условий следует, что изменяя параметры $v_{\text{пл. max}}$, $v_{\text{п}}$, $r_{\text{к}}$ и T , можно управлять процессом переноса электродного металла в сварочную ванну, не прибегая при этом к дополнительным силовым воздействиям, например воздействию мощных импульсов тока [8], по крайней мере для дозированного переноса капель. При таком переносе снижаются потери электродного металла на угар и разбрызгивание, уменьшаются неровности поверхности наплавленного валика и др., если металл переходит в ванну равномерными порциями.

Рассмотрим управление переносом электродного металла при сварке стали в углекислом газе, которое осуществляется с помощью импульсной подачи электродной проволоки — наиболее простым, экономичным и эффективным способом.

Найти соответствие между скоростью подачи электродной скорости $v_{\text{п}}$ и током дугового процесса $I_{\text{с}}$ или скоростью плавнения $v_{\text{пл}}$ при импульсной подаче электродной проволоки для его введения в уравнение (12) можно, используя различные выражения для $v_{\text{п}} = f(I_{\text{с}})$ или $v_{\text{п}} = f(v_{\text{пл}})$, приведенные в некоторых работах. Однако в большинстве этих работ, как правило, используют экспериментальные данные, которые относятся к процессу плавнения. В рассматриваемом случае требуется знание или, по крайней мере, оценка текущего значения $v_{\text{п}} = f(I_{\text{с}})$ или $v_{\text{п}} = f(v_{\text{пл}})$, следовательно, целесообразно использовать приведенное в работе [8] выражение

$$v_{\text{пл}}(t) = \frac{k_1 f h \pi D / 2}{T_1 \sqrt{(\delta^2 - f^2)^2 + 4a^2 f^2}} \times \\ \times \left\{ \frac{1}{2} + [\sin(ft - \lambda) + \frac{f}{b} e^{-at} \sin(bt - \mu)] \right\}, \quad (14)$$

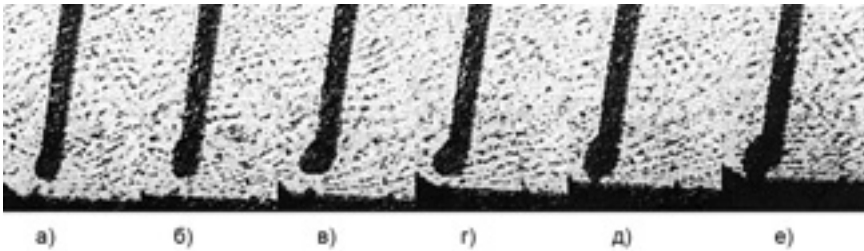


Рис. 3. Видеокдры процесса образования капли электродного металла при сварке проволокой Св-08Г2С диаметром 1,2 мм в CO_2 с импульсной подачей с частотой 30 с^{-1} : а—е — t_{ϕ} равно 0,001, 0,004, 0,008, 0,012, 0,016 и 0,020 с соответственно

где k_1 — коэффициент соответствия между током сварки и скоростью плавления электродного металла; f, h — частота и шаг импульсной подачи электродной проволоки; $D = E_c / (R_3 + 0,5s)$ (R_3 — эквивалентное сопротивление сварочной цепи; E_c — напряженность электрического поля в столбе дуги; s — коэффициент, характеризующий наклон статической характеристики дуги к оси токов); $T_1 = L / (R_3 + 0,5s)$ (L — индуктивность сварочной цепи);

$a = 1/2T_1$; $b = (\sqrt{4kT_1} - 1)/2T_1$; $\delta = \sqrt{a^2 + b^2}$; $\lambda, \mu - \delta$ — сдвиги фаз между скоростью подачи электродной проволоки и ее скоростью плавления, а также между переходным колебательным процессом в системе дуга—источник сварочного тока и ее скоростью плавления в системе соответственно.

В уравнении (14) обозначим постоянную составляющую скорости подачи Y , а соотношение частот $f/b = n$ и подставим их в уравнение (13), где $2T(\alpha - 3)(\alpha - 1)/(\alpha - \beta) = \tau$. Тогда при $t = t_{\phi}$ получим r_{k1}

$$t_{\phi} = \frac{r_{k1}}{Y \left\{ 1/2 + [\sin(ft_{\phi} - \lambda) + ne^{-at_{\phi}} \sin(bt_{\phi} - \mu)] \right\}} - \tau. \quad (15)$$

Определить t_{ϕ} из трансцендентного уравнения (15) непосредственно не представляется возможным, так как эта величина задана в неявной форме. Приближенно решить уравнение (15) можно, например, численными методами с использованием разложений в ряды функций $\sin(ft_{\phi} - \lambda)$, $e^{-at_{\phi}}$ и $\sin(bt_{\phi} - \mu)$. Однако такое решение является достаточно сложным и для ряда практических случаев, связанных, например, с определением параметров импульсной подачи электродной проволоки, в основном применяли прикладные математические программы MathCad 2000 для ПК и принимали ряд упрощений.

Проверку полученного результата проводили двумя методами:

— с использованием данных по результатам времени формирования капли в процессе дуговой механизированной сварки в CO_2 , приведенных в научно-технической литературе;

— с вычислением времени формирования капли при дуговой механизированной сварке по данным видеосъемки этого процесса с использованием лазерной подсветки.

Результаты сравнения данных расчета по уравнению (15), работ [9—11] и практического исследования (кинограммы на рис. 3) по определению времени формирования капли дают разницу 15—30 % в сторону уменьшения (по данным работ и видеосъемки). Это связано с рядом принятых допущений при аналитическом определении времени формирования капли и использованными при расчете физическими параметрами и соотношениями. Можно утверждать, что полученный результат в виде уравнения, аналитически описывающего формирование капли электродного металла при импульсной подаче электродной проволоки, отражает основные закономерности данного процесса.

Следует отметить, что управление переносом электродного металла с применением механизмов импульсной подачи в отличие от импульсных источников питания практически не требует дополнительных ресурсо- и энергозатрат, расширяется диапазон оптимальных режимов, при правильно выбранных параметрах импульсной подачи обеспечивается возможность сварки тонколистового металла на весу, сварки в положениях, отличных от нижнего, снижается уровень набрызгивания электродного металла, улучшается качество сварного шва.

Технологии сварки в защитных газах с использованием источников сварочного тока с алгоритмами, обеспечивающими некоторые оптимальные условия переноса электродного металла, например технология STT и др., требуют сложной настройки и не решают задачи принудительного управления переносом электродного металла. Поэтому данные технологии могут иметь ограниченное применение как дополнительное техническое решение в системах с принудительным импульсным управлением переносом электродного металла.

ВЫВОДЫ

1. Временной анализ кино- и видеосъемки дугового процесса подтверждает экспоненциальный характер изменения скорости плавления электродной проволоки и образования капли.

2. На скорость плавления электродной проволоки в разных ее стадиях существенно влияет ско-

рость импульсной подачи, при этом необходимо учитывать переходный процесс в системе источник сварочного тока — дуговой процесс.

3. При сближении частот импульсной подачи электродной проволоки и переходного процесса в системе источник сварочного тока — дуговой процесс возможно получение эффекта интерференции с увеличением скорости плавления электродной проволоки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патон Б. Е., Лебедев В. А. Управление плавлением и переносом электродного металла при сварке в углекислом газе // Автоматическая сварка. 1988. № 11. С. 1—5.
2. Букаров В. А., Ермаков С. С. Механизм образования капли и ее переход в ванну при дуговой сварке // Сварочное производство. 1993. № 11—12. С. 20—23.
3. Ющенко Ю. Л., Дюргеров Н. Г. Плавление электрода и саморегулирование дуги при сварке с периодическими замыканиями

ми дугового промежутка // Сварочное производство. 1993. № 6. С. 9—12.

4. Пономарев В. А. Процессы в дуге и перенос электродного металла при сварке MIG/MAG. Киев: КПИ, Межотраслевой учебно-аттестационный центр ИЭС им. Е. О. Патона, 2002. 76 с.

5. Дюргеров Н. Г. Причины периодических замыканий дугового промежутка при сварке короткой дугой // Сварочное производство. 1974. № 9. С. 1—3.

6. Попков А. М. О длительности циклов при сварке с систематическими короткими замыканиями дугового промежутка // Сварочное производство. 1970. № 7. С. 32—33.

7. Бесекиерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Наука, 1975. 768 с.

8. Патон Б. Е., Шейко П. П. Управление переносом металла при дуговой сварке плавящимся электродом // Автоматическая сварка. 1965. № 5. С. 1—7.

9. Лебедев В. А. Зависимость между скоростями импульсной подачи проволоки и ее плавления при сварке с короткими замыканиями // Автоматическая сварка. 2007. № 4. С. 19—22.

10. Потаповский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. М.: Машиностроение, 1974. 240 с.

11. Воропай Н. М. Параметры режимов и технологические возможности дуговой сварки с импульсной подачей электродной и присадочной проволоки // Автоматическая сварка. 1996. № 10. С. 3—9.

УДК 621.791.317.6

**Ю. П. ТРЫКОВ, д-р техн. наук, А. Ю. ТРЫКОВ, канд. техн. наук,
Л. М. ГУРЕВИЧ, канд. техн. наук, Д. Н. ГУРУЛЕВ, канд. техн. наук,
А. Э. ПЕТРОВ, аспирант
Волгоградский государственный технический университет**

Технология изготовления титаностальных переходников с паяно-сварными стыковыми соединениями

Промышленное изготовление крупногабаритных титаностальных кольцевых биметаллических переходников механической вырезкой из сваренных взрывом листовых заготовок [1] экономически невыгодно из-за низкого коэффициента использования материала (менее 0,1—0,2) и необходимости организации специального производства крупногабаритных титановых и стальных листов. Сотрудниками Волгоградского ГТУ разработана и реализована принципиально новая технология изготовления таких переходников, включающая резку сваренного взрывом листового биметалла сталь 08X18H10T + титан BT1-0 на полосы требуемых размеров, их сварку плавлением, вальцевание в цилиндрическую заготовку и сваркопайку замыкающего продольного стыка.

При сварке плавлением биметаллического стыкового титаностального соединения недопустимо превышение предельных температурно-временных условий на примыкающих к свариваемому стыку границах биметалла из-за возможности образования хрупких интерметаллидов. Поэтому для обеспечения прочности и герметичности [2] стыковое соединение биметаллических титаностальных по-

лос (рис. 1) выполняли путем предварительной аргонодуговой (АДС) или электронно-лучевой (ЭЛС) сварки каждого стыка однородных металлов Ti—Ti и сталь—сталь в "безопасных" областях и электроконтактной пайкой (ЭКП) — в "опасной" области $h_1^{\min} + h_2^{\min}$ (рис. 2), где возможно образование интерметаллидов. Выбранный способ пайки электросопротивлением конусной титановой вставки 3 через прослойку припоя 2 в высверленном в стыке коническом отверстии (см. рис. 1, б) [3] обеспечивает необходимую высокую скорость нагрева и охлаждения соединяемых деталей, точность регулирования температуры t_p и времени τ_p пайки за счет изменения плотности тока, регулирование давления на конусную вставку для формирования качественного паяного шва требуемой толщины, возможность бесфлюсовой пайки в проточном аргоне, кристаллизацию паяного шва под давлением.

Предложенная конструкция соединения потребовала теоретического и экспериментального определения величины "опасной" области при сварке плавлением на различных режимах, отработки параметров электроконтактной пайки, разработки ал-

горитмов расчета прочностных характеристик биметаллических и многослойных изделий со сварно-паяными узлами.

Минимально допустимое расстояние от корня шва в каждом слое до линии соединения слоев в биметалле титан—сталь (см. рис. 2) определяли с рядом допущений [4] на основе теории распространения теплоты при сварке [5].

Изменение температуры во времени τ при ЭЛС титанового слоя на расстоянии $y = h_1$ по оси ординат от корня шва до линии соединения слоев

$$T = (T_1 - T_0)e^{-\frac{\tau}{\tau_0}} + T_0, \quad (1)$$

где T_0, T_1 — соответственно температура окружающей среды и плавления титана; $T_1 \approx (R_1^2/a_1)$ (R — радиус электронного пучка, a_1 — температуропроводность).

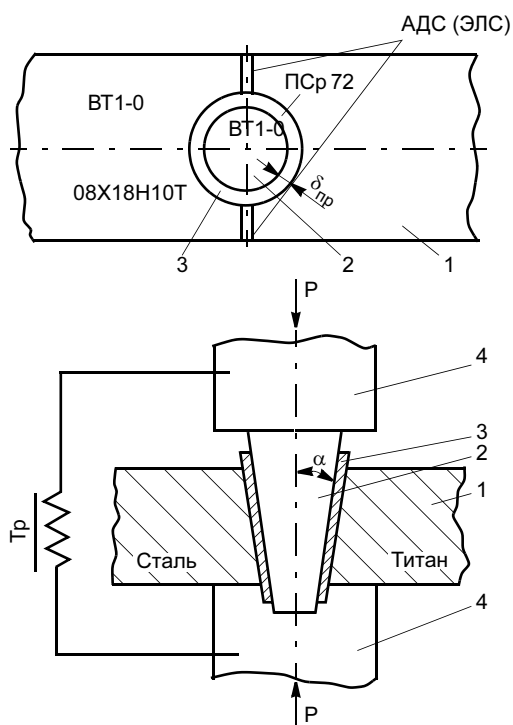


Рис. 1. Паяносварное соединение биметалла титан—сталь: а, б — схемы соединения и пайки соответственно (1 — биметаллическая полоса, 2 — вставка, 3 — припой, 4 — электроды)

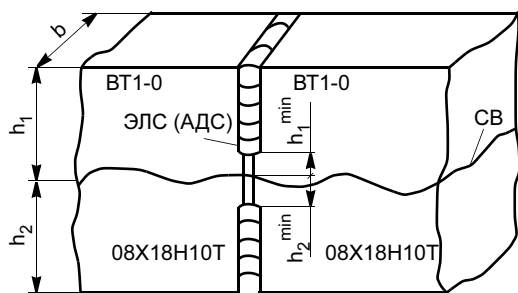


Рис. 2. Схема стыкового соединения биметаллических титаностальных полос, выполненного электронно-лучевой или аргодуговой сваркой

Приближенное уравнение температуры металла T в области между точками с координатами $(0, h_1)$ и $(h_1, 0)$ имеет вид

$$\frac{dT}{dt} = \frac{a_1}{h_1^2} \left[(T_1 - T_0)e^{-\frac{\tau}{\tau_0}} + T_1 \right] - \frac{a_1}{h_1^2} T, \quad (2)$$

где первый член учитывает нагрев рассматриваемой области за счет теплового потока после окончания сварки металла, второй — теплоотвод.

Решением уравнения (2) является функция

$$T = T_1 \frac{\tau a_1}{h_1^2} e^{-\frac{a_1 \tau^2}{h_1^2}}. \quad (3)$$

Уравнение (3) аппроксимируется для времени $\tau \leq (h_1^2/a_1)$ линейной функцией, считая, что экспонента близка к единице:

$$T = T_1 \frac{\tau a_1}{h_1^2}, \quad (4)$$

для времени $\tau \geq (h_1^2/a_1)$:

$$T = T_m \left(\frac{2h_1^2}{(a_1 - t)} \right) \left(\frac{h_1^2}{a_1} \right). \quad (5)$$

Тогда из выражений (4) и (5) интервал времени, в течение которого температура у границы раздела больше T_s ,

$$\Delta\tau = 2 \frac{h_1^2}{a_1} - 3,7 \frac{h_1^2}{a_1} \frac{T_s}{T_1}. \quad (6)$$

Окончательно для сварки слоев биметалла

$$h_1^{\min} \geq \left(\frac{1}{3,7} \frac{T_1 a_1}{v_c} \right)^{0,5} \text{ и } h_2^{\min} \geq \left(\frac{1}{3,7} \frac{T_2 a_2}{v_c} \right)^{0,5}, \quad (7)$$

где v_c — скорость охлаждения металла.

Экспериментальную проверку результатов расчета безопасного места остановки источника теплоты от границы разнородного соединения проводили при сварке плавлением состыкованных биметаллических полос шириной b , равной 2 и 4 мм, и $h_1 = h_2 = 20$ мм. Термические циклы сварки в точках на линии соединения слоев регистрировали осциллографом с помощью установленных на границе соединения титан—сталь на расстоянии 1 мм друг от друга тонких хромель-алюмелевых термопар. Процесс начинался на вводных планках и последовательно прерывался на расстоянии 5, 4, 3, 2 и 1 мм от границы соединения BT1-0 + 08X18H10T. После полного остывания образца аналогичные опыты проводили при сварке второго слоя. Анализ термических

циклов и микроструктуры биметалла показал, что при ЭЛС и АДС на оптимальных режимах без охлаждения образцов со стороны сплава ВТ1-0 $h_1^{\min} = 1,5$ мм, а со стороны стали 08Х18Н10Т $h_2^{\min} = 1,8$ мм. За пределами "опасной" области ($x = y$) $> h_1^{\min}$ (h_2^{\min}) исходная структура и твердость биметалла практически не изменялись. Термические циклы при сварке титана и стали в точке, расположенной на расстоянии $h^{\min} = h_2^{\min} = 1,8$ мм от плоскости стыка на границе разнородного соединения, приведены на рис. 3.

При сварке титана $t_{\max} < 850$ °С, стали — меньше 1000 °С, а суммарное время термического воздействия при $t = 600 \div 1000$ °С меньше латентного периода $\tau_{\text{л}}$ образования интерметаллидов (рис. 4).

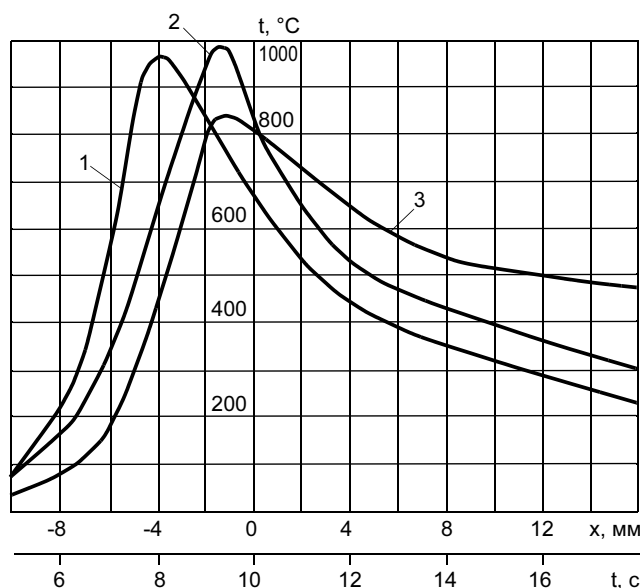


Рис. 3. Термический цикл аргодуговой сварки слоев биметалла ВТ1-0 + 08Х18Н10Т: 1, 2 — расчетный и экспериментальный для стали 08Х18Н10Т; 3 — экспериментальный для сплава ВТ1-0

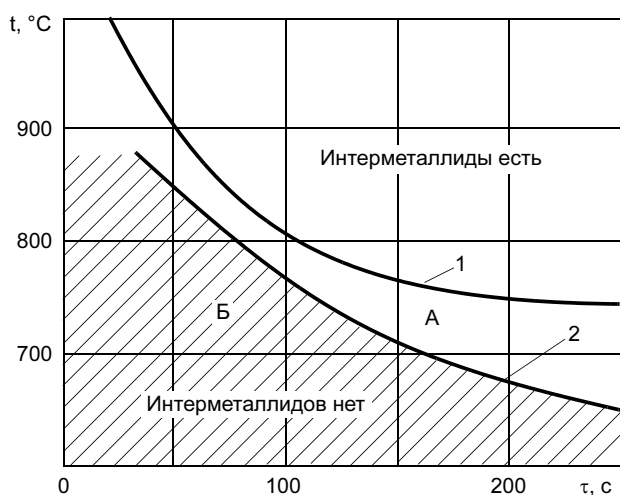


Рис. 4. Диапазон допустимых (А) и "безопасных" (Б) температурно-временных режимов пайки биметалла ВТ1-0 + 08Х18Н10Т: 1 — температурно-временная зависимость начала образования интерметаллидов при изотермической выдержке; 2 — результирующая кривая термических циклов сваркопайки

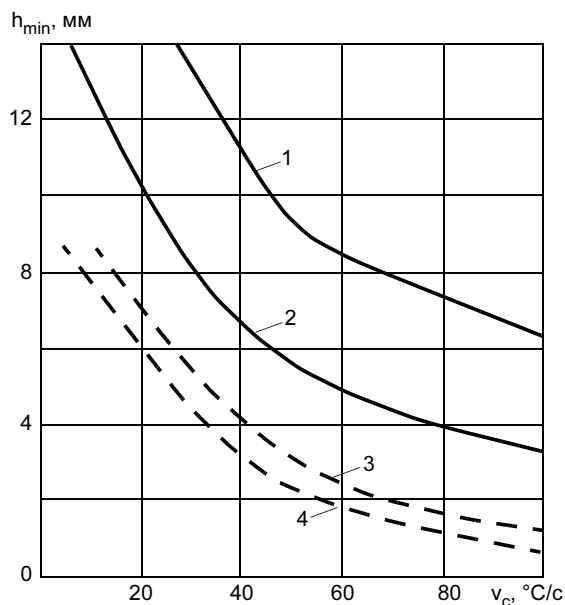


Рис. 5. Зависимость величины минимально допустимого непровара при сварке стыкового соединения биметалла ВТ1-0 + 08Х18Н10Т от скорости охлаждения: 1, 2 — расчетные данные; 3, 4 — экспериментальные данные; 1 — сталь; 2—4 — титан; 3 — АДС; 4 — ЭЛС

Например, при $t_1 = 1000$ °С $\tau_1 < 10$ с, $\tau_{\text{л}1} = 20$ с, а при $t_2 = 800$ °С, $\tau_1 < 40$ с, $\tau_{\text{л}1} = 130$ с. Анализ термических циклов показал, что в интервале 800—1000 °С расчетные значения предельных температур превышают реальные на 150—230 °С, а в интервале 600—800 °С — на 50—100 °С.

Количественное несоответствие расчетных и экспериментальных допустимых минимальных непроваров h_1^{\min} и h_2^{\min} (рис. 5) объясняется принятыми допущениями, и для практических целей предложено [4] ввести в выражения (7) поправочные коэффициенты 0,21 для ЭЛС и 0,14 для АДС.

Для обеспечения равнопрочности биметалла в ЗТВ при назначении термического режима пайки сопротивлением необходимо учитывать общее термическое воздействие при сварке плавлением комбинированного узла (переходника), пайки и последующей его сварке в изделие. "Безопасная" область термических циклов пайки может быть определена как разность латентного периода образования интерметаллидов при изотермической выдержке и общего времени термического воздействия сварки плавлением в заданном интервале температур. Заштрихованная область Б (см. рис. 4), ограниченная результирующей кривой 2, соответствует "безопасному" температурно-временному диапазону режимов пайки сопротивлением стыкового соединения биметаллических полос сечением $10 \times (5 + 5)$ мм.

Совместимость материалов паяемого узла может быть обеспечена применением среднеплавких серебряных припоев с интервалом температур плавления 500—980 °С, хорошо смачивающих титан и сталь,

обладающих высокими механическими свойствами и образующих прочные и в сравнении с другими припоями менее хрупкие соединения с титаном. Наиболее подходящим присадочным материалом для пайки комбинированного узла [6] является широко используемый в промышленности двухкомпонентный эвтектический припой ПСр 72 с содержанием серебра 72 % и температурой плавления 779 °С. Рекомендуемые режимы пайки этим припоем стали 08Х18Н10Т и титана ВТ1-0 укладываются в "безопасный" температурно-временной диапазон процесса. Область $\tau_{\text{п}}$ (рис. 6) характеризует оптимальный режим пайки сопротивлением, обеспечивающий качественное формирование паяного шва толщиной $\delta_{\text{пр}} = 0,20 \pm 0,22$ мм и реализацию равнопрочности паяносварного соединения основному материалу (биметаллу ВТ1-0 + 08Х18Н10Т) при одноосном растяжении.

Расчет на прочность при одноосном растяжении механически неоднородного сварнопаяного соединения проводили с учетом поведения мягкой прослойки (паяного шва), прочность которой ниже, чем основного металла. Критическую толщину паяного шва $\delta_{\text{пр}}^{\text{кр}}$, при которой реализуется равнопрочность паяного соединения основному металлу, в инженерных расчетах можно определять по выражению [6]

$$\delta_{\text{пр}}^{\text{кр}} = \frac{2b}{3\sqrt{3\pi}(K_{\text{в}} - \pi/4)}, \quad (8)$$

где $K_{\text{в}}$ — коэффициент механической неоднородности; b — ширина полосы.

При испытании на растяжение образцы стыкового сварнопаяного соединения титаностальных полос сечением $(5 + 5) \times 5$ мм с толщиной паяного шва $\delta_{\text{пр}} = 0,20 \pm 0,25$ мм [6] разрушались по основному материалу при нагрузке 24,0 кН (аналогичные образцы со сварным узлом без впаяной вставки раз-

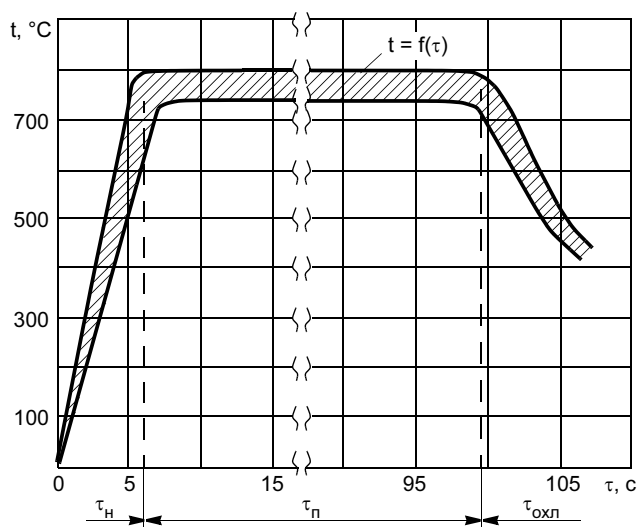


Рис. 6. Оптимальный температурно-временной диапазон пайки сопротивлением замыкающего узла стыкового соединения титаностальных полос

рушались при 16,5 кН), работа разрушения стыкового соединения в 3,0—3,5 раза увеличивалась, что обеспечивало повышение надежности замыкающего узла. Металлографические исследования биметалла вблизи замыкающего узла показали, что термические циклы АДС (ЭЛС) и пайки на оптимальных режимах не вызывали опасного развития диффузионных процессов и образования хрупких интерметаллических фаз высокой твердости.

Помимо равнопрочности паяных соединений при одноосном растяжении в трубах и сосудах необходимо обеспечить равнопрочность паяного шва кольцевой формы основным материалам при действии внутреннего давления $p_{\text{в}}$. Давление на наружную поверхность вставки приводит к заклиниванию высверленного канала в биметалле и несущая работоспособность сварнопаяного узла будет определяться в основном механическими свойствами материалов вставки и композиционного соединения. Расчет прочности комбинированного узла из разнородных материалов с учетом основных положений теории контактного упрочнения [7] позволил получить соотношение для оценки несущей способности соединения конусной вставки с пластиной (или оболочкой):

$$p_{\text{в}} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_{\text{в}}^{\text{м}} \frac{1}{x} \left(1 + \frac{\text{tg} \alpha}{2x} \right) \left[\left(\frac{\sin 2\alpha}{1K_{\text{в}}^{\text{мин}}} \right)^2 + \cos^4 \alpha \right]^{-1/2}, \quad (9)$$

где $\sigma_{\text{в}}^{\text{м}}$ — предел прочности припоя; α — угол наклона вставки.

При механических испытаниях на выдавливание титановых вставок из титановых пластин при толщине припоя ПСр 72 0,18—0,20 мм разрушение паяных соединений с конусностью $\alpha = 45^\circ$, соответствующей условию полной реализации контактного упрочнения паяной прослойки, происходило по материалу вставки; при $\alpha = 15^\circ$, соответствующей 60—70 % полной реализации, носит смешанный характер; при $\alpha = 2^\circ$ разрушение происходит по паяному шву.

Контроль на герметичность комбинированных стыковых соединений гидравлическими испытаниями при избыточном давлении до 400 МПа и методом керосиновой пробы подтвердили высокое качество стыковых соединений сварнопаяных узлов опытно-промышленной партии кольцевых титаностальных переходников диаметром 1,5 м.

ВЫВОДЫ

1. Разработанная и внедренная технология изготовления кольцевых крупногабаритных титаностальных переходников включает резку сваренного взрывом листового биметалла на полосы требуемых размеров, их сварку плавлением, вальцевание в цилиндрическую заготовку и сваркопайку замыкающего продольного стыка.

2. Теоретическое и экспериментальное определение при сварке плавлением на различных режи-

мах безопасного расстояния от места остановки источника теплоты до границы разнородного соединения позволило исключить образование хрупких интерметаллидных прослоек.

3. Разработанные методы расчета прочности биметаллических сварнопаяных титаностальных соединений и крупногабаритных переходников при различных схемах нагружения подтверждены результатами лабораторных и промышленных испытаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трыков Ю. П., Гуревич Л. М., Проничев Д. В. Композиционные переходники. Волгоград: ВолГТУ, 2007. 329 с.

2. Особенности изготовления изделий из сваренных взрывом слоистых композиционных материалов / Ю. П. Трыков, А. С. Карасев, В. А. Сурков и др. // Сварка взрывом и свойства сварных соединений. Волгоград: ВПИ, 1985. С. 100—111.

3. Трыков А. Ю., Белоусов В. П., Шахматов М. В. Особенности электроконтактной пайки титаностальных соединений, полученных сваркой взрывом // Сварка взрывом и свойства сварных соединений. Волгоград: ВПИ, 1987. С. 114—126.

4. Оценка оптимальных условий сварки стыковых соединений биметаллических (титан—сталь) пластин / А. А. Углов, С. С. Селищев, В. С. Седых и др. // Автоматическая сварка. 1987. № 11. С. 6—8.

5. Рыкалин Н. Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. М.: Машгиз, 1951. 246 с.

6. Трыков А. Ю., Богомолова А. С. Оценка работоспособности сварнопаяного соединения из разнородных металлов // Сварка взрывом и свойства сварных соединений. Волгоград: ВПИ, 1986. С. 137—143.

7. Бакиш О. А. О несущей способности тонкой кривой мягкой прослойки в сварных и паяных соединениях // Вопросы сварочного производства. Челябинск: ЧПИ, 1978. С. 8—12.

УДК 621.791.3.04

А. И. ПАШКОВ, И. Н. ПАШКОВ, И. В. РОДИН
ЗАО "Аларм" (Москва)

Новые способы получения припоев системы медь—марганец—никель

С применением пайки изготавливают множество изделий разнообразной формы — от простой до очень сложной. При пайке сложных изделий используют закладные элементы — порошки, пасты, ленты, прутки, полосы и др. В некоторых случаях использование простого по форме закладного элемента невозможно либо вызывает определенные трудности. Например, при пайке в вакууме сложно по геометрии изделия закладной элемент должен повторять форму контактной поверхности. При изготовлении закладного элемента в виде диска из листа припоя потери на обрезки составляют 21,5 %, а если закладной элемент имеет форму кольца, то выход годного еще ниже. Следовательно, в зависимости от усложнения технологии его получения, количества обрезков резко увеличивается стоимость припоя. Особенно в мелкосерийном или серийном производстве, где потребляется малое количество припоя, что также увеличивает его стоимость.

Таким образом, проблема получения закладных элементов различной формы более простым способом с достаточно низкой ценой, сравнимой со стандартным припоем данной марки, актуальна.

Решением данной проблемы является метод механического легирования. В данной работе проводили сравнительные исследования припоя МНМц9-23,5, полученного двумя способами: прокаткой литой заготовки и механическим легированием.

Припой МНМц9-23,5 относится к тройной системе медь — марганец — никель. Наибольший практический интерес в данной системе представляет об-

ласть с содержанием марганца 23—38 %. Данные сплавы обладают уникальными свойствами. В своей структуре они не имеют эвтектики, что снизило бы их рабочую температуру, и не образуют интерметаллидов, что увеличивает их пластические свойства. Структура этих сплавов состоит из ряда твердых растворов на основе меди. Введение Mn и Ni обеспечивает высокие прочностные свойства сплавов.

Но наряду с положительными свойствами данные сплавы имеют ряд недостатков. Во-первых, интенсивное окисление марганца в процессе их изготовления в атмосфере аргона, так как в вакуумных печах их производство невозможно из-за большого давления паров марганца. Во-вторых, вследствие высоких прочностных свойств, коэффициента упругости и сопротивления деформации эти сплавы тяжело поддаются обработке давлением. Для вырубки закладных элементов из ленты или листа необходим инструмент высокой стойкости.

Данный порошковый сплав легче получить механическим легированием и из порошкового сплава прессованием изготовить закладной элемент любой формы.

В данной работе сплав МНМц9-23,5 получали механическим легированием в торовой вибромельнице из чистых компонентов: меди (30—50 мкм); никеля (30—50 мкм); марганца (160—1000 мкм).

Время обработки сплава составляло 1,5 ч.

Ввиду большой окислительной способности порошковых материалов, особенно марганца, механическое легирование проводили в атмосфере

аргона. Полученные порошковые сплавы имели однородный состав, порошок в основном агломерировался в более крупные частицы. Распределение элементов сплава практически однородно во всем объеме частиц (рис. 1).

Из полученных порошков изготавливали таблетки массой 1 г и кольца массой 3 г при усилии прессования 600 МПа.

Проводили дифференциально-термический анализ (ДТА) сплава МНМц9-23,5, полученного литьем и механическим легированием. На рис. 2 приведены результаты ДТА сплавов: характер плавления и кристаллизации обоих сплавов практически одинаковый, только интервал плавления порошкового сплава немного больше, чем литого. С увеличением времени обработки порошка термические свойства порошкового сплава приближаются к свойствам литого, например, при обработке данного сплава в течение 5 ч интервал плавления порошкового и литого сплавов совпадают.

Для сравнительной оценки качества припоя проводили индукционную пайку твердосплавных резцов дорожных машин в трехвитковом индукторе при мощности 5 кВт. В качестве защиты паяемого изделия применяли флюсовую пасту ФП-1. В качестве закладных элементов использовали пластину из сплава МНМц9-23,5, полученную литьем и последующей прокаткой, и полукольцо, спрессован-

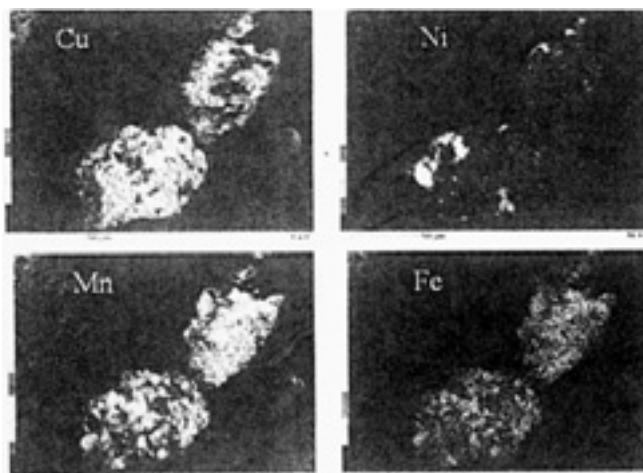


Рис. 1. Распределение элементов в агломератах припоя МНМц9-23,5

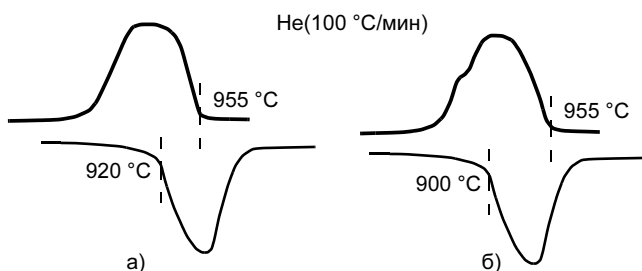


Рис. 2. Результаты ДТА порошкового (а) и литого (б) сплава МНМц9-23,5

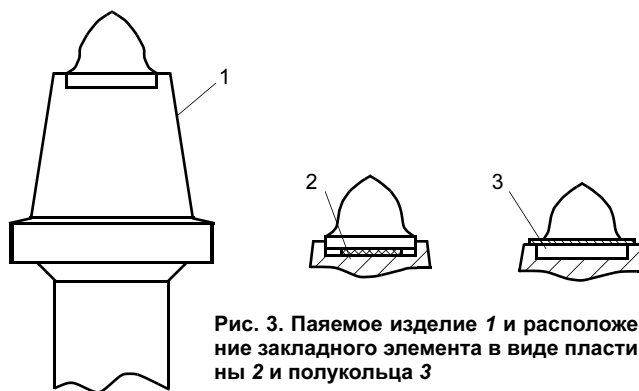


Рис. 3. Паяемое изделие 1 и расположение закладного элемента в виде пластины 2 и полукольца 3

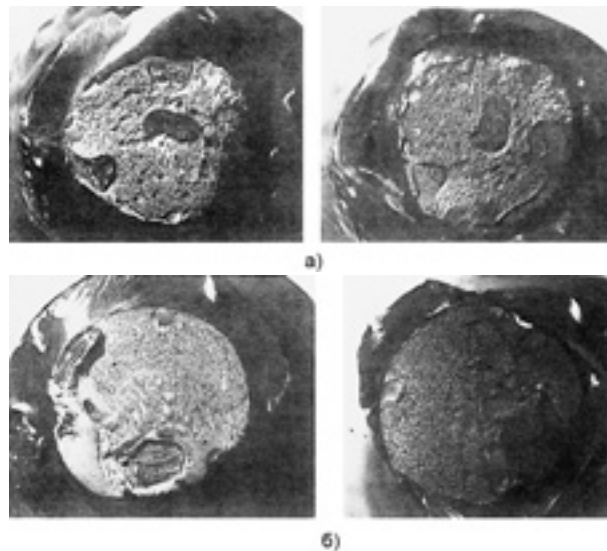


Рис. 4. Разрушенные образцы после пайки (справа — твердый сплав, слева — стальная державка): а — пластина; б — полукольцо

ное из порошка сплава МНМц9-23,5. На рис. 3 приведено изделие и расположенный на нем припой.

После пайки с помощью отрезного круга подрезали стальные кромки державки и галтель. Затем образцы разрушали ударным воздействием. На рис. 4 приведены разрушенные образцы после пайки. Видно, что плотность шва, полученного с применением порошкового сплава, даже выше, чем литого, поскольку полукольцо располагалось вне зоны пайки и припой в жидком состоянии заполнял шов равномерно по сечению изделия.

ВЫВОДЫ

1. Применение порошковых сплавов, полученных механическим легированием, эффективно вследствие простоты их получения и изготовления закладных элементов для пайки практически любой сложности, особенно для мелкосерийного и серийного производства изделий.

2. Путем увеличения времени обработки порошка в мельнице можно получить сплав, технологические и термические свойства которого не уступают свойствам литого сплава.

УДК 621.791.75.042

Р. А. МЕЙСТЕР, канд. техн. наук, А. Р. МЕЙСТЕР, аспирант
Красноярский политехнический институт

Особенности горения дуги при сварке покрытыми электродами на малых токах

Устойчивое горение дуги на малых токах обеспечивает возможность сварки тонкого металла. При горении дуги покрытыми электродами минимальный ток составляет 2,5 А [1], однако сведения о сварке тонкого металла покрытыми электродами током 10—15 А весьма ограничены. По-видимому, при напряжении холостого хода выпрямителя 80 В и высокой квалификации сварщика оптимальное формирование шва при сварке данным током может быть обеспечено.

Основной причиной снижения устойчивости параметров процесса на токе 30—90 А являются короткие замыкания дугового промежутка, вызванные переносом электродного металла. Низкое амплитудное значение тока короткого замыкания затрудняет переход капли электродного металла и последующее зажигание дуги [2]. Сведения о переносе металла в дуге многочисленны, но до сих пор не существует единого мнения о силах, вызывающих перенос расплавленного электродного металла с покрытого электрода в сварочную ванну. На обычных режимах сварки покрытыми электродами процесс протекает с короткими замыканиями и разбрызгивание зависит от динамических свойств источника питания [3]. Данные о переносе металла в дуге при сварке покрытыми электродами током менее 20 А практически отсутствуют.

В данной работе при проведении экспериментов питание дуги осуществлялось от однофазного выпрямителя с конденсаторным множителем напряжения с дросселем в сварочной цепи с индуктивностью 1,25 мГн и напряжением холостого хода 27—34 В. При включении электролитических конденсаторов емкостью 2000 мкФ напряжение холостого хода увеличивалось в 2,82 раза, в диапазоне 1—14 А ток регулировался балластным сопротивлением. Применяли электроды МР-3, ОЗС-12 диаметром 2 мм и электроды Lincoln Electric E6013 (США) диаметром 1,6 мм. Сварку выполняли током обратной полярности.

При токе 1 А обеспечивается зажигание и горение дуги электродом МР-3 диаметром 2 мм (рис. 1). При сварке данным током дуга зажигается любыми электродами. Так, при неподвижном вертикально расположенном электроде ОЗС-12 диаметром 2 мм и расстоянии от электрода до детали 1 мм при токе 1,8—2,0 А и напряжении дуги 25—30 В дуга горит длительно и непрерывно без угасания. За данный промежуток времени конец электрода нагревается и покрывается раскаленным шлаком, но плавление металлического стержня не наблюдается. При увеличении тока до 4—6 А дуга зажигается и горит, но при толщине низкоуглеродистой стали 0,6 мм энергии на плавление основного и электродного металла недостаточно, ухудшается смачиваемость изделия каплями электродного металла.

Горение дуги на малых токах позволяет определить показатели переноса электродного металла визуально и стандартной кинокамерой через светофильтры без подсветки. Время перехода капли от момента зажигания дуги до ее отрыва от электрода при токе 5,5 А составляет 45 с. При измерении раз-

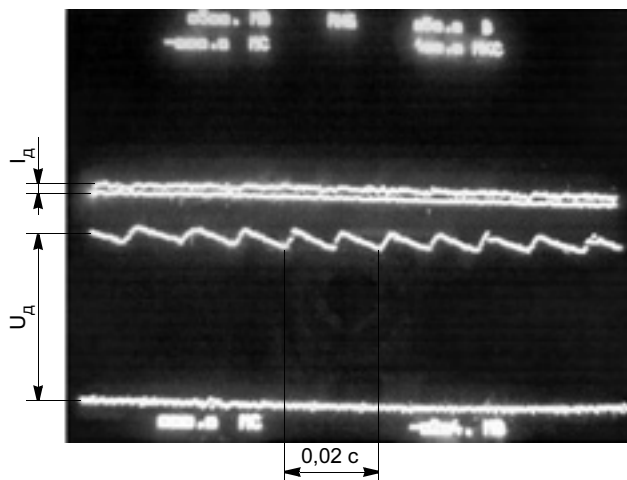


Рис. 1. Осциллограмма процесса дуговой сварки покрытым электродом МР-3 диаметром 2 мм ($I_d = 1$ А, $U_d = 35$ В)

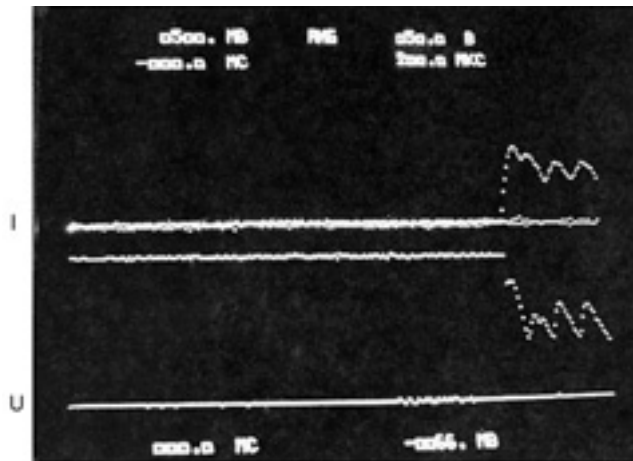


Рис. 2. Осциллограмма процесса зажигания дуги электродом МР-3 диаметром 2 мм ($I_d = 10 \div 12$ А, $U_d = 24$ В)

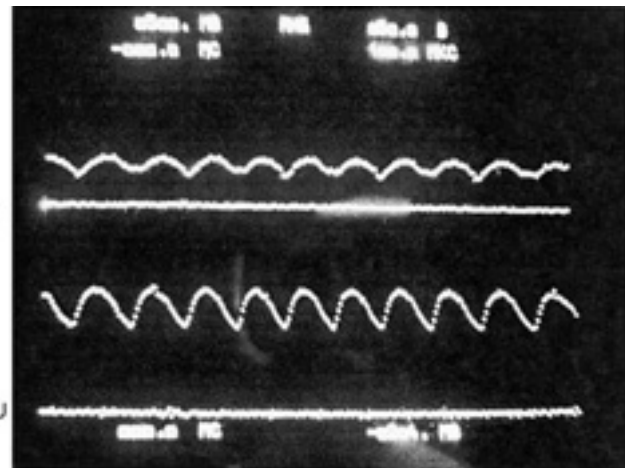


Рис. 3. Осциллограммы тока и напряжения дуги в процессе роста капли на электроде ($I_d = 12$ А, $U_d = 24$ В)

рывной длины дуги по методике К. К. Хренова отрыв капли при токе 6 А происходит за 38 с, а разрывная длина дуги составляет 15,5 мм. Диаметр капли, покрытой шлаком, составляет 3,5—4,0 мм, в процессе роста и сужения шейки капля не совершает колебаний и стабильно переходит в сварочную ванну соосно с осью вертикально расположенного электрода. При токе 10—12 А зажигание дуги легкое (рис. 2), нагрев и расплавление изделия осуществляются в процессе роста капли на торце электрода (рис. 3). При горении дуги диаметр капли, покрытой жидким шлаком, составляет 3—4 мм. Рост капли наблюдается при удлинении дуги и отрыве капли без принудительных касаний сварочной ванны. В процессе роста капли отсутствуют ее колебания и заметные отклонения от оси электрода на его боковую поверхность. В момент принудительного касания каплей изделия или при ее естественном отрыве взрывные явления не наблюдаются (рис. 4).

Капля, покрытая жидким шлаком, переходит в ванну без угасания дуги (рис. 5). Через маску "Хамелеон" и без маски наблюдается выделение мелких искр из капли и ванны, но заметные брызги на поверхности изделия не зафиксированы. По-видимому, выделение

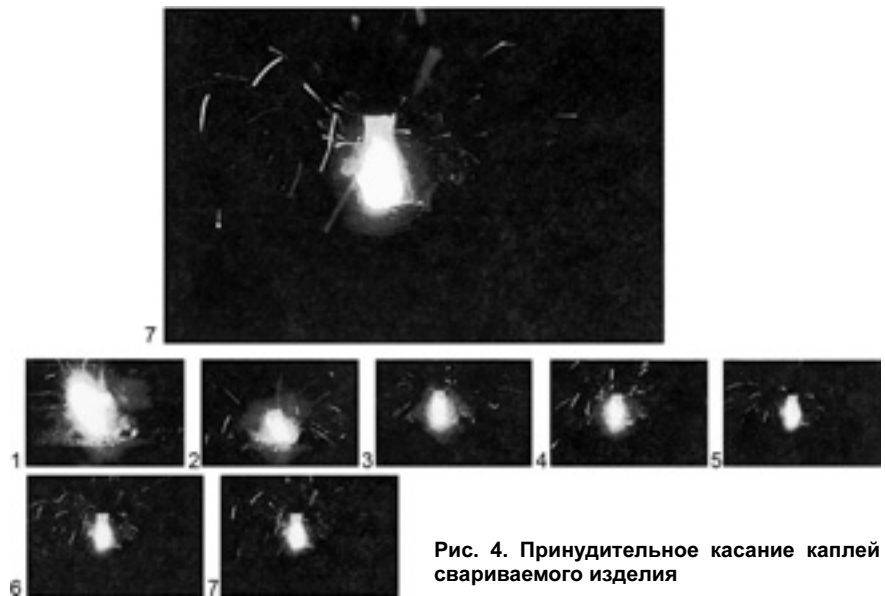


Рис. 4. Принудительное касание капель свариваемого изделия

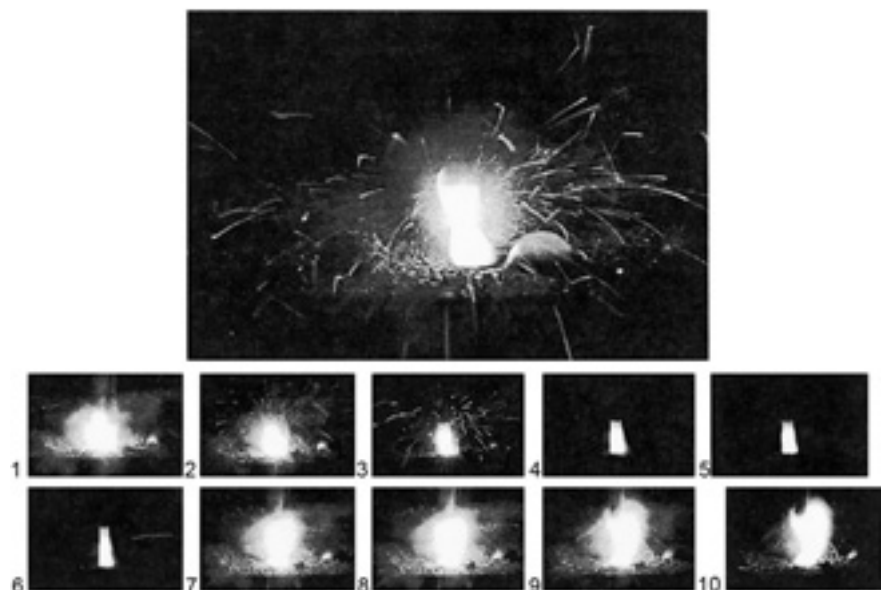


Рис. 5. Последовательность перехода капли с электрода на изделие

искр объясняется металлургическими процессами в капле и ванне.

При сварке током 15 А электродом Lincoln Electric диаметром 1,6 мм обрыв дуги наблюдается при ее удлинении до 19,8 мм, время перехода капли от момента зажигания дуги до ее отрыва от электрода составляет 17 с. Так как при неподвижном электроде и его перемещении капля не совершает колебаний и не наблюдаются взрывные явления, можно утверждать, что на малых токах перенос осуществляется за счет силы тяжести и сил поверхностного натяжения.

По данным работы [4], допустимые зазоры в соединении и смещение кромок не должны превышать 10—20 % толщины основного материала. При сварке однофазной дугой прожоги возникают с зазором в стыке, равном 0,1 толщины материала [5].

На практике данные требования к точности сборки обеспечить сложно. В связи со сложностью стыковки образцов толщиной 0,6—0,7 мм (например кузовов легковых автомобилей) образцы готовили следующим образом.

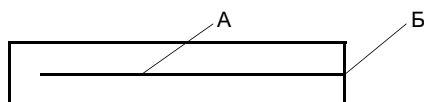


Рис. 6. Образец для сварки (А — рез, Б — прижим)

Лакокрасочное покрытие (сверху) удаляли на ширине 10—15 мм. Металл в зоне шва разрезали ножницами, но не до конца (рис. 6).

Для устранения зазора и превышения кромок в зоне выполнения шва образцы подвергали незначительной пластической деформации с помощью молотка на металлическом основании. Величина зазора и превышение кромок при толщине стали 0,6 мм составляли 0,1—0,2 мм, что выше рекомендованных [4, 5].

При сварке током 12—13 А обеспечивается формирование шва шириной 3,5—4,0 мм с полным проплавлением на весу. По-видимому, из-за малой величины сварочной ванны шов формируется за счет сил поверхностного натяжения. При остановке перемещения дуги и увеличении тока до 15—16 А вероятность прожогов возрастает.

ВЫВОД

При сварке покрытыми электродами обеспечивается устойчивое горение дуги на токе более 1 А. При горении дуги на токах 10—12 А принудительные короткие замыкания не вызывают угасания дуги. При этом возможна сварка низкоуглеродистой стали толщиной 0,6 мм на весу без прожогов. При сварке на малых токах перенос электродного металла в дуге определяется силой тяжести и поверхностным натяжением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оптимизация параметров однофазных сварочных выпрямителей со вспомогательной цепью питания / В. А. Косович, И. Е. Лапин, А. Н. Потапов, А. В. Савинов // Сварочное производство. 1996. № 7. С. 29—30.
2. Дедюх Р. И., Киселев А. С. Повышение стабильности параметров дуговой сварки покрытыми электродами на малых токах // Сварочное производство. 2004. № 7. С. 3—6.
3. Мазель А. Г. Технологические свойства сварочной дуги. М.: Машиностроение, 1969. 186 с.
4. Сварка осеботонкостенных труб / Под ред. Д. А. Дудко. М.: Машиностроение, 1977. 128 с.
5. Столбов В. И. Сварочная ванна. Тольятти: ТГУ, 2007. 147 с.

УДК 621.791.052:539.4

Н. С. ЗУБКОВ, д-р техн. наук, А. А. ЗОЛОТОВ, инж.
Тверской государственный технический университет

Повышение износостойкости наплавленной быстрорежущей стали с повышенным содержанием серы

Опыт эксплуатации инструментов для холодной обработки давлением показывает, что одной из основных причин выхода инструмента из строя является изнашивание рабочих поверхностей матрицы и пуансона [1]. Для повышения стойкости инструмента рабочие детали штампов подвергают упрочнению: местной закалке, наплавке более твердого слоя, химико-термической обработке, вакуумному ионно-плазменному нанесению карбидов и нитридов

тугоплавких металлов, поверхностному упрочнению режущих кромок с помощью лазера и др.

В условиях работы современных координатно-револьверных прессов производительностью до 1200 мин⁻¹, когда разогрев режущих кромок достигает около 500 °С, преобладает адгезионный износ [2].

Для снижения последнего используют смазочно-охлаждающие технологические среды (СОТС), обеспечивающие создание в зоне контакта пленок

с пониженным сдвиговым сопротивлением. В процесс схватывания-сваривания не вовлекаются непосредственно инструмент и обрабатываемый металл. Каждый из них адгезионно связывается пленкой, которая вследствие низкого сдвигового сопротивления легко разрушается, предупреждая изнашивание инструмента. Однако из-за наличия значительных давлений и высоких температур в зоне контакта СОТС не всегда обеспечивают надежное образование пленок.

Другим способом повышения износостойкости штампового инструмента в условиях, когда жидкие смазки оказываются неэффективными, является применение твердых смазочных материалов (ТСМ). В качестве ТСМ применяют вещества, имеющие слоистую структуру (графит, дихалькогениды и диселениды тугоплавких металлов и др.), плоские пленки мягких металлов, их солей или оксидов, химические соединения, образованные непосредственно на поверхностях трения, полимеры и другие органические твердые смазки.

Для снижения адгезионного износа штамповых сталей авторы разработали состав шихты порошковой проволоки [3], при наплавке которой состав наплавленного металла приближен к составу быстрорежущей стали Р9М4К8 (ГОСТ 19265—73), дополнительно легированной серой. При этом формируются наплавленные слои с мелкодисперсными равномерно распределенными сульфидами глобулярной формы (твердой смазкой). Последние выступают в роли "масленок", смазывающих поверхность наплавленного инструмента при его контакте с обрабатываемой сталью.

Сера является вредной примесью, так как, образуя легкоплавкие эвтектики, расширяет температурный интервал хрупкости (ТИХ) и тем самым повышает склонность наплавленного металла к образованию горячих трещин при наплавке, что приводит к снижению его технологической прочности.

В составе шихты разработанной порошковой проволоки присутствуют легирующие элементы (Mo, V, Cr), связывающие серу в тугоплавкие соединения и уменьшающие количество легкоплавких эвтектик, что должно сохранять технологическую прочность наплавленного металла.

В данной работе исследовали технологическую прочность направленной быстрорежущей стали с повышенным содержанием серы при наплавке рабочих частей разделительных штампов.

Исходя из анализа механических характеристик углеродистых конструкционных и низколегированных сталей в качестве основного металла для производства заготовок матриц и пуансонов применяли низколегированные стали 30ХГСА, 35ХГСА, 30ХМ и др. (ГОСТ 4543—71). Поскольку эти стали имеют ограни-

ченную свариваемость, рекомендуется проведение подогрева и последующей термической обработки.

Для обеспечения оптимальных механических свойств заготовки матриц (пуансонов) в ряде случаев подвергают термической обработке — закалка + отпуск при различной температуре (от 200 до 560 °С).

Для получения наплавленного металла в закаленном состоянии и исключения образования трещин наплавливали малые объемы металла при отсутствии или низком предварительном подогреве на режимах, обеспечивающих необходимый термический цикл. Наплавку режущих кромок матриц и пуансонов выполняли по замкнутому контуру, что увеличивает жесткость наплавленной конструкции, которая влияет на деформационную способность наплавленного металла в области ТИХ вследствие общих деформаций всего изделия при местном нагреве сварочным источником теплоты.

Для оценки склонности металла швов к образованию горячих трещин применяют ряд проб и методик [4]. Технологические пробы основаны главным образом на определении сравнительных характеристик по сопротивляемости металла швов образованию кристаллизационных трещин, полученных при наплавке различными сварочными материалами в сопоставимых условиях (размеры и формы образца, режимы сварки и др.).

Количественные методики основаны на получении при испытаниях сравнительных численных показателей стойкости (или склонности) металла швов против образования горячих трещин. При проведении испытаний получают численный показатель стойкости, обычно скорости дополнительного принудительного деформирования свариваемого образца в период кристаллизации определенного участка сварочной ванны и последующего охлаждения.

Применительно к наплавке матриц с рабочим диаметром $D = 18 \div 28$ мм (рис. 1) наиболее точно процесс наплавки моделирует круговая проба. Проба обеспечивает возможность наплавки с большими скоростями (что характерно для технологического процесса изготовления наплавленных рабочих частей разделительных штампов), малую металлоем-

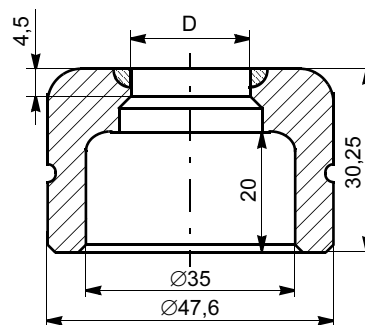


Рис. 1. Матрица с наплавленными режущими кромками

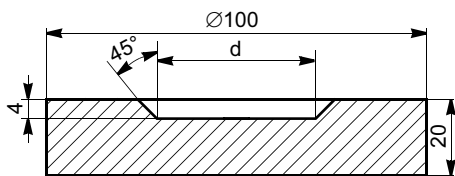


Рис. 2. Эскиз круговой пробы под наплавку

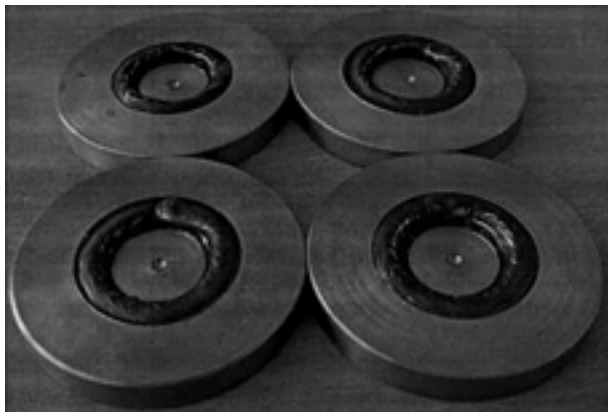


Рис. 3. Круговая проба после наплавки

кость и значительную протяженность наплавленного валика.

Заготовки круговых проб под наплавку выполняли из стального проката диаметром 100 мм (30ХГСА, ГОСТ 4543—71) в соответствии с приведенным эскизом (рис. 2). Диаметр разделки под наплавку кругового валика варьировали в пределах $d = 18 \div 28$ мм.

В зависимости от предварительной термической обработки заготовки разделили на четыре группы (без

термической обработки, закалка + высокий отпуск, закалка + средний отпуск, закалка + низкий отпуск).

Затем выполняли наплавку валика по кругу дугой прямого действия постоянным током обратной полярности в аргоне разработанной порошковой проволокой диаметром 2,0 мм. Основные режимы наплавки варьировали в следующих пределах: $I = 90 \div 180$ А, $v_n = 12 \div 24$ м/ч, $U_d = 22 \div 24$ В. Химический состав наплавленного металла приближен к составу быстрорежущей стали Р9М4К8.

После охлаждения круговых проб (рис. 3) проводили их макроанализ, который не выявил образования трещин на поверхности швов ни в одной из исследуемых групп.

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что разработанные порошковая проволока и технология наплавки обеспечивают достаточную технологическую прочность и эксплуатационные свойства при наплавке заготовок рабочих частей разделительных штампов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скворцов Г. Д. Основы конструирования штампов для холодной листовой штамповки. М.: Машиностроение, 1974.
2. Попов Е. А., Ковалев В. Г., Шубин И. Н. Технология и автоматизация листовой штамповки. М.: МГТУ им. Баумана, 2003.
3. Зубкова Е. Н., Булкин Д. В., Золотов А. А. Наплавленная инструментальная штамповая сталь повышенной износостойкости // Вестник Тверского государственного технического университета. 2004. Вып. 5.
4. Барчуков Д. А., Зубков Н. С., Беляков А. В. Технологическая прочность наплавленных теплостойких сталей высокой твердости // Вестник Тверского государственного технического университета. 2002. № 1. С. 20—22.

УДК 620.194:621.791.754

**А. П. АММОСОВ, д-р техн. наук, Г. С. АММОСОВ, инж., Т. Ш. АМИНОВ, инж.,
Г. Ю. ИЛЬИН, инж., А. А. АНТОНОВ, инж.
ИФТПС СО РАН (Якутск)**

Коррозионная повреждаемость сварных соединений резервуаров

Результаты исследований ЦНИИПроектстальконструкции показывают, что фактический риск крупных аварий резервуарных конструкций в странах СНГ, составляющий $(5—8) \cdot 10^{-4}$ разрушений, в последние годы (1986—1996 гг.) вырос в 2 раза и достиг $(1,5—1,6) \cdot 10^{-3}$ разрушений от всего объема эксплуатирующихся резервуаров в год [1].

По данным работы [2], за период с 1960 по 1995 гг. зарегистрированы 318 аварий резервуаров, 65 из которых связаны с частичным или полным их разрушением. Причины разрушения резервуаров следующие: механические разрушения при гидротестированиях, дефекты сварного шва, осадки основания фундамента, концентрации напряжений

в зоне уторного уголка и другие (46,2 %); хрупкое разрушение при низких температурах (15,4 %); воздействие взрывной волны (15,4 %); коррозия (10,8 %); воздействие высоких температур при пожаре (7,7 %); землетрясение (3,0 %); диверсионный акт (1,5 %).

В работе [3] обобщены результаты обследования 497 ре-

резервуаров объемом до 5000 м³ по коррозионному износу и классификация причин отказов: коррозионные повреждения (72,2 %); дефекты сварного шва (3,2 %); дефекты основного металла (2,0 %); потеря геометрической формы (0,6 %); отказы оборудования (исключая коррозию механизмов) (22,0 %).

Причины разрушений в 65 случаях отказов и аварий вертикальных стальных резервуаров, из которых 43 имели место на территории СНГ, за последние 60 лет следующие: хрупкое разрушение (63,5 %); взрыв и пожар (12,3 %); непроектный вакуум (7,7 %); коррозионное изнашивание (3,1 %); ураганный ветер (1,5 %); неравномерная осадка основания (1,5 %); прочие (10,8 %) [2—5].

Наличие недопустимых технологических и эксплуатационных дефектов в сварных соединениях, исчерпание ресурса из-за старения и накопления повреждений при низкой хладостойкости материалов могут являться основными причинами хрупких разрушений резервуаров [4].

Наибольшая доля причин отказов вертикальных резервуаров приходится на коррозионные повреждения, затем — на технологические и механические дефекты при низкой хладостойкости материалов и их сварных соединениях, способствующие хрупкому разрушению резервуаров. Следует отметить определенную разницу при обработке данных, обусловленную числом рассматриваемых объектов, целями и задачами исследований [2—5].

Обеспечение нефтепродуктами северных территорий РФ производится в основном водным транспортом за период навигации, хранение — в резервуарных парках (нефтебазах), в зимнее время нефтепродукты используются для жизнеобеспечения многих отраслей промышленности и народного хозяйства.

Многие резервуары в зимнее время эксплуатируются при проектных нагрузках и степень риска возникновения разрушений возрастает вследствие старения и повышения срока их эксплуатации. При этом каждая нефтебаза на территории Республики Саха (Якутия) значительно отличается от других климатическими, гидрогеологическими и мерзлотными условиями, а также характеристиками строительной площадки, уровнем инженерно-технических коммуникаций и др.

В течение более 10 лет отделом "Эксплуатационная прочность сварных конструкций" ИФТПС СО РАН обследованы более 300 горизонтальных и вертикальных сварных резервуаров, эксплуатирующихся в нефтебазах на территории Якутии.

Ниже приведены основные показатели обследованных резервуаров.

По вместимости резервуары распределяются в следующей последовательности: 5000 м³ — 26,12 %; 3000 м³ — 10,19 %; 2000 м³ — 14,97 %; 1000 м³ — 9,6 %; 700 м³ — 18,79 %; 400 м³ — 11,46 %; 100 м³ — 3,82 % и остальные более мелкие резервуары вместимостью от 4 до 75 м³.

Объем ввода резервуаров в эксплуатацию по годам:

1956—1960 гг.	— 9,45 %;
1961—1965 гг.	— 18,41 %;
1966—1970 гг.	— 19,40 %;
1971—1975 гг.	— 18,91 %;
1976—1980 гг.	— 4,48 %;
1981—1985 гг.	— 10,45 %;
1986—1990 гг.	— 2,98 %;
1991—1995 гг.	— 4,48 %;
1996—2000 гг.	— 2,49 %;

2001—2005 гг. — 8,95 %. Резервуары изготовлены из низкоуглеродистых, углеродистых и низколегированных сталей. Так, из стали 09Г2С изготовлено 49,68 % резервуаров, ВстЗсп — 20,26 %, СтЗсп — 14,39 %, остальные — из других сталей.

Таким образом, сроки эксплуатации резервуаров растут, обнов-

ление идет очень медленно, хотя за период с 2001 по 2005 гг. обновление парка резервуаров имеет тенденцию роста. Свыше 25 лет эксплуатируется примерно 70,65 % резервуаров, свыше 30 лет — 66,17 %, свыше 35 лет — 47,26 %, свыше 40 лет — 27,86 %.

Коррозионные процессы, протекающие в стальных вертикальных цилиндрических резервуарах, рассмотрены в работах [6—10 и др.]. Хотя исследованию коррозионных процессов в резервуарах для хранения нефти и нефтепродуктов посвящено значительное число работ, тем не менее данные исследования еще не завершены, что во многом обусловлено режимами эксплуатации резервуаров [11].

В данной работе рассмотрены особенности коррозионных процессов в сварных соединениях резервуаров, эксплуатируемых в условиях Севера.

Наиболее подвержены коррозионному изнашиванию стенки и днища резервуаров [11]. В основном в резервуарах на территории Якутии в нефтебазах хранятся бензин, дизельное топливо и нефть. По агрессивности среды для низкоуглеродистых сталей нефть занимает первое место, затем следуют бензин и дизельное топливо [11].

Результаты обработки данных неразрушающего контроля стенок и днищ обследованных резервуаров, изготовленных из стали СтЗсп, показывают, что глубина коррозионных повреждений с увеличением срока эксплуатации возрастает и достигает для стенки максимально 2,5 мм, для днища — 2,0—3,0 мм. При этом наиболее распространена язвенная (питтинговая) коррозия (рис. 1).

Рассмотрим характер развития коррозионных повреждений в сварных соединениях горизонтальных резервуаров. При наличии технологических дефектов (пор, подрезов, шлаковых включений, расслоений и др.) в основ-

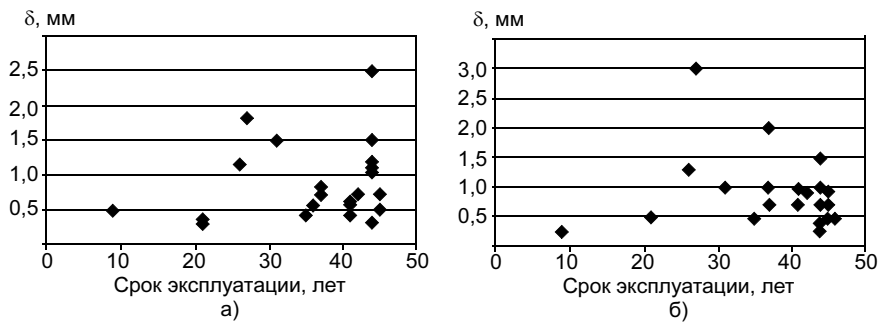


Рис. 1. Зависимость глубины коррозионных повреждений стенки (а) и дна (б) от срока эксплуатации резервуара

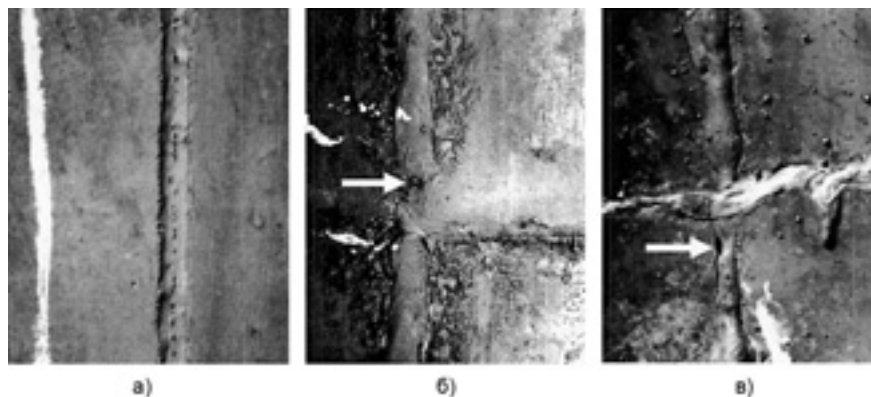


Рис. 2. Коррозионные повреждения в сварных соединениях горизонтального резервуара РГС-50: а — рост пор и шлаковых включений; б — слияние технологических дефектов; в — возникновение поверхностной трещины

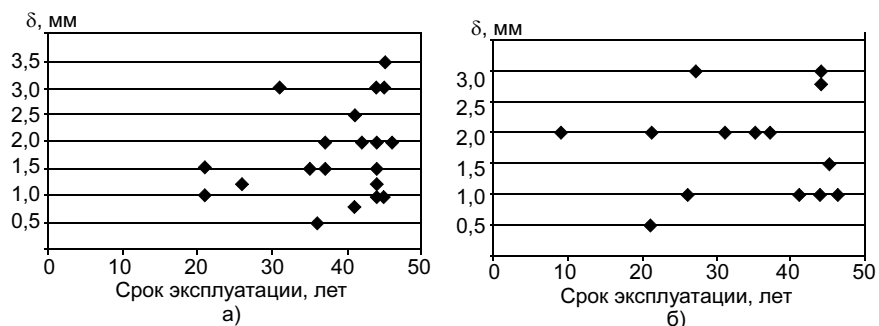


Рис. 3. Зависимость глубины подрезов сварных швов стенки (а) и дна (б) от срока эксплуатации резервуара

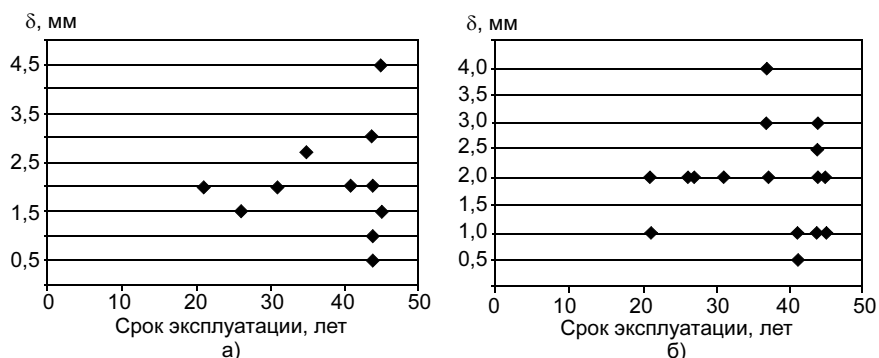


Рис. 4. Зависимость глубины кратеров сварных швов стенки (а) и дна (б) от срока эксплуатации резервуара

ном металле и сварном соединении коррозия способствует увеличению их размеров (рис. 2, а) и в последующем приводит к слиянию (рис. 2, а, б) и возникновению поверхностной (рис. 2, в), а затем и сквозной трещины. Основными участками возникновения коррозионных повреждений в горизонтальных резервуарах являются места пересечения сварной оболочки с торцевой стенкой, а также места пересечения швов оболочки (рис. 2). В свою очередь, максимальная глубина подрезов сварных соединений стенки достигает 3,5 мм, а в сварных соединениях дна — 3,0 мм (рис. 3).

Аналогичный процесс развития коррозионного изнашивания металла кратера наблюдается в сварном шве стенки и дна в процессе эксплуатации резервуара (рис. 4).

При вводе в эксплуатацию сварных резервуаров предельно допустимая глубина подреза в сварном соединении зависит от толщины стенки и дна и равна до 5 % в зависимости от класса резервуара по степени опасности, а наличие кратера в сварных швах вообще не допускается [12].

С другой стороны, стенка резервуара является наиболее нагруженным элементом, особенно нижние ее пояса. Соответственно, с увеличением срока эксплуатации резервуаров глубина подрезов и кратеров в сварных соединениях стенки выше, чем в сварных соединениях дна (см. рис. 3 и 4). Такой характер развития коррозионных повреждений на технологических дефектах скорее всего связан с видом напряженно-деформированного состояния, определяющего скорость коррозии [11]. Сравнительный анализ развития коррозионного изнашивания вертикальных стальных цилиндрических резервуаров, рассмотренных в работах [6, 7, 11], с данными натурных исследований авторов данной ра-

боты показывает, что интенсивность протекания коррозионных повреждений в условиях Севера слабее, чем в природно-климатических условиях средней и южной полос РФ.

Результаты обследований более 300 резервуаров также показывают, что основными участками накопления повреждений являются зоны сварных соединений стенки, днищ и уторного узла резервуаров [13, 14], где наиболее распространены дефектами являются свищи, трещины, подрезы, непровары, кратеры, раковины, вырывы, поры, прожоги, риски. Из них наиболее часто приводят к прекращению эксплуатации свищи и сквозные трещины.

Возникновение сквозных трещин в большинстве случаев связано с увеличением размера пор, раковин и подрезов в результате развития коррозионных повреждений под напряжением (рис. 5). Постепенно из скоплений пор и включений вырастают несквозные свищи и при дальнейшей эксплуатации резервуара в таких местах сварного соединения возникают поверхностные или сквозные трещины в результате слияния свищей. Аналогичное постепенное развитие трещин происходит от подрезов, непроваров, кратеров, раковин, вырывов, рисок и др. в результате развития коррозионных повреждений в области этих концентраторов при увеличении срока эксплуатации резервуаров (рис. 6).

В качестве примера приведем характерное разрушение по монтажным швам длиной 665 мм и более стенки (см. рис. 6, а) и днища резервуара (см. рис. 6, б). Возникновение таких трещин в сварных соединениях днища резервуаров обусловлено низким качеством сварных швов, природно-климатическими условиями Крайнего Севера, особенностями промерзания и протаивания грунтов оснований резервуаров и другими технологическими

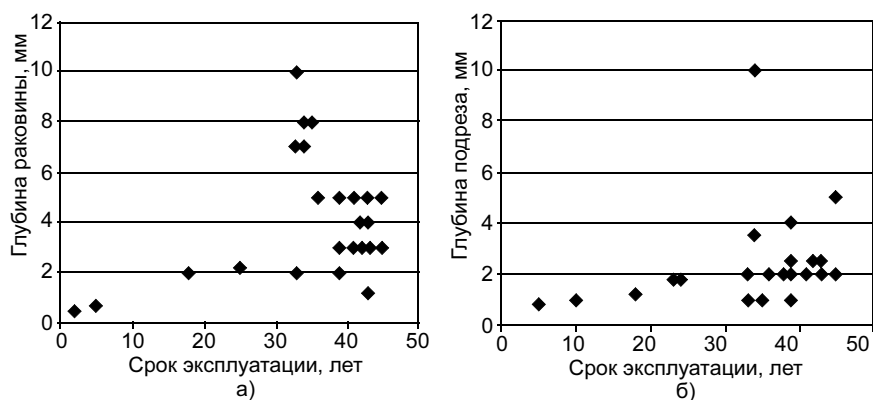


Рис. 5. Зависимость глубины дефектов сварного соединения уторного узла резервуара из стали ВСтЗсп от срока эксплуатации: а — раковины; б — подрезы



Рис. 6. Трещины в монтажном шве листов днища (а) и перекрестиях швов днища (б)

и конструктивными недоработками, а также накоплением коррозионных повреждений.

Такой же характер развития коррозионных повреждений в области дефектов сварки (пор, несплавлений кромок, раковин и др.) установлен авторами в сварных соединениях листов стенки, днища, кровли и уторного узла резервуаров, изготовленных из сталей 09Г2С, ВСтЗсп и др. Но количественные значения коррозионных повреждений в каждом конкретном случае несколько различаются.

Результаты проведенных натурных исследований резервуаров, эксплуатируемых в условиях Севера, показывают, что интенсивность коррозионных повреждений в зонах сварных соединений значительно выше, чем листов стенки и днища резервуаров с увеличением срока их эксплуатации. При этом наиболее интенсивный рост глубины подрезов, кратеров, раковин и других

дефектов происходит при эксплуатации свыше 30 лет, что связано, по мнению авторов, с динамикой напряженно-деформированного состояния на вершине постепенно развивающихся вследствие коррозии концентраторов напряжений.

На основе данных комплексных натурных исследований горизонтальных и вертикальных сварных резервуаров методами неразрушающего контроля и технической диагностики определены текущее состояние конструкции, остаточный ресурс и срок ее службы. Особое внимание уделено продлению ресурса резервуаров, эксплуатируемых в условиях Севера. Следует также отметить, что коррозионная поврежденность сварных соединений элементов каждого резервуара имеет сугубо индивидуальный характер.

Наиболее применяемым технологическим процессом ремонт-

но-восстановительных работ локальных повреждений резервуаров является сварка. Исходя из этого, после завершения натуральных обследований и технической диагностики резервуаров в зависимости от степени и места локальной коррозионной поврежденности их элементов разрабатывают технологическую карту ремонтно-восстановительных работ, где предусмотрены тщательная зачистка, подготовка разделки кромок и конструктивно-технологическое оформление ремонтных сварных швов и облицовочных наплавов. При этом учитывают выбор и расход сварочных материалов, режимы сварки и наплавки [15]. Это позволяет значительно продлить остаточный ресурс резервуаров, проработавших на Севере в течение 30 лет.

Таким образом, в зависимости от уровня и качества конструктивно-технологических мероприятий при ремонте резервуаров, проработавших на Севере в течение 30 лет, имеется возможность продлить срок нормально-гарантированного использо-

вания их для хранения нефтепродуктов в условиях Севера еще на 10—15 лет при полном соблюдении нормативных требований по эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов В. В., Кондаков Г. П. Проблемы отечественного резервуаростроения // Промышленное строительство. 1995. № 5. С. 17—19.
2. Швырков С. А., Семиков В. Л., Швырков А. Н. Анализ статистических данных разрушений резервуаров // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 1996. № 5. С. 39—50.
3. Анализ отказов резервуаров на предприятиях по обеспечению нефтепродуктами / В. А. Венгерцев, В. С. Уколов, В. П. Лисафин, А. Р. Челяк // Научно-производственные достижения нефтяной промышленности в новых условиях хозяйствования. 1989. Вып. 6. С. 3—4.
4. Прохоров В. А. Оценка параметров безопасности эксплуатации нефтехранилищ в условиях Севера. М.: Недра, 1999. 142 с.
5. Кондаков Г. П., Кузнецов В. В., Луккиенко М. И. Анализ причин аварий вертикальных цилиндрических резервуаров // Трубопроводный транспорт. 1994. № 5. С. 6—7.
6. Венгерцев Ю. А., Егоров Е. А., Загоскин В. Н. Повышение эксплуатационной надежности резервуаров // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. М.: ЦНИИТЭНефтехим, 1989. Вып. 6. С. 1—51.
7. Глазов Н. П., Уткин В. К. Защита стальных резервуаров от внутренней коррозии. М.: ЦНИИТЭНефтехим, 1973. 82 с.

8. Егоров Е. А., Фоменко Д. С. Совершенствование методики технической диагностики больших резервуаров, подверженных коррозии // Повышение эффективности строительства. Киев: Изд-во Киевского политехнического института, 1988. 150 с.

9. Каскевич Н. М. Коррозия стальных резервуаров // Борьба с коррозией в нефтегазовой промышленности. М.: ВНИИОЭНГ, 1969. С. 1—108.

10. Лыков М. В. Защита от коррозии резервуаров, цистерн, тары и трубопроводов для нефтепродуктов бензостойкими покрытиями. М.: Химия, 1978. 270 с.

11. Овчинников И. Г., Кудайбергенов Н. Б., Шеин А. А. Эксплуатационная надежность и оценка состояния резервуарных конструкций. Саратов: Саратовский ГТУ, 1999. 316 с.

12. Правила устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов (ПБ 03-605-03). Сер. 03. М.: ФГУП "Научно-технический центр по безопасности в промышленности", 2005. Вып. 3. 176 с.

13. Анализ накопления дефектов при эксплуатации резервуаров для хранения нефтепродуктов / А. П. Аммосов, Н. И. Голиков, Н. Н. Терентьев и др. // Ремонт, восстановление и модернизация. 2003. № 1. С. 23—25.

14. Аммосов А. П., Аммосов Г. С. Дефектность сварного соединения и распространение хрупкой трещины в нижнем поясе резервуара // Ремонт, восстановление и модернизация // Наука и технологии. 2002. № 7. С. 38—42.

15. Аммосов А. П., Корнилова З. Г. Регулирование расхода сварочных материалов при сварке низколегированных трубных сталей // Сварочное производство. 2006. № 3. С. 35—39.

УДК 621.791.053:669.75

**В. И. МУРАВЬЕВ, д-р техн. наук, Б. И. ДОЛОТОВ, канд. техн. наук,
П. Г. ДЕМЫШЕВ, канд. техн. наук, Р. А. ФИЗУЛАКОВ, канд. техн. наук
ОАО "Комсомольское-на-Амуре авиационное производственное объединение
им. Ю. А. Гагарина"**

Формирование структуры металла шва титановых сплавов при электронно-лучевой сварке и сварке погруженным вольфрамовым электродом

Некоторые технологические операции, прежде всего сварка и термическая резка с использованием высококонцентрированных источников энергии, связаны со структурными изменениями металла и появлением в нем дефек-

тов. При обработке титановых сплавов это является одной из причин повышенного расхода материалов (титана, вольфрама, гелия, аргона и др.).

В данной работе исследовали формирование поверхности кро-

мок под сварку и ее влияние на структуру металла шва крупногабаритных титановых конструкций и изменение свойств литого металла сварного шва псевдо- α -титанового сплава его фазовой перекристаллизацией, обусловлен-

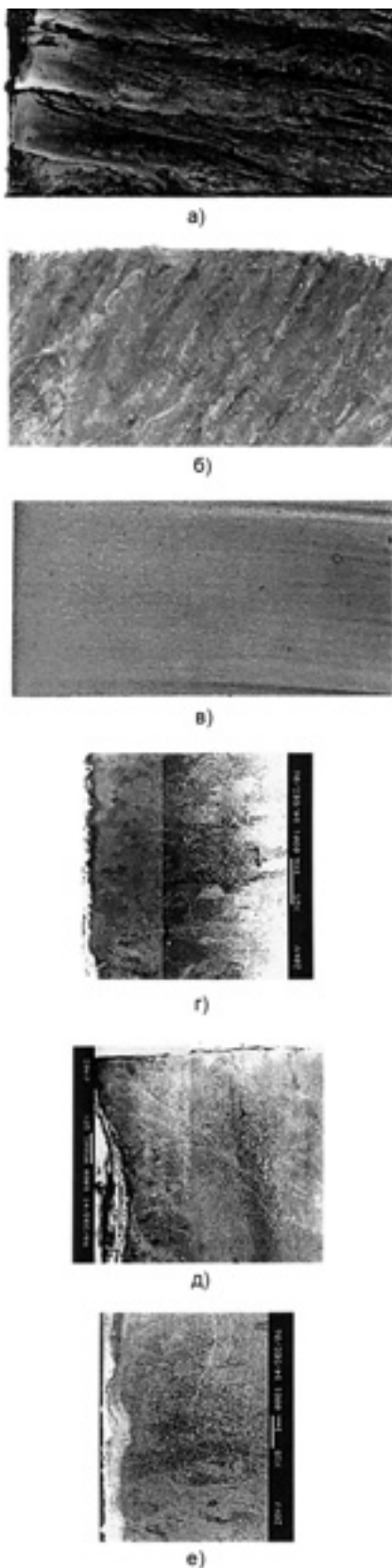


Рис. 1. Макро- (а—в) и микроструктура (г—е) поверхности кромок заготовок после газокислородной (а, г), плазменной (б, д) и гидроабразивной (в, е) резки

ной скоростью охлаждения как в процессе сварки, так и в процессе термической обработки.

Исследования проводили на образцах-имитаторах из титанового сплава ВТ20 размером 200×300 мм различной толщины, сваренных ЭЛС и сваркой погруженным вольфрамовым электродом (СПВЭ) тороидальной формы. Образцы подвергали термической обработке по принятой технологии. Исследования микроструктуры проводили на оптическом микроскопе AXIOVERT 100A и электронном — JEOL JSM-5600. Испытания малоциклового усталости проводили на разрывной машине LOSEN-CHAUSEN, частота нагружения составляла 400 циклов/мин при $\sigma_{\max} = 0,8\sigma_B$, $\sigma_{\min} = 0,2\sigma_B$.

Способ термической резки существенно влияет на формирование структуры поверхности реза заготовок. Максимальная глубина измененного поверхностного слоя при газокислородной резке составляет 3—5 мм, максимальная — на выходе факела; для плазменной резки — 1,5—2,0 мм, для гидроабразивной — 1 мм (рис. 1, табл. 1).

Образцы после резки сваривали на традиционных режимах. Способ резки не влияет существенно на формирование структуры металла шва. Единственное влияние оказывает рельеф поверхности реза: из-за неплотного

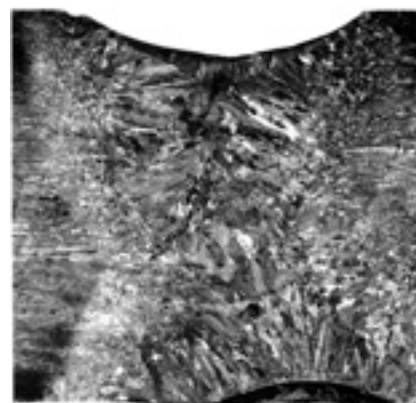


Рис. 2. Макроструктура металла шва после газокислородной резки

прилегания поверхности заготовок, раскрытых газокислородным способом, происходит значительная усадка металла шва (рис. 2).

Результаты исследования механических свойств (табл. 2), химического состава и газонасыщения металла шва показали, что механические свойства, химический состав и содержание газовых примесей N_2 , O_2 , H_2 при всех способах резки соответствуют требованиям, предъявляемым к металлу шва деталей ответственного назначения.

Содержание газов для всех видов резки в металле шва (основном металле) (%): $0,0023$ ($0,0028$) H_2 , $0,052$ ($0,048$) O_2 , $0,0253$ ($0,024$) N_2 .

Установлена принципиальная возможность получения качественного металла шва при СПВЭ

Таблица 1

Резка	Химический состав, %				Примеси, %		
	Al	Mo	V	Zr	H_2	O_2	N_2
Гидроабразивная	5,23	2,03	2,68	2,30	>0,0150	0,23	0,080
	6,54	1,60	2,39	2,21	0,0032	0,05	0,027
Плазменная	7,00	1,42	1,80	2,40	0,0220	0,120	0,280
	6,40	1,68	2,33	2,19	0,0046	0,073	0,036
Газокислородная	1,30	1,89	2,46	3,23	0,02	3,80	1,50
	6,20	1,63	2,34	2,18	0,01	0,16	0,02
Основной металл	6,32	1,65	2,30	2,21	0,0047	0,079	0,031

Примечание. В числителе указаны данные для металла на поверхности образцов, в знаменателе — после удаления измененного слоя.

Таблица 2

Резка	Механические свойства			
	$\sigma_{в'}$, МПа	$\sigma_{0,2'}$, МПа	δ , %	ψ , %
Фрезерование	1040	980	14	22
	960	915	14	28
Гидроабразивная	1010	940	12	22
	970	920	13	26
Плазменная	1000	925	11	24
	990	920	13	26
Газокислородная	995	910	12	25
	990	925	12	26

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

по необработанным кромкам, подготовленным различными способами резки, особенно плазменной и гидроабразивной, а газокислородная резка может быть применена для СПВЭ деталей оснастки.

Сравнительные исследования проплавляющей способности при сварке традиционным электродом с конусной заточкой и электродом с тороидальной заточкой показали, что стойкость электродов различна. В первом случае при величине заглабления 24 мм и максимальной глубине проплавления 40 мм за один проход и $I_{св} = 1600$ А происходит полное разрушение электрода. Во втором случае при $I_{св} = 2500$ А и глубине проплавления за один проход до 60 мм стойкость тороидального электрода остается удовлетворительной. Результаты исследований приведены на рис. 3 и 4.

Анализ макроструктуры металла шва подтвердил увеличение проплавляющей способности тороидального электрода. Если при СПВЭ традиционным электродом проплавление с ЗТВ имеет полусферическую форму, то сварной шов, образованный тороидальным электродом, имеет выраженный клиновидный характер, что подтверждает наличие самофокусирующего эффекта кольцевой дуги.

Результаты экспериментов свидетельствуют о неоспоримых преимуществах тороидального электрода: способности к самофокусированию дуги, высоких эрозионной стойкости и проплавляющей способности, что позволило практически исключить пористость и вольфрамовые включения в металле шва.

При этом появилась возможность перехода к многопроходной сварке погруженным вольфрамовым электродом. Разработана технология сварки конструкций толщиной до 100—120 мм с обеспечением качественной защиты металла шва при сокращении трудоемкости.

Альтернативным СПВЭ способом сварки толстостенных ответственных титановых конструкций является ЭЛС. Способ сварки влияет на механические свойства металла шва конструкций из титанового сплава ВТ20. При СПВЭ временное сопротивление разрыву при статических испытаниях несколько меньше, чем при ЭЛС.

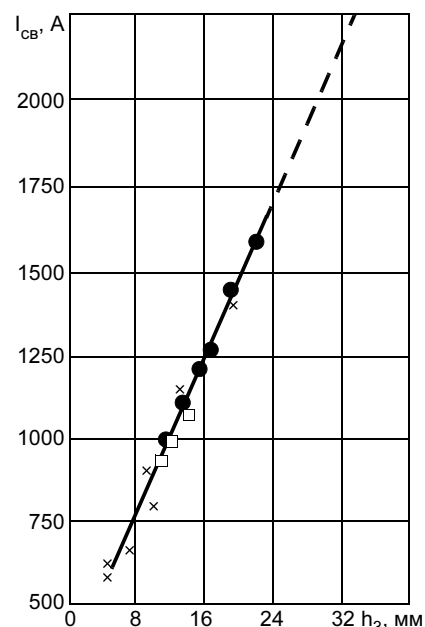
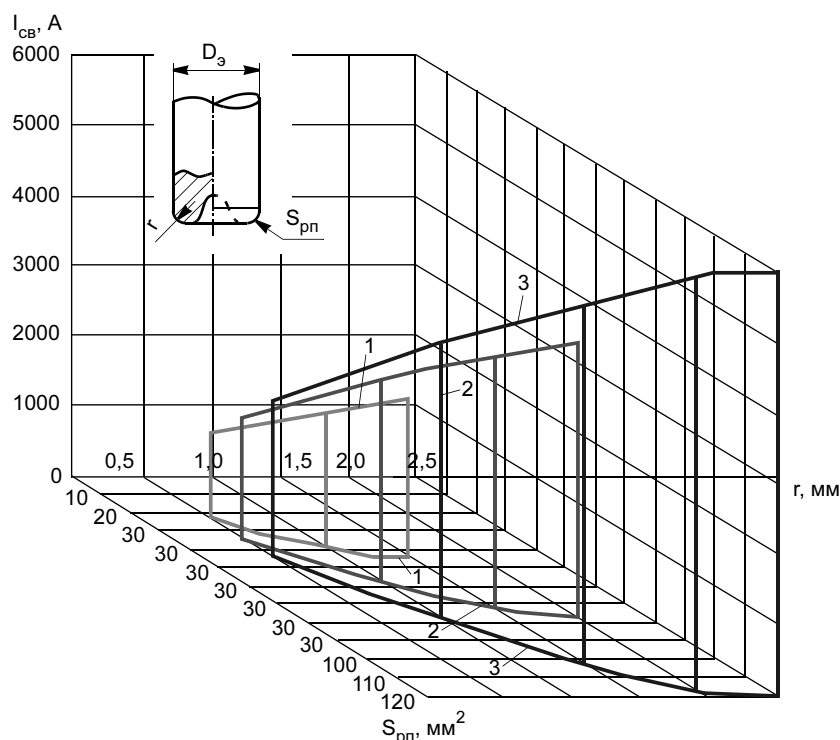


Рис. 3. Зависимость сварочного тока от заглабления электрода

При этом ЭЛС характеризуется меньшим разбросом данных. Ударная вязкость при СПВЭ значительно превышает ударную вязкость при ЭЛС. Значения всех исследованных механических

Рис. 4. Зависимость площади рабочей поверхности $S_{рп}$ и расчетного сварочного тока $I_{св}$ от радиуса тора r и диаметра электрода $D_з$: 1—3 — $D_з$ равен 6, 8 и 10 мм соответственно

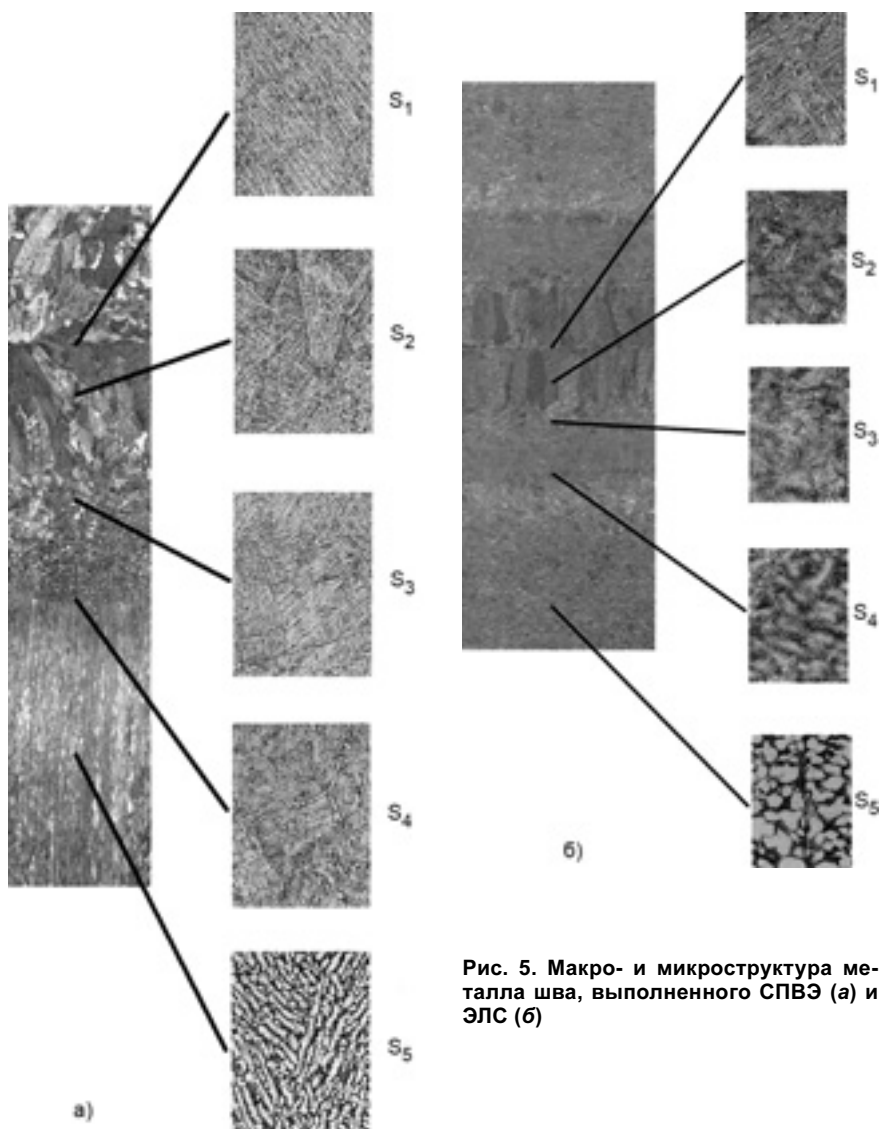


Рис. 5. Макро- и микроструктура металла шва, выполненного СПВЭ (а) и ЭЛС (б)

свойств не выходят за пределы требований к высоконагруженным титановым конструкциям.

Содержание газов в металле шва как при СПВЭ, так и ЭЛС находится в пределах допусков для соединений ответственного назначения и составляет для кислорода, азота и водорода соответственно 0,043—0,079, 0,019—0,034 и 0,0027—0,0088 %; а в основном металле — 0,064, 0,026 и 0,0054 % соответственно.

Электронно-микроскопическими исследованиями макро- и микроструктуры установлено, что ширина ЗТВ, сварного шва, столбчатых кристаллитов при сварке титановых заготовок одной и той же толщины зависит от способа сварки и составляет для образ-

цов $\delta = 40$ мм при СПВЭ 7—9, 38—40 и 1,5—3,0 мм соответственно; при ЭЛС — 0,8—1,0, 8—10 и 0,5—1,1 мм соответственно.

Согласно полученным расчетным путем данным, при использовании вольфрамового

электрода с тороидальной заточкой рабочего торца и сварочном токе порядка 4000—6000 А возможно получение сварных швов шириной до 100—120 мм за один проход.

Выпрямители, способные создавать сварочный ток такой величины, пока не существуют, поэтому все исследования проводили на имеющемся оборудовании при сварочном токе 2000 А, что позволило сваривать образцы толщиной 40—60 мм за один проход и толщиной 110—120 мм при двухсторонней сварке.

Различия в значениях механических характеристик металла шва при СПВЭ и ЭЛС можно объяснить, с одной стороны, использованием вставки из технически чистого титана ВТ1-00 в стыке при СПВЭ, что приводит к снижению степени легирования сварного шва и, соответственно, повышению ударной вязкости. С другой стороны, вследствие больших тепловложений при СПВЭ скорость охлаждения образцов замедлена по сравнению с ЭЛС, медленное охлаждение от температур нагрева в $\alpha \rightarrow \beta$ -области способствует повышению пластичности металла шва сплава ВТ20, происходит перераспределение легирующих элементов, причем молибден, ванадий и цирконий сегрегируют на границе раздела фаз, образуя прослойки стабильной β -фазы при 20 °С.

Проверку данного предположения проводили при исследова-

Таблица 3

Сварка	Средняя площадь зерна, мкм ²				
	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅
СПВЭ	$\frac{419,44}{183,06}$	$\frac{769,13}{147,52}$	$\frac{642,88}{113,6}$	$\frac{1031,50}{124,19}$	$\frac{829,24}{102,38}$
ЭЛС	$\frac{409,81}{386,43}$	$\frac{307,37}{284,68}$	$\frac{525,83}{362,31}$	$\frac{1220,80}{273,69}$	$\frac{1447,50}{362,31}$
Обозначения. S ₁ — центр сварного шва, S ₂ — металл шва, S ₃ — зона сплавления, S ₄ — ЗТВ, S ₅ — основной металл.					
Примечание. В числителе приведены значения для α -области, в знаменателе — для β -области.					

Таблица 4

Режим отжига	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	KCU , Дж/см ²
750 °С, 1 ч	$\frac{1010}{960}$	$\frac{7}{9}$	$\frac{16}{27}$	$\frac{5,5}{9,0}$
970 °С, 40 мин + + 850 °С, 1 ч	$\frac{1160}{980}$	$\frac{7}{10}$	$\frac{22}{38}$	$\frac{5,5}{9,5}$

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

нии размеров средней площади зерна в α - и β -области по программе "IMAGE PRO". Выборка микроструктур по зонам S_1 — S_5 приведена на рис. 5, результаты исследований — в табл. 3.

Исследования кинетики процесса разрушения по акустиче-

ским параметрам при растяжении образцов позволили количественно оценить влияние режимов термической обработки на свойства металла шва и основного металла псевдо- α -сплава ВТ20 (табл. 4).

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что для формирования металла шва при сварке погруженным вольфрамовым электродом (СПВЭ) оптимальной является кромка, образованная гидроабразивной и плазменной резкой. Изменение поверхностного слоя сформированной кромки составляет 0,5—1,0 мм при гидроабразивной резке и 1,5—2,0 мм — при плазменной, что позволяет получать качественный сварной шов с высокими механическими

свойствами за счет эффекта саморафинирования при сварке тороидальным электродом. Это позволяет использовать его для изготовления ответственных титановых конструкций.

2. Сравнительными исследованиями металла шва, полученного при сварке электрической дугой и электронным лучом всех толщин, вплоть до максимальной, установлено, что значения механических характеристик не выходят за пределы требований, предъявляемых к высоконагруженным титановым конструкциям.

3. СПВЭ и ЭЛС по глубине проплавления и свойствам сварного соединения равнозначны, но по энергозатратам и трудоемкости СПВЭ на порядок меньше по сравнению с ЭЛС.

УДК 621.791.75.01:537.523

**А. В. ШЕКУРОВ, аспирант, В. А. КОРОТКОВ, д-р техн. наук
НТИ УГТУ-УПИ (Нижний Тагил)**

Влияние полярности дуги на глубину и твердость слоя плазменной закалки стали 40

При ручной плазменной закалке невозможно точно выдержать расстояние между электродом и деталью. Колебания длины дуги при прямой полярности приводят к значительному изменению ее теплового воздействия на закаливаемую поверхность, что проявляется либо в оплавлении, либо в отсутствии самого эффекта закалки. По этой причине плазменная закалка осуществляется с помощью автоматов при фиксированной длине дуги. Однако влияние длины дуги на качество закалки исследовано недостаточно [1—5]. В связи с этим в данной работе исследовали влияние изменения длины дуги при обратной полярности на параметры закаленного слоя.

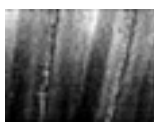





Плазменную закалку выполняли серийным плазматроном заво-

да "Электрик", входящим в комплект установки УПНС-304. При прямой полярности электродом служил заточенный вольфрамовый стержень, при обратной — водоохлаждаемый медный электрод, поскольку в этом случае вольфрам быстро разрушается. Закалку проводили на круглом образце диаметром 60 мм из стали 40, закрепленном во вращателе. Плазматрон закрепляли на самоходной тележке, обеспечивающей перемещение дуги вдоль оси образца с автоматической фиксацией шага. Режим закалки: при прямой и обратной полярности ток 60 А, скорость закалки 0,73 м/мин, расход плазмообразующего аргона 4 л/мин, защитного — 12 л/мин.

На образце закалили шесть участков по четыре дорожки без

перекрытия, по три участка при прямой и обратной полярности, с зазорами между деталью и соплом плазматрона. Длина дуги составляла 3, 6 и 9 мм. После закалки каждого участка образец остывал на воздухе.

Из образцов вырезали по три темплета; каждый шлифовали и травили 5 %-ным раствором HNO_3 . Установили, что при наложении первого и второго витков до того пока образец еще не нагрелся, возможно блуждание дуги, но на третьем витке она горит стабильно. Поэтому все измерения свойств закаленного слоя проводили на третьей дорожке. Глубину и ширину закалки определяли по вытравленной зоне на микроскопе МПБ-2. Твердость поверхности закаленных дорожек измеряли твер-

Длина дуги, мм	Прямая полярность	Геометрические параметры полосы закали, мм			Твердость поверхности, HRC	Обратная полярность
		Ширина	Глубина	Высота оплавлений		
3		$\frac{4,2}{6,8}$	$\frac{1,2}{1,3}$	$\frac{1,3}{<0,1}$	$\frac{27}{27}$	
6		$\frac{4,8}{5,6}$	$\frac{1,2}{1,9}$	$\frac{0,7}{—}$	$\frac{29}{30}$	
9		$\frac{4,5}{6,0}$	$\frac{1,1}{1,7}$	$\frac{0,4}{—}$	$\frac{25}{34}$	

Примечание. В числителе приведены данные для прямой полярности, в знаменателе — для обратной.

домером TP-5006. Измерение микротвердости по глубине закали проводили с шагом 0,2 мм посередине закаленной дорожки на микротвердомере ПМТ-3М.

Глубина, ширина и твердость закаленного слоя, а также фотографии закаленных участков, позволяющие судить об оплавлении поверхности, приведены в таблице. Распределение микротвердости по глубине закали приведено на рисунке.

Из таблицы следует, что при закалке короткой дугой прямой полярности происходит оплавление поверхности. Расплавлен-

ный металл собирается в капли высотой до 1,3 мм, образуя из них цепочку по центру закаленной дорожки. С увеличением длины дуги высота оплавлений снижается, но не пропадает окончательно. При закалке длинной дугой (9 мм) глубина и твердость поверхности упрочненного слоя меньше, чем короткой (3 мм).

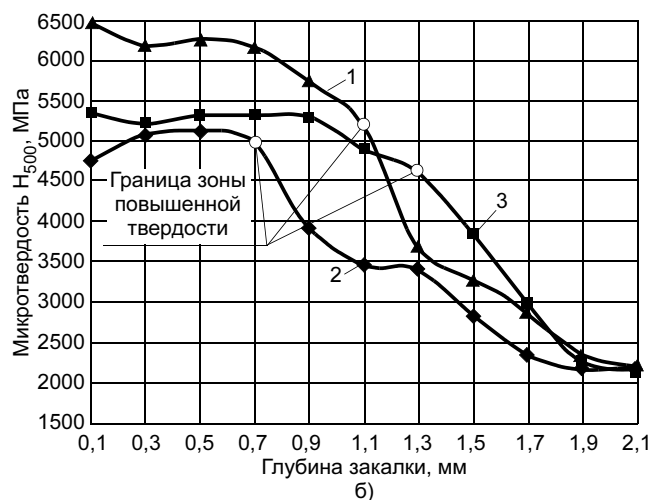
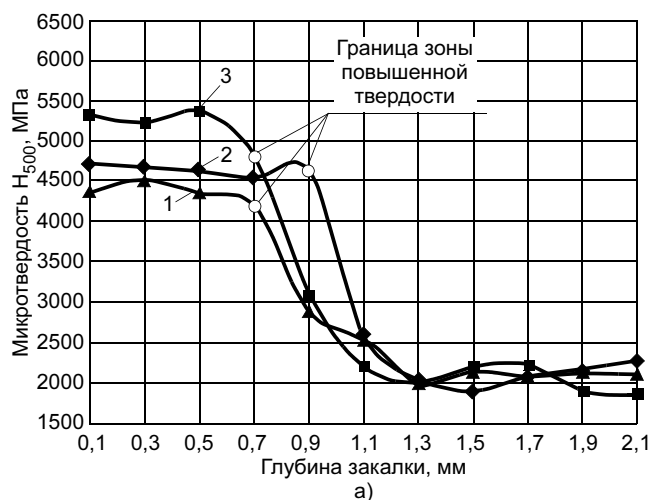
При обратной полярности (см. таблицу) оплавление существенно меньше и образование капель не происходит даже на короткой дуге (3 мм). С ее удлинением закаленная поверхность приобретает ровный и блестящий

вид. Твердость и глубина упрочненного слоя при закалке длинной дугой (9 мм) не только не уменьшаются, как при прямой полярности, но и увеличиваются: твердость от 27 до 34 HRC, глубина от 1,3 до 1,7 мм.

Из анализа данных рисунка и таблицы следует, что толщина закаленного слоя с максимальной твердостью (см. рисунок) меньше, чем глубина травимости (см. таблицу), однако влияние на него изменения длины дуги такое же, как на глубину травимости. Точно также совпадает влияние длины дуги на макротвердость поверхности (см. таблицу) и микротвердость закаленного слоя (см. рисунок).

Таким образом, и короткая, и длинная дуги при прямой полярности имеют существенные недостатки: первая — оплавление поверхности, вторая — снижение твердости и глубины закаленного слоя. Дуга обратной полярности этих недостатков не имеет. При закалке короткой дугой оплавление пренебрежимо мало, а с удлинением дуги твердость и глубина закаленного слоя не только не снижаются, но увеличиваются. Кроме того, увеличивается ширина закаленной полосы, что обеспечивает рост производительности.

То, что закалка длинной дугой обратной полярности предпочтительнее, чем короткой — это хорошо и с практической точки зре-



Влияние длины дуги на твердость и глубину упрочненного слоя стали 40 ($I = 60$ А, $v_d = 0,7$ м/мин): а, б — прямая и обратная полярность соответственно; 1—3 — длина дуги 9, 3 и 6 мм соответственно

ния. При короткой дуге существует опасность замыкания плазмотрона на изделие при неловком движении руки сварщика. Кроме того, она в большей мере, чем длинная, скрыта от наблюдателя соплом плазмотрона.

Приведенные преимущества плазменной закалки дугой обратной полярности обусловили выбор ее для ручной плазменной закалки.

Для осуществления ручной плазменной закалки разработана закалочная горелка¹ и модернизирован сварочный выпрямитель. На способ ручной плазменной закалки получено положительное решение о выдаче патента. Ручная плазменная закалка существ-

венно расширила область применения поверхностного упрочнения: можно закалывать зубья крупномодульных шестерен, вырубные, формовочные пресс-штампы и др. [6].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Плазменная закалка при обратной полярности по сравнению с прямой исключает оплавление поверхности, увеличивает глубину, твердость и ширину закаленных дорожек, снижает влияние изменений длины дуги на свойства — глубину, твердость — закаленного слоя. Эти преимущества позволили применить данный способ для ручной закалки поверхностей, ранее недоступных для упрочнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кобяков О. С., Гинзбург Е. Г. Использование микроплазменного нагрева в процессах упрочняющей технологии // Автоматическая сварка. 1985. № 5. С. 65—67.
2. Коротков В. А., Бердников А. А., Толстов И. А. Восстановление и упрочнение деталей и инструмента плазменными технологиями. Челябинск: Металл, 1993. 144 с.
3. Особенности электродуговой поверхностной закалки валковых сталей / В. Н. Давыдов, Р. И. Силян, Н. Н. Давыдова и др. // Черная металлургия. 1990. № 5. С. 58—60.
4. Поверхностное упрочнение стальных деталей сжатой электрической дугой / А. Е. Михеев, С. С. Ивасев, А. В. Грин и др. // Сварочное производство. 2003. № 2. С. 24—27.
5. Эффективный способ поверхностного упрочнения железнодорожных колес / П. П. Иванов, Э. Х. Исаков, В. И. Изотов и др. // Сталь. 2000. № 1. С. 63—66.
6. Коротков В. А., Шекуров А. В. Исследование плазменной закалки // Сварочное производство. 2007. № 8. С. 25—29.

¹ Полезная модель 57282 (РФ).

УДК 621.791.65

Н. Ю. КРАМПИТ, канд. техн. наук, А. Г. КРАМПИТ, канд. техн. наук
Юргинский технологический институт (филиал)
Томского политехнического университета

Развитие импульсно-дуговых процессов сварки в ЮТИ ТПУ

В 1987 г. в Юрге Учебно-консультационный пункт (УКП), созданный в 1957 г., был преобразован в механико-машиностроительный факультет (ММФ), а впоследствии, в 2003 г. — в Юргинский технологический институт Томского политехнического университета (ЮТИ ТПУ).

В 1996 г. в аспирантуру поступили первые выпускники Юргинского филиала (ЮФ) ТПУ. Руководил аспирантами на кафедре "Сварочное производство" в Юрге канд. техн. наук А. Ф. Князьков. По его инициативе была организована научно-исследовательская лаборатория. Работы по управлению процессами, в которых перенос электродного металла и другие характеристики задаются определенной программой изменения параметров сварки, начали проводить в ТПУ с 1967 г.

Начальная разработка импульсно-дуговых процессов при сварке принадлежит ИЭС им. Е. О. Патона. Впервые модуляция параметров режимов сварки предложена в 1949 г. [1], а способ импульсно-дуговой сварки в аргоне [2] широко применяется и в настоящее время. К 90-м годам был накоплен

значительный практический и научный опыт в развитии технологии импульсно-дуговой сварки в защитных газах.

В ЮТИ ТПУ по данному направлению проводятся исследования по вопросам управления процессами каплепереноса, формирования сварного шва, разработки моделей сварочных дуг, движения жидкого металла сварочной ванны, получения сварных соединений при сварке толстолистового металла в щелевую разделку, разработки систем импульсного питания. В научно-исследовательской лаборатории разработан комплекс оборудования для исследования процесса сварки в различных пространственных положениях стационарной дугой и при импульсном питании сварочной дуги (сварка длинной дугой) [3, 4]. На данном оборудовании проводили исследования кинетики плавления электродного металла, областей управляемого переноса, формирования швов в различных пространственных положениях, влияния технологических возмущений на стабильность горения дуги, толстолистового металла в узкую щелевую разделку, параметров импульсов на геометрические размеры и структуру сварного соединения при сварке в углекислом газе

¹ А. с. 247430 (СССР).

длинной дугой, а также были апробированы новые способы сварки и устройства для управления процессом при импульсном питании сварочной дуги.

Результаты этих работ представлены на различных конференциях [5—7], опубликованы в журналах "Сварочное производство", "Автоматизация и современные технологии", "Вопросы материаловедения", "Технология металлов", "Сварка в Сибири", "Ремонт, восстановление и модернизация" и др. Защищены две кандидатские диссертации [8, 9], опубликованы более 100 научных работ, в том числе 14 статей в центральной печати, получены 10 патентов на изобретения РФ. Результаты научных исследований внедрены в учебный процесс по дисциплинам "Производство сварных конструкций" и "Методология научных исследований" в виде методических указаний и отдельных глав учебных пособий для студентов специальности "Оборудование и технология сварочного производства".

В настоящее время продолжают экспериментальные и теоретические исследования по дальнейшему совершенствованию и развитию процессов сварки в углекислом газе при импульсном питании длинной дугой, актуальность которых была подтверждена докладом акад. Б. Е. Патона на пленарном заседании конференции "Сварка — взгляд в будущее" [10].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

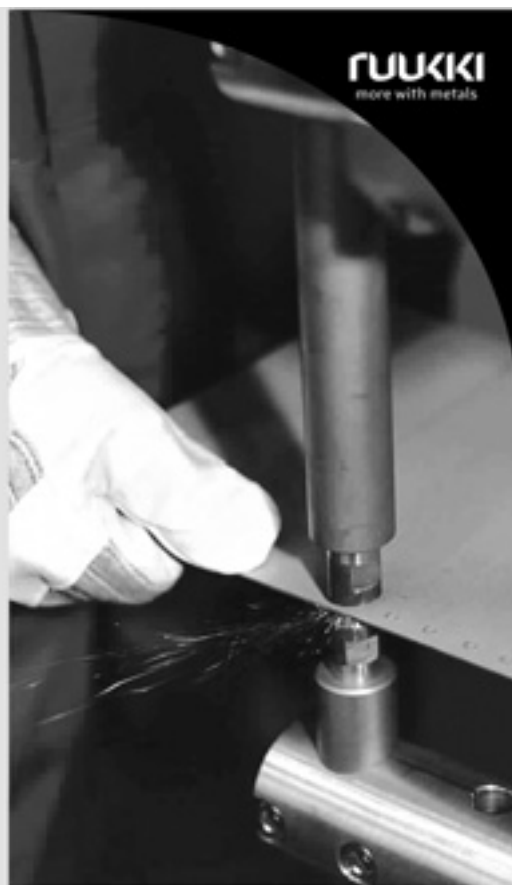
1. Патон Б. Е., Дудко Д. А., Сидорук В. С. Состояние и перспективы развития электрической сварки плавлением с модуляцией параметров режима // Импульсные процессы сварки. Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1988. С. 5—11.
2. Патон Б. Е., Потаповский А. Г., Подола Н. В. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом // Автоматическая сварка. 1964. № 1. С. 2—5.
3. Князьков А. Ф., Крампит Н. Ю., Крампит А. Г. Методы изучения переноса расплавленного электродного металла в сварочной дуге // Сварка в Сибири. 2006. № 1. С. 21—22.
4. Исследование процесса переноса электродного металла при импульсном питании сварочной дуги / А. Ф. Князьков, Н. Ю. Крампит, А. Г. Крампит, С. А. Князьков // Технология металлов. 2005. № 7. С. 18—21.
5. Krampit A. G., Knyazikov A. F., Krampit N. YU. The Improvements of the welding process in carbon dioxide ambience at modernizations of the equipment // Modern techniques and technologies. Томск: Изд-во ТПУ, 2007. Т. 3. С. 54—56.
6. Специализированный робот для сварки неповоротных стыков магистральных трубопроводов / А. Ф. Князьков, С. А. Князьков, Н. Ю. Крампит и др. // Сварка и родственные технологии — в XXI век. Киев, 1998. С. 92—93.
7. Устройство для сварки / А. Ф. Князьков, Н. Ю. Крампит, А. Г. Крампит, А. В. Петриков // Металлургия: новые технологии, управление, инновации и качество. Новокузнецк: СибГИУ, 2006. С. 192—196.
8. Крампит Н. Ю. Разработка и исследование процесса импульсного питания при сварке в CO_2 длинной дугой плавящимся электродом: Дис. ... канд. техн. наук. Томск: ИФПМ, 1999.
9. Крампит А. Г. Разработка и исследование процесса сварки в CO_2 в целевую разделку при импульсном питании сварочной дуги: Дис. ... канд. техн. наук. Красноярск: КГТУ, 2003.
10. Патон Б. Е. Сварка — взгляд в будущее // Сварка и диагностика. 2007. № 7. С. 3—4.

Цинкожелезное покрытие - лучшее решение для контактной сварки оцинкованной стали

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

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

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



Публикуется на правах рекламы

УДК 621.791:658.008

В. А. ВОЛОЧИЕНКО, канд. техн. наук
"МАТИ" — РГТУ им. К. Э. Циолковского

Выполнение оперативных планов производства в реальном масштабе времени на основе распознавания проблемных ситуаций

Предприятия определяют уровень развития экономики страны. Достижение поставленных целей по выпуску промышленным предприятием (производственной системой) продукции осуществляется системой оперативного управления производством. Эта система с шагом квартал, месяц, пятидневка, сутки, смена целенаправленно осуществляет планирование функционирования производственных подразделений, служб предприятия и контроль реализации плановых заданий, обеспечивая выпуск продукции определенных наименований в заданных количествах в установленные сроки в соответствии с договорными обязательствами, потребностями внутренних и внешних рынков. В процессе реализации оперативных планов, заданий производственный процесс промышленного предприятия подвергается воздействию внешних и внутренних возмущений.

Возмущения внешней среды возникают в результате изменения спроса на продукцию предприятия (уменьшение или увеличение сверх допустимых величин), невыполнения или досрочного выполнения установленных договорными обязательствами сроков поставки на предприятие сырья, материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий, средств производства, средств технологического оснащения (инструментов, технологической оснастки) и прочих элементов, используемых в производстве, а также при ряде других обстоятельств. Внутренние возмущения, возникающие по различным причинам в процессе функционирования первичных производственных систем (поточных линий, участков), вспомогательных производств, обеспечивающих служб, замедляют или ускоряют процесс производства. Примерами внутренних возмущений могут быть невыполнение или досрочное выполнение оперативных планов инструментальным производством предприятия; сбой в работе обеспечивающих служб; невыполнение оперативных планов, графиков подразделениями основного производства; поломки оборудования, транспортных средств, инструментов или оснастки; отклонения фактического состояния трудовых ресурсов от требуемых; необеспеченность рабочих мест материалами, заготовками, деталями, сборочными единицами; ввод в строй ранее плановых сроков оборудования, находившегося в ремонте; превышение плановых коэффициентов обслуживания оборудования исполнителями; рационализаторские предложения; срочные дополнительные задания; брак, возникающий в процессе производства, и прочее.

Различают контролируемые и неконтролируемые возмущения. Контролируемые возмущения фиксируются системой управления объектом, например предприятием, в местах их возникновения (в службах, различных производственных системах, входящих в структуру предприятия), в моменты их возникновения. Система управления устанавливает факты возникновения контролируемых (измеряемых) возмущений, осуществляет их оценку, выработку и реализацию решений по устранению результатов действия зафиксированных возмущений, предупреждая возникновение отклонений (минимизируя возможные отклонения) во времени фактических состояний объекта от целевых. Такое управление принято называть управлением "по возмущению". Неконтролируемые возмущения не фиксируются системой управления объектом в пространстве и времени в моменты их возникновения. Их влияние на объект управления выявляется в результате обнаружения во времени значимых отклонений фактических состояний объекта от целевых. Обнаружение результатов действия неконтролируемых возмущений на объект управления осуществляется по каналу обратной связи системы управления объектом. В моменты обнаружения значимых отклонений фактических состояний объекта от целевых система управления вырабатывает управляющие воздействия с целью устранения результатов влияния неконтролируемых возмущений на объект. Такое управление принято называть управлением "по отклонению". Затраты на создание и функционирование систем управления "по возмущению", как правило, выше, чем на системы управления "по отклонению". Однако идентичная степень достижения целевых состояний объекта во времени при управлении "по возмущению" и "по отклонению" может быть получена при меньших затратах на реализацию функций исполнения объекта в случае применения управления "по возмущению", чем при управлении "по отклонению". Поэтому на практике часто применяют комбинированное управление объектом "по возмущению и отклонению", соотношение между составляющими которого устанавливают с учетом имеющихся ограничений на суммарные затраты по реализации функций управления и исполнения.

В результате действия внешних и внутренних контролируемых и неконтролируемых возмущений в производстве возникают проблемные ситуации, требующие принятия решений по устранению результатов действия возмущений, а в случае необходимости — во внесению изменений в оперативные планы, графики работы произ-

водственных подразделений. На заводском уровне управления производством — в программу выпуска продукции предприятия или (и) в объемно-календарный план, на межцеховом — в оперативные календарные планы изготовления предметов производства (выполнения работ) цехами, на цеховом — в оперативные планы-графики изготовления предметов производства (выполнения работ) участками, на участковом — в пооперационные графики изготовления предметов производства (выполнения работ) на рабочих местах (в сменно-суточные и сменные задания на рабочих местах участка).

Существующие системы организации оперативного управления промышленным производством, реализующие принципы управления "по отклонению", и "преимущественно по отклонению и частично по возмущению"; регламентирующие последовательную передачу информации о возникающих проблемных производственных ситуациях "снизу-вверх" по уровням иерархии управления промышленным предприятием для установления полномочных в их разрешении уровней и лиц, принимающих решения, и передачу команд в обратном порядке; опирающиеся преимущественно на "человеческий фактор" и в меньшей степени на математические методы и экономико-математические модели, не обеспечивают требуемого соответствия фактических состояний производственных процессов их целевым состояниям по совокупности номенклатурных, временных, стоимостных и объемных показателей. Констатация возникновения проблемных ситуаций на заводском, межцеховом, цеховом и участковом уровнях, принятие решений по их разрешению, выработка решений по изменению оперативных планов, графиков работы производственных подразделений занимают неоправданно длительные интервалы времени. В результате имеют место непроизводительные затраты материальных, трудовых, энергетических и других ресурсов производства, различного рода потери, что отрицательно сказывается на эффективности функционирования предприятия.

На современном промышленном предприятии, функционирующем в условиях нестабильной внешней среды, интенсивного влияния случайных внешних и внутренних возмущений, вызывающих генерацию различных проблем внутри предприятия, возникает острая необходимость существенного увеличения быстродействия оперативного управления производственным процессом. Возможным решением указанных проблем оперативного управления современным промышленным производством является увеличение доли формализованных процедур в процессах констатации, анализа, генерации возможных альтернатив и выборе наиболее адекватных для разрешения возникающих проблемных производственных ситуаций при реализации оперативных планов, графиков, заданий производственными системами.

Альтернативой существующей организации управления производством на промышленном предприятии в условиях интенсивного влияния случайных возмущений является организация управления производством, основанная на принципах управления "по возмущению" и "преимущественно по возмущению и частично по отклонению", адресной констатации возникающих проблемных ситуаций в различных производственных системах, составляющих производственную структуру предприятия; адресном установлении уровней управления и лиц, принимающих решения, полномочных в разрешении возникающих проблемных ситуаций; выработке адекватных управленческих решений в минимально возможные по

длительности интервалы времени в реальном масштабе времени. Такая организация управления производством, образно говоря, позволит на любые значимые "вызовы" внешней и внутренней среды предприятия практически немедленно устанавливать адекватные "отклики" организационной структуры (констатацию проблемных ситуаций и выработку управленческих решений по их разрешению).

Альтернативную организацию управления современным промышленным производством, формализацию принятия решений в процессе реализации оперативных планов, графиков, заданий производственными подразделениями в условиях интенсивного влияния случайных внешних и внутренних возмущений целесообразно осуществлять на основе применения специализированных систем распознавания возникающих проблемных производственных ситуаций (ПС).

Специализированная система распознавания проблемных производственных ситуаций определенного назначения — сложная динамическая человеко-машинная система, включающая в свой состав промышленно-производственный персонал, необходимые виды обеспечения, а именно: организационное, информационное, математическое, программное, техническое и прочие, предназначенная для решения в реальном масштабе времени (РМВ) на основе специально разработанных алгоритмов задач распознавания ПС, т. е. отнесения ПС к соответствующим эталонным классам, состав и сущность которых определяется ее назначением.

Специализированные системы распознавания проблемных производственных ситуаций в реальном масштабе времени обеспечивают фиксацию результатов действия возмущений; адресное установление уровней иерархии управления предприятием и лиц, принимающих решения (ЛПР), полномочных в ликвидации последствий влияния возмущений; определение необходимости внесения изменений в оперативно-производственные планы, графики, задания на заводском, межцеховом, цеховом и участковом уровнях; выработку оптимальных (рациональных) решений по устранению влияния возмущений и корректированию оперативных планов, графиков, заданий производственным подразделениям.

В результате достигается минимизация отклонений фактического состояния производства от целевого. Реакция системы оперативного управления производством в условиях применения специализированных систем распознавания проблемных производственных ситуаций на обнаружение результатов действия внешних и внутренних возмущений и принятие решений, направленных на их устранение, требует минимальных затрат времени, величина которых обуславливается производительностью применяемых в управлении производством информационных технологий.

Быстродействие распознающих систем обеспечивается существенными затратами различных видов ресурсов на стадии их создания и минимально необходимыми ресурсами для обеспечения их функционирования. Именно в процессе разработки и построения распознающей системы соответствующего типа и назначения осуществляется трудоемкая работа по исследованию множества возможных ситуаций, их анализу, классификации в соответствии с совокупностью применяемых для их разрешения управленческих решений, разработкой алгоритмов распознавания, выбором и (или) разработкой комплекса технических средств, решению ряда других задач. Единовременные затраты трудовых, финансовых, материальных и

других видов ресурсов, имеющих место при создании распознающей системы, окупаются в короткие сроки за счет экономии различных ресурсов при многократном ее применении в реально функционирующих объектах.

В процессе функционирования рассматриваемых систем распознавания человек может принимать участие в подготовке исходной информации о распознаваемых проблемных производственных ситуациях; в анализе (экспертизе) промежуточных и окончательных результатов распознавания; в процессе обучения системы распознавания, если система распознавания "с обучением"; в принятии решений о реализации вырабатываемых системой распознавания директив и ряде других работ. Для сбора и преобразования входной информации в выходную эти системы распознавания могут использовать различные технические средства и системы, например, датчики, регистрирующие различные параметры процессов исполнения, осуществляемых на предприятии; программно-вычислительные средства реализации алгоритмов распознавания; локальные вычислительные сети; средства и системы связи; автоматизированные рабочие места управленческого персонала различных уровней управления предприятием.

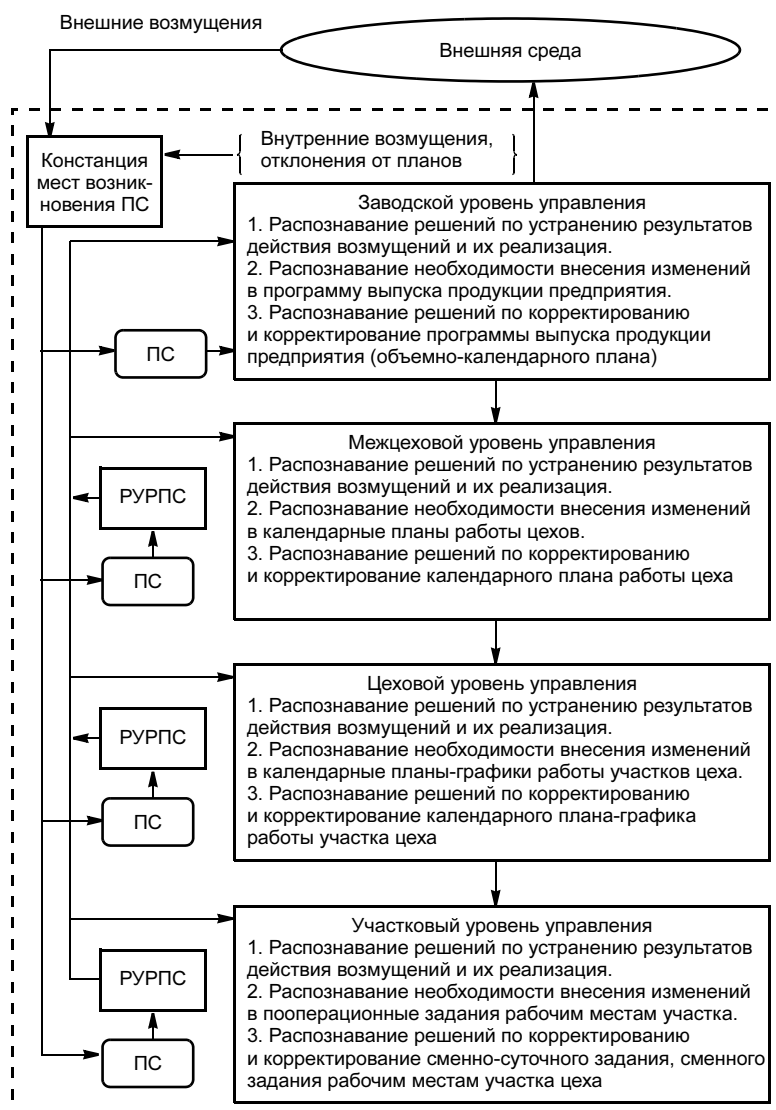
На рисунке приведен перечень задач, который предлагается решать с применением системы оперативного управления производством на основе специализированных систем распознавания проблемных производственных ситуаций (ПС) на различных уровнях управления производством, а именно:

- распознавание уровней управления и ЛПР, полномочных в разрешении проблемных ситуаций (РУРПС);
- распознавание решений по устранению результатов действия возмущений на заводском, межцеховом, цеховом и участковом уровнях управления;
- распознавание фактов необходимости внесения изменений в оперативно-производственные планы, графики, задания на заводском, межцеховом, цеховом и участковом уровнях;
- распознавание решений по корректированию календарных планов, графиков, заданий производственных систем различного уровня.

Постановка задачи распознавания уровней управления, полномочных в разрешении возникающих проблемных ситуаций, и метод ее решения рассмотрены в работе [1]. Пример разработки основных этапов системы распознавания полномочного уровня управления и ЛПР в случае выхода из строя применяемого на рабочем месте первичной производственной системы инструмента или оснастки — средств технологического оснащения (СТО) рассмотрен в работе [2]. Теоретическим основам применения методов и систем распознавания при разработке и принятии управленческих решений в организационных системах посвящена работа [3]. Основные этапы создания специализированных систем распознавания решений по устранению результатов действия возмущений на производственный процесс на примере систем распознавания решений по организа-

ции замены вышедших из строя СТО рассмотрены в работах [4, 5]. Основные этапы создания систем распознавания проблемных ситуаций, возникающих в первичной производственной системе в реальном масштабе времени в течение смены, вырабатывающих управленческие решения по корректированию сменного задания рассмотрены в работе [6].

Оперативное управление ходом производства на цеховом, межцеховом, заводском уровнях подобно управлению ходом производства на участковом уровне, т. е. оперативному управлению ходом производства в первичной производственной системе. Объектами оперативного управления цехового уровня являются производственные участки (первичные производственные системы), составляющие производственную структуру цеха. Имеется определенная совокупность стандартных управленческих решений, принимаемых ЛПР цехового уровня, для разрешения возникающих в процессе производства проблемных ситуаций на этом уровне управления. Проблемные ситуации следует распознать с целью выработки решений по устранению результатов действия возмущений, корректированию пооперационных планов изготовления предметов производства по участкам цеха на пятидневку (месяц).



Перечень задач распознавания проблемных ситуаций в оперативном управлении современным производством

Объектами оперативного управления межцехового уровня являются производственные цеха, составляющие производственную структуру основного производства предприятия. Имеется определенная совокупность стандартных управленческих решений, принимаемых ЛПР межцехового уровня, для разрешения возникающих в ходе производства проблемных ситуаций на этом уровне управления. Проблемные ситуации следует также распознать с целью выработки решений по устранению результатов действия возмущений, корректированию оперативных планов запуска и выпуска предметов производства по цехам на месяц (квартал).

Влияние внешних и внутренних возмущений на заводском уровне может приводить к необходимости принятия стандартных управленческих решений по устранению результатов действия возмущений, внесению изменений в программу выпуска продукции предприятия на месяц (квартал, год) или (и) в объемно-календарный план производства продукции.

Рассмотрим основные этапы построения специализированной системы распознавания проблемных производственных ситуаций, устанавливающей факты необходимости корректирования объемно-календарных планов производства, оперативных календарных планов, графиков и заданий по цехам, участкам, рабочим местам основного производства.

Этап № 1. Выбор принципа классификации

В качестве принципа классификации в данной системе распознавания целесообразно принять информацию о числе корректируемых календарных планов различных видов, графиков, заданий, используемых на заводском уровне управления и в оперативном управлении производством на межцеховом и внутрицеховом уровнях. На заводском уровне подразделение сводного планирования на основании программы выпуска продукции предприятия на квартал, год формирует объемно-календарный план выпуска продукции производством на месяц (квартал, год). На межцеховом уровне производственно-диспетчерский отдел (ПДО) рассчитывает оперативные планы запуска и выпуска предметов производства по цехам на месяц (квартал). На цеховом уровне планово-диспетчерское бюро (ПДБ) цеха рассчитывает пооперационные планы изготовления предметов производства по участкам цеха на пятидневку (месяц), на участковом уровне формирует по рабочим местам участков сменно-суточные задания (ССЗ) выполнения работ на сутки в разрезе смен, а также сменные задания (СЗ) на текущую смену.

Соответственно во множество стандартных решений по корректированию календарных планов, графиков заданий подразделениям основного производства предприятия включим пять решений, а именно:

R_1 — скорректировать объемно-календарный план (программу) выпуска продукции предприятием на месяц (квартал, год);

R_2 — скорректировать оперативные планы запуска и выпуска предметов производства по цехам на месяц (квартал);

R_3 — скорректировать пооперационные планы изготовления предметов производства участками цехов на пятидневку (месяц);

R_4 — скорректировать сменно-суточные задания выполнения работ на сутки рабочими местами участков;

R_5 — скорректировать сменные задания выполнения работ рабочими местами участков в течение смены.

Этап № 2. Разработка алфавита классов

В алфавит классов данной системы распознавания целесообразно включить шесть классов, пять из которых будут соответствовать указанным выше решениям $R_1—R_5$, а шестой класс укажет на отсутствие необходимости корректирования календарных планов, графиков, заданий, а именно:

Ω_1^U — объемно-календарный план (программа) выпуска продукции предприятием на месяц (квартал, год) — требует внесения изменений;

$\Omega_2^{C(U)}$ — оперативные планы запуска и выпуска предметов производства по цехам на месяц (квартал) — требуют внесения изменений;

$\Omega_3^{S(C)}$ — пооперационные планы изготовления предметов производства участками цехов на пятидневку (месяц) — требуют внесения изменений;

$\Omega_4^{k(S)}$ — сменно-суточные задания выполнения работ на сутки рабочими местами участков — требуют внесения изменений;

$\Omega_5^{k(S)}$ — сменные задания выполнения работ рабочими местами участков в течение смены — требуют внесения изменений;

Ω_6 — отсутствует необходимость внесения изменений в оперативные планы, графики, задания.

Этап № 3. Формирование рабочего словаря признаков

В рабочий словарь признаков этой системы распознавания нужно ввести первичные признаки, характеризующие результаты влияния внешних и внутренних возмущений на процесс производства, а также признаки, сигнализирующие о необходимости внесения изменений в календарные планы нижестоящего уровня по завершению внесения изменений в календарные планы вышестоящего уровня производственной структуры, а именно:

Y_1 — уменьшение спроса на продукцию предприятия ниже допустимого уровня во внешней среде;

Y_2 — увеличение спроса на продукцию предприятия выше допустимого уровня во внешней среде.

Невыполнение (досрочное выполнение) внешней средой установленных договорными обязательствами сроков поставки на предприятие сырья, материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий, трудовых ресурсов, инструментов, оснастки, оборудования, транспортных средств и прочего на недопустимую величину (создающее потенциальные возможности для выпуска дополнительной продукции) для организации выполнения:

Y_3 — объемно-календарного плана (программы) выпуска продукции предприятием на месяц (квартал, год);

Y_4 — оперативных планов запуска и выпуска предметов производства по цехам на месяц (квартал);

Y_5 — пооперационных планов изготовления предметов производства участками цехов на пятидневку (месяц);

Y_6 — сменно-суточных заданий выполнения работ на сутки рабочими местами участков.

Необеспеченность производства сырьем, материалами, полуфабрикатами, комплектующими изделиями, трудовыми ресурсами, инструментами, оснасткой, оборудованием, транспортными средствами и прочим или возникновение излишков по указанным элементам в результате влияния внутренних возмущений в процессе функционирования цехов, участков (первичных производственных систем), вспомогательных производств и обеспечивающих служб (обслуживающих подразделений), необходимость

выполнения дополнительных объемов работ или (и) исключения запланированных работ приводят к необходимости внесения изменений в следующие плановые документы:

Y_7 — объемно-календарный план (программу) выпуска продукции предприятием на месяц (квартал, год);

Y_8 — оперативные планы запуска и выпуска предметов производства по цехам на месяц (квартал);

Y_9 — пооперационные планы изготовления предметов производства участками цехов на пятидневку (месяц);

Y_{10} — сменно-суточные задания выполнения работ на сутки рабочими местами участков;

X_1 — установленные оперативные планы запуска и выпуска предметов производства цехами на месяц (квартал) по результатам корректирования объемно-календарного плана (программы) выпуска продукции предприятием на месяц (квартал, год);

X_2 — установленные пооперационные планы изготовления предметов производства участками цехов на пятидневку (месяц) по результатам корректирования оперативных планов запуска и выпуска предметов производства по цехам на месяц (квартал);

X_3 — установленные сменно-суточные задания выполнения работ на сутки рабочими местами участков по результатам корректировки пооперационных планов изготовления предметов производства участками цехов на пятидневку (месяц);

Y_{11} — существенные отклонения производительности рабочих мест; значимые изменения величин включенных в производство и находящихся в резерве ресурсов, а именно: сырья, материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий, трудовых ресурсов, инструментов, оснастки, оборудования, транспортных средств и прочих; необходимость выполнения дополнительных объемов работ или (и) исключения запланированных работ, возникающие в результате влияния внешних, внутренних возмущений в процессе функционирования участков (первичных производственных систем) в ходе смены и вызывающие потребность внесения изменений в установленные сменные задания выполнения работ рабочими местами участков.

Включенные в рабочий словарь первичные признаки — логические. Первичному признаку присваивается значение истинности вида "да (истинно)", которому соответствует значение, равное единице, если идентифицируемый признаком факт установлен. В противном случае первичному признаку присваивается значение истинности вида "нет (ложно)", которому соответствует значение, равное нулю. Установление значений признаков Y_1, \dots, Y_{11} возможно на основе применения специализированных систем распознавания уровней существенности (допустимости) действующих на производственный процесс контролируемых возмущений и возникших отклонений фактического состояния хода производства от целевого (запланированного) в результате действия неконтролируемых возмущений.

Этап № 4. Описание классов проблемных ситуаций на языке признаков

Описание классов проблемных ситуаций на языке рабочего словаря признаков принятого алфавита классов данной системы распознавания, используя аппарат алгебры логики, представим в следующем виде:

$$\Omega_1^U = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_7; \quad (1)$$

$$\Omega_2^{C(U)} = \bar{Y}_1 \times \bar{Y}_2 \times \bar{Y}_3 \times \bar{Y}_7 \times (X_1 + Y_4 + Y_8); \quad (2)$$

$$\Omega_2^{S(C)} = \bar{Y}_1 \times \bar{Y}_2 \times \bar{Y}_3 \times \bar{Y}_7 \times \bar{X}_1 \times \bar{Y}_4 \times \bar{Y}_8 \times (X_2 + Y_5 + Y_9); \quad (3)$$

$$\Omega_4^{K(S)} = \bar{Y}_1 \times \bar{Y}_2 \times \bar{Y}_3 \times \bar{Y}_7 \times \bar{X}_1 \times \bar{Y}_4 \times \bar{Y}_8 \times \bar{X}_2 \times \bar{Y}_5 \times \bar{Y}_9 \times (X_3 + Y_6 + Y_{10}); \quad (4)$$

$$\Omega_5^{K(S)} = \bar{Y}_1 \times \bar{Y}_2 \times \bar{Y}_3 \times \bar{Y}_7 \times \bar{X}_1 \times \bar{Y}_4 \times \bar{Y}_8 \times \bar{X}_2 \times \bar{Y}_5 \times \bar{Y}_9 \times \bar{X}_3 \times \bar{Y}_6 \times \bar{Y}_{10} \times Y_{11}; \quad (5)$$

$$\Omega_6 = \bar{Y}_1 \times \bar{Y}_2 \times \bar{Y}_3 \times \bar{Y}_7 \times \bar{X}_1 \times \bar{Y}_4 \times \bar{Y}_8 \times \bar{X}_2 \times \bar{Y}_5 \times \bar{Y}_9 \times \bar{X}_3 \times \bar{Y}_6 \times \bar{Y}_{10} \times \bar{Y}_{11}, \quad (6)$$

где "+" — логическое "или", "×" — логическое "и", \bar{X} — отрицание X ("не X ").

Этап № 5. Выбор алгоритма распознавания

Алгоритм распознавания ситуаций, вызывающих необходимость корректирования оперативных планов производства, целесообразно построить на основе метода сокращенного базиса [7]. Размер матрицы составит $20 \times 2^{14} = 20 \times 16\,384 = 327\,680$ бит (20 строк матрицы — это сумма 14 признаков и шести классов, а 16 384 столбца (2^{14}) — это число возможных комбинаций из 14 признаков).

Внедрение предложенных специализированных систем распознавания проблемных ситуаций, возникающих в производстве, в практику организации управления производственными процессами промышленных предприятий способствует устранению традиционной имеющейся двойственности в работе "по плану" и "дефициту". Гибко корректируемая совокупность календарных планов, графиков, заданий на современном промышленном предприятии, адекватная реакция организационной системы управления производством на внешние и внутренние возмущения в реальном масштабе времени, основанные на широком применении специализированных систем распознавания проблемных ситуаций, диктуют необходимость наличия единой взаимоувязанной совокупности целеполагающих директивных решений (календарных планов, графиков, заданий), в соответствии с которой возможна организация скоординированного, слаженного функционирования производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Волоченко В. А.* Организация управления производственным процессом машиностроительного предприятия на основе распознавания проблемных ситуаций (теория, методология, методы реализации): Монография. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2007. 216 с.
2. *Волоченко В. А.* Распознавание уровней иерархии управления организацией в проблемных ситуациях // Теория и практика институциональных преобразований в России / Под ред. Б. А. Ерзнкяна: Сб. науч. тр. Вып. 7. М.: ЦЭМИ РАН, 2006. С. 93—98.
3. *Волоченко В. А.* Теоретические основы применения методов и систем распознавания при разработке и принятии управленческих решений // Технология машиностроения. 2006. № 7. С. 76—84.
4. *Волоченко В. А.* Организация замены вышедших из строя инструментов в производственном процессе на основе применения систем распознавания // Организатор производства — Теоретический и научно-практический журнал. 2006. № 4 (31). С. 80—85.
5. *Волоченко В. А.* Устранение действия контролируемых возмущений в машиностроительном производстве // Технология машиностроения. 2007. № 1. С. 80—85.
6. *Волоченко В. А.* Контроллинг хода выполнения оперативных заданий в машиностроительном производстве // Журнал объединения контроллеров "Контроллинг". 2006. № 20. С. 70—78.
7. *Горелик А. Л., Скрипкин В. А.* Методы распознавания: Учеб. пособие для вузов. 4-е изд., испр. М.: Высшая школа, 2004. 261 с.

ОБРАЗОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ

УДК 658.386

В. А. ДЕМИН, д-р техн. наук, В. В. УЖВА, канд. техн. наук
Московский государственный индустриальный университет

Интегрированная система подготовки специалистов

Одной из основных задач инженерного образования в настоящее время является обеспечение промышленности высококвалифицированными специалистами, способными эффективно решать различные научно-технические, технологические и экономические проблемы в условиях жесткой конкуренции на внутреннем и международном рынках. Поэтому необходимо совершенствовать университетское техническое образование, искать и применять новые формы и технологии обучения, позволяющие объединить образовательную, научную и производственную деятельность с целью подготовки специалистов для высокотехнологичных производств. Большие возможности для этого в современных условиях открывают университетские комплексы. Создание университетских комплексов определено постановлением Правительства РФ от 17.09.2001 г. № 676 в виде объединения образовательных, научных, производственных и иных организаций, дающих основу для повышения эффективности и качества образовательного процесса, более полному использованию имеющихся интеллектуальных, материальных и производственных ресурсов. Однако для успешной работы необходим эффективный механизм функционирования, определяющий взаимодействие подразделений университетского комплекса. Одним из возможных вариантов такого механизма является интегрированная система обучения (ИСО), по которой традиционно осуществляется подготовка специалистов в МГИУ со дня его основания. Интегрированная система предполагает органичное соединение теоретического обучения студента в вузе с производственной подготовкой по избранной специальности на предприятии, организации или фирме.

В дополнение к постановлению Правительства приказом Министерства образования РФ от 01.08.2001 г. № 2853 принято решение о проведении эксперимента по разработке моделей и механизмов функционирования университетских комплексов. Данным приказом МГИУ присвоен статус "Федеральная экспериментальная площадка — Университетский комплекс" и наряду с другими вузами разрешен эксперимент по созданию университетского комплекса по интегрированной системе обучения. В настоящее время в рамках университетского комплекса МГИУ на основе ИСО взаимодействует с АМО—ЗИЛ, ГУН "Мосгортранс", АО "Московский подшипник", академическими институтами ИМАШ РАН и ИМЕТ РАН, Конфедерацией промышленников и предпринимателей Москвы, 40 школами и колледжами, другими организация-

ми. Схема реализации ИСО в рамках университетского комплекса приведена на рисунке. Одним из основных элементов ИСО является профессиональная производственная подготовка (ППП) — обучение в сочетании с личным участием студентов в трудовом процессе, реализуемом на предприятии.

Интегрированная система обучения наряду с традиционными возможностями позволяет:

- подготовить выпускника средней школы к осознанному выбору будущей специальности;
- студентам младших курсов оценить правильность сделанного выбора и определить траекторию обучения в определенных законодательством ступенях высшего профессионального образования с присвоением квалификации "бакалавр", "дипломированный специалист", "магистр";
- студентам старших курсов в процессе ППП сочетать практическую деятельность с обучением, что способствует формированию профессиональных навыков, позволяет в результате взаимодействия с работодателем оценить перспективы дальнейшего трудоустройства;
- осуществлять целевую подготовку "под заказ", что позволяет провести трудоустройство большинства выпускников по специальности с перспективой карьерного роста и приемлемым уровнем заработной платы;
- обеспечить вузу обратную связь с предприятиями и отслеживать выпускников после окончания университета с целью корректировки содержания учебного процесса.

Рассмотрим более подробно реализацию основных элементов ИСО в рамках университетского комплекса. Серьезной проблемой в настоящее время является привлечение на инженерные специальности выпускников средних учебных заведений, имеющих необходимый для обучения в высшей школе уровень подготовки по естественно-научным дисциплинам. Во многих инженерных вузах пришли к убеждению, что для обеспечения приема необходимо систематически работать с учащимися средней школы. Наиболее распространенными формами такой работы являются подготовительные курсы и профильные классы в школах. Поэтому включение в состав университетского комплекса средних учебных заведений является очевидным и необходимым. В университетском комплексе МГИУ специализированные классы формиру-

ются совместно с дирекцией школы на базе выпускников девярых классов.

В настоящее время более 100 преподавателей университета работают в штате 40 московских школ.

Другим важным направлением является профориентация и довузовское профессиональное обучение, позволяющее predeterminedить выбор будущей профессии. Этому способствует наличие в расписании школьников 1 раз в неделю вузовского дня, когда кроме изучения профильных предметов проводятся занятия на предприятиях и в лабораториях университета по основам технических специальностей, устройству и обслуживанию отечественных и зарубежных автомобилей, комплектации, ремонту и модернизации компьютеров, информационным технологиям и др. В этой работе принимают участие все партнеры по университетскому комплексу.

В соответствии с Концепцией модернизации российского образования на период до 2010 г. в вузах наряду с одноступенчатой структурой высшего образования, связанной с подготовкой дипломированных специалистов, внедряется двухступенчатая структура, обеспечивающая реализацию образовательных программ по направлениям подготовки с присуждением степени бакалавра или магистра. Вузы накопили опыт по комбинированию указанных образовательных программ и в настоящее время осуществляют их реализацию по различным схемам: независимой — траектория подготовки по специальностям и направлениям не имеет общих частей; линейной — траектории накладываются одна на другую; разветвляющейся — траектории обучения на первых курсах совмещены с последующим разветвлением на старших.

Наибольшее распространение на современном этапе получила последняя схема, очевидно, в силу меньших ресурсных затрат, а конкретные варианты реализации в различных вузах отличаются лишь точками разветвления после второго, третьего или четвертого курсов. МГИУ в реализации учебного процесса тоже придерживается этой схемы. Это требует унификации учебных планов с целью оптимизации учебного процесса, например изучение большинства дисциплин бакалавриата в единых потоках с будущими инженерами. Однако цикл специальных дисциплин бакалавриата в стандартах задан лишь общим объемом часов на все дисциплины, а в стандартах специальностей приводится перечень обязательных дисциплин. Возможны два варианта создания взаимосвязанных планов. Первый, менее затратный, предполагает расширение фундаментальной подготовки бакалавров и введение дисциплин, являющихся общими для всех специальностей, входящих в данное направление. Второй основан на том, что введение учебных дисциплин по выбору студентов определяет направленность той или иной образовательной программы и при формировании учебных планов бакалавриата принимается, что это есть дисциплины, присущие только отдельным специальностям, входящим в данное направление. В этом случае, с од-

ной стороны, ограничиваются права студента на свободу выбора траектории обучения, так как проблематично изменить ранее выбранную специальность на другую в рамках одного направления из-за необходимости досдачи ряда специальных дисциплин. С другой стороны, это содействует подготовке бакалавра к профессиональной работе после четвертого курса, оставляет возможность перехода с направления на специальность и, наоборот, до окончания четвертого курса, а при взаимосвязанных стандартах на подготовку дипломированных специалистов и магистров — даже позже. Это позволяет корректировать образовательную траекторию в зависимости от склонности студента к научной или практической деятельности, от отношения работодателей к квалификации "бакалавр" или "магистр" (не всегда положительного в настоящее время). Более подробно проблемы совмещения образования по специальностям и направлениям в технических вузах изложены в работе [1].

МГИУ, реализуя обучение по направлениям и специальностям, придерживается последнего варианта в сочетании с ИСО, хотя и имеет свои особенности, предусмотренные Типовым положением об образовательном учреждении высшего профессионального образования [2]. В соответствии с п. 30 "допускается сочетание различных форм получения образования, в том числе соединение очной формы обучения с работой на предприятии, в учреждении, организации". Срок освоения образовательной программы в этом случае в соответствии с п. 32 может быть увеличен. На этом основании в МГИУ срок подготовки дипломированных специалистов по очной форме обучения в соответствии с лицензией составляет 5,5 лет. Это позволяет при обязательном выполнении образовательных стандартов, начиная с восьмого семестра для очной формы, перейти на обучение в вечернее время с одно-

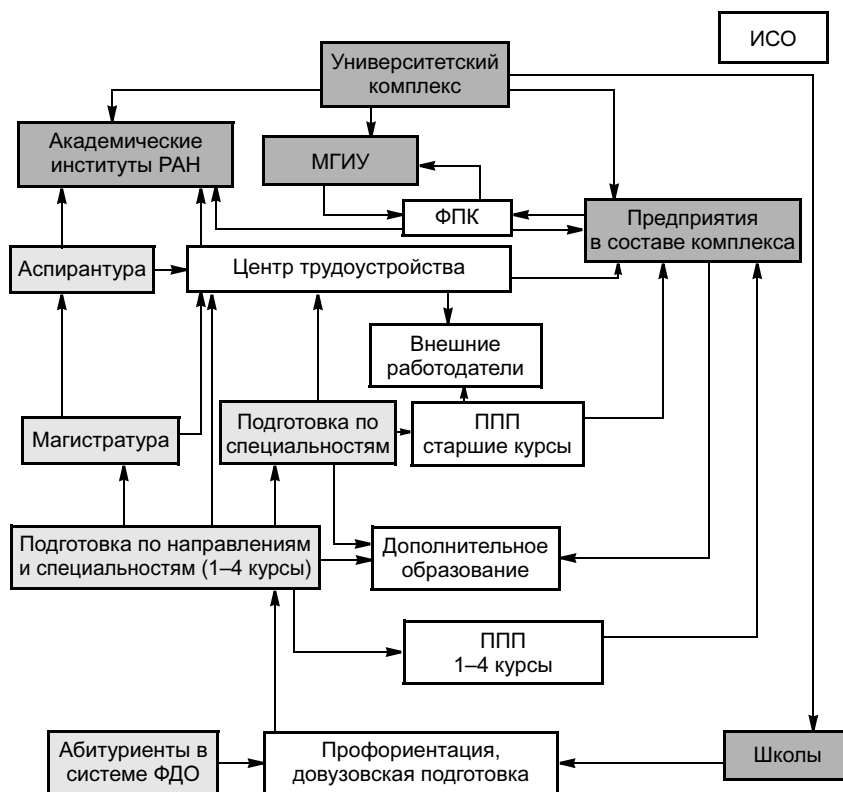


Схема реализации ИСО в рамках университетского комплекса

временным оформлением студентов в штат предприятий на полный рабочий день. Подобный подход существенно отличается от традиционной практики студентов возможностью трудоустройства и адаптации к условиям реальных производственных отношений до завершения обучения в вузе и регламентируется утвержденным в университете Положением о профессиональной производственной подготовке студентов МГИУ. Трудоустройство и прохождение ППП осуществляются под руководством Центра трудоустройства, преподавателей профилирующих кафедр и специалистов предприятий и организаций. Таким образом, в восьмом семестре студенты, выбравшие обучение по специальности, переходят на рассмотренный график обучения и теряют возможность получения степеней бакалавра и магистра, а продолжающие обучение по направлению подготовки проходят итоговую аттестацию и получают квалификацию бакалавра. В дальнейшем бакалавры могут продолжить обучение как в магистратуре, так и для получения квалификации дипломированного специалиста. При обучении в магистратуре содержание ППП приобретает научно-исследовательский характер и реализуется в академических институтах, НИИ или на кафедрах университета.

Существенную роль при реализации ИСО играет дополнительное образование, необходимость которого объясняется как дополнительными требованиями предприятий при подготовке специалистов "под заказ", так и

спросом со стороны студентов университета, партнеров по университетскому комплексу, сторонних организаций. В перечень образовательных услуг входит второе высшее экономическое образование в дополнение к техническому, углубленное изучение иностранных языков, современных информационных технологий, элитная подготовка и научно-исследовательская работа студентов и многое другое, что обеспечивает успешное трудоустройство выпускникам и перспективы карьерного роста работникам предприятий. Важное место в системе образования в настоящее время занимает повышение квалификации как работников предприятий, так и преподавателей вузов. Требуется постоянный обмен знаниями в области новых технологий, что наиболее эффективно осуществлять в рамках университетского комплекса, когда одни и те же преподаватели и сотрудники могут быть как учащимися, так и учителями.

В заключение можно сделать вывод об эффективности применения ИСО в качестве механизма функционирования и взаимодействия подразделений университетского комплекса в современных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Научно-методические основы и практика организации учебного процесса в вузе* / И. А. Новаков, Ю. В. Попов, В. Н. Подлеснов и др.: Учеб. пособие. Волгоград: ВолгТУ, 2003. 316 с.
2. *Хохлов Н. Г.* О роли высшей школы на переломном этапе // *Машиностроение и инженерное образование*. 2005. № 1. С. 40—46.

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

РОССИЯ, МОСКВА, МВЦ «КРОКУС-ЭКСПО»
21 – 24 октября 2008
 СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ,
 ОБОРУДОВАНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ

WELDEX
 РОССВАРКА

8-я Международная специализированная выставка

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

Почтовый адрес: 107113, Россия, Москва, Сокольнический Вал, 1, павильон 4
 Дирекция выставки: тел./факс: (495) 925-34-82, e-mail: mns@mvk.ru

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВА ЗАО «МВК»:

МВК СЕВЕР-ЗАПАД: +7 (812) 332-15-24	МВК СИБИРЬ: +7 (383) 291-13-88
МВК УРАЛ: +7 (343) 371-24-76	МВК ЮГ: +7 (863) 234-52-45
МВК ВОСТОК: +7 (843) 291-75-89	

Организатор: ЗАО «Международная Выставочная Компания»
 При поддержке: Московской Магистратской Ассоциации Главных Сварщиков
 Под патронажем: Торгово-промышленной палаты РФ
 При содействии: Азсар, СВАРНИК, СВАРНИК-ИНТЕР, СВАРНИК-ЭКОНОМ, СВАРНИК-СТАЛЬ
 Генеральный информационный спонсор: МВК
 Информационные спонсоры: СВАРНИК, СВАРНИК-ИНТЕР, СВАРНИК-ЭКОНОМ, СВАРНИК-СТАЛЬ, TM, WELDING, WELDING, WELDING, WELDING

Публикуется на правах рекламы

УДК 621.791:061.2/4

5-я Международная специализированная выставка и конференция "Покрытия и обработка поверхности — 2008"

С 9 по 11 апреля 2008 г. в Москве в конгресс-центре ЦМТ прошли Международная специализированная выставка и конференция "Покрытия и обработка поверхности — 2008", организованные компаниями "Примэкс-по" (Санкт-Петербург) и ITE GROUP PLC (Великобритания) при поддержке Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии, Комитета Совета Федерации Федерального Собрания РФ по промышленной политике, Российского союза промышленников и предпринимателей, Российского химического общества им. Д. И. Менделеева, Российского Союза химиков. Свою продукцию представили более 110 компаний из России, Германии, Чехии, Италии, Франции, США, Швеции, Тайваня и Польши.

Ниже приведены отечественные и зарубежные организации, компании и фирмы, и экспонируемые ими научно-технические разработки и инновационные проекты в области производства оборудования и материалов для покрытия и обработки поверхности, а также экологии и неразрушающего контроля.

Группа компаний "Гальвано Групп" в составе Технопарка РХТУ им. Д. И. Менделеева (Москва):

— поставка гальванических линий различной производительности, конфигурации и степени автоматизации;

— модернизация и автоматизация действующего гальванического оборудования;

— уникальное оборудование для анодирования алюминия, нанесения гальванических покрытий на проволоку, ленту, автомобильные диски, гальвано-химической обработки основных элементов авиационных двигателей;

— оборудование для процессов химического никелирования;

— специальные установки для обработки мелких деталей;

— системы очистки промышленных стоков "ВИОН" от ионов хрома, никеля, меди, цинка, кадмия, свинца и других тяжелых металлов и их соединений;

— очистные сооружения гальванических производств.

На рис. 1 приведено гальваническое оборудование для нанесения покрытий.



а)



б)

Рис. 1. Гальваническое оборудование для нанесения покрытий: а — гальваническая линия; б — очистное сооружение для гальванических производств

ООО "Гранит-М" (г. Уварово Тамбовской обл.):

— емкостное оборудование (цилиндрические емкости объемом до 30 м³), гальванические ванны из полимерных материалов (материал корпуса — полипропилен, полиэтилен, дополнительная футеровка листо-

вым фторопластом для особо агрессивных сред), системы вентиляции, барабаны гальванические;

— автоматизированные, механизированные (автооператорные) и ручного обслуживания гальванические линии барабанно-подвесочного типа для любых покрытий (рис. 2);



Рис. 2. Гальваническая линия барабанно-подвесочного типа для покрытий любых видов

— комплексы по очистке сточных вод гальванических производств (используют два метода очистки: очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов реагентным способом и очистка сточных вод с замкнутым оборотом на базе вакуум-выпарных установок).

ООО "ГальваноХром" (Санкт-Петербург):

— технология твердого размерного хромирования с неполным погружением и вращением детали наружных и внутренних поверхностей. Основная номенклатура деталей: крупногабаритные штоки диаметром до 0,8 м и длиной до 18 м, пробки шаровых кранов диаметром до 2,2 м, наружное и внутреннее хромирование цилиндров диаметром до 0,6 м и длиной до 15 м;

— технология скоростного размерного хромирования в протоке электролита наружных и внутренних поверхностей (основное отличие от других технологий хромирования —



Рис. 3. Оборудование для хромирования при неполном погружении детали в электролит и ее вращении

полное отсутствие открытого зеркала электролита, а также возможность применения повышенных плотностей тока). Основная номенклатура деталей: цилиндры штанговых насосов, поршневые кольца, трубы специального назначения (внутренний диаметр более 5 мм);

- технология размерной электрохимической обработки (ЭХО) в протоке электролита внутренней поверхности каналов труб;

- технология обработки цилиндрических и конических наружных и внутренних поверхностей тел вращения, например, каналов труб, с использованием электрохимического травления образца и одновременной механической обработкой притиранием (электрохимическое хонингование).

На рис. 3 приведено оборудование для хромирования при неполном погружении детали в электролит и ее вращении.

ООО "ЛВ-Инжиниринг" (Москва):

- изделия из полипропилена (ванны, футеровки, воздухопроводы, фильтры, автооператоры, системы управления);

- оборудование для сточных вод;

- очистные сооружения производительностью от 3 до 10 м³/ч;

- гальванические линии и гальванические установки (цинкование, меднение, никелирование, хромирование, оксидирование, анодирование, травление и др.);

- системы управления технологическими режимами и распределением электропитания гальванических линий (поставка только в комплекте с гальваническими линиями и гальваническими установками).

ООО "Полипласт" (Псков):

- автоматические и механизированные гальванические линии, ванны и емкости из коррозионно-стойких материалов, полипропиленовые гальва-

нические барабаны. Конструкция барабана защищена патентом РФ на изобретение, имеет одно из лучших среди применяемых в Европе аналогов оборудования соотнесенной собственной массы к полезной нагрузке. Применяется для гальванической обработки поверхности мелких деталей в автоматических линиях (рис. 4);

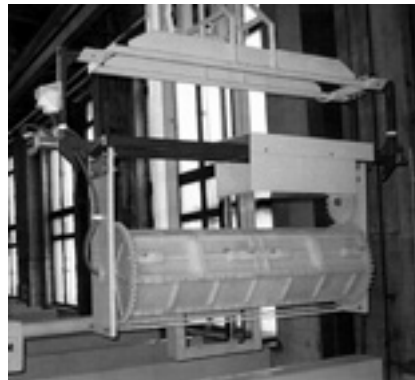


Рис. 4. Каретка вместе с барабаном перемещается по механизированной гальванической линии (фрагмент)

- установки глубокой биологической очистки сточных вод, а также бассейны из полипропилена.

НТК "Процесс" (Санкт-Петербург) — разработка и реализация комплексных проектов по созданию и реконструкции действующих гальванических производств с очистными сооружениями. Проекты и оборудование разрабатывают для всех процессов, применяемых в гальванических производствах (от блоков покрытия драгметаллами до линий подготовки цехов горячего цинкования с ваннами объемом более 50 м³). Предприятие ведет разработку специальных разделов, в т. ч. "Охрана окружающей среды". Имеет соответствующие сертификаты, лицензии и разрешения на применение оборудования.

Компания "Рейнгольд" (Москва):

- механические и автоматические установки и линии гальванической обработки поверхностей;

- автоматические линии для гальванической обработки деталей, в т. ч. крупногабаритных, размером до 24 м;

- автоматические линии с замкнутой системой водооборота;

- установки для гальванообработки проволоки, прутка;

- линии металлизации печатных плат.

Компания "Сигма Аква Технолоджис" (Москва):

- обследование, проектирование, изготовление, поставка, монтаж и пусконаладка оборудования по гальванике, очистке стоков и водоподготовке — единый комплекс взаимосвязанных процессов: водоподготовки, обработки поверхности, очистки сточных вод и вредных примесей выбросов производства;

- модернизация и автоматизация существующих гальванических производств, очистных сооружений и систем вентиляции.

ОАО "Тамбовгальванотехника" им. С. И. Лившица:

- проектирование и изготовление автоматических и механизированных линий, а также другого оборудования для нанесения покрытий анодированием, гальваническим и химическим методами, в т. ч. многопроцессные линии с компьютерной системой управления для химической и электрохимической обработки поверхности и нанесения покрытий (линии кареточные овальные подвесочные, линии автооператорные автоматические и механизированные);

- средства малой механизации для гальванотехники (ванны колокольные серии ВК для нанесения электрохимических покрытий на мелкие детали, ванны для подготовки поверхности и нанесения покрытий с ручным обслуживанием, установка барабанная УПН-3, установки хромирования длиномерных штоков УГ-4Э, хромирования поршневых колец (модель УП-7), барабан переносной БП-2, титановые корзины для анодов и др.) (рис. 5);

- оборудование для очистки сточных вод гальванических производств (установки фильтровальные, насосы химически стойкие, установка очистки стоков УОС-5, фильтрационная установка).



Рис. 5. Колокольная ванна серии ВК для нанесения электрохимических покрытий на мелкие детали

Следует отметить компании, выпускающие химическую продукцию для гальванических процессов: **ООО "Арбат"** (Тольятти) — специальные добавки для химико-механического цинкования, добавка к электролиту — катализатор хромирования, композиция для пропитывания и смазывания фосфатированных заготовок деталей и др.; **ООО "Плазма К"** (Москва) — блескообразующие добавки для гальваники "Импульс", совместимые практически со всеми аналогичными добавками; **ООО "Сонис"** (Москва) — специальные химические составы, блескообразующие и другие добавки для химико-гальванических процессов; **предприятие "Химсинтез"** (Дзержинск Новгородской обл.) — блескообразующие добавки для гальваники и реагенты для бумажной промышленности, химические продукты для гальванического цинкования, никелирования, нанесения покрытий из сплавов цинка, а также конверсионные покрытия, не содержащие опасных веществ, в частности ионов фтора и хрома.

Центр порошковых красок "Магистр" (Москва):

— окраска изделий из металла, оцинкованной стали, алюминиевого профиля, металлических дверей (более 200 наименований порошковых материалов ведущих российских и европейских производителей, в т. ч. с различными цветовыми эффектами). Качество и долговечность порошковых покрытий обеспечиваются фосфатированием поверхности алюминиевых и стальных изделий, а также нанесением порошкового полиамидного покрытия;

— оборудование для порошковой окраски (краскораспылители, окрасочные манипуляторы, камеры,

циклоны и рекуператоры, печи полимеризации).

ЗАО "Р. П. Е." (Санкт-Петербург):

— оснащение предприятий качественными современными окрасочными комплексами (участки и линии порошковой и жидкостной окраски, окрасочно-сушильные камеры промышленного назначения, электрофорез);

— вспомогательное оборудование (дробеструйное оборудование, мобильные платформы, транспортные системы, системы очистки стоков);

— техническая поддержка (гарантийное и послепродажное обслуживание, модернизация устаревшего оборудования, поставка и продажа расходных материалов и комплектующих и др.).

На рис. 6 приведен типовой участок порошковой окраски.

ЗАО "Интеркраска" (Санкт-Петербург—Москва) — порошковые краски (полиэфирные, эпоксидные, эпоксидно-полиэфирные, специальные добавки к порошковым краскам) производства фирмы INVER (Италия).

Группа "Технополис", ООО "Технологические покрытия" (Москва) — комплексное восстановление металлорежущего инструмента и нанесение износостойких покрытий на различные штампы, пуансоны, матрицы, пресс- и литейные формы и др. Центр восстановления инструмента производит удаление изношенного покрытия, переточку металлорежущего инструмента, специальную подготовку и финишную обработку режущих кромок, контроль качества переточки, нанесение износостойкого покрытия, контроль качества по-

крытия, лазерную маркировку, упаковку. Оборудование для нанесения износостойких покрытий включает установку для нанесения покрытий PLATIT Pi80, размер рабочей зоны 400 × 300 × 520 мм (Швейцария). Основные виды покрытий: общего назначения, специальные высокопроизводительные нанокompозитные (нанокристаллические "зерна" внедрены в аморфную матрицу) и др.

ФГУП "Приборостроительный завод" (г. Трехгорный Челябинской обл.):

— высокоточная лазерная резка листового и трубного проката, газовая и плазменная резка листов, ковка, горячая и холодная штамповка, механообработка, гибка деталей, сварка, термическая обработка, литье по выплавляемым моделям;

— нанесение гальванических, химических и ионно-плазменных покрытий.

Ионно-плазменное нанесение покрытий нитрида бора на детали различного назначения осуществляется в установках "Булат-6" с камерой диаметром 400 мм, высотой 700 мм.

ООО "Промышленная Группа" (Санкт-Петербург):

— нанесение функциональных нанокompозитных покрытий на режущий инструмент, пресс-формы, штампы, литейные формы и др.;

— технологическое обслуживание металлообрабатывающего инструмента (заточка, восстановление, нанесение упрочняющих покрытий);

— подбор и поставка высококачественного оборудования, инструмента и инструментальной оснастки.



Рис. 6. Типовой участок для порошковой окраски

Обнинский Центр порошково-напыления (ОЦПН) — разработка и производство профессионального оборудования серии "ДИМЕТ" для нанесения металлических покрытий газодинамическим методом с использованием порошковых материалов различного назначения (рис. 7). Оборудование позволяет наносить алюминийевые, медные, цинковые, никелевые, оловянные, свинцовые и баббитовые покрытия при производстве изделий и выполнении ремонтно-восстановительных работ; может использоваться автономно, а также встраиваться в автоматизированные рабочие посты и конвейерные линии. Предприятие выпускает три модели (412, 405 и 404) оборудования серии "ДИМЕТ" для различных условий работы.

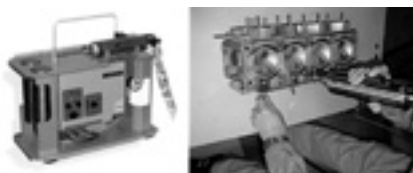


Рис. 7. Оборудование серии "ДИМЕТ" для нанесения металлических покрытий

ЗАО "ПСБ-Галс" (Москва):

— ультразвуковое оборудование серии ПСБ (8 моделей) для очистки деталей различной конфигурации из стали, сплавов и неметаллических материалов, а также деталей точной механики, различного инструмента, медицинской техники и др. (в том числе и в труднодоступных местах, где обычные методы очистки невозможны, либо малоэффективны);

— технические моющие средства для очистки деталей: галс-электроникс (печатные платы, электронные компоненты), галс-авто (форсунки двигателей внутреннего сгорания, карбюраторы, свечи зажигания), галс-ювелир (ювелирные изделия), галс-универсал (детали различной конфигурации);

— антикоррозионные химически стойкие покрытия;

— нестандартное ультразвуковое оборудование (технические характеристики определяет заказчик в техническом задании).

Группа компаний "РЭЛТЕК" (Екатеринбург):

— ультразвуковое технологическое оборудование для очистки,

обезжиривания, интенсификации химических процессов, дегазации и др., в том числе:

— пьезокерамические и магнитострикционные ультразвуковые преобразователи (излучатели);

— ультразвуковые генераторы;

— ультразвуковые ванны на базе пьезокерамических и магнитострикционных излучателей с объемом от 1 до 200 л;

— ультразвуковые установки для очистки стоматологического инструмента, форсунок инжекторных автомобильных двигателей, проволоки;

— автоматизированные ультразвуковые линии очистки в водорастворимых щелочных моющих растворах с последующим ополаскиванием и сушкой различных изделий (рис. 8).



а)



б)

Рис. 8. Ультразвуковое оборудование: а — ультразвуковая система очистки форсунок двигателей внутреннего сгорания серии УЗОФ; б — форсунки двигателя внутреннего сгорания (до и после очистки)

ООО "РусДорф" (Санкт-Петербург) — современная технология очистки сухим льдом. Осуществляется нагнетанием гранул сухого льда (твердой фракции CO_2) под давлением воздушной струи на очищаемую поверхность. В процессе очистки гранулы сухого льда, движущиеся с ускорением в воздушной струе, подаются с помощью шланга и сопла непосредственно на очищаемую поверхность. Скорость такой воздушной струи на выходе из сопла близка к сверхзвуковой. При ударе гранул



Рис. 9. Очистка поверхности сухим льдом

происходит очищение поверхности (масложировые загрязнения, остатки вулканизации резины, старая краска и др.). Очистку и подготовку поверхности изделий производят без использования песка, дроби, воды, органических растворителей, демонтажа производственного оборудования. Процесс очистки сухим льдом экологически чистый (после очистки гранулы сухого льда испаряются в окружающую среду) (рис. 9).

Технологическая компания "ПУЛЬСАР-инжиниринг" (Москва):

— кавитационно-вихревая обработка жидкости. Технология предназначена для очистки сточных вод, переработки нефти, производства строительных материалов, для использования в сельском хозяйстве;

— гомогенизатор — принципиально новый тип мелющего устройства, позволяющий снизить себестоимость производственных процессов одновременно с повышением их качества. Установка производит измельчение, активацию, растворение, гомогенизацию и термостабилизацию веществ практически любой твердости, а также пластичных материалов. Получен патент на изобретение;

— высокоэффективная очистка поверхностей от загрязнений на установке "Градобой". В качестве абразивного материала применяются гранулы льда, разгоняемые до высоких скоростей охлажденным сжатым воздухом.

ООО "Термал-Спрей-Тек" (Москва):

— струйно-абразивное оборудование (ручные эжекторные струйно-абразивные камеры — модификации серии АК-200), ручные напорные струйно-абразивные камеры — модификации серии АКН-200, автома-

тизированное струйно-абразивное оборудование, струйно-абразивные камеры с использованием напорных схем подачи и разгона абразива по шлангам длиной от 10 до 40 м);

— струйно-абразивное беспылевое оборудование Problast (Германия). Установки беспылевой струйно-абразивной обработки имеют замкнутый оборот абразива (отработанный абразив отсасывается и готовится к повторному использованию). Процесс экологически чистый. Установки Problast предназначены для обработки круглых (например валцов) и плоских деталей (рис. 10). В качестве абразивной дроби используются все известные материалы с размером зерна от 0,1 до 1,5 мм;



а)



б)

Рис. 10. Оборудование для струйно-абразивной обработки: а — ручная обработка сварного шва; б — автоматическая струйно-абразивная обработка валцов прокатного стана

— оборудование для электродуговой металлизации (защитные и износостойкие покрытия для машиностроения).

ООО "Эколайн" (Москва) — оборудование для обезжиривания деталей без промывки водой, негорючим растворителем по замкнутому циклу. В качестве растворителя используется перхлорэтилен (ПХЭ), что позволяет защитить окружающую среду путем уменьшения (в сотни раз) выбросов загрязняющих веществ в воду и атмосферу (рис. 11). Оборудование универсальное, широкой области применения.



Рис. 11. Комплексы для обезжиривания деталей "ЭКОЛАЙН" (модель МР-500)

ЗАО "Квант минерал" (Санкт-Петербург) — очистка промышленных, гальванических, ливневых и других стоков от ионов тяжелых металлов, взвешенных веществ, нефтепродуктов, красителей и других загрязняющих примесей до норм ПДК с помощью активированного алюмосиликатного адсорбента "ГЛИНТ". Уникальные свойства данного адсорбента, в зависимости от вида загрязнений, обеспечивают одновременное протекание процессов ионного обмена, контактной коагуляции и физической сорбции. Это гарантирует высокоэффективную очистку природной воды и промышленных стоков до нормативных показателей от различных загрязнений. Имеется сертификат на соответствие государственным санитарно-эпидемиологическим правилам и нормативам.

Научно-производственный кооператив "Регенератор" (Москва) — бессточная технология гальванических процессов. Основана на принци-

пе очистки воды по замкнутому циклу с использованием фильтрующего элемента (минерально-углеродного сорбента). Установка регенерации промывочных вод (УРПВ) осуществляет трехступенчатую промывку для возврата уловленного электролита в рабочий технологический процесс. При этом степень очистки соответствует технологическим нормам для промывочной воды в гальванических процессах нанесения покрытия.

Оборудование и приборы неразрушающего контроля представили следующие фирмы: **ЗАО "Константа"** (Санкт-Петербург) — приборы для комплексного контроля защитных покрытий всех типов и подготовки лакокрасочных материалов (малогабаритный многофункциональный прибор для измерения толщины покрытий всех типов серии "Константа", дефектоскопы электроискровые "Корона", дефектоскоп электролитический "Константа-ЭД", адгезиметры "Константа-СА2", прибор для определения прочности пленок при ударе "Константа У-1А", вискозиметры и др.); **НПЦ "Кропус"** (Ногинск Московской обл.) — новые приборы и системы неразрушающего контроля (промышленный ультразвуковой дефектоскоп УСД-60, ультразвуковой толщиномер с А-сканом УДТ-40, автоматизированная система неразрушающего контроля валов авиационных двигателей АСНК-ВАЛ.АВИА, автоматизированная вихревая установка УКСТ-11), приборы механического контроля лакокрасочных материалов и покрытий, оборудование для магнитопорошкового контроля, рентгеновские аппараты РАП-XX и др. (рис. 12). НПЦ "Кропус" осуществляет поставки оборудования неразрушающего контроля ряда ведущих зарубежных фирм: Elcometer, Pandmetrics NDT, Magnaflux и др.



Рис. 12. Оборудование и приборы неразрушающего контроля (НК): а — ультразвуковой толщиномер с А-сканом УДТ-40; б — автоматизированная система НК валов авиационных двигателей АСНК-ВАЛ. АВИА

Компания "АСК-Рентген" (Санкт-Петербург) — измерительная техника компании Helmut Fischer GmbH (Германия):

— приборы для определения свойств и толщины покрытий:

— универсальная измерительная система для контроля практически любых сочетаний "покрытие/подложка". Система может быть укомплектована различными датчиками, что позволяет применять различные методы контроля для измерения толщины покрытия, электрической проводимости, температуры и содержания феррита в аустенитных сталях;

— приборы для измерения толщины и анализа состава гальванических покрытий, а также точного элементного анализа материалов;

— прибор для измерения микротвердости в соответствии со стандартом DIN EN ISO 14577—1;

— приборы для измерения электрической проводимости алюминия, особенно для аэрокосмической промышленности;

— приборы для измерения содержания феррита в сварных соединениях аустенитных сталей.

Среди зарубежных фирм и компаний, отражающих прогрессивные тенденции в области развития технологий обработки поверхности и покрытий, можно отметить следующие.

Фирма AQUACOMP HARD s. r. o. (Чешская Республика):

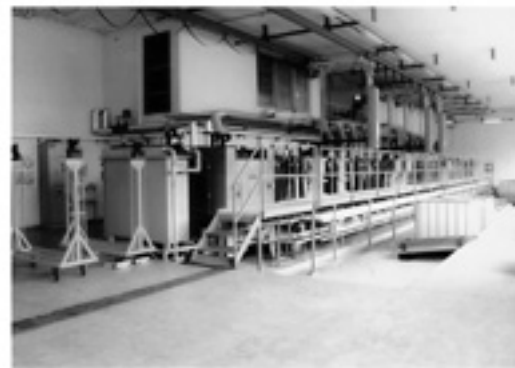
— оборудование для химической и электрохимической обработки поверхностей перед полировкой, холодной обработкой, гальваникой, горячей оцинковкой и лакированием (камеры обезжиривания, травление сталей, цветных металлов и сплавов, автоматические линии для фосфатирования);

— оборудование для гальванической и электрохимической обработки поверхности (автоматические линии оцинковки, автоматические комбинированные линии для цинко-никелевого покрытия, компактные линии для подвесных и барабанных изделий и др.);

— оборудование для обезвреживания сточных вод от различных загрязнений (автоматическая станция обезвреживания сточных вод, дозировочные и приготовительные узлы химикатов, рабочие ванны, накопительные баки, сепараторы, системы управления).



а)



б)



в)

Рис. 13. Оборудование для гальванотехники: а — травление крупноъемных баков из коррозионно-стойкой стали; б — автоматическая линия цинкования; в — автоматическая станция обезвреживания сточных вод

На рис. 13 приведено оборудование для гальванотехники.

Альянс фирм CPU (Чешская Республика) — разработка и производство оборудования для обработки поверхности материалов и готовых изделий: **ALTA a. s.** (инвестиционные поставки комплексных производственных объектов для машиностроения, горнодобывающей, энергетической и строительной промышленности, предоставление проектных, инжиниринговых и финансовых услуг), **АО "EST a. s."** (оборудование для нанесения лакокрасочных покрытий), **АО "GALATEK a. s."** (комплексы оборудования покрасочных цехов, линии непрерывной лакировки поверхности и рабочих участков для покраски вручную), **АО "LECOH LEDEC a. s."** (технологические комплексы и отдельные узлы оборудования для гальванической обработки поверхности),

ООО "OTECO CZ spol. s. r. o." (оборудование для дробеструйной обработки поверхности).

GALVANOTECHNIK LEIPZIG GMBH (Германия) — оборудование с компьютерным управлением для гальванических технологий обработки поверхности различных материалов (от металлов до пластика). Гибкие модульные программы управления могут комбинироваться с периферийным технологическим и водоподготовительным оборудованием, что позволяет создавать оптимальные системы гальванотехники.

GALVOUR AB (Швеция) — оборудование для химических и гальванических покрытий (автоматические гальванические линии меднения, никелирования и хромирования изде-



Рис. 14. Гальваническое оборудование: а — подвесочная линия для меднения-серебрения алюминия; б — бессточная водоочистная установка

лий различного назначения, автоматические барабанно-подвесочные линии твердого хромирования, цинкования, оксидирования, подвесочные линии для меднения-серебрения алюминия, барабанные линии цинкования и др.) и очистки сточных вод (водоочистный комплекс, бессточный водоочистный комплекс) (рис. 14). Фирма осуществляет монтаж, запуск в производство и сервисное обслуживание оборудования.

MATUSEWICZ BODOWA MASZYN S. J. (Польша) — проектирование, производство, монтаж и запуск комплексных гальванических объектов с использованием современных технологий нанесения защитных покрытий (автоматическая гальваническая линия нанесения хромовых покрытий, автоматическая гальваническая подвесочная линия нанесения никель-хромовых покрытий, автоматическая барабанно-подвесочная линия нанесения цинковых покрытий, автоматическая подвесочная линия нанесения покрытий медь—никель—хром, линия анодирования и окраски). Вместе с гальваническим оборудованием предприятие поставляет очистные сооружения промышленных сточных вод, а также емкости, ванны, элементы вентиляции.

PROGALVANO s. r. l. (Италия) — барабаны для гальванической промышленности — можно использовать в автоматических, полуавтомати-

ческих и ручных установках, робот автоматического открывания и закрытия барабана, мини-роторы — ручные барабаны или барабаны малого размера для автоматических линий. Широкие возможности по выбору размеров отверстий позволяют обрабатывать совсем миниатюрные детали (рис. 15). Диапазон загрузки барабана по объему: от мини-моделей — 1 кг до больших — 300 кг.



Рис. 15. Мини-ротор барабанного типа для обработки мелких деталей

Фирма STONHER SURFACE AG (Германия) — оборудование для анодирования, электрохимическое оборудование, оборудование для обнаружения трещин, штамповочное оборудование для высокотехнологичного электролитического покрытия применительно к автомобильной и авиационной промышленности. Кроме того, фирма по распоряжению нового регламента о ликвидации аварийных ситуаций PEACH, согласно которому начиная с 2008 г. потребуется индивидуальное разрешение на использование опасных веществ, производит модернизацию установок анодирования в растворе хромовой кислоты (CAA) на процесс анодирования в винной/серной кислоте (TSA) как экологически чистый и безвредный процесс.

Холдинг WHEELABRATOR GROUP, LTD — оборудование для обработки поверхностей и технологий дробеочистки, обезжиривания, окраски, сушки и дробенаклепа (дробеметная машина для очистки анодов типа СВ, машина барабанного типа, порционной загрузки для очистки небольших отливок и термообработанных деталей, установки для дробенасечки прокатных валков типа 310MR, установки с дробеметным колесом, пневматические дробеструйные установки, моечное, покрасочное оборудование и сушильные системы (рис. 16).

Фирма BASF — THE CHEMICAL COMPANY (Германия) — поставка



Рис. 16. Оборудование для обработки поверхности: а — комбинированные покрасочные и сушильные кабины; б — дробеструйная обработка и порошковое покрытие газовых баллонов

высококачественных химических веществ для обработки металлических поверхностей (компоненты блескообразователей для гальванических ванн, ингибиторы коррозии, а также для обработки сточных вод, восстанавливающий агент для промышленных отходов, загрязненных шестивалентным хромом.

Компании SERFILCOLTD (США), **LA FONTE S. P. L.** (Франция), **ANTECH GMBH** (Германия), **CHRIST GOEMA GMBH** (Германия) предложили системы фильтрации и очистки, насосное оборудование, системы и установки по обработке сточных вод, системные компоненты и технологии (ионнообменная обработка с помо-



Рис. 17. Многофункциональная система фильтрации и очистки

щью мембран, электрохимическая, биологическая) (рис. 17).

Впервые на выставке была представлена фирма **HUNG LI MACHINERY INDUSTRIAL CO. LTD** (Тайвань), специализирующаяся на поставках оборудования для обработки поверхности (нанесения покрытий, полировки, очистки и др.).

Следует отметить, что на выставке были широко представлены фирмы — официальные представители в России и СНГ известных фирм-производителей гальванотехники и сопутствующей продукции (отмечается тенденция увеличения фирм-представительств — 30 из 110 участников выставки). Ниже приведены некоторые из фирм-представительств, участвующих в выставке.

ООО "Антикор Композит" (Санкт-Петербург) — официальный дистрибьютор американской фирмы

GRACO (различное окрасочное и перекачивающее оборудование), компания **AIRBLAST** (Голландия) (замкнутый цикл подготовки поверхности и очистных работ), фирма **Elcometer** (Великобритания) (контрольно-измерительные приборы), фирма **"КОВИНТРЕЙД"** (Москва) — официальный представитель итальянской компании **Asmega** в РФ (гальванические линии и установки очистки сточных вод), **ООО "Индустриальные решения и технологии"** — **IST** (Москва) — представитель швейцарской компании **EXA SA** (современные методы промышленной очистки различных поверхностей), **ЗАО "ПАНАТЕСТ"** (Москва) — официальный представитель в России ведущих фирм **De Felsko** (США) и **PCWI** (Австралия) (приборы для контроля толщины покрытий, адгезии покрытий, контроля окружающей среды и др.), **ООО ТД**

"САМАРАЭЛЕКТРОМАШ" — эксклюзивный представитель немецкого завода **LUTZ** на российском рынке (химические насосы для перекачивания различных жидкостей), **ЗАО "КАВАКАМИ ПАРКЕР"** (Москва) — представитель в РФ японских компаний **"Паркер Корпорейшн"** (производство высокотехнологичных продуктов для обработки поверхностей) и **"Каваками Ко. Лтд"** (торговая фирма). Выставляются впервые.

В рамках выставки прошла 5-я Международная практическая конференция "Покрытия и обработка поверхности. Качество, эффективность, конкурентоспособность", на которой было представлено 22 доклада как отечественных, так и зарубежных представителей.

Ан. А. СУСЛОВ,
канд. техн. наук

Семинар "Материалы и оборудование для производства паяных конструкций"

15—16 апреля 2008 г. в Центральном Российском Доме знаний (ЦРДЗ) общества "Знание" РФ состоялся семинар "Материалы и оборудование для производства паяных конструкций", организованный НП "Союз профессиональных паяльщиков им. С. Н. Лоцманова" и ЦРДЗ. Руководители семинара — д-р техн. наук И. Н. Пашков и канд. техн. наук Ю. И. Березников.

В работе семинара участвовали более 30 человек из различных регионов России.

По традиции в начале работы семинара оргкомитет от лица всех присутствующих поздравил известных ученых в области пайки с юбилейными датами: канд. техн. наук А. Я. Куфайкина — с 75-летием, канд. техн. наук А. П. Терновского — с 70-летием, канд. техн. наук Е. И. Чулкова — с 70-летием, канд. техн. наук Ф. Л. Копелько — с 65-летием.

На семинаре был заслушан 21 доклад. Наибольший интерес вызвали следующие доклады:

— "Устранение негерметичности сварных соединений бытовых теплообменников легкоплавким порошковым припоем" (инж. В. А. Кузнецов, инж. А. В. Карачев, ФГУП "НПО им. С. А. Лавочкина", г. Химки Московской обл.);

— "К вопросу об автоматизации пайки" (д-р техн. наук И. Н. Пашков, НП "СПП им. С. Н. Лоцманова");

— "Способы производства высокотемпературных припоев. Анализ возможностей" (канд. техн. наук И. И. Ильина, д-р техн. наук И. Н. Пашков, инж. И. Н. Родин, канд. техн. наук С. В. Шокин, ЗАО "АЛАРМ");

— "К вопросу о новом некоррозионном флюсе типа "Флюсол ФНП" (инж. Е. Ф. Касьянова, канд. техн. наук В. П. Панов, канд. техн. наук Ю. И. Березников);

— "Печи НПП "КВП Радуга" для низкотемпературной и высокотемпературной пайки" (инж. Е. С. Назаров, Москва);

— "Припои, образующиеся в процессе пайки" (канд. техн. наук А. Ю. Краснопецев, Тольяттинский ГУ);

— "Некоторые подходы при выборе стеклянных прослоек для соединения металлических пластин" (д-р тех. наук О. А. Барабанова, канд. техн. наук В. И. Могорычный, инж. С. В. Набатчиков, асп. А. В. Балашов, "КриоКомпозит", Москва);

— "Композиционный припой для пайки керамики и его изготовление" (канд. техн. наук М. В. Шибалов, инж. Г. Ф. Портнова, канд. техн. наук А. Я. Куфайкин, ФГУП "НПО им. С. А. Лавочкина");

— "Производство порошков припоев из быстрозакаленных лент" (канд. техн. наук В. Т. Федотов, канд. техн. наук О. Н. Севрюков, инж. А. Н. Сучков, ООО "МИФИ-АМЕТО", Москва).

Выступление И. Н. Пашкова сопровождалось показом снятого им кинофильма на фирме THEMIS в г. Рожнов (Чехия), разрабатывающей и изготавливающей по ТЗ заказчиков автоматизированные рабочие места для газопламенной пайки различных узлов из цветных и черных металлов.

По завершении семинара состоялось годовое собрание членов НП "Союз профессиональных паяльщиков им. С. Н. Лоцманова", на котором его председатель И. Н. Пашков рассказал о проделанной Союзом работе в 2007 г. в области подготовки кадров и создания учебно-лабораторной базы в МАТИ и МИСиС, научно-консультационной и издательско-пропагандистской деятельности. Принят развернутый план деятельности НП "СПП им. С. Н. Лоцманова" на 2008 г.

Следующий семинар намечено провести 10—12 сентября 2008 г. в Тольяттинском ГУ.

И. И. ИЛЬИНА,
канд. техн. наук

БИБЛИОГРАФИЯ

УДК 621.791.(05)(-87):016

Содержание зарубежных журналов по сварке¹

JOURNAL OF JAPAN INSTITUTE OF LIGHT METALS (Vol. 57, N 4, 2007, Япония)

Koga N. et al. Способность к глубокой вытяжке магниевых сплавов при применении двухроликковой прокатной машины. Р. 141—145.

Matsumoto N. et al. Подготовка анодных двухслойных алюминиевых оксидных пленок методом электроосаждения диоксида титана и оценка их антибактериальных свойств. Р. 146—151.

Yamazaki T. et al. Ультразвуковая резка сплава Ti-6Al-4V. Р. 152—156.

Iwasaki Y. Применение метода удельного сопротивления для изучения равновесной растворимости никеля в алюминии в твердом состоянии. Р. 157—162.

Nishi N. Прогресс в литье под давлением — от типографского шрифта до деталей подвески автомобиля. Р. 163—170.

Kuwabara T. Элементарная теория пластичности. Ч. 1. Р. 171—182.

Yamasaki M. Основные направления исследований магниевых сплавов в университете Кумамото. Р. 183.

(Vol. 57, N 5, 2007, Япония)

Haitani T. et al. Прочность на растяжение и способность к холодной прокатке сплава Mg—3Al—1Zn высокой степени чистоты. Р. 185—190.

Kamiya M. et al. Влияние содержания кремния на способность к ротационной обработке отливок бинарного Al—Si-сплава. Р. 191—196.

Akebono H., Suzuki H. Улучшение трибологических и абразивных характеристик магниевых сплавов AZ91 путем нанесения многослойного алмазоподобного углеродного покрытия. Р. 197—202.

Umeda H. et al. Абсорбция водорода в процессе отжига Al—Mg-сплавов в атмосфере SO₂. Р. 203—209.

Kuwabara T. Элементарная теория пластичности. Ч. 2. Р. 218—225.

(Vol. 57, N 6, 2007, Япония)

Hattori N. et al. Явление выбеливания и механизм его возникновения при вытяжке алюминиевых листов с покрытием. Р. 228—233.

Takano H. Применение прокатки с приращением для утолщения тонколистового алюминиевого сплава 1050. Р. 234—239.

Koga N. et al. Глубокая вытяжка с утонением листового алюминия 1050 с применением сервопресса с цифровым управлением. Р. 240—244.

Hasegawa O. et al. Эффект применения крылоподобных штампов в прессе для гибки алюминиевых сплавов. Р. 245—249.

Chino Y., Mabuchi M. Новый метод переработки стружки магниевых сплавов с применением горячего экструдирования. Р. 250—255.

Yanagimoto J. Прокатка и теория прокатки. Р. 256—263.

SCHWEISSEN UND SCHNEIDEN (N 10, 2007, Германия)

Президентом Европейской федерации сварки и резки избран Тим Ессоп из Института сварки (Кембридж, Великобритания). С. 536—538.

Международная школа по подготовке аспирантов в области технических и естественных наук. С. 538.

Weiß K. Прецизионное позиционирование при лазерной сварке мелких деталей. С. 540—542.

Kolbe J., Paproth A. Определение реологических свойств, критических для нанесения клея на микрофрагменты. С. 546—549.

Gutensohn M. и. а. Ультразвуковая сварка алюминиевых многожильных проводов. С. 550—554.

Ji J. и. а. Поры при гибридной лазерной + МИГ-сварке алюминиевых сплавов. Ч. 2. Стратегия их предупреждения. С. 555—560.

Из истории сварочной техники. Знаете ли Вы, что такое голубой газ? С. 562—566.

TRANSACTION of JWRI (Vol. 36, N 1, 2007, Япония)

Komizo Y. Состояние и перспективы судостроительной стали и ее свариваемости. Р. 1—6.

Tashiro Sh. et al. Свойства источника теплоты вольфрамовой дуги, горящей в защитной атмосфере гелия, и влияние испарения металла из сварочной ванны. Р. 7—12.

Murakami K. et al. Влияние расположения соединений бетонной арматуры на свариваемость оцинкованной горячим способом арматуры, полученной дуговой сваркой плавящимся электродом в защитном газе. Р. 13—19.

Saad A. K., Shibayanagi T. Микроструктура и механические свойства однородных и разнородных соединений из сплавов алюминия и магния, выполненных сваркой трением с перемешиванием. Р. 21—34.

¹ Раздел подготовлен по материалам Библиографического указателя "Сигнальная информация. Сварка и родственные технологии" (по вопросу получения полной версии материалов обращаться в ИЭС им. Е. О. Патона по тел./факсу: 8-10-38044-287-0777 или library@paton.kiev.ua).

Matsumoto T. et al. Износостойкие металлокерамические покрытия AlN—Al, нанесенные способом сверхскоростного газопламенного напыления. Р. 35—39.

Saremi M. et al. Окисление и высокотемпературная коррозия термобарьерных покрытий, напыленных плазмой диоксида циркония, стабилизированного оксида иттрия на суперсплав никеля. Р. 41—45.

Morks M. F., Kobayashi A. Микроструктура и механические свойства покрытий Na/ZrO₂, нанесенных газоплазменным напылением туннельного типа. Р. 47—51.

Cheng F. et al. Влияние добавки кобальта на микроструктуру и характеристики растяжения припоя Sn-3,0Ag-0,5Cu. Р. 53—56.

Vega A. et al. Факторы, влияющие на деформацию в процессе штамповки толстолистовой стали с применением линейного нагрева. Ч. 1. Влияние размера толстого листа и кромок. Р. 57—64.

Tajima Y. et al. Прогнозирование сварочной деформации и коробления панелей палуб судов для перевозки автомобилей с использованием банка данных с применением метода конечных элементов. Р. 65—71.

Deng D. et al. Численное исследование остаточных сварочных напряжений в стальных трубах 2,25Cr—1Mo. Р. 73—90.

Hirohata M., Kim Y.-Ch. Сжимающие характеристики колонн трубчатого сечения, отремонтированных путем нагрева и обжима. Р. 91—96.

Kim Y.-Ch., Lee S.-H. Механические характеристики сварных соединений, выполненных с применением разработанной сварочной проволоки с фазовым превращением при низкой температуре. Р. 97—102.

Waki H. et al. Высокочувствительные неразрушающие испытания подповерхностного локального повреждения в системе термобарьерного покрытия с применением метода лазерной спекл-интерферометрии. Р. 103—108.

Soga Y. et al. Контроль электрического сопротивления пленок TiO₂ с использованием фемтосекундного лазерного облучения. Р. 109—111.

Fukushima Y. et al. Метод оценки срока службы холловского ракетного двигателя малой тяги с применением многослойного покрытия. Р. 113—114.

WELDING AND CUTTING (N 5, 2007, Германия)

Международная сертификация для фирм-производителей. Р. 241.

Технология подбирается к сути сварки труб. Р. 246—427.

Усовершенствованная фирма Эрликон как одна из основных торговых марок объединения Air Liquide Welding. Р. 248—250.

Проблемы, связанные с трещинообразованием горячеоцинкованных стальных конструкций. Р. 256—260.

Badheka V. J., Agrawal S. K. Проектирование и разработка горелки для дуговой сварки плавящимся электродом в защитном газе в узкий зазор. Р. 264—270.

Anis Z. Определение оптимальных условий для приварки выводных планок с использованием экспериментального проектирования. Р. 275—278.

Fuentes Munoz J. E. et al. Экспериментальные возможности анализа дуги для ТИГ-сварки. Р. 282—287.

Ciszewski G. Новая экспериментальная концепция изготовления соединений чугуна—чугун и чугуна—сталь с помощью сварки трением и механические и пластические свойства этих соединений. Р. 288—297.

WELDING JOURNAL (Vol. 86, N 9, 2007, США)

Vianco P. T. Предоставление мандатов по окружающей среде и технология пайки — движение вперед. Р. 27—30.

Lohrey R., Stout G. Продвижение науки в области автоматической высокотемпературной пайки. Р. 31—32.

Shapiro A. E. Определение совместимости припоя и основного металла. Р. 33—34.

Lee K.-Y. Высокотемпературная пайка керамики с коррозионно-стойкой сталью улучшает модификацию поверхности. Р. 35—39.

Doherty K. J. et al. Высокотемпературная пайка титана, применяемого для конструкций и автомобилей. Р. 41—46.

Gupta S. K. et al. Исследование влияния времени высокотемпературной пайки на диффузию элементов. Р. 47—54.

Cho M. H., Farson D. F. Исследование моделирования гибридного процесса для предупреждения образования выпуклости сварного валика. Р. 253—262.

Banovic S. W., Siewert T. A. Разрушение сварных соединений ферменных конструкций, идущее от наружной стенки, в результате обрушения небоскребов Всемирного торгового центра. Р. 263—272.

Plessis J. et al. Контроль растворимого водорода в металле шва с помощью модификации химического состава флюса. Р. 273—280.

Anderson T. D. et al. Влияние молибдена на микроструктуру швов на коррозионно-стойкой стали. Р. 281—292.

(Vol. 86, N 10, 2007, США)

Staufer H. Лазерная гибридная сварка в автомобильной промышленности. Р. 36—40.

Гибридная сварка как альтернатива дуговой сварке под флюсом. Р. 42—45.

Defalco J. Практические области применения гибридной лазерной сварки. Р. 47—51.

Campbell K. Предварительный обзор международной выставки по термическому напылению. Р. 52—53.

Giese B. Выбор пистолета для дуговой сварки плавящимся электродом в защитном газе в зависимости от ваших потребностей. Р. 108—110.

Hensley T. Краткое ретроспективное описание присадочных материалов. Р. 113—114.

Zalkind A., Baker M. Сварка предлагает женщинам новые возможности сделать карьеру. Р. 115—116.

Malene S. H. et al. Реакция на экзотермические добавки в электроды для дуговой сварки под флюсом. Ч. 1. Р. 293—302.

Song H. S., Zhang Y. M. Макросегрегация на границе сплавления при использовании разных присадочных и основных металлов. Р. 303—312.

Nandan R. et al. Повышение надежности теплопереноса и расчет расхода материалов при сварке трением с перемешиванием разнородных сплавов алюминия. Р. 313—322.

Song H. S., Zhang Y. M. Обработка изображений для трехмерного измерения сварочной ванны в процессе дуговой сварки вольфрамовым электродом в защитном газе. Р. 323—330.

Патенты РФ на изобретения в области сварки*

Стан для сварки продольных швов труб большого диаметра конечной длины знакам. 2291012 (С2). В. Н. Баранов (RU), В. В. Бедняков (RU), Е. Н. Бобров (RU) и др. ОАО "Электростальский завод тяжелого машиностроения" (RU).

Устройство для наплавки изношенной поверхности деталей, имеющих форму тел вращения. 2291035 (С1). И. М. Ивочкин (RU), А. М. Потапов (RU), Н. И. Леванов (RU), О. И. Стеклов (RU). ОАО "Горнопромышленная финансовая компания" (RU).

Способ электродуговой сварки неподвижным плавающим пластинчатым электродом. 2291036 (С1). В. О. Бушма (RU), Д. В. Калашников (RU).

Устройство для контактно-стыковой сварки трубы с заглушкой. 2291037 (С1). А. А. Кислицкий (RU). ОАО "Новосибирский завод химконцентратов" (RU).

Способ герметизации люка-лаза бака жидкостной ампулизированной ракеты. 2291038 (С1). А. Г. Двуреченский (RU), В. П. Корнеев (RU). ФГУП "Государственный ракетный центр "КБ им. акад. В. П. Макеева" (RU).

Активирующий флюс для электродуговой сварки. 2291039 (С1). С. Г. Паршин (RU).

Способ восстановления роликов. 2291040 (С1). В. В. Панов (RU), В. М. Корнеев (RU), Н. В. Александров (RU) и др. ОАО "Магнитогорский металлургический комбинат" (RU).

Способ восстановления бандажированного ролика. 2291041 (С1). В. В. Панов (RU), И. В. Боровков (RU), А. П. Козлов (RU) и др. ОАО "Магнитогорский металлургический комбинат" (RU).

Сотовая структура и способ нанесения клея и припоя при ее изготовлении. 2291767 (С2). Р. БРЮКК (DE), К. АЛЬТХЕФЕР (DE), Я. ХОДГСОН (DE), А.-У. РОЛЛЕ (DE). "ЭМИТЕК ГЕЗЕЛЬШАФТ ФЮР МИССИОНСТЕХНОЛОГИ МБХ" (DE).

Устройство для вырезки отверстий. 2291768 (С1). Г. М. Буласов (RU), Ю. А. Тетенев (RU), В. А. Панов (RU) и др. ОАО "ВНИИПТхимнефтеаппаратуры" (RU).

Способ контактно-стыковой сварки трубы с заглушкой. 2291769 (С1). А. А. Кислицкий (RU). ОАО "Новосибирский завод химконцентратов" (RU).

Способ изготовления металлических тонколистовых сварных конструкций без остаточных сварочных деформаций. 2291770 (С2). В. С. Михайлов (RU), В. М. Левшаков (RU), К. Д. Могилко (RU). ФГУП "ЦНИИТС" (RU).

Способ В. С. Юркина производства высокопрочных многослойных металлических труб с прослойками из легкоплавких металлов. 2291771 (С1). В. С. Юркин (RU).

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

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

Гибкий металлорукав. 2291772 (С1). Б. М. Долгин (RU), А. Б. Долгин (RU).

Способ изготовления порошковой проволоки в металлической оболочке с фальцевым швом. 2292254 (С2). В. Н. Баранов (RU), В. Ф. Разин (RU), Н. Л. Кокорев (RU) и др. ОАО "Электростальский завод тяжелого машиностроения" (RU).

Способ плазменной сварки алюминиевых сплавов. 2292256 (С2). В. В. Овчинников (RU), В. В. Алексеев (RU), В. В. Овчинников (RU).

Резак машинный для резки труб. 2292998 (С1). А. К. Никитин (RU), А. Г. Корниенко (RU). ООО "СКТБ АВТОГЕНТЕХ-МАШ" (RU).

Устройство для газоструйной резки материалов. 2292999 (С2). В. В. Конищев (RU), И. Н. Лебедев (RU). Государственное предприятие "Научно-исследовательский институт машиностроения" (RU).

Двухступенчатая установка электродуговой сварки и способ электродуговой сварки (варианты). 2293000 (С2) К. ХСУ (US). "ЛИНКОЛЬН ГЛОБАЛ, ИНК." (US).

Способ многодуговой сварки под флюсом. 2293001 (С1). И. А. Романцов (RU), Б. М. Самохвалов (RU), Ю. Л. Мыльников (RU) и др. ОАО "Челябинский трубопрокатный завод" (RU).

Устройство для сварки и наплавки. 2293002 (С2). И. В. Боровушкин (RU).

Заглушка тепловыделяющего элемента ядерного реактора. 2293003 (С1). А. А. Кислицкий (RU), М. В. Полозов (RU), В. В. Агишев (RU), А. М. Лузин (RU). ОАО "Новосибирский завод химконцентратов" (RU).

Способ получения композиционного материала титан—сталь. 2293004 (С1). Ю. П. Трыков (RU), В. Г. Шморгун (RU), Л. М. Гуревич (RU) и др. Волгоградский государственный технический университет (RU).

Установка для лазерной обработки. 2293005 (С1). А. Л. Мальцев (RU), Т. В. Веселова (RU), В. В. Балашов (RU), А. А. Дмитриев (RU). ОАО "НИИШИНМАШ" (RU).

Способ резки материалов. 2293006 (С1). С. В. Дробязко (RU), Ю. М. Сенаторов (RU).

Электродное покрытие. 2293007 (С1). Г. М. Агапкин (RU), Е. В. Ашихмин (RU), Е. А. Веревкина (RU), А. П. Волохов (RU). ЗАО "Завод сварочных электродов "Сибэс" (RU).

Состав электродного покрытия. 2293008 (С1). Г. М. Агапкин (RU), Е. В. Ашихмин (RU), Е. А. Веревкина (RU), А. П. Волохов (RU). ЗАО "Завод сварочных электродов "Сибэс" (RU).

Способ производства сварных прямошовных труб большого диаметра. 2293620 (С2). А. В. Сафьянов (RU), В. И. Тазетдинов (RU), В. И. Вольберг (RU), И. А. Романцов (RU) и др. ОАО "Челябинский трубопрокатный завод" (RU).

Нож для измельчения кромки проката. 2293629 (С1). В. В. Карих (RU), В. В. Неверов (RU). Липецкий государственный технический университет (RU).

Способ механизированной сварки в CO₂ с низкочастотной модуляцией сварочной ванны. 2293630 (С1). В. Т. Федько (RU), О. Г. Брунов (RU), А. В. Крюков (RU) и др. Томский политехнический университет (RU).

Н. Посметная

Рефераты опубликованных статей

УДК 621.791.75.01:537.523

Исследование влияния состава газовых смесей на температуру плазмы сварочной дуги. Бабкин А. С., Голубев В. А., Рошупкин В. Н., Гончаров А. Н. — Сварочное производство. 2008. № 7. С. 3—9.

Приведены результаты экспериментов по определению температуры дуговой плазмы в газовых смесях различных составов с применением многоканального оптического регистратора спектра и разработанной методики, учитывающей особенности процесса сварки. Установлен характер зависимостей температуры плазмы от состава газовой смеси. Определена температура плазмы дуги при сварке плавящимся электродом в аргоне и углекислом газе. Табл. 4. Ил. 8. Библиогр. 24.

УДК 611.791.75.01

Математическая модель формирования капель электродного металла при механизированной дуговой сварке с импульсной подачей электродной проволоки. Лебедев В. А. — Сварочное производство. 2008. № 7. С. 10—14.

Приведено математическое описание процесса плавления электродной проволоки при механизированной дуговой сварке с импульсной подачей электродной проволоки. Установлено, что на скорость плавления электродной проволоки в разных ее стадиях существенно влияет скорость импульсной подачи. При этом необходимо учитывать переходный процесс в системе источник сварочного тока — дуговой процесс. Определено время образования капли оптимального размера при сварке с импульсной подачей электродной проволоки как одного из основных условий управляемого массопереноса электродного металла. Ил. 4. Библиогр. 10.

УДК 621.791.317.6

Технология изготовления титаностальных переходников с паяно-сварными стыковыми соединениями. Трыков Ю. П., Трыков А. Ю., Гуревич Л. М. и др. — Сварочное производство. 2008. № 7. С. 14—18.

Разработана и внедрена технология изготовления кольцевых крупногабаритных титаностальных переходников, включающая резку сваренного взрывом листового биметалла на полосы требуемых размеров, их сварку плавлением, вальцевание в цилиндрическую заготовку и сварку-пайку замыкающего продольного стыка. Достоверность методов расчета прочности биметаллических паяно-сварных титаностальных соединений и крупногабаритных переходников при различных схемах нагружения подтверждена результатами лабораторных и промышленных испытаний. Ил. 6. Библиогр. 7.

УДК 621.791.3.04

Новые способы получения припоев системы медь — марганец — никель. Пашков А. И., Пашков И. Н., Родин И. В. — Сварочное производство. 2008. № 7. С. 18—19.

Описано применение метода механического легирования для получения порошковых сплавов системы медь — марганец — никель. Показана эффективность применения сплавов для изготовления закладных элементов для пайки деталей различной формы, особенно в мелкосерийном и серийном производстве. Установлено, что свойства порошковых сплавов, полученных механическим легированием, не уступают свойствам литых сплавов. Ил. 4.

УДК 621.791.75.042

Особенности горения дуги при сварке покрытыми электродами на малых токах. Мейстер Р. А., Мейстер А. Р. — Сварочное производство. 2008. № 7. С. 20—22.

Экспериментально исследованы процессы горения дуги и сварки покрытыми электродами диаметром 1,6—2,0 мм на малых токах. Установлено, что при питании дуги от выпрямителя с конденсаторным умножителем напряжения и дрос-

селем в сварочной цепи с индуктивностью 1,25 мГн обеспечивается устойчивое и длительное горение дуги на токе 1 А и более. Проплавление стали толщиной 0,6 мм обеспечивается при сварке током 12—14 А. Принудительные касания накапливающейся каплей изделия не вызывают угасания дуги. Перенос металла осуществляется за счет силы тяжести и сил поверхностного натяжения, взрывные явления при этом не наблюдаются. Ил. 6. Библиогр. 5.

УДК 621.791.052:539.538

Повышение износостойкости наплавленной быстрорежущей стали с повышенным содержанием серы. Зубков Н. С., Золотов А. А. — Сварочное производство. 2008. № 7. С. 22—24.

Для снижения адгезионного изнашивания и повышения износостойкости инструментальных высоколегированных сталей разработаны технология наплавки и наплавочные материалы на основе быстрорежущей стали Р9М4К8 (ГОСТ 19265—73) с повышенным содержанием серы. Мелкодисперсные равномерно распределенные сульфиды смазывают поверхность наплавленного инструмента при его контакте с обрабатываемой сталью. Вредное влияние серы и ряд особенностей технологического процесса изготовления вырубных штампов с применением наплавки обусловили необходимость исследования технологической прочности. Для оценки склонности наплавленного металла к образованию горячих трещин применяли круговую пробу. Результаты исследований показали отсутствие трещинообразования. Ил. 3. Библиогр. 4.

УДК 620.194:621.791.754

Коррозионная повреждаемость сварных соединений резервуаров. Аммосов А. П., Аммосов Г. С., Аминов Т. Ш. и др. — Сварочное производство. 2008. № 7. С. 24—28.

Представлен анализ причин разрушений сварных резервуаров для хранения нефтепродуктов в процессе длительной эксплуатации в условиях Крайнего Севера. Установлено, что интенсивность коррозионных повреждений в зонах сварных соединений значительно выше, чем в основном металле. Наиболее интенсивный рост размеров дефектов зафиксирован у резервуаров, срок эксплуатации которых превышает 30 лет. Установлена возможность продления срока эксплуатации резервуаров на 10—15 лет при проведении конструктивно-технологических ремонтных мероприятий. Ил. 7. Библиогр. 15.

УДК 621.791.053:669.75

Формирование структуры металла шва титановых сплавов при электронно-лучевой сварке и сварке погруженным вольфрамовым электродом. Муравьев В. И., Долотов Б. И., Демышев П. Г., Физулаков Р. А. — Сварочное производство. 2008. № 7. С. 28—32.

Приведены результаты экспериментальных исследований механических свойств и структуры металла шва, полученного при сварке погруженным вольфрамовым электродом (СПВЭ) и электронно-лучевой сварке (ЭЛС). Установлено, что оба способа сварки по глубине проплавления и свойствам металла шва равнозначны, но по энергозатратам и трудоемкости СПВЭ на порядок меньше по сравнению с ЭЛС. Табл. 4. Ил. 5.

УДК 621.791.75.01:537.523

Влияние полярности дуги на глубину и твердость слоя плазменной закалки стали 40. Шекуров А. В., Коротков В. А. — Сварочное производство. 2008. № 7. С. 32—34.

Приведены результаты сравнительных исследований плазменной закалки дугой при прямой и обратной полярности. Установлены преимущества плазменной закалки дугой при обратной полярности, что позволило применить данный способ для ручной плазменной закалки поверхностей, ранее недоступных для упрочнения. Табл. 1. Рис. 1. Библиогр. 6.

Abstracts of the articles published in "Svarochnoe Proizvodstvo", 2008, N 7

Study of the gas mixture proportion influence on the plasma temperature of the welding arc. Babkin A. S., Golubev V. A., Roschupkin V. N., Goncharov A. N. P. 3—9.

Results of experiments on arc plasma temperature determination in gas mixtures of different proportions using multichannel optical recorder of spectrum and developed technique, which take into consideration special features of welding processes, are given. Behaviour of plasma temperature dependence on the gas mixture proportion is established. Arc plasma temperature at argon and CO₂-shielded consumable electrode welding is determined.

Mathematical model of the electrode metal droplet formation at mechanized arc welding with core wire pulse feed. Lebedev V. A. P. 10—14.

Mathematical description of the electrode wire melting process is covered at mechanized arc welding with core wire pulse feed. It is established that pulsed feed rate considerably affects on the core wire melting rate at its different melting phases. At the same time it is necessary to consider transient process in the welding current source, i. e. arc processing. Time for a droplet formation of optimal size is determined at the core wire pulse feed welding as one of the basic conditions for controllable mass transfer of the electrode metal.

Processing technique for the titanic-and-steel adapters with soldered-and-welded butt joints. Trykov Yu. P., Trykov A. Yu., Gourevich L. M., Guruliov D. N., Petrov A. E. P. 14—18.

Manufacturing of circumferential large-dimensioned titanic-and-steel adapters is designed and realized, including cutting explosion-weld sheet-bimetal on strips of the required dimensions, their fusion welding, cylindrical work forge rolling, and locking longitudinal joint brazing. Reliability of the method of strength analysis for bimetallic brazed-welded titanic-and-steel joints and large-dimensioned adapters at different loading conditions is confirmed by the results of laboratory tests and production experiments.

New processes to obtain solders of the copper-manganese-nickel system. Pashkov A. I., Pashkov I. N., Rodin I. V. P. 18—19.

Mechanical doping technique application to obtain powder alloys of the Cu—Mn—Ni system is described. Alloys usage effectiveness is shown for manufacturing cast-in components to solder details of different shape, particularly in the short-run and full-scale production. It is established that properties of the powder alloys obtained by mechanical doping are not inferior to those of the cast alloys.

Special features of the arcing at the low-discharge covered-electrode welding. Meister R. A., Meister A. R. P. 20—22.

Processes of arcing and low-discharge welding by covered electrodes of 1,6—2,0 centimetres in diameter are studied experimentally. It is established, that stable and continuous arcing at the current of 1 A and more is enabled at arc power supply from

a capacitor voltage-multiplier rectifier and supply choke in the welding circuit of 1,25 millihenry. Steel penetration for 0,6 millimetre thickness is provided at welding by the current of 12—14 A. Forced contact by the accumulated drops of the products does not cause arc extinction. Metal transfer is realized due to gravity and surface tension force, explosive phenomena in the process are not observed.

Enhanced wear resisting property of the weld high-speed steel of increased sulphur content. Zoobkov N. S., Zolotov A. A. P. 22—24.

Welding deposit and coating materials are developed on the base of high-speed high-sulphur steel P9M4K8 (GOST 19265—73) aimed at adhesive wear decrease and at tool high-alloy steel wear resistance increase. Fine-dispersed equally spaced sulphides lubricate the surface of the overlaid tool at its contact with the processed steel. Harmful effect of sulphur and a number of features of the blanking die manufacturing process, including weld deposition, set conditions for the necessity of manufacturing strength analysis. Circular test was used to evaluate liability of the deposited metal to autocrack formation. Findings of investigation showed lack of crack formation.

Corrosive damageability of the reservoir welded joints. Ammosov A. P., Ammosov G. S., Aminov A. Sh., Ilin G. Yu., Antonov A. A. P. 24—28.

Analysis of failure for the welded oil storage reservoirs when in continuous service under conditions of the Extreme North is given. It is established, that corrosive damage intensity is considerably higher in the weld junctions than in the base metal. The most intensive growth of the defect dimensions is registered for the reservoirs service life of which exceeds 30 years.

Extension of the reservoirs service life for 10—15 years is possible in case constructional-and-processing repair arrangements are carried out.

Structure formation of the titanium alloys weld metal at the electron-beam welding and tungsten-electrode dip welding. Muraviov V. I., Dolotov B. I., Demyshev P. G., Fizulakov R. A. P. 28—32.

Experimental investigation results of the weld metal mechanical property and structure are covered, obtained at tungsten-electrode dip welding (TDW) and electron beam welding (EBW). It is established that both techniques are equivalent by weld penetration and weld metal property, but TDW is significantly less by power inputs and labour-output ratio as compared to that of EBW.

Effect of the arc polarity on the depth and hardness of the steel 40 plasma hardening layer. Shekurov A. V., Korotkov V. A. P. 32—34.

Comparative study results of the arc plasma hardening at normal and reverse polarities are covered. Advantages of the arc plasma hardening at reverse polarity are established, which allows for applying this method at manual plasma hard-surfacing inaccessible for hardening previously.

Ордена Трудового Красного Знамени ОАО "Издательство "Машиностроение"

107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Сдано в набор 16.05.2008. Подписано в печать 19.06.2008. Формат 60×84 1/8. Бумага мел. имп. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 8,37. Уч.-изд. л. 9,8. Заказ 13/08.

Отпечатано в типографии издательства "Фолиум", 127238, Москва, Дмитровское ш., 58, тел./факс: (495) 482 5590.

Подписные индексы журнала "Сварочное производство":

70807 в каталоге Агентства "Роспечать"; 27860 в Объединенном каталоге "Пресса России"; 60256 в каталоге "Почта России".