



Сварочное производство

4 (881)
Апрель

2008

УЧРЕДИТЕЛЬ:

Издательский центр "Технология машиностроения"

Издается с января 1930 года

Журнал издается при содействии Министерства промышленности и энергетики РФ,
Министерства образования и науки РФ,
Российской инженерной академии,
Российского научно-технического сварочного общества,
Российского союза разработчиков и производителей сварочной продукции,
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 М. Г. Джавадян

Адрес редакции:

129626, Москва, проспект Мира, 106.

Для корреспонденции:

129626, Москва, а/я 78,

ОАО "Издательство "Машиностроение"
(для журнала "Сварочное производство").

Телефоны: гл. редактор — (495) 687 6316;
редакция — (495) 682 3856;
796 2491.

Факс: (495) 687 6316.

E-mail: svarka@mashin.ru

Http://www.mashin.ru

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

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

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

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

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

Цена свободная.

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

- Сараев Ю. Н., Безбородов В. П., Селиванов Ю. В. — Влияние режимов ручной дуговой сварки на характер коррозионного разрушения в кислых средах сварных соединений стали 12Х18Н10Т _____ 3
- Негода Е. Н. — Оценка выносливости сварных соединений из стали ВСтЗсп при наличии остаточных напряжений _____ 8
- Шахматов М. В., Айметов С. Ф., Айметов Ф. Г. — Оценка несущей способности тавровых сварных соединений с неповарами в условиях вязкого разрушения при изгибе _____ 11
- Брунов О. Г., Солодский С. А. — Физико-математическое моделирование перемещения капли электродного металла в сварочную ванну _____ 16
- Левин Ю. Ю., Ерофеев В. А. — Расчет параметров импульсной лазерной сварки алюминиевых сплавов малой толщины _____ 20

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

- Метлицкий В. А., Осин В. В. — Дуговая наплавка слоя износостойкого высокохромистого чугуна _____ 25
- Хромченко Ф. А. — Сварочные технологии ремонта элементов трубопроводных систем теплотехники. Ч. 1. Ремонт элементов трубопроводов I категории _____ 31
- Цукуров О. А. — Требования к процессам сварки в технических регламентах. Модель изложения, выполнения и процедуры подтверждения соответствия _____ 43

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

- Бендерский Г. П., Федоров В. К., Кислуха А. Е. — Управление инновационным процессом в условиях действия государственного оборонного заказа _____ 50

ОБРАЗОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ

- Илясов Е. П., Лисичкин С. В. — О методе оценки эффективности работы центров содействия занятости учащейся молодежи и трудоустройству выпускников вузов _____ 52

ИНФОРМАЦИЯ

- Иванов А. Н. — Международный промышленный форум — 2007 _____ 54

БИБЛИОГРАФИЯ

- Содержание зарубежных журналов по сварке _____ 59
- Патенты РФ, свидетельства РФ на полезные модели, авторские свидетельства и патенты СССР на изобретения в области сварки _____ 61
- Рефераты опубликованных статей _____ 62



Svarochnoe Proizvodstvo

4 (881)
April

2008

FOUNDER:

Publishing Centre "Tekhnologiya Mashinostroeniya"

Published since January 1930

Journal is published in collaboration with RF Ministry of Industry and Energetics,
RF Ministry of Education and Science,
Russian Engineering Academy,
Russian Scientific-Technical Welding Society,
Russian Union of Developers and Manufacturers of Welding Production,
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 of the editorial office:
Prospekt Mira, 106, Moscow.

For correspondence:

"Mashinostroenie" Publishers,
P.O.B. 78, Moscow, 129626, Russia
(for "Svarochnoe Proizvodstvo").
Phones: (495) 687 6316 — Editor-in-Chief;
682 3856 — Editorial office;
796 2491.

Fax: (495) 687 6316.
E-mail: svarka@mashin.ru
<http://www.mashin.ru>

In case of printing waste you should appeal to the printing establishment.
Reprinting of materials from "Svarochnoe Proizvodstvo" journal is possible with writing permission of editorial staff.
Reference to "Svarochnoe Proizvodstvo" at 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

- Sarayev Yu. N., Bezborodov V. P., Selivanov Yu. V.** — Impact of the manual arc welding conditions on the corrosive attack pattern in the acidic medium of the steel 12X18H10T welded joints _____ 3
- Negoda Ye. N.** — Endurance estimation of the steel BCт3cn welded joints at the residual voltage occurrence _____ 8
- Shakhmatov M. V., Aymetov S. F., Aymetov F. G.** — Bearing capacity estimation of the welded T-joint with poor penetration under conditions of ductile bending failure _____ 11
- Broonov O. G., Solodsky S. A.** — Physical and mathematical modelling of the electrode metal droplet recovery into weld pool _____ 16
- Levin Yu. Yu., Yerofeyev V. A.** — Calculation of the impulse laser welding condition of the smaller thickness aluminium alloys _____ 20

PRODUCTION SECTION

- Metlitsky V. A., Osin V. V.** — Arc deposit welding of the abrasion-resistant high-chromium iron layer _____ 25
- Khromchenko F. A.** — Welding practice of the heat-and-power engineering pipeline system elements repair. Part 1: Repair of the 1st class pipeline elements _____ 31
- Tsoukourov O. A.** — Welding process technical specifications. Pattern for description, carrying out, and conformance verification procedure _____ 43

ECONOMICS AND PRODUCTION ORGANIZATION

- Bendersky G. P., Fiodorov V. K., Kislukha A. Ye.** — Innovative processes management under conditions of the government defence orders working _____ 50

EDUCATION & PERSONNEL TRAINING

- Ilyasov Ye. P., Lisichkin S. V.** — On the valuation method of activity efficacy of the centres rendering students assistance in employment and job placement for the graduating students of the higher education institutes _____ 52

INFORMATION

- Ivanov A. N.** — International Industrial forum — 2007 _____ 54

BIBLIOGRAPHY

- Contents** of the foreign journals in the field of welding _____ 59
- RF patents**, RF certificates for useful models, author's certificates, USSR patents for inventions in the field of welding _____ 61
- Abstracts** of the published articles _____ 64

УДК621.791.763

**Ю. Н. САРАЕВ, д-р техн. наук, В. П. БЕЗБОРОДОВ, канд. техн. наук,
Ю. В. СЕЛИВАНОВ, инж.
ИФПМ СО РАН (Томск)**

Влияние режимов ручной дуговой сварки на характер коррозионного разрушения в кислых средах сварных соединений стали 12Х18Н10Т

Для повышения коррозионной стойкости сварных соединений сталей и сплавов необходима информация о процессах, происходящих при формировании структуры в металле сварного шва и ЗТВ.

Различные воздействия (тепловое, ударное, электромагнитное и др.) существенно влияют на формирование структуры металла сварного шва и ЗТВ [1]. Значительное повышение прочностных и эксплуатационных характеристик сварных соединений сталей может быть достигнуто за счет процессов формирования таких соединений и их влияния на структуру и коррозионную стойкость. Известно, что активность рабочих сред и высокая цикличность эксплуатационных режимов способствуют проявлению межкристаллитной коррозии (МКК) коррозионно-стойких сталей типа 18 Cr—10 Ni.

Возникновение и развитие коррозионного износа данного вида обусловлено в основном растворением пограничных зерен, обедненных коррозионно-стойкими компонентами, в частности хромом, избыточных фаз карбидов хрома, которые выделяются по границам зерен аустенита в процессе сенсибилизирующих нагревов при δ -феррите, а также приграничных участков твердого раствора из-за сегрегации некоторых примесей и компонентов.

Особое внимание при исследовании МКК уделяется влиянию легирующих примесей, неметаллических включений и тепловложению, способствующих формированию в металле сварного шва локальных зон с пониженной стойкостью против коррозионного разрушения [2, 3].

Известно также [4, 5], что металл одного класса с различной структурой по-разному проявляет себя в коррозионно-активных средах. Его склонность к МКК зависит от величины зерна. В кислых рабочих средах металл с мелкозернистой структурой устой-

чивее, чем с крупнозернистой. В работе [4] отмечено, что обработка поверхности сварных соединений стали 12Х18Н10Т непрерывным излучением лазера приводит к значительному изменению структуры в зоне лазерного воздействия глубиной до 25 мкм, образованию мелких зерен аустенита (γ -фаза) размером до 3—5 мкм. Получаемый при этом результат — повышение коррозионной стойкости поверхностных слоев стали, обработанной лазером, — до настоящего времени не удается применить на действующем технологическом оборудовании из-за отсутствия надежного в эксплуатации и компактного (для работы в монтажных условиях) промышленного оборудования.

Аналогичное воздействие на структуру металла шва сварного соединения могут оказывать методы, способствующие пульсации сварочной ванны. Например, сварка под флюсом модулированным сварочным током позволяет значительно увеличить стойкость металла шва против образования пор, добиться измельчения структуры металла высоколегированных аустенитных швов [6—8]. Однако такая сварка технически выполнима лишь при нижнем пространственном расположении сварного шва.

Измельчение структуры также может быть достигнуто применением ручной дуговой сварки (РДС) модулированным током. Благодаря технологической гибкости такого метода обеспечивается возможность сварки в различных пространственных положениях [9]. При этом, по мнению авторов, РДС модулированным током является технологически доступным и перспективным способом сварки.

Экспериментально установлено, что при выполнении сварного соединения посредством РДС модулированным током происходит измельчение структуры шва [10]. Кроме того, импульсное воздей-

ствии на межфазовую границу шлак — металл способствует процессу эмульгирования и значительно интенсифицирует химические реакции, протекающие между этими фазами [11]. В результате снижается химическая неоднородность металла, улучшается его структура, уменьшается количество неметаллических включений.

Вместе с тем, в настоящее время отсутствуют достоверные данные о коррозионной стойкости сварного соединения, выполненного РДС с модуляцией сварочного тока. Процессы, происходящие при депассивации сталей в рабочих средах, настолько сложны, что логично исследовать их на примере однофазной стали, исключив тем самым дополнительное влияние фаз, входящих в состав металла, на структуру соединения.

Цель данной работы — исследование влияния способов сварки стали 12Х18Н10Т на стойкость сварного соединения против коррозионного разрушения в кислых средах.

Исследовали сварные соединения стали 12Х18Н10Т. Основные параметры режимов сварки приведены в табл. 1. Сваривали пластины размером 300 × 150 × 10 мм из листового проката способом РДС постоянным и модулированным током электродами ОЗЛ-36 диаметром 3 мм в три прохода. Тип сварного соединения С21. При выборе оптимального режима сварки модулированным током (амплитуды импульсов, их длительности, частоты следования, значений базового тока и общего тока дуги) учитывали падение напряжения в системе электрод — сварочная дуга — свариваемый металл [13]. Основным критерием выбора режима сварки модулированным током являлось устойчивое горение дуги. Данные технические возможности обеспечивает оборудование нового поколения ФЕБ-315 ИР "МАГМА".

Погонную энергию сварки постоянным током рассчитывали по формуле

$$Q_{\text{св б}} = \frac{P}{v} = 3,6 \cdot 10^{-3} \frac{\eta U}{v}, \text{ МДж/м,}$$

где η — коэффициент мощности процесса; I — сварочный ток, А; U — напряжение дуги, В; v — скорость сварки, м/ч.



Рис. 1. Микроструктура стали 12Х18Н10Т. × 200

Погонную энергию сварки с модуляцией сварочного тока рассчитывали по формуле [14]

$$Q_{\text{св м}} = 60[I_{\text{и}} U_{\text{и}} C + I_{\text{б}} U_{\text{б}} (1 - C)]/v_{\text{св}}, \text{ МДж/м,}$$

где C — скважность импульса, равная $t_{\text{и}}/(t_{\text{и}} + t_{\text{б}})$ ($t_{\text{и}}$ — длительность прохождения тока в период импульса, $t_{\text{б}}$ — длительность прохождения базового тока).

В исходной структуре стали 12Х18Н10Т ферритная фаза присутствует в виде отдельных строчек и тонкого слоя по границам аустенитных зерен (рис. 1). Исследования микроструктуры проб контрольных сварных соединений проводили с целью определения размеров ЗТВ, величины зерен в металле сварного шва и ЗТВ. Исходное состояние микроструктуры исследовали на поперечных шлифах, а структуры локальных зон, подвергшихся коррозионному изнашиванию в процессе коррозионных испытаний — на шлифах, вырезанных из проб под углом 45° к продольной оси шва. Для выявления структуры применяли реактив следующего состава (мл): 10 азотной кислоты, 20 соляной кислоты, 20 глицерина, 10 перекиси водорода (30 %-ной) [15]. Металлографические исследования проводили на микроскопе МЕТАМ. ЛВ-31.

Коррозионные испытания проб сварных соединений проводили ускоренным методом в среде для испытаний. Такие испытания рекомендуются для контроля технологии сварки и склонности сварных соединений к межкристаллитной

Таблица 1

Способ РДС	Параметры режима						$Q_{\text{св}}$, МДж/м
	постоянного тока		модулированного тока				
	$I_{\text{б}}$, А	$U_{\text{б}}$, В	$I_{\text{и}}$, А	$U_{\text{и}}$, В	$t_{\text{и}}$, с	$t_{\text{п}}$, с	
Постоянным током	90	22	—	—	—	—	2,87
Модулированным током	40	22	70	22	0,3	0,7	2,15

Примечания: 1. Скорость сварки 25 м/ч.
2. Индексы «б», «и» — базовый и импульсный режимы соответственно.

коррозии. Испытательная среда — водный раствор 10 % HNO_3 + 3 % HF (ГОСТ Р 6032—2003). Размеры проб с поперечным сечением сварного шва $80 \times 15 \times 8$ мм. Имитацию условий эксплуатации аппаратов химического производства проводили с учетом влияния на сварное соединение одновременно двух сред: парогазовой и жидкой, а также на границе раздела этих сред.

Пробы располагались на трех уровнях: с погружением в жидкую фазу полностью; на границе раздела фаз; с размещением в парогазовой фазе.

Рабочая температура испытательной среды во время испытаний составляла 95 °С. Было проведено по восемь циклов испытаний продолжительностью по 6 ч каждый. В реальных условиях эксплуатации сварного соединения происходит при постоянном обновлении раствора рабочей среды, поэтому в процессе испытаний учитывали влияние продуктов растворения, и для каждого цикла использовали свежий раствор. В целом продолжительность испытаний составила 48 ч. Пробы взвешивали до и во время испытаний с периодичностью 6 ч. Потерю массы проб определяли на аналитических весах ВЛР-200. Значения потери массы проб сварных соединений после каждого этапа испытаний приведены в табл. 2. В процессе испытания для визуальной регистрации коррозионных разрушений сварных соединений выполняли съемку макроструктуры металла проб сварных швов и ЗТВ при 10-кратном увеличении. После испытаний сварных соединений проводили исследования коррозионного разрушения сварных швов и ЗТВ.

Микроструктурный анализ металла сварного шва соединения стали 12Х18Н10Т, выполненного РДС постоянным током, показал, что структура аустенита имеет столбчатое строение с ориентированием кристаллитов в направлении теплоотвода. По границам зерен расположены δ -феррит и карбиды (рис. 2). Зерна достигают значительных размеров в длину, во многих случаях образуя транскристаллиты. В центральной части сварного шва и ближе к корню зерна достигают ширины 19—20 мкм, длины — 400—500 мкм. Граница ЗТВ со швом типична для сварных соединений стали 12Х18Н10Т:

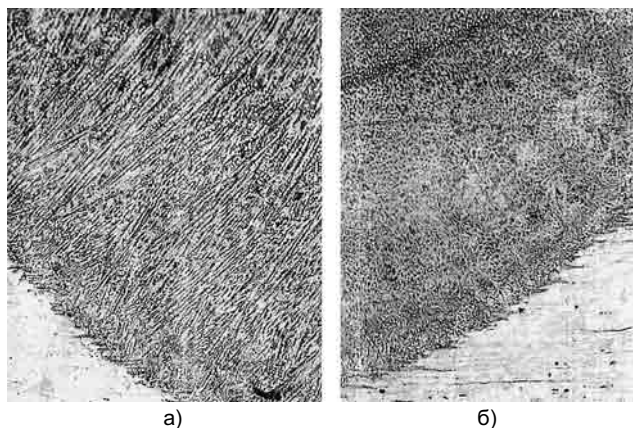


Рис. 2. Микроструктура металла сварных швов, полученных РДС постоянным (а) и модулированным (б) током. $\times 200$

аустенитные зерна размером 20—50 мкм, феррит и карбиды Cr_{23}C_6 в виде отдельных частиц и цепочек по границам зерен. Это связано с тем, что температура нагрева металла основы достигала 1100 °С, что вызвало интенсивное выделение карбидной фазы по границам зерен. Аустенитная сталь с такими выделениями по границам зерен имеет высокую склонность к МКК. Микроструктура сварных соединений, выполненных РДС модулированным током, сильно отличается от вышеописанной. В сварном шве формируется мелкозернистая структура. Размеры зерен от 3—4 до 6—8 мкм (см. рис. 2). Это происходит из-за интенсивного перемешивания металла сварочной ванны вследствие пульсации дуги и образования большого числа центров. Кроме того, из-за действия нестационарного источника нагрева уменьшается теплосодержание расплава сварочной ванны, что приводит к увеличению скорости ее кристаллизации. ЗТВ в сварных соединениях, выполненных РДС модулированным током, более узкая. Средний размер зерен больше в 2—2,5 раза и составляет 10—20 мкм. Результаты стереометрического анализа структур швов сварных соединений приведены в табл. 3. Средний размер зерен после РДС постоянным током составляет 11 мкм, модулированным током — 6,5 мкм. Сравнительный анализ данных табл. 3 показал, что

Таблица 2

Среда испытаний	Потери массы, мг, на этапе испытаний							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Жидкая	1274 1117	2437 2135	3712 3326	5196 4496	6446 5833	7784 7585	9135 8580	10 276 9775
Граница раздела сред	722 668	1448 1327	2246 1972	3231 2610	4051 3384	4888 4123	5710 4771	6426 5528

Примечание. В числителе приведены значения после РДС постоянным током, в знаменателе — то же, импульсным.

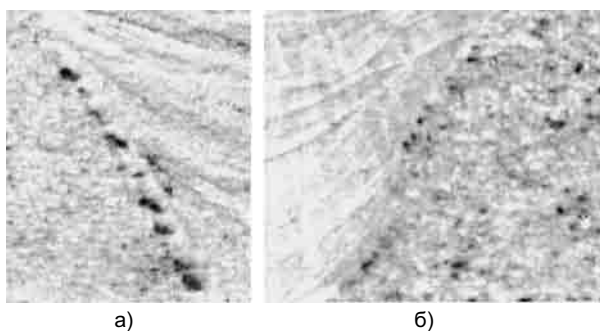


Рис. 3. Макроструктура металла ЗТВ сварных швов, полученных при сварке постоянным (а) и модулированным (б) током. $\times 50$

после РДС постоянным током наблюдается значительный разброс размеров зерен в центральной части шва — 5—14 мкм. Неравновесные условия кристаллизации обуславливают химическую и структурную неоднородность металла сварного шва, от которой зависит коррозионная стойкость сварного соединения. При этом особую опасность представляют границы раздела между сварным швом и основным металлом, где возникают области сенсibilизации.

При рассмотрении обстоятельств, определяющих коррозионную стойкость сварного соединения, необходимо выделить природу компонентов сварного соединения как основного фактора, определяющего фазовый состав и структуру. Влияние легирующих элементов на коррозионную стойкость сварного соединения обусловлено составом пассивирующей пленки, от свойств которой зависит устойчивость соединения, и комплексобразующей способностью соединения. Легирующий элемент соединения, как правило, изменяет состав и толщину оксидной пленки [16]. Это важно, поскольку коррозионные разрушения при МКК начинаются на "слабых" участках пассивирующей пленки, зависящих от ее свойств. Пассивность хрома в стали 12Х18Н10Т обусловлена образованием на его поверхности тонкой пленки оксида Cr_2O_3 , мало растворимого в кислоте и воде, и величиной сенсibilизации — фактора, непосредственно влияющего на его количество как в металле шва, так и поверхностной пленке. Известно [17], что сенсibilизация зависит от тепловложения при формировании

сварного соединения. Металл шва сварных соединений после РДС постоянным током в процессе коррозионных испытаний показал относительно низкую стойкость против МКК (рис. 3). Наибольшие коррозионные разрушения наблюдаются при расположении проб в жидкости — фазе с наибольшей коррозионной активностью испытательной среды и, как правило, локализованы в ЗТВ — области с наибольшей сенсibilизацией сварного соединения. Наибольшие коррозионные разрушения, локализованные в ЗТВ, представляют собой типичную ножевую коррозию. На поверхности проб величина раскрытия коррозионных канавок составила 0,2—0,9 мм, глубина — до 2,4 мм. В целом коррозионный износ металла шва сопоставим с износом основного металла сварного соединения. Картина коррозионного разрушения сварных соединений после РДС модулированным током существенно отличается. Основное отличие — отсутствие ножевой коррозии (см. рис. 3). Коррозионные разрушения представлены в основном в виде питтингов, локализованных в области ЗТВ. Анализ коррозионных разрушений образцов, находившихся в жидкой среде, показал, что коррозионному разрушению в виде питтингов подвержено около 36 % площади ЗТВ. Максимальный диаметр питтингов достигает 0,4 мм при глубине 0,3 мм. Следует также отметить более высокую стойкость металла сварного шва. В поперечном и косом сечениях сварных соединений коррозионные разрушения отсутствуют. Коррозионный износ сварных соединений, расположенных на границе раздела сред, ниже, что обусловлено периодическим погружением проб в жидкую испытательную среду. В период нахождения проб сварных соединений в газовой среде на их поверхностях формируется пленка — пассиватор из продуктов коррозии — характерная для проб, постоянно находящихся в газовой среде, и препятствующая развитию коррозии. Постоянный подогрев испытательной среды в нижней части емкости приводит к ее подъему вверх, вызывая изменение уровня поверхности и периодически меняя границу раздела сред. Пленка-пассиватор, образовавшаяся на поверхности сварного соединения при его нахождении в газовой среде, частично растворяется при периодическом погружении проб в жидкую ис-

Таблица 3

Параметр	Размер зерна, мкм										
	1—2	3—4	5—6	7—8	9—10	11—12	13—14	15—16	17—18	19—20	21—22
Количество зерен в структуре сварного соединения	$\frac{1}{7}$	$\frac{23}{131}$	$\frac{73}{255}$	$\frac{114}{153}$	$\frac{94}{55}$	$\frac{94}{10}$	$\frac{64}{1}$	$\frac{38}{0}$	$\frac{26}{0}$	$\frac{13}{0}$	$\frac{6}{0}$
Примечание — см. табл. 2.											

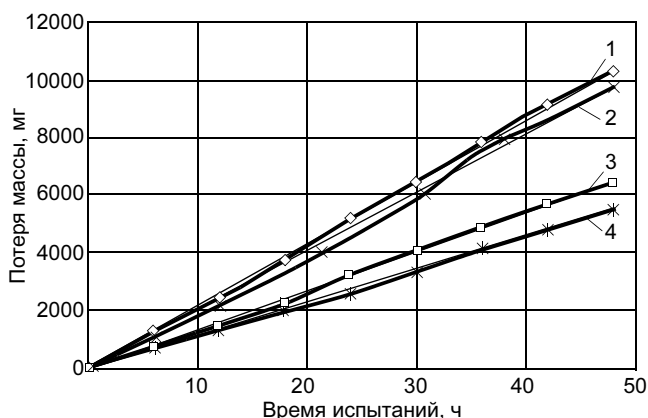


Рис. 4. Зависимость потери массы проб сварных соединений, выполненных РДС постоянным (1, 3) и модулированным (2, 4) током, от длительности коррозионных испытаний: 1, 2 — жидкая среда; 3, 4 — граница раздела сред

пытательную среду и, как видно на рис. 4, этого достаточно, чтобы изменить картину коррозионного износа. Процесс коррозионного износа в газовой среде проб сварных соединений, полученных РДС постоянным и импульсным токами, сильно отличается от износа проб, располагавшихся в жидкой среде и на границе раздела. К основному отличию необходимо отнести отсутствие ярко выраженных коррозионных разрушений. Это связано с развитием коррозионного процесса в тонкой пленке, причем его скорость зависит от скорости смены конденсировавшейся кислоты. На скорость коррозионного износа в данном случае существенно влияет количество накопившихся продуктов коррозии, что определяется градиентом температур, возникающим между парами HNO_3 и пробой сварного соединения. Продукты коррозии практически не удаляются, как в случае испытаний в жидкой среде или на границе раздела сред. В процессе испытаний на поверхности пробы сварного соединения формируется плотная пассивирующая пленка оксида Cr_2O_3 .

Применение РДС модулированным сварочным током позволило получать мелкозернистую структуру металла шва и ЗТВ и за счет снижения теплового воздействия уменьшить сенсibilизацию зон сварных соединений, прилегающих к сварному шву.

Таким образом, при использовании РДС модулированным током повышается стойкость сварных соединений стали 12X18H10T против коррозионного разрушения, особенно в виде опасной разновидности МКК — ножевой коррозии.

ВЫВОДЫ

1. Использование импульсного режима при ручной дуговой сварке обеспечивает формирование мелкозернистой структуры металла шва и сокра-

щение области сенсibilизации, а также повышает коррозионную стойкость сварного соединения в кислой коррозионной среде.

2. Ручная дуговая сварка модулированным током может быть рекомендована при изготовлении оборудования, используемого в химической и радиохимической отраслях промышленности и для переработки облученного ядерного топлива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние обработки в импульсном магнитном поле и коронном разряде на прочность сталей / В. А. Полетаев, А. С. Помельникова, М. Н. Шипко, В. Ф. Воробьев // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2000. № 4. С. 34—37.
2. Реформатская И. И., Фрейман Л. И. // *Защита металлов*. 2001. Т. 37. № 5. С. 511.
3. Каспарова О. В., Ливанов О. В., Ширяев В. И. // *Защита металлов*. 1997. Т. 33. № 5. С. 466.
4. Бакаева Р. Д. Повышение сопротивления межкристаллитной коррозии нержавеющей стали и их сварных соединений лазерной термообработкой // *Коррозия: материалы, защита*. 2004. № 8. С. 2—5.
5. Васильев В. Ю., Шапкин В. С. Структурная коррозия и электрохимическая диагностика сплавов. М.: Русские технологии, 1998. С. 102.
6. Влияние импульсной обработки металлической ванны дугой переменной мощности на формирование структуры, морфологию и распределение неметаллических включений при кристаллизации швов соединений низколегированной стали / И. К. Походня, В. Ф. Грабин, В. В. Головкин и др. // *Сварочное производство*. 1996. № 1. С. 9—14.
7. Мосенский Ю. Г., Сидорук В. С., Цвигун А. Ф. Автоматическая сварка модулированным сварочным током под флюсом корпуса парового котла КВГ // *Автоматическая сварка*. 1991. № 11. С. 71, 72.
8. Влияние модуляции сварочного тока на структуру и трещиностойкость высоколегированных аустенитных швов / В. Н. Липодаев, В. В. Снисарь, В. П. Елагин и др. // *Автоматическая сварка*. 1991. № 2. С. 22—26.
9. Оборудование для дуговой сварки: Справочное пособие / С. М. Белинский, А. Ф. Гарбуль, В. Г. Гусаковский и др. Л.: Энергоатомиздат, 1986. С. 8—10.
10. Влияние режимов наплавки покрытий на коррозионную стойкость в кислых средах сварных соединений аустенитных сталей / Ю. Н. Сараев, В. П. Безбородов, Ю. В. Селиванов, И. В. Никонова // *Обработка металлов*. 2007. № 2. С. 33—36.
11. Контактные явления в частицах порошка при протекании через них импульса тока / С. А. Балкин, С. С. Балышков, Е. Г. Григорьев, В. А. Явцев // *Адгезия и контактное взаимодействие расплавов*. Киев: Наукова думка, 1988. С. 140—143.
12. Основное условие управляемого переноса металла при импульсно-дуговой сварке плавящимся электродом / Н. М. Будник, Н. Г. Дюргеров, Х. Н. Сагиров и др. // *Сварочное производство*. 1968. № 4. С. 8, 9.
13. Мазель А. Г., Дедюх Р. И. О стабильности процесса ручной дуговой сварки модулированным током // *Сварочное производство*. 1978. № 12. С. 11—13.
14. Влияние импульсной обработки металлической ванны дугой переменной мощности на формирование структуры, морфологию и распределение неметаллических включений при кристаллизации швов соединений низколегированной стали / И. К. Походня, В. Ф. Грабин, В. В. Головкин и др. // *Сварочное производство*. 1996. № 1. С. 9—14.
15. Хорн Ф. Атлас структур сварных соединений. М.: Металлургия, 1977. С. 25—28.
16. Milosev I., Metikos-Huković M. // *Corrosion (USA)*. 1992. Vol. № 3. P. 185.
17. Каховский Н. И., Фартушный В. Г., Ющенко К. А. Электродуговая сварка сталей: Справочник. Киев: Наукова думка, 1974. С. 51, 60.

Е. Н. НЕГОДА, канд. техн. наук
ДВГТУ (Владивосток)

Оценка выносливости сварных соединений из стали ВСтЗсп при наличии остаточных напряжений

Многоцикловая выносливость (усталость) сварных соединений является одним из основных параметров, определяющих прочность сварных конструкций в целом. Традиционный подход к оценке прочности при переменных нагрузках включает экспериментальное определение кривых усталости на сварных образцах при конкретных свойствах материала и условиях нагружения [1]. Предельное состояние формулируется относительно контурного нагружения, что при расчете конструкций вызывает необходимость дополнительного учета уровня и распределения остаточных сварочных напряжений (ОСН), направления швов относительно нагрузки, концентрации напряжений и ряда других факторов. Разработанные к настоящему времени на основе механики разрушения структурно-механические представления прочности материалов [2, 3] и численные методы анализа механики металлических конструкций предоставляют возможность расчетной оценки параметров выносливости сварных конструкций в каждой физической точке. Однако для этого необходимо осуществить переход от макро-механики разрушения [3] к оценке прочности всей конструкции. В первую очередь требуется определение понятия и значения коэффициента асимметрии цикла $r = f(x, y, z)$ и эквивалентных напряжений $\sigma_{eq} = f(x, y, z)$ для циклического нагружения в условиях объемного напряженного состояния. В работе [4] предложен метод расчета этих параметров, базирующийся на следующем.

Коэффициент асимметрии цикла

$$r = \frac{S^{\min}}{S^{\max}} \cos \varphi, \quad (1)$$

где $S^{\min}$, $S^{\max}$ — соответственно минимальный и максимальный модули векторов октаэдрических касательных напряжений за цикл нагружения; φ — угол между ними в системе отсчета (x, y, z) .

Эквивалентные напряжения при сложном напряженном состоянии

$$\sigma_{eq} = (b_1 + b_2)\sigma_j^2 + (2b_2 - b_1)(1 - \delta_{nm})\sigma_m\sigma_n. \quad (2)$$

Здесь j, m, n — индексы главных напряжений, равные соответственно 1, 2, 3; δ_{nm} — символ Кронекера;

$$b_1 = \frac{2a_1(1 + \mu)}{2a_1(1 + \mu) + a_2(1 - 2\mu)} = \frac{1}{1 + \frac{a_2}{a_1}GK};$$

$$b_2 = \frac{a_2(1 - 2\mu)}{2a_1(1 + \mu) + a_2(1 - 2\mu)} = \frac{1}{1 + \frac{a_1}{a_2} \frac{1}{GK}},$$

где G — модуль сдвига; K — коэффициент объемного сжатия; a_1, a_2 — коэффициенты, учитывающие доли энергий формоизменения и изменения объема в оценке предельного состояния; μ — коэффициент Пуассона.

Кривая усталости описывается модифицированным уравнением Бастейнера [1], которое для двухэтапного процесса циклического разрушения преобразуется в следующие зависимости:

$$N_1 = k_1 \frac{\sigma_B - \sigma_{eq}}{(\sigma_{eq} - \sigma_{f_0})(\sigma_B - \sigma_{f_0})};$$

$$N_2 = k_2 \frac{\sigma_B - \sigma_{eq}}{(\sigma_{eq} - \sigma_{f_1})(\sigma_B - \sigma_{f_1})} \quad (3)$$

где N_1 — предельное число циклов для первого этапа (возникновение макротрещины — предел выносливости); N_2 — то же, для второго этапа разрушения (критическая длина трещины по механике разрушения); k_1, k_2 — коэффициенты (МПа · цикл); $\sigma_{f_0}, \sigma_{f_1}$ — пределы выносливости для исходного и поврежденного металла соответственно.

Корректность представленной методики оценки выносливости сварных соединений доказана сравнением с экспериментальными данными [1], приведенными в работе [4].

По структурно-механической модели [3] рассчитаны коэффициенты $k_i = f(r)$ ($i = 1, 2$) и пределы выносливости $(\sigma_{f_0}, \sigma_{f_1})$ для ряда сталей [4]. Для стали

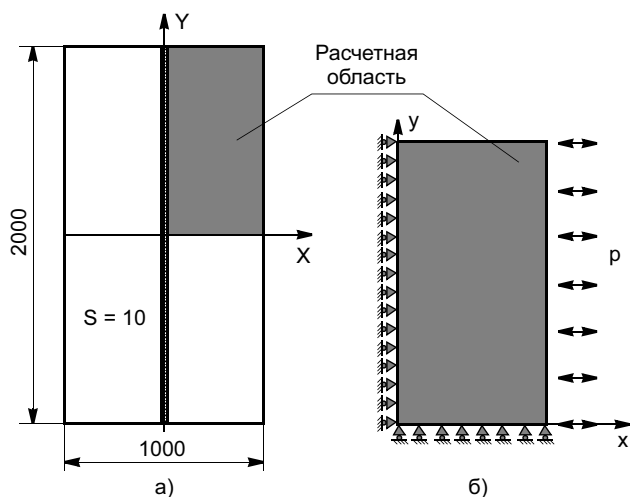


Рис. 1. Геометрическая (а) и расчетная (б) схемы рассматриваемой задачи

ВСтЗсп со стандартными свойствами определена следующая зависимость:

$$\begin{aligned} \sigma_{f_1} &= 54r + 182; \\ \sigma_{f_0} &= 76r + 235; \end{aligned} \quad \text{при } r \geq 0 \quad \begin{cases} \sigma_{f_1} = 182; \\ \sigma_{f_0} = 235. \end{cases}$$

В данной работе численно методом конечных элементов (МКЭ) исследовано поведение сварной пластины (сталь ВСтЗсп) с центральным швом при циклической нагрузке на контуре (рис. 1).

Сварочные напряжения и деформации моделировали расчетным путем в физически нелинейной постановке НДС при максимальных температурах нагрева и при снижении температуры до нуля. Максимальные температуры рассчитывали по формуле Н. Н. Рыкалина для мощного быстродвижущегося линейного источника в пластине. При этом предполагалось отсутствие выпуклости шва. Распределение остаточных напряжений сравнивали с учетом и без учета температурной зависимости предела текучести. Разница в значениях напряжений находилась в пределах 10 %, что можно считать несущественным для рассматриваемой модельной задачи. Поэтому дальнейший анализ проводили при постоянных свойствах стали. Результаты расчета соответствуют основным представлениям о распределении ОСН (рис. 2).

Расчет ОСН представлен как доказательство корректности их моделирования в следующем анализе выносливости. Внешнюю равномерную нагрузку p , приложенную к торцам пластины в поперечном относительно шва направлении (см. рис. 1, б), задавали в пределах, соответствующих напряжениям 150—200 МПа на контуре. Расчет при каждом значении указанной нагрузки осуществляли в шесть этапов: первый — расчет только остаточных сварочных напряжений; второй — приложение рас-

тягивающей нагрузки; третий — сброс нагрузки на контуре; четвертый — сжимающая нагрузка и т. д. Таким образом, реализован симметричный цикл нагружения на контуре ($r = -1$). Подобные задачи были решены в работах [4, 5], однако механизм возникновения предельного состояния и особенности его распределения для сварных соединений не выявлен. В качестве критерия выносливости принято не предельное число циклов N_1 , а обратная величина $CN_1 = 1/N_1$, имеющая смысл предельной повреждаемости (цикл $^{-1}$). Максимальная усталостная поврежденность локализуется в области, примыкающей к шву на некотором расстоянии от торца пластины при $y = 882$ мм (рис. 3). Необходимо отметить, что поврежденность шва и ОШЗ минимальна.

Существенно, что сварное соединение в условиях исследуемой задачи обладает неограниченной выносливостью $CN_1 = 0$. Предельное число циклов N_1 в зоне максимальной поврежденности ($y = 882$ мм) при нагрузке на контуре 200 МПа

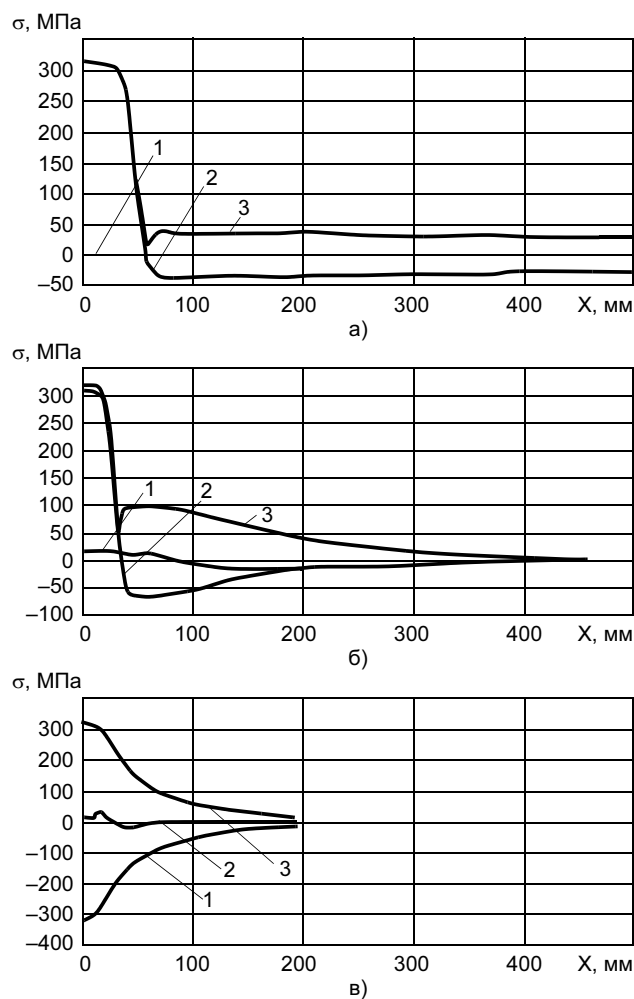


Рис. 2. Распределение ОСН по оси X в пластине в сечениях $y = 0$ (а), $y = 882$ мм (б), $y = 990$ мм (в): 1—3 — σ_x , σ_y и σ_{eq} соответственно

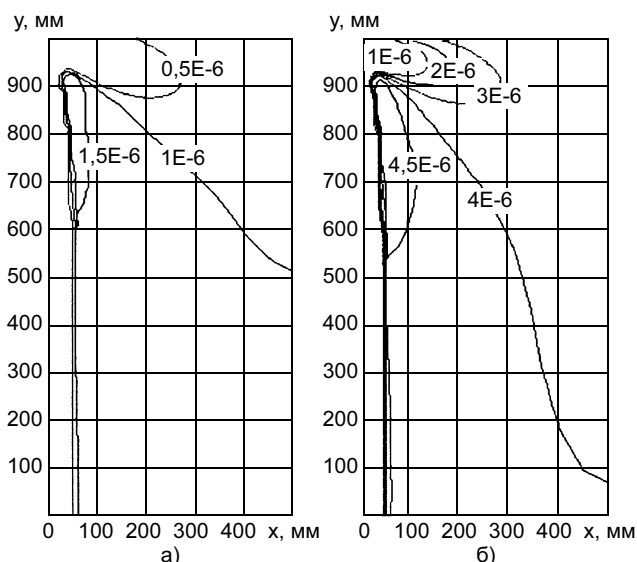


Рис. 3. Распределение предельной повреждаемости CN_1 при нагрузке 170 (а) и 200 (б) МПа

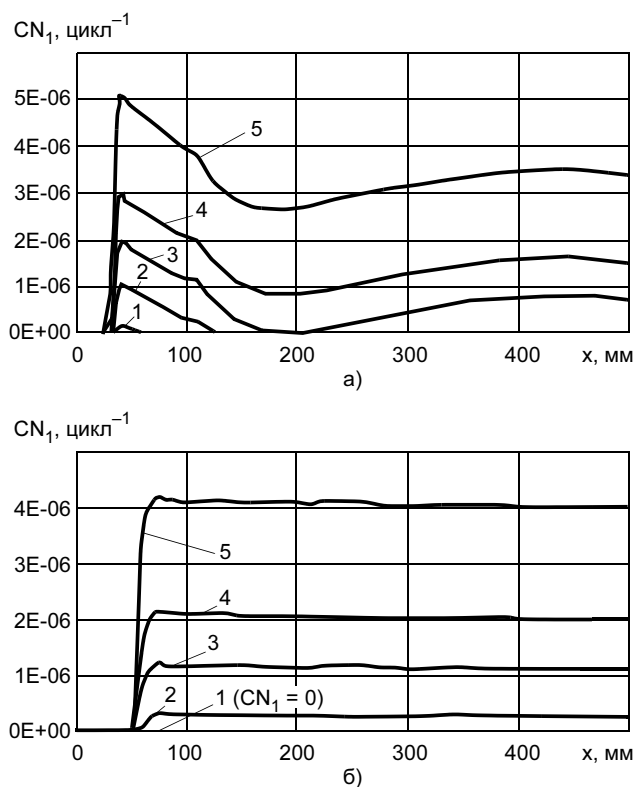


Рис. 4. Зависимость предельной повреждаемости от нагрузки в контрольных сечениях $y = 882$ мм (а) и $y = 0$ (б): 1—5 — p равна 150, 160, 170, 180 и 200 МПа соответственно

(0,67 предела текучести) на $5 \cdot 10^4$ циклов меньше, чем в центральном районе пластины ($y = 0$). Зависимость предельной повреждаемости от нагрузки монотонна (с достаточной точностью ее можно считать линейной) (рис. 4). Эта зависимость в данном случае может быть описана уравнением $CN_1 = 0,1p - 15$ (цикл⁻¹) для точки с мак-

симальной поврежденностью ($y = 882$ мм) и $CN_1 = 0,1p - 15,9$ (цикл⁻¹) для центральной зоны ($y = 0$). В связи с линейностью функции $CN_1 = f(p)$ в практических расчетах удобнее оперировать предельной повреждаемостью, а не предельным числом циклов.

Основными величинами, определяющими усталостную повреждаемость, являются асимметрия цикла r в данной точке и разность между эквивалентными напряжениями и пределом выносливости $\Delta\sigma = \sigma_{eq} - \sigma_{f0}$. На рис. 5 приведены зависимости асимметрии цикла, рассчитанные по формуле (1) в точках сварной пластины. Повышенная усталостная прочность сварного соединения связана, во-первых, с большими значениями асимметрии r .

Во-вторых, циклы сжатия внешней поперечной нагрузкой приводят к снижению продольных остаточных напряжений [6, 7] и, как следствие, уменьшению интенсивности напряжений σ_{eq} в сварном соединении при последующем растяжении (рис. 6, а) и к отрицательным значениям $\Delta\sigma$ (рис. 6, б).

Приведенные результаты характерны для ферритно-перлитных сталей (групп М01, М02), у которых распад аустенита в сварочном термическом цикле происходит при температуре около 600 °С и не сопровождается существенными дилатометрическими эффектами. Изменение объемов при неравновесных фазовых превращениях может быть

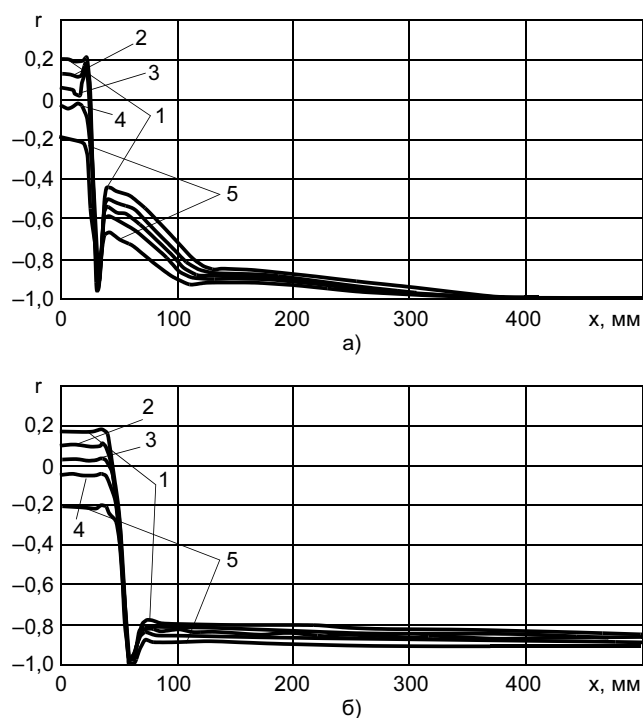


Рис. 5. Асимметрия цикла r при нагрузке на контуре 150—200 МПа (1—5) в контрольных сечениях $y = 882$ мм (а) и $y = 0$ (б): 1—5 — 150, 160, 170, 180 и 200 МПа соответственно

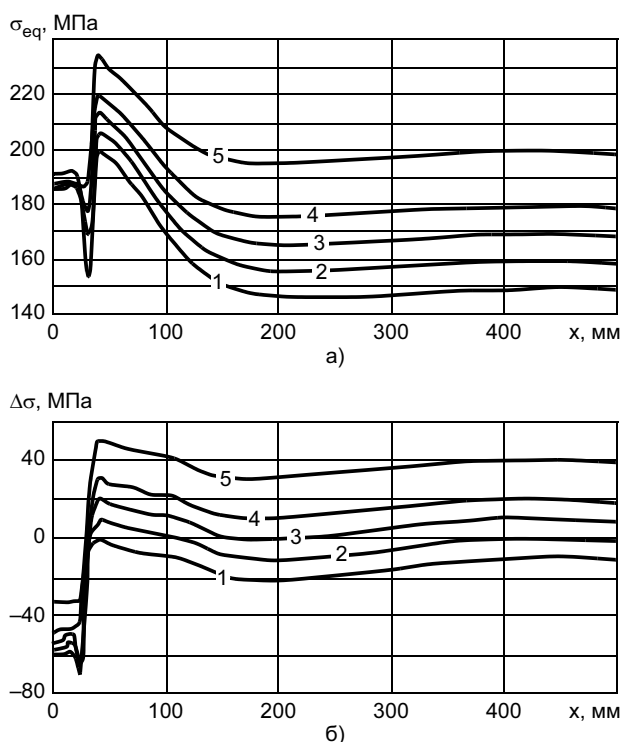


Рис. 6. Распределение эквивалентных напряжений σ_{eq} (а) и сопоставление σ_{eq} и предела выносливости σ_{f0} ($\Delta\sigma = \sigma_{eq} - \sigma_{f0}$) (б) в сечении $y = 882$ мм для различных значений нагрузки в последнем цикле растяжения: 1—5 — см. рис. 4

учтено при расчете остаточного НДС сварной конструкции. В данной работе рассмотрено плоское напряженное состояние, не учитывающее геометрию шва и концентрацию напряжений в нем. Решение объемной термомеханической задачи позволит уточнить полученные результаты. При этом

подход к оценке выносливости, приведенный в данной работе, не теряет своей общности для обоих случаев.

ВЫВОДЫ

1. Максимальная поврежденность сварной пластины при циклическом нагружении локализуется в ограниченной области вблизи торца пластины в зоне минимальной асимметрии цикла и значительных эквивалентных напряжений, что вызвано наличием краевого эффекта в конце шва.

2. Сварное соединение в исследованных условиях обладает "неограниченной выносливостью", обусловленной большими значениями асимметрии цикла и низкими величинами эквивалентных напряжений за счет уменьшения остаточных сварочных напряжений при циклическом нагружении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прочность сварных соединений при переменных нагрузках / Под ред. В. И. Труфякова. Киев: Наукова думка, 1990. 256 с.
2. Карзов Г. П., Леонов В. П., Марголин Б. З. Механическая модель развития усталостной трещины // Проблемы прочности. 1985. № 8. С. 9—18.
3. Матюхин Г. В. Оценка ресурса сварных конструкций из ферритно-перлитных сталей. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2001. 202 с.
4. Негода Е. Н. Расчет многоциклового выносливости сварных соединений // Сварочное производство. 2006. № 1. С. 3—6.
5. Негода Е. Н., Воробьев А. Ю. Численный расчет остаточных сварочных напряжений и деформаций в полотнище при вварке прямоугольной вставки // Исследование по вопросам повышения эффективности судостроения и судоремонта. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2000. Вып. 41. С. 150—156.
6. Гатовский К. М., Кархин В. А. Теория сварочных деформаций и напряжений. Л.: ЛКИ, 1980. 280 с.
7. Винокуров В. А., Григорьянц А. Г. Теория сварочных деформаций и напряжений. М.: Машиностроение, 1984. 280 с.

УДК 621.791.052:539.4

М. В. ШАХМАТОВ, д-р техн. наук, С. Ф. АЙМЕТОВ, инж., Ф. Г. АЙМЕТОВ, инж.
Южно-Уральский государственный университет (Челябинск)

Оценка несущей способности тавровых сварных соединений с непроварами в условиях вязкого разрушения при изгибе

При изготовлении сварных металлических конструкций различного назначения широко применяются соединения с угловыми швами [1—3 и др.]. Большинство авторов при рассмотрении вопросов, касающихся несущей способности тавровых и нахлесточных соединений, ограничиваются, как правило, случаем растяжения. В то же время известно,

что достаточно значительная доля сварных угловых швов конструкций в процессе эксплуатации подвергается воздействию изгибных нагрузок. Существующие методики расчета на прочность тавровых и нахлесточных сварных соединений, работающих в условиях изгиба, разработаны в основном для частных случаев их геометрических форм

(для равнокатетных швов), что значительно ограничивает область их применения. С другой стороны, отсутствие четких представлений о работоспособности рассматриваемых соединений препятствует выработке рекомендаций по повышению их прочности и снижению металлоемкости.

Цель данной работы — оценка несущей способности двусторонних тавровых соединений с угловыми швами с неполным проплавлением, находящихся под действием изгибающего момента в условиях вязкого разрушения. В ходе теоретического анализа прочности рассматриваемых соединений учитывали влияние геометрических параметров угловых швов, объема наплавленного металла и глубины проплавления соединяемых элементов.

В работах [3, 4] показано, что одним из важных факторов, определяющих точность прочностного расчета соединений с угловыми швами, является правильный выбор области очага пластического течения (потенциальной зоны разрушения). Исследования, выполненные совместно с сотрудниками экспертной организации ООО "ЛаТиН" (Челябинск) в ходе многочисленных работ по технической диагностике сварных конструкций различного типа, а также результаты теоретического анализа в работе [5] показывают, что вязкие разрушения тавровых соединений, как правило, происходят от вершины непровара по металлу шва. При этом поверхность разрушения может выходить либо на боковую грань шва, либо на верхнюю линию сплавления. При неблагоприятном соотношении геометрических параметров шва и глубины проплавления возможен выход поверхности разрушения на основной металл ребра. Расчетные схемы, принятые в работе, приведены на рис. 1.

Теоретический анализ рассматриваемых соединений в условиях вязкого разрушения при изгибе выполнен с использованием кинематической теоремы предельного равновесия [3]. При этом

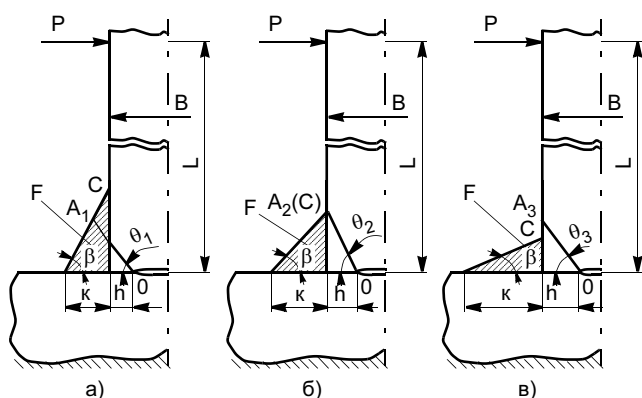


Рис. 1. Расчетные схемы тавровых соединений при изгибе: а—в — соответственно первый, второй и третий диапазоны варьирования угла β

принимали следующее допущение: металл соединений однородный и изотропный, подчиняющийся условию текучести Губера-Мизеса.

Суть используемого метода применительно к соединениям с угловыми швами заключается в следующем: в предельном состоянии, характеризующем вязким разрушением, очаг пластической деформации каждого шва представляют в виде линии скольжения OA_i (см. рис. 1), называемой в дальнейшем "опасным" сечением (предельное состояние достигается раньше, чем в остальных). Размер и положение этого сечения определяются углом наклона θ_i , который зависит от соотношения геометрических параметров элементов соединения и способа задания внешнего изгибающего момента. Исходя из кинематической теоремы величину θ_i можно определить из условия минимума энергии деформирования для изгиба

$$w_L = w_{сж} + w_p = 2kU_L l_p, \quad (1)$$

где w_L — мощность внутренних сил; $w_{сж}$, w_p — мощности действия внутренних сил соответственно в зонах сжатия и растяжения; k — предел текучести материала при чистом сдвиге; U_L — скорость относительного перемещения частиц вдоль линии скольжения OA_i ; l_p — размер поверхности разрушения (опасного сечения).

Из геометрических соображений общее выражение для определения отрезка l_p можно записать в виде

$$l_p = (h + \kappa) \frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \theta_i)}, \quad (2)$$

где h — глубина проплавления; κ — катет углового шва; β — угол наклона лобовой грани шва.

Используя условие минимума энергии деформирования ($\frac{\partial w_L}{\partial \theta_i} = 0$), в соответствии с расчетными

схемами, приведенными на рис. 1, получили выражения для определения значений угла θ_i в зависимости от трех диапазонов варьирования угла β . В первом случае (см. рис. 1, а), когда $\frac{\pi}{2} \geq \beta \geq \beta_*$, угол наклона опасного сечения OA_i

$$\theta_1 = \arctg \left(\frac{\tg \beta + \frac{2}{\chi} + \sqrt{\left(\frac{4}{\chi^2} + 1\right)(\tg^2 \beta + 1)}}{\frac{2}{\chi} \tg \beta - 1} \right), \quad (3)$$

где χ — относительная толщина ребра, равная B/L . Во втором случае (см. рис. 1, б), когда $\beta_* > \beta \geq \beta_{**}$,

$$\theta_2 = \arctg \left(\frac{\sqrt{\tg \beta}}{\eta} \right), \quad (4)$$

где η — относительная глубина проплавления пластин, равная $\frac{h}{\sqrt{2F}}$ (F — фактическая площадь наплавленного металла).

В третьем случае (см. рис. 1, в), когда $\beta_{**} > \beta \geq 0$,

$$\theta_3 = \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2} \arctg\left(\frac{2}{\chi}\right). \quad (5)$$

Очевидно, что выбор расчетной формулы из полученных выражений (3)—(5) для определения θ_i зависит от величин β_* и β_{**} . Данные граничные значения также изменяются в зависимости от соотношения геометрических параметров соединений, условий работы и определяются следующими выражениями:

$$\begin{cases} \eta = \frac{\sqrt{\lg \beta_*} \left(2 \frac{\lg \beta_*}{\chi} - 1 \right)}{\lg \beta_* + \frac{2}{\chi} + \sqrt{\left(\frac{4}{\chi^2} + 1 \right) (\lg^2 \beta_* + 1)}}; \\ \beta_{**} = \arctg \left[\eta^2 \operatorname{ctg}^2 \left(\frac{1}{2} \arctg \left(\frac{2}{\chi} \right) \right) \right]. \end{cases} \quad (6)$$

Анализ зависимостей (6) (рис. 2) показал, что при уменьшении параметра χ значения β_* (поз. а) и β_{**} (поз. б) стремятся к некоторым предельным функциям. При этом влияние относительной толщины ребра снижается экспоненциально и при значениях $\chi < 0,1$ взамен выражений (6) можно использовать следующие:

$$\begin{cases} \eta = \lg \frac{\beta_{0*}}{2} \sqrt{\lg \beta_{0*}}; \\ \beta_{0**} = \arctg(\eta^2). \end{cases} \quad (7)$$

Отношения граничных значений $\frac{\beta_*}{\beta_{0*}}$ и $\frac{\beta_{**}}{\beta_{0**}}$ в функции параметра χ приведены на рис. 3: кривая 1 соответствует зависимости $\frac{\beta_*}{\beta_{0*}} = \frac{\beta_*}{\beta_{0*}}(\chi)$,

кривые 2 — $\frac{\beta_{**}}{\beta_{0**}} = \frac{\beta_{**}}{\beta_{0**}}(\chi)$. В диапазоне $\chi < 0,05$ относительная погрешность при использовании для расчета предельных значений β зависимостей (7) вместо (6) составляет не более 5 %.

Для оценки возможности использования формул (3)—(7) с целью определения углов наклона (положения) и размеров опасных сечений при изгибе для различных сочетаний геометрических параметров тавровых соединений применяли метод конечных элементов (МКЭ), реализованный в ПК ANSYS. Сетка конечных элементов состояла из

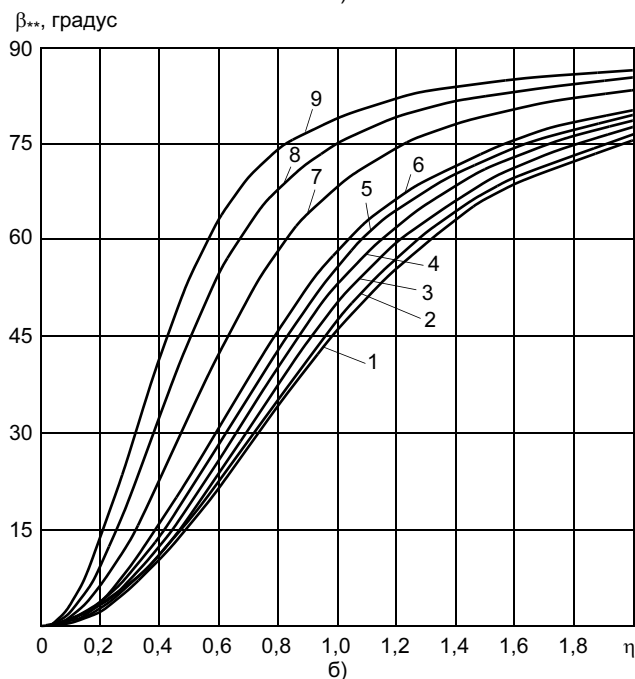
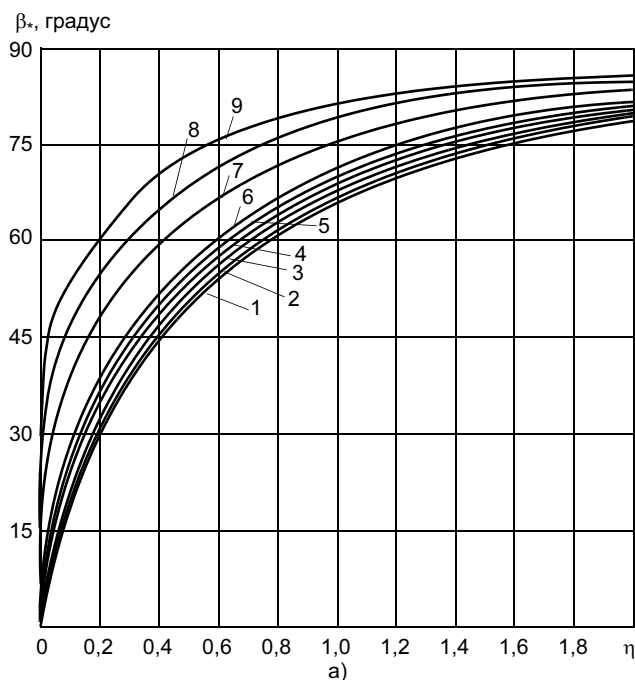


Рис. 2. Зависимость граничных значений угла β от геометрических параметров тавровых соединений: 1—9 — χ равен 0,05, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 1,0, 1,5 и 2,0 соответственно

2000 элементов и 2150 узлов. Угол наклона β лобовых граней швов моделей варьировали от 30 до 75°, глубину проплавления h — от 0 до 0,5 B . При этом площадь поперечного сечения наплавленного металла F оставалась постоянной, что позволило осуществить качественную оценку полученных результатов. Для более четкого построения участков пластического течения соединения нагружали до околорезонансного состояния. На рис. 4 приведен

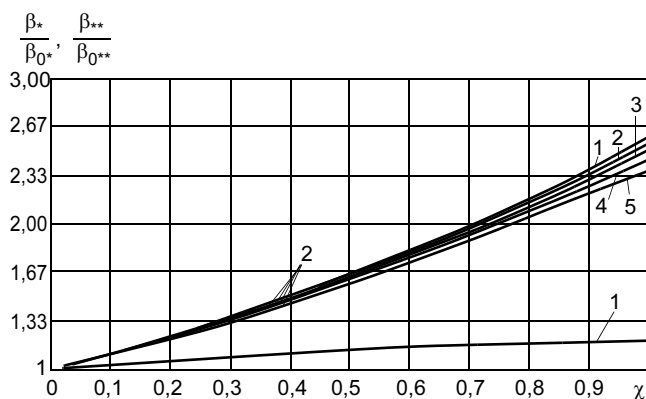


Рис. 3. Зависимости $\frac{\beta^*}{\beta_{0^*}}$ (1) и $\frac{\beta^{**}}{\beta_{0^{**}}}$ (2) от параметра χ : 1—5 — η равен 0,30, 0,35, 0,40, 0,45 и 0,50 соответственно

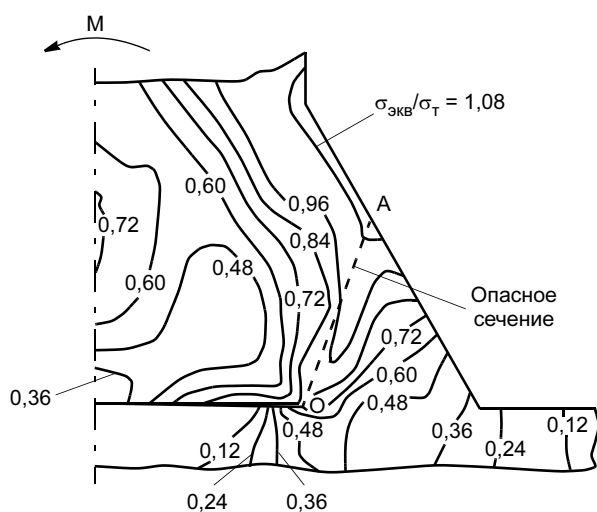


Рис. 4. Поле относительных напряжений $\sigma_{\text{экв}}/\sigma_T$ в поперечном сечении шва таврового соединения с геометрическими параметрами $\beta = 60^\circ$, $\eta = 0$, $\chi = 0,087$ при воздействии предельного изгибающего момента

пример распределения относительных напряжений $\sigma_{\text{экв}}/\sigma_T$ ($\sigma_{\text{экв}}$ — эквивалентные напряжения от внешнего изгибающего момента, σ_T — предел текучести материала) в поперечном сечении шва растянутой зоны для модели таврового соединения с параметрами $\beta = 60^\circ$, $\eta = 0$, $\chi = 0,087$ (НДС в зоне сжатия идентично, имеет место смена знака напряжений). В ходе численного эксперимента (МКЭ) по полученным картинам НДС определяли углы θ_i наклона сечений, находящихся в предельном состоянии, и длины опасных сечений l_p , которые сравнивали с расчетными значениями, полученными по предложенной методике. Результаты измерений и расчетов приведены в табл. 1.

Результаты сравнения полученных расчетных параметров опасных сечений и данных МКЭ, приведенные в табл. 1, свидетельствуют об их удовлетворительной сходимости и приемлемости ис-

пользования формул (3)—(7) для выбора расчетных сечений рассматриваемых соединений при прочностных расчетах.

Располагая параметрами, определяющими положение очага пластического течения (расчетного сечения) рассматриваемых соединений, можно оценить их несущую способность. В данном случае в качестве критерия, характеризующего предельное состояние соединений, удобно использовать предельный изгибающий момент. Выражение для его определения получено исходя из условия баланса мощностей внутренних и внешних сил ($w_L = w_p$) с применением формул (1) и (2):

$$M_{\text{ср}} = \frac{\sigma_B}{2\sqrt{3}} \psi_* K_{\eta\beta}, \quad (8)$$

где $M_{\text{ср}}$ — предельный погонный изгибающий момент для таврового соединения; $\psi_* = B\sqrt{2F}$ (B — толщина ребра); $K_{\eta\beta}$ — коэффициент, зависящий от геометрических параметров сварных соединений и определяемый по формуле

$$K_{\eta\beta} = \left(\eta + \frac{1}{\sqrt{\tan\beta}} \right) \frac{\sin\beta}{\sin(\beta + \theta_i) \sin\theta_i}. \quad (9)$$

Формула (8) в совокупности с выражениями (3)—(7) позволяет вычислить критический изгибающий момент, соответствующий предельному НДС в рассматриваемом сечении таврового соединения с произвольным сочетанием геометрических параметров его конструктивных элементов и способа

Таблица 1

β , градус	η	χ	Расчет по предложенному методу		МКЭ	
			θ_i , градус	l_p/B	θ_i , градус	l_p/B^*
30	0	0,087	76,3	0,343	79—81	0,364
30	0,6	0,261	51,6	0,484	52—54	0,500
30	0,6	0,087	51,6	0,484	52—54	0,500
45	0	0,087	68,8	0,386	71—77	0,410
45	0	0,261	71,2	0,394	72—75	0,410
45	0,5	0,087	63,0	0,558	62—64	0,556
45	0,5	0,348	63,0	0,558	62—64	0,556
60	0	0,087	61,2	0,385	58—62	0,398
60	0	0,174	62,5	0,390	62—66	0,398
60	0,25	0,087	61,2	0,511	54—56	0,482
60	0,25	0,261	63,5	0,524	59—61	0,500
65	0	0,087	58,7	0,372	57—61	0,367
65	0	0,348	62,5	0,390	64—66	0,389
70	0	0,087	56,3	0,352	58—60	0,355
70	0	0,261	58,7	0,363	55—59	0,347
70	0,35	0,087	56,3	0,556	50—54	0,526
70	0,35	0,348	59,9	0,584	54—57	0,564
75	0	0,087	53,7	0,320	50—52	0,314
75	0	0,348	57,4	0,339	55—58	0,325

* Сечение для измерения l_p выбирали по среднему значению угла θ_i .

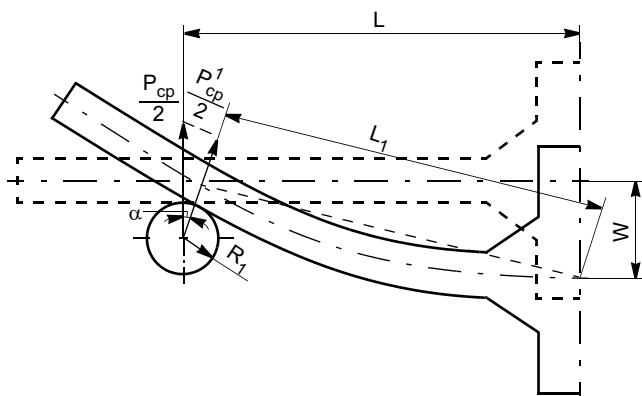


Рис. 5. Схема для определения поправочной функции f_n , учитывающей пластический прогиб соединения в процессе его нагружения

задания внешней нагрузки. Таким образом, условие сохранения несущей способности соединения (до разрушения) будет иметь следующий вид:

$$M_p \leq M_{cp}, \quad (10)$$

где M_p — максимальный изгибающий момент от действующей внешней нагрузки в поперечном сечении таврового соединения.

Экспериментальную проверку предложенной расчетной методики для оценки вязкой прочности тавровых соединений в условиях изгиба проводили

на образцах, изготовленных из сталей 09Г2С и ВСтЗсп. Угловые швы соединений из стали 09Г2С выполняли механизированной сваркой в смеси газов (CO_2 + аргон) проволокой Св-08Г2С. Для образцов из стали ВСтЗсп применяли автоматическую сварку под флюсом ОСЦ-45 проволокой Св-08А. Образцы испытывали по схеме трехточечного изгиба (рис. 5) на испытательной машине "Амслер". При этом процесс нагружения рассматриваемых соединений на стадии потери несущей способности сопровождается значительными прогибами. Влияние прогибов на предельные значения изгибающих моментов учитывали введением поправочной функции, полученной из геометрических соображений (см. рис. 5):

$$M_{cp}^{эксп} = \frac{P_{cp}^1 L^1}{2} = \frac{P_{cp} L}{2} f_n, \quad (11)$$

где P_{cp}^1 — составляющая внешнего изгибающего усилия, равная $P_{cp} \cos \alpha$; L^1 — плечо усилий P_{cp}^1 при угле прогиба соединения α , равная $\frac{L}{\cos \alpha} - R_1 \tan \alpha$; f_n — поправочная функция на прогиб соединения, равная $\left[1 - \frac{R_1 \sin \alpha}{L} \right]$ (α — угол стрелы прогиба,

Таблица 2

Номер образца	Геометрический параметр				L, мм	f _п	M _{ср} ^{эксп} , кН • мм	M _{ср} ^{теор} , кН • мм
	β, градус	B, мм	h, мм	F, мм ²				
Сталь ВСтЗсп								
1	45	9	1,0	18,0	65	0,814	7,32	5,58—7,24
2	54	9	0,5	17,5	65	0,834	7,10	5,45—7,07
3	36	9	1,0	17,5	65	0,791	6,25	4,94—6,40
4	24	12	3,5	18,0	65	0,887	8,90	9,05—11,74
5	58	12	2,0	20,0	75	0,880	10,27	9,97—12,93
6	45	12	2,5	24,5	75	0,866	12,93	10,11—13,11
7	53	12	3,0	24,0	75	0,880	14,89*	11,71—15,20
Сталь 09Г2С								
1	59	16	3,0	67,5	100	0,915	27,99	27,05—30,82
2	52	16	4,0	65,0	100	0,911	30,05	27,44—31,26
3	43	16	3,0	66,0	100	0,907	24,56	23,22—26,46
4	30	16	0,5	56,0	100	0,911	16,12	15,32—17,46
5	31	16	1,5	67,5	100	0,905	18,78	18,19—20,72
6	59	8	0,5	30,0	60	0,814	8,45*	7,32—8,34
7	61	8	2,5	22,5	60	0,829	8,25*	7,17—8,17
8	66	8	2,0	18,0	70	0,871	8,90*	7,75—8,84
9	45	8	1,0	18,0	70	0,859	6,03	5,76—6,57
10	54	8	1,5	17,5	70	0,863	7,55	6,65—7,58
11	34	8	0,5	27,0	70	0,855	6,11	5,72—6,52
12	55	11	2,5	35,0	90	0,912	15,35*	13,52—15,41
13	66	11	2,0	27,5	90	0,917	13,79	12,33—14,04
14	29	11	1,0	33,0	90	0,907	9,24	8,37—9,53
15	45	11	2,0	32,0	90	0,910	12,02	11,32—12,90
* Разрушение тавровых соединений по основному металлу (по линии сплавления стенки ребра).								
Примечание. R ₁ = 25 мм.								

равный $\arctg \frac{W}{L}$; W — перемещение пуансона, соответствующее моменту достижения предельного усилия $P_{\text{ср}}$; R_1 — радиус ролика неподвижной опоры).

Геометрические параметры и результаты испытаний образцов тавровых сварных соединений на статический изгиб приведены в табл. 2.

Расчетные значения предельного изгибающего момента $M_{\text{ср}}^{\text{теор}}$ для рассматриваемых сварных соединений подсчитаны с учетом разброса механических характеристик σ_B . Как показывает сравнительный анализ полученных результатов, имеет место удовлетворительное соответствие расчетных и экспериментальных значений $M_{\text{ср}}$.

ВЫВОДЫ

1. Предлагаемая методика определения предельного изгибающего момента двусторонних тавровых соединений с непроварами в условиях вязкого разрушения учитывает влияние геометрических параметров угловых швов, объема наплавленного металла, глубины проплавления соединяемых элементов, способа задания внешнего изгибающего момента и основана на определении положения очагов пластического течения при изгибе.

2. Разработанный метод расчетной оценки вязкой прочности тавровых соединений при изгибе учитывает длину непровара, геометрию угловых швов, способ задания внешнего изгибающего момента и может использоваться для расчета геометрических параметров сварных соединений.

3. Увеличение глубины проплавления способствует повышению несущей способности рассматриваемых соединений. Изменение угла наклона лобовых граней угловых швов при сохранении объема наплавленного металла также влияет на величину предельной нагрузки, что позволяет оптимизировать геометрию швов и повышать их несущую способность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хмарова Л. И., Ерофеев В. В., Ерофеев М. В. Статическая прочность сварных соединений с угловыми швами из стали 15ХСНД // Повышение надежности тяжело нагруженных деталей машин. Челябинск, 1986. С. 124—131.
2. Анализ структуры производства сварных конструкций в промышленности СССР / Б. Е. Патон, М. Г. Бельфор, В. И. Бернадский и др. // Автоматическая сварка. 1983. №11. С. 1—12.
3. Козут Н. С., Шахматов М. В., Ерофеев В. В. Несущая способность сварных соединений. Львов: Свит, 1991. 184 с.
4. Шахматов М. В., Айметов С. Ф., Айметов Ф. Г. Работоспособность лобовых швов нахлесточных соединений при вязком разрушении в условиях изгиба // Сварщик-профессионал. 2006. № 4. С. 23—24.
5. Шахматов М. В., Айметов С. Ф., Айметов Ф. Г. Влияние геометрии лобовых швов на несущую способность тавровых соединений с трещиноподобными дефектами при изгибе // Сварщик-профессионал. 2006. № 2. С. 18—19.

УДК 621.791.754

О. Г. БРУНОВ, канд. техн. наук, С. А. СОЛОДСКИЙ, инж.
Юргинский технологический институт
Томского политехнического университета

Физико-математическое моделирование перехода капли электродного металла в сварочную ванну

Перенос любой капли жидкости в ванну состоит из ряда этапов: образования капли, приближения к жидкой ванне, слияния поверхности капли и ванны, перехода капли в ванну, обрыва перемычки между носителем и ванной. Сложность термодинамических процессов, протекающих в сварочной дуге во время образования капли электродного металла и ее приближения к сварочной ванне, не позволяет с достаточной точностью создать физическую модель, отвечающую критерию подобия процесса. Но слияние, переход и разрыв перемычки можно смоделировать на любой жидкости с известными физическими параметрами. А учитывая, что время

протекания этих циклов занимает 35 % (получено экспериментально с помощью видеосъемки) всего времени переноса капли электродного металла, то задача получить математическую модель, позволяющую определить зависимость времени перехода от действующих на каплю внешних и внутренних воздействий, является актуальной.

Предлагаемая модель должна отвечать условию подобия, а процесс должен протекать в известных физических условиях [1]. В данной работе, учитывая подобие процессов, исследовали переход капли глицерина со стеклянной пипетки в глицериновую ванну [2]. Глицерин смачивает стекло и, сле-

довательно, отрыв капли от пипетки можно представить как отрыв капли жидкого металла от расплавленного торца сварочной проволоки и на этой основе смоделировать переход капли электродного металла в сварочную ванну.

Подобие процесса соблюдается также в том, что капля электродного металла после соприкосновения со сварочной ванной образует перемычку и под действием кинетической энергии перетекает в сварочную ванну до разрыва перемычки, а в модели капля глицерина перетекает в глицериновую ванну.

Наиболее характерным переносом при сварке в CO_2 является перенос с короткими замыканиями, поэтому с помощью видеосъемки исследовали переход капли с замыканием с жидкой ванной при непрерывном увеличении ее объема и переход капли с замыканием с жидкой ванной при импульсном движении пипетки с остановкой до их соприкосновения.

Для переноса капли в обоих случаях важным является различие кинетической энергии, от которой зависит скорость перехода капли. Поэтому, зная ее значения, можно провести интерполяцию скорости перехода и на ее основе получить взаимосвязь ускорения движения капли и скорости перехода.

Капля электродного металла образуется и постоянно увеличивается до замыкания за счет постоянного плавления проволоки под действием теплоты электрической дуги, а при моделировании — под действием давления на пипетку. При импульсном движении капли электродного металла во время импульса размер капли не увеличивается вследствие высокой скорости перемещения. Во время движения на каплю действуют силы давления дуги, которые смещают ее от оси проволоки. При моделировании импульсного движения размер капли задается перед началом движения, а давление дуги заменяется давлением атмосферного воздуха.

Для исследования работы физической модели процесса переноса капли проводили его съемку скоростной видеокамерой (Read Lake 8000) со скоростью 400 кадров в 1 с. Радиус конца пипетки $r = 1,1$ мм. На полученных кадрах представлен перенос капли, начиная с момента ее образования и заканчивая ее полным переходом в жидкую ванну. Скорость перехода капли зависит от взаимодействия сил поверхностного натяжения между каплей и жидкой ванной и каплей и пипеткой, их результирующая сила

$$F_{\text{пн}} = 2\sigma\pi(R - r), \quad (1)$$

где σ — коэффициент поверхностного натяжения; R — радиус контакта капли со сварочной ванной; r — радиус контакта между каплей и пипеткой.

Учитывая, что изменение соотношений между радиусами происходит по определенному закону,

по кадрам видеосъемки строили зависимость, отражающую эти изменения. Так как в среде CO_2 наиболее устойчивым процессом является сварка с короткими замыканиями, то в данной физической модели необходимо выделить именно этот процесс, конец которого наступает при переходе капли в жидкую ванну.

Капля перемещается к жидкой ванне под воздействием внешнего ускорения и гравитационных сил. Когда происходит соприкосновение капли с жидкой ванной, она обладает определенной кинетической энергией. Для получения математической модели образования перемычки и перехода капли и разрыва перешейки между носителем капли и жидкой ванной необходимо исследовать этот процесс при различных ускорениях капли.

На первом этапе моделирования рассматривали переход капли под воздействием ускорения свободного падения. По полученным кадрам видеосъемки (рис. 1) определяли размеры, скорость перемещения и энергию капли до образования перемычки с жидкой ванной. По полученным данным с помощью метода наименьших квадратов строили график изменения диаметра перемычки между каплей и жидкой ванной для получения математической зависимости.

Энергию капли, зная ускорение и определив размеры и расстояние между пипеткой и жидкой ванной, определяли из выражения

$$W = mal, \quad (2)$$

где m — масса капли; a — ее ускорение; l — расстояние между пипеткой и жидкой ванной.

Для капли с непрерывным нарастанием массы энергия $W = 2,8 \cdot 10^{-4}$ Дж.

Как следует из рис. 1, диаметр перемычки между каплей и ванной всегда меньше, чем между каплей и пипеткой, следовательно, учитывая выражение (1), можно утверждать, что в любой момент времени перехода капли сила поверхностного на-

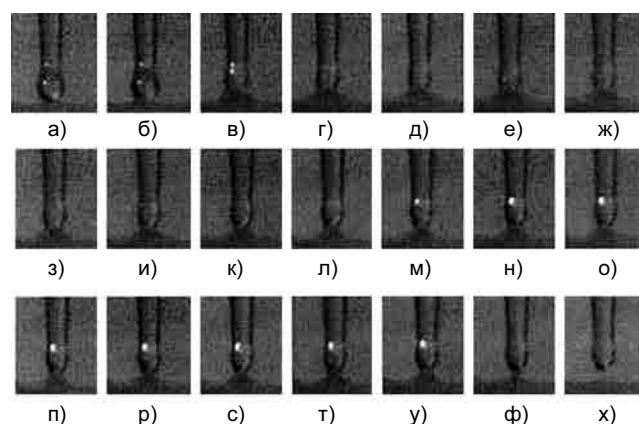


Рис. 1. Видеокадры перехода капли глицерина в жидкую ванну при неподвижно закрепленной пипетке

тяжения остается направленной в сторону пипетки, т. е. является отрицательной и равна разности радиусов контактов.

Сравнивая видеокадры на рис. 1 и зависимость, полученную по ним (рис. 2, а) во времени, установили, что рост перемычки между каплей и жидкой ванной продолжается до точки А (см. рис. 2, а), после которой начинается образование перешейка, в котором произойдет разрыв перемычки.

При сопоставлении модели капельного переноса и построенных на их основе зависимостей перехода капли в жидкую сварочную ванну установили следующее:

- до точки А происходит нарастание контакта между каплей и жидкой ванной;
- после достижения максимума образуется перешеек;
- место образования перешейка зависит от соотношения максимальных радиусов капля — пипетка и капля — ванна, если больше первое, пере-

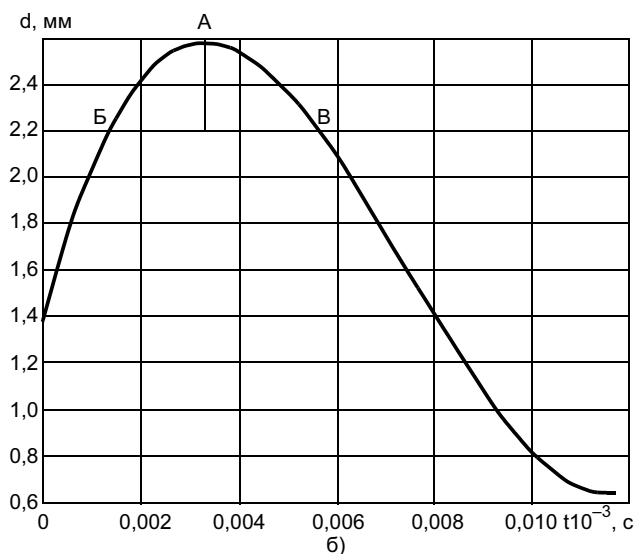
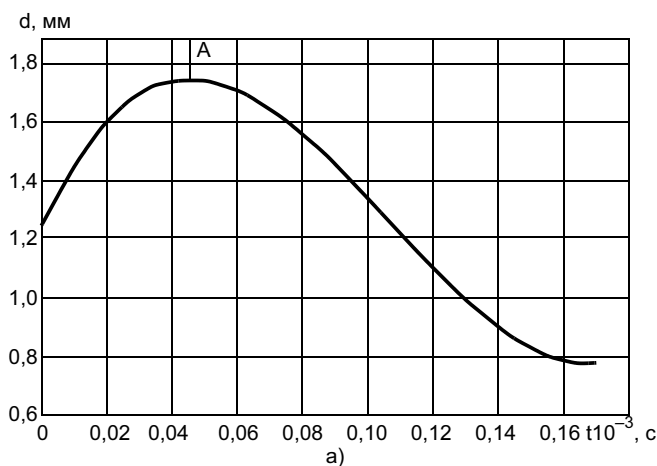


Рис. 2. Изменение диаметра перемычки между каплей и жидкой ванной при переходе капли глицерина в жидкую ванну: а, б — а равно 9,8 и 24 м/с² соответственно

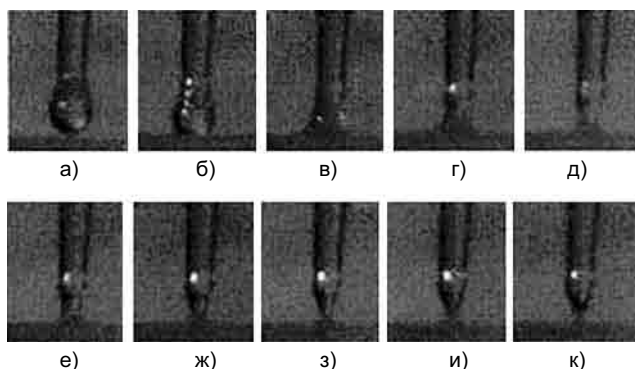


Рис. 3. Видеокадры перехода капли глицерина при импульсном движении пипетки

шек ниже центра и большая часть капли возвращается к пипетке, если наоборот, то наблюдается обратный процесс;

— от кинетической энергии зависит соотношение радиусов.

Для исследования влияния дополнительного ускорения движения капли на ее переход в жидкую ванну капле задавали ускорение с помощью придания пипетке дополнительного разгона, а затем ее резкой остановки. Видеокадры данного процесса приведены на рис. 3.

Из сравнения скорости перехода капли на видеокадрах, полученных при съемке, следует, что при увеличении ускорения в 2,5 раза скорость увеличивается в 2 раза, что свидетельствует о ее нелинейной зависимости от изменения ускорения. Для новых условий также получили зависимость изменения диаметра контакта между каплей и жидкой ванной (рис. 2, б).

Учитывая, что ускорение движения капли при той же массе в данном случае намного выше предыдущего, из выражения (2) следует, что и энергия капли имеет большую величину — $W = 8,5 \cdot 10^{-4}$ Дж. Принимая новые начальные условия, получаем, что скорость роста диаметра перемычки имеет большую скорость, а ее диаметр на участке БВ (см. рис. 2, б) превышает диаметр перемычки между каплей и пипеткой. Следовательно, на этом участке сила поверхностного натяжения изменяет свою направленность в сторону жидкой ванны, что влияет на скорость перехода капли. На основе видеокадров движения капли построены зависимости при обоих видах перехода капли в жидкую глицериновую ванну (под действием гравитационных сил и ускорения). На основании данных зависимостей получили математическое выражение, которое с достаточной точностью описывает процесс роста и уменьшения площади перемычки [3]:

$$s = At^b e^{tc}, \quad (3)$$

где s — площадь перемычки между каплей и жидкой ванной; A — коэффициент, связанный с ускорением движения капли и динамической вязкостью жидкости, от которого зависит скорость роста диаметра капли, для данных начальных условий

$$A = \frac{m}{\eta} a^{10\eta} \quad (\eta \text{ — динамическая вязкость жидкости;}$$

a — ускорение движения капли); t — время; b — коэффициент, связанный с ростом перемычки до достижения ею максимального значения; c — коэффициент, связанный с временем начала образования перешейка между пипеткой и жидкой ванной, равный $1/(-x_{\max})$.

Учитывая симметрию графика образования и разрыва перемычки, $t_c = 2/(-c)$, получим следующее уравнение $b^2 - 5b + 4 = 0$, имеющее два корня: $b_1 = 1$; $b_2 = 4$, но с учетом начальных условий $0 \leq b \leq 1$ примем $b = 1$.

После подстановки известных значений в выражение (3) получим

$$s = 0,0013a^{1,4}te^{-2at}. \quad (4)$$

Для определения силы поверхностного натяжения при переходе капли проинтегрируем выражение (3) и вычтем из него силу поверхностного натяжения между каплей и пипеткой. Тогда, учитывая выражение (1), получим следующее выражение для силы поверхностного натяжения:

$$F_{\text{пн}} = \sigma\pi \left[\int_0^{t_k} (At^b e^{tc})^2 dt - d \right]. \quad (5)$$

Из выражения (2) получим следующее равенство:

$$F_{\text{пн}} l = \frac{mv^2}{2}. \quad (6)$$

На основании формулы (3) и полученных начальных условий построена номограмма (рис. 4), на основании которой можно вычислить скорость перехода капли в жидкую ванну в зависимости от ускорения движения ее носителя [4].

Полученную с помощью выражения (3) номограмму, учитывая линейное изменение ускорения движения капли, можно экстраполировать и таким образом определить время перехода в зависимости от ускорения капли. Данная номограмма учитывает максимальный размер диаметра перемычки между каплей и жидкой ванной.

Рассматривая физическую модель переноса, можно заметить одну закономерность: скорость перехода резко возрастает с момента начала сужения перемычки (см. рис. 1, и, 3, г). Это можно объяснить действием сил поверхностного натяжения, которые действуют подобно электродинамическим силам сварочной дуги.

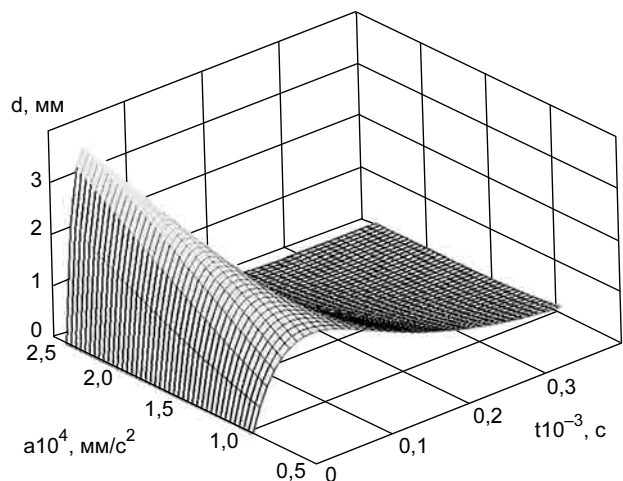


Рис. 4. Номограмма изменения диаметра перемычки между каплей и жидкой ванной при различных ускорениях капли, полученных с помощью математической модели

Одним из важнейших параметров является оптимальная частота переноса капель в жидкую ванну, период которой зависит от времени образования и перехода капли $f = \frac{1}{t_{\text{об}} + t_{\text{п}}}$ ($t_{\text{об}}$ — время образования капли; $t_{\text{п}}$ — время перехода).

Из выражений (4) и (5) получим следующую формулу для определения времени перехода капли в жидкую ванну:

$$t_{\text{п}} = \sqrt{\frac{ml}{2\sigma\pi \left[\int_0^{t_k} (s + At^b e^{tc})^2 dt - d \right]}}. \quad (7)$$

Учитывая, что скорость образования капли имеет линейный характер, оптимум можно получить из экспоненциального характера времени перехода капли в жидкую ванну.

ВЫВОД

Место образования перешейка на перемычке между жидкой ванной и электродом зависит от кинетической энергии капли: чем выше скорость и ускорение капли и, соответственно, больше кинетическая энергия, тем дальше от поверхности ванны образуется перешеек, и большая масса капли перейдет в жидкую ванну.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кухлинг Х. Справочник по физике. М.: Мир, 1982. 519 с.
2. Мудров В. И., Кушко В. Л. Методы обработки измерений. М.: Советское радио, 1976. 192 с.
3. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике. М.: Наука, 1986. 544 с.
4. Политехнический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1980. 655 с.

Ю. Ю. ЛЕВИН, инж., В. А. ЕРОФЕЕВ, канд. техн. наук
Тульский государственный университет

Расчет параметров импульсной лазерной сварки алюминиевых сплавов малой толщины

Тонколистовые конструкции из алюминиевых сплавов, отличающиеся коррозионной стойкостью и малой плотностью, широко применяют в различных областях техники.

Получение неразъемных соединений малых толщин (0,5—1,5 мм) (рис. 1) возможно только лазерной сваркой. Импульсно-лазерная сварка (ИЛС) благодаря высокой концентрации энергии в импульсе лазерного излучения обеспечивает качественное проплавление при минимальном тепловложении.

Импульсное лазерное воздействие характеризуется жестким термомеханическим циклом, вызывающим выплески и образование пор, выпуклостей и кратеров (рис. 2). Необходима разработка способов, исключающих их образование и обеспечивающих взаимное перекрытие участков шва, полученных от воздействия отдельных импульсов.

В работах [1, 2] приведены рекомендации по выбору параметров импульса для получения заданного проплавления и предотвращения образования дефектов.

Причиной возникновения выплесков в начале импульса считают быстрое вытеснение расплава заглубляющимся парогазовым каналом из сварочной ванны небольшого размера. На поверхности

расплава формируется выпуклость, заливающая входное отверстие канала. Высокая концентрация тепловыделения у закрывающегося входного отверстия вызывает кипение металла. Реактивная отдача пара приводит к выплескиванию расплава. Для предотвращения выплеска рекомендуют выполнять сварку импульсами с постепенным уменьшением мощности.

Причиной возникновения пустот в шве является быстрая кристаллизация сварочной ванны, которая опережает затекание канала после окончания импульса излучения лазера. Рекомендуют уменьшать мощность импульса лазера постепенно, чтобы расплав заполнял канал с его дна, а не с горловины.

Наклон фронтов импульса обычно подбирают экспериментально в каждом конкретном случае сварки. Это часто является трудновыполнимым, поэтому в данной работе предлагается теоретическое решение проблемы определения параметров ИЛС, обеспечивающих заданное проплавление и перекрытие шва без выплесков и пор.

Модель для оценки критериев качества формирования. Для оценки возможности образования дефектов необходимо определить значения и скорости изменения размеров канала и сварочной ванны при заданных параметрах сварки.

Процесс сварки можно условно разделить на фазу заглубления луча и формирования канала и сварочной ванны и фазу заполнения канала расплавом и кристаллизации металла.

Для возникновения канала необходимо, чтобы луч нагрел металл до температуры кипения. Температура металла определяется балансом между мощностью луча, поглощенной металлом, и мощностью теплового потока в металл [3, 4]. Потери мощности на испарение можно пренебречь ввиду малости по сравнению с мощностью теплового потока. При этих допущениях скорость роста глубины z_c канала

$$\frac{\partial z_c}{\partial t} = \frac{P\varepsilon - \frac{2}{3}\lambda\pi r_c z_c \frac{\partial T_v}{\partial r}}{\frac{2}{3}\pi r_c z_c \rho (cT_v + q_L)}, \quad (1)$$

где P — мощность лазера; ε — коэффициент поглощения излучения; λ — теплопроводность металла;

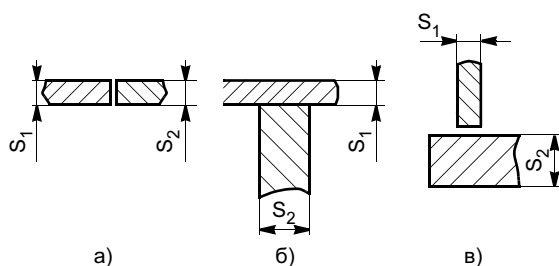


Рис. 1. Типовые соединения тонкостенных алюминиевых конструкций: а — стыковое; б — нахлесточное; в — угловое

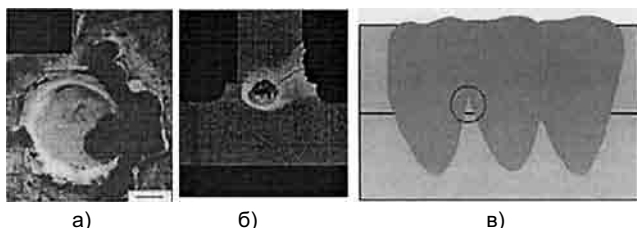


Рис. 2. Типовые дефекты, возникающие при ИЛС: а — выплески; б — поры; в — негерметичность

r_c — радиус канала; c, ρ — теплоемкость и плотность металла; T_v — температура интенсивного испарения металла (зависит от его химического состава); q_L — теплота плавления.

Коэффициент поглощения излучения зависит от электропроводности металла и длины волны излучения лазера. Коэффициент поглощения излучения при падении излучения на плоскую поверхность

$$\varepsilon_0 = 0,036 \sqrt{\rho_e \omega}, \quad (2)$$

где ρ_e — удельное электрическое сопротивление сплава при температуре кипения; ω — частота излучения лазера.

Большое значение имеет многократное отражение излучения от поверхности канала, которое зависит от соотношения между глубиной и диаметром канала:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \sum_{n=1}^{\left(\frac{z_c}{r_c}\right)^2} (1 - \varepsilon_{n-1}) \varepsilon_0. \quad (3)$$

Мощность теплового потока в металл определяется градиентом температуры в окрестности канала. Этот градиент температуры можно определить по следующей формуле:

$$\frac{\partial T_v}{\partial r} \approx T \left(\frac{1}{\frac{r_c}{3} + \sqrt{\frac{\lambda}{c\rho t}}} + \frac{\partial z_c}{\partial t} \frac{c\rho}{2\lambda} \right), \quad (4)$$

$$\text{где } T = \min \left(T_v, \int_0^t \frac{P\varepsilon - 2\pi r_c^2 T}{2\pi r_c^3 c\rho \left(\frac{r_c}{3} + \sqrt{\frac{\lambda}{c\rho t}} \right)} dt \right) \text{ — макси-}$$

мальная температура металла на поверхности; t — время, прошедшее с начала воздействия импульса.

Радиус ванны определяется градиентом температуры, среднее значение которого в сварочной ванне оценивается по формуле

$$\frac{\partial T_L}{\partial r} \approx \frac{T}{\frac{r_c}{3} + \sqrt{\frac{\lambda}{c\rho t}}} \frac{T_L + T_v}{2T_v}. \quad (5)$$

Текущие значения глубины канала и радиуса ванны определяются соответственно следующим образом:

$$z_c = \min \left(s, \int_0^t \frac{\partial z_c}{\partial t} dt \right); \quad (6)$$

$$R = r_c + \frac{T - T_L}{\frac{\partial T_L}{\partial r}}, \quad (7)$$

где s — толщина пакета деталей.

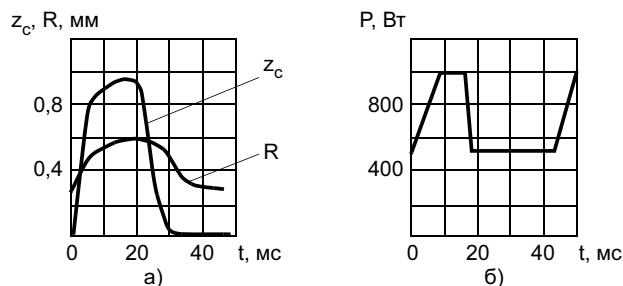


Рис. 3. Изменение глубины канала и ширины сварочной ванны (а) в течение импульса излучения лазера переменной мощности (б)

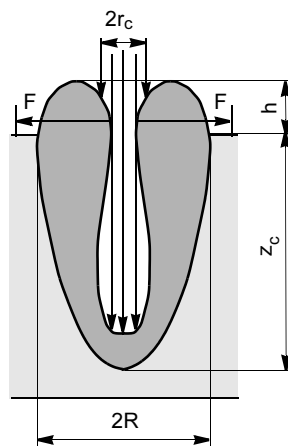


Рис. 4. Формирование выплеска при воздействии луча на металл

Длина сварочной ванны сверху

$$L \approx 2R + v_w t, \quad (8)$$

где v_w — скорость сварки.

При сварке стыковых соединений длина ванны с обратной стороны листов определяется временем t_b , в течение которого глубина канала равна толщине листов:

$$L_b \approx 2r_b + v_w t_b, \quad (9)$$

где r_b — радиус ванны, определяемый по формулам (5), (7) при подстановке $t = t_b$.

Решение этой системы уравнений с малым шагом времени позволяет воспроизвести рост глубины канала и размеров ванны расплава в течение импульса излучения лазера (рис. 3).

Для оценки возможности выплеска расплава по результатам моделирования определяется форма ванны и давление, действующее на расплав. Возникновение выплесков при сварке импульсным лазером связано с формой выпуклости расплава, которая формируется вследствие вытеснения расплава каналом (рис. 4).

Под действием сил поверхностного натяжения выпуклость приобретает форму, близкую к сегменту тора (см. рис. 4). Если диаметр тора превысит ширину ванны, то начинается смыкание горловины канала. После уменьшения диаметра горловины до диаметра луча излучение лазера вызывает кипе-

ние металла и выброс расплава силой F реактивной отдачи пара.

Причиной формирования выпуклости является вытеснение расплава каналом и термическим расширением металла. Объем выпуклости

$$V = \pi r_c^2 z_c + \frac{1}{3} \pi R^2 z_c \left(\frac{\rho_L}{\rho_0} - 1 \right), \quad (10)$$

где ρ_0 , ρ_L — плотности твердого металла и расплава.

Этот объем формирует поверхность ванны в форме сегмента тора с высотой выпуклости

$$h = \frac{2V}{\pi^2 (r_c + R)(R - r_c)}. \quad (11)$$

Форма выпуклости при $h < \frac{1}{2}(R - r_c)$ исключает возможность заливания горловины канала. Поэтому соотношение

$$\frac{(R - r_c)^2 (R + r_c)}{4V} > 1 \quad (12)$$

можно считать условием исключения возникновения выплеска расплава.

Возможен другой механизм возникновения выплеска. При быстром заглублении луча расплав вытесняется из канала с большой скоростью. Это вызывает течение расплава от дна канала в направлении к поверхности. У поверхности течение жидкости создает скоростной напор, который увеличивает давление на поверхности и может преодолеть силы поверхностного натяжения. Скорость движения расплава v_L металла вблизи поверхности можно оценить по скорости заглубления канала и размеру сварочной ванны:

$$v_L = \frac{\partial z_c}{\partial t} \left(\frac{r_c}{R} \right)^2. \quad (13)$$

Движение расплава создает на поверхности сварочной ванны давление скоростного напора

$$p_v = \rho \frac{v_L^2}{2}. \quad (14)$$

Этому давлению противостоят силы поверхностного натяжения, создающие капиллярное давление

$$p_\sigma < \frac{\sigma}{R - r_c}. \quad (15)$$

Если давление скоростного напора превысит капиллярное, то возникнет выплеск. Критерием его отсутствия является соотношение

$$\frac{(R - r_c)\rho}{2\sigma} \left[\frac{\partial z_c}{\partial t} \left(\frac{r_c}{R} \right)^2 \right]^2 < 1. \quad (16)$$

Таким образом, имеются два критерия (12), (16) для оценки возможности появления выплесков в начале импульса. Согласно первому, для исключения выплеска необходимо обеспечить большую скорость роста площади поверхности сварочной ванны при заглублении луча, второй — ограничивает скорость роста глубины канала.

Оба критерия показывают, что выплесков можно избежать, если имеется большая площадь ванны, а скорость роста глубины канала мала. Это можно обеспечить постепенным увеличением мощности луча лазера в начале импульса тока начиная с порогового значения:

$$P_0 = \frac{\pi}{4\varepsilon_0} \lambda T_v r_c. \quad (17)$$

Для предотвращения возникновения пустот, возникающих в конце импульса лазера, необходимо, чтобы время кристаллизации t_k расплава ванны было существенно больше времени заполнения канала t_c : $t_c < t_k$.

В наиболее неблагоприятном случае, когда воздействие луча лазера прекращается сразу после достижения требуемой глубины проплавления, время заполнения канала расплавом

$$t_c \approx \sqrt{\frac{3}{2\sigma} \frac{z_c \rho}{\rho_0}}. \quad (18)$$

Время кристаллизации сварочной ванны

$$t_k \approx \frac{R}{\lambda(2z_c + R)} \operatorname{erf} \left(\sqrt{\frac{\lambda}{c\rho t} + \frac{r_c}{3}} \right). \quad (19)$$

Наиболее неблагоприятным является формирование корня шва, где $R \approx r_c$.

Причиной образования кратера являются вытеснение расплава каналом и термическим расширением металла, формирование выпуклости и частичная фиксация этой выпуклости при кристаллизации сварочной ванны (рис. 5). Так как часть вытесненного расплава кристаллизуется в выпуклости, то к концу кристаллизации возникает дефицит расплава, и остаток канала не заполняется.

Для минимизации глубины кратера необходимо уменьшить объем кристаллизующегося металла в выпуклости. Это обеспечивается, если после плавного уменьшения мощности луча для предотвращения пустот в корне шва подогревать поверхность лучом лазера при пороговой мощности (17), при которой металл остается расплавленным на все время кристаллизации металла в глубине шва. Время этого процесса оценивается формулой (19).

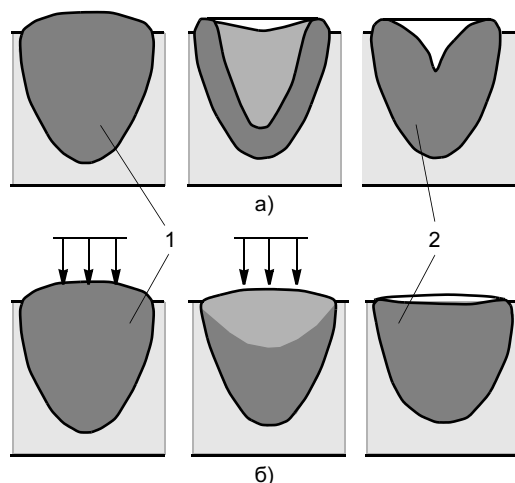


Рис. 5. Схема формирования остаточного кратера на поверхности шва: а — при воздействии лазера; б — при пороговой мощности в паузе между импульсами; 1 — расплав; 2 — закристаллизовавшийся металл

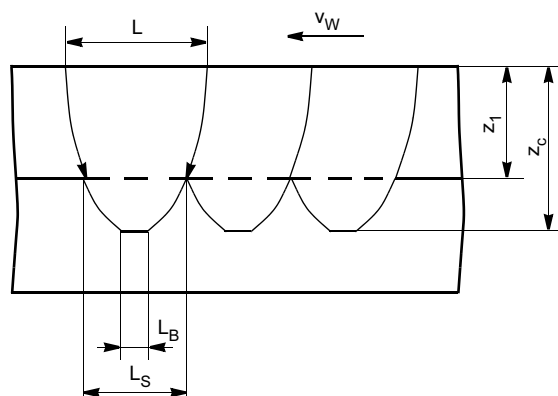


Рис. 6. Определение условия взаимного перекрытия точек шва в нахлесточном соединении

Объем выпуклости при этом минимален:

$$V_{\min} = \frac{2}{3} \pi R^3 \left(\frac{\rho L}{\rho_0} - 1 \right), \quad (20)$$

а минимальная остаточная выпуклость (глубина кратера)

$$h_{\min} \leq \frac{R}{3} \left(\frac{\rho L}{\rho_0} - 1 \right). \quad (21)$$

При импульсной сварке необходимо обеспечить взаимное перекрытие точек, сформированных отдельными импульсами. При сварке стыкового шва это перекрытие обеспечивается, если период следования импульсов лазера меньше времени перемещения луча на длину ванны с обратной стороны шва

$$\tau < \frac{L_b}{v_w}. \quad (22)$$

При сварке угловых швов и проплавного шва нахлесточного и таврового соединений необходи-

мо обеспечить перекрытие стыка между листами (рис. 6). Длина ванны в стыке

$$L_s = L_b + \frac{L - L_b}{z_c} z_1. \quad (23)$$

Так как длительность импульса лазера определяется заданной глубиной проплавления, а длительность паузы — временем кристаллизации (19), то перекрытие обеспечивается выбором скорости сварки по условию

$$v_w < L_s / t_i. \quad (24)$$

Алгоритм расчета параметров импульса приведен на рис. 7.

Для расчета по данному алгоритму разработана программа "Pulsed Laser Welding". На рис. 8 приведен экран после выполнения расчетов параметров сварки.

Исходные данные: тип соединения, толщина листов, свойства сплава, параметры луча	
Определение пороговой мощности (17)	
Цикл уточнения скорости роста мощности луча	
Цикл моделирования роста глубины канала до достижения заданной глубины проплавления	
Расчет параметров процесса по формулам (1—9)	
Расчет критериев образования выплесков (12), (16)	
Корректировка скорости роста	
До получения максимального значения без выплесков	
Расчет времени затекания канала (18) и времени кристаллизации (19)	
Расчет скорости сварки (24)	
Расчет размеров выпуклости (20) и кратера (21)	
Вывод результатов	

Рис. 7. Алгоритм расчета параметров импульса

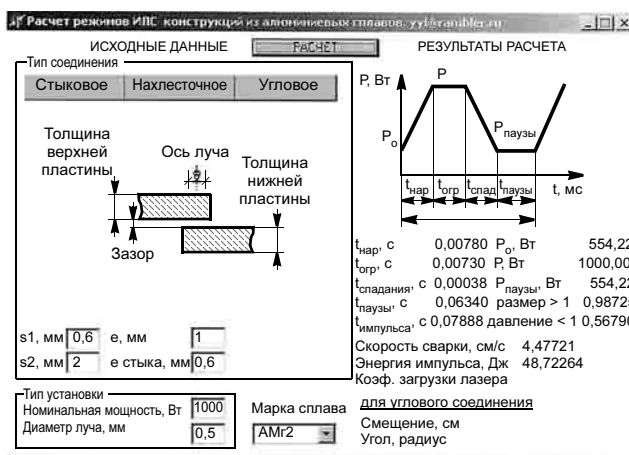


Рис. 8. Вид экрана после выполнения расчетов параметров сварки

ВЫВОДЫ

1. Для предотвращения выплесков при импульсно-лазерной сварке необходимо обеспечить большую поверхность сварочной ванны до образования парогазового канала путем плавного увеличения мощности лазера в начале импульса.

2. Для предотвращения возникновения пустот в металле шва необходимо обеспечить скорость выхода луча из канала меньше скорости заливания канала расплавом путем плавного уменьшения мощности.

3. Для предотвращения образования выпуклости и кратера необходимо поддерживать мощность лазера на уровне, соответствующем порогу возникновения канала.

4. Разработанная математическая модель расчета оптимальной формы импульса обеспечивает отсутствие выплесков, пор и герметичность соединения с заданным проплавлением. В фазе заполнения канала расплавом и кристаллизации металла оцениваются длительности этих процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Katayama S., Hamada S., Matsunawa A. // Proc. of the 6 Int. welding symposium of JWS // Japan Welding Society. 1996. Vol. 1. P. 249—254.
2. He X., Fuerschbach P. W., Deb Roy T. Heat transfer and fluid flow during laser spot welding of 304 stainless steel // J. Phys. D: J. Appl. Phys. 2003. Vol. 36. P. 1388—1398.
3. Рыкалин Н. Н., Зуев И. В., Углов А. А. Основы электронно-лучевой обработки материалов. М.: Машиностроение, 1979. 239 с.
4. Веденов А. А., Гладуш Г. Г. Физические процессы при лазерной обработке материалов. М.: Энергоатомиздат, 1985. 208 с.

Внимание! Информация

Машиностроители и ректоры вузов России объединяются

6 марта 2008 г. генеральный директор Государственной корпорации "Ростехнологии", председатель Союза машиностроителей России С. В. Чемезов и президент Российского союза ректоров, ректор МГУ им. М. В. Ломоносова В. А. Садовничий подписали соглашение о партнерстве между Союзом машиностроителей России и Российским союзом ректоров.

Основная цель соглашения — создание договорно-правовой базы для решения вопросов подготовки, переподготовки и повышения квалификации специалистов в интересах отечественного машиностроения, в том числе и оборонно-промышленного комплекса (ОПК).

В целях привлечения в эту сферу талантливой молодежи, поддержки научно-технического творчества школьников, одаренных студентов, молодых ученых, специалистов и профессорско-преподавательского состава Соглашение предусматривает развитие практики именных стипендий и грантов, образовательного кредитования студентов учреждений высшего профессионального образования и других современных форм финансирования высших учебных заведений.

Стороны взяли на себя также обязательства оказывать взаимное содействие в проведении исследований и мониторинга рынка труда для определения потребности машиностроения и смежных отраслей в квалифицированных кадрах; профессиональной ориентации студентов путем развития системы ознакомительной, производственной и преддипломной практики и трудоустройстве молодых специалистов; развитии корпоративных университетов, базовых кафедр, внутрифирменных форм обучения кадров и системы послевузовской профессиональной подготовки.

Соглашение является важным практическим шагом по выполнению решений расширенного заседания Бюро Центрального совета общероссийской общественной организации "Союз машиностроителей России", состоявшегося в декабре 2007 г. под председательством Д. А. Медведева.

В ходе обсуждения подписанного Соглашения был поднят вопрос о государственной поддержке и механизмах стимулирования кадров для машиностроения и смежных отраслей промышленности.

В целях обеспечения постоянного притока специалистов в сферу управления ГК "Ростехнологии" 13.12.2007 г. подписала соглашение о стратегическом партнерстве с МГИМО, основной целью которого является подготовка, переподготовка и повышение квалификации специалистов в интересах отечественного ОПК и реализация государственной политики в области военно-технического сотрудничества Российской Федерации с иностранными государствами. В соответствии с данным соглашением в сентябре 2009 г. в составе факультета "Международные экономические отношения" начнет работать новая кафедра МГИМО "Менеджмент в области военно-технического сотрудничества и оборонно-промышленного комплекса". Аналогичную кафедру, только по маркетингу продукции военного назначения, ГК "Ростехнологии" планирует создать в структуре МГТУ им. Н. Э. Баумана.

Пресс-служба ГК "Ростехнологии"

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

УДК 621.791:669.13

В. А. МЕТЛИЦКИЙ, д-р техн. наук, В. В. ОСИН, инж.
ООО "НПФ "Элна" (Киев)

Дуговая наплавка слоя износостойкого высокохромистого чугуна

Введение. Многие детали машин и механизмов в горнодобывающей отрасли, металлургии, энергетике и строительной индустрии подвергаются интенсивному абразивному, газо- и гидроабразивному изнашиванию. Это части различных дробилок, мельниц, смесителей, насосов, дымососов, гидро- и конвейерного транспорта, экскаваторов, бульдозеров, автосамосвалов, разнообразного металлургического оборудования.

Для уменьшения износа рабочих органов машин и продления срока их эксплуатации применяют различные способы восстановительной наплавки и (или) нанесения покрытий. Наибольшее распространение получили технологические процессы дуговой наплавки.

Цель данной работы — выбор наиболее перспективных по химическому составу, структуре и стойкости против абразивного изнашивания высокохромистых чугунов и выявление особенностей ручной и механизированной дуговой наплавки слоя высокохромистого чугуна.

Структура и свойства износостойких высокохромистых чугунов. Износостойкость чугуна при заданных условиях трения может колебаться в широких пределах и регулируется в первую очередь природой и содержанием структурных составляющих, обладающих высокой стойкостью против изнашивания. Такими составляющими являются карбиды, т. е. соединения металлов с углеродом. Наиболее распространенным является карбид железа — цементит. Дополнительным легированием получают значительно более износостойкие составляющие: карбиды хрома, вольфрама, молибдена, ванадия, титана, ниобия, циркония и др., а также различные сочетания карбидов.

Регулирование состояния металлической основы путем легирования и термической обработки позволяет в широких пределах изменять износостойкость и обрабатываемость белых чугунов.

По морфологии карбидной фазы белые износостойкие чугуны разделяют на две группы [1]:

- чугуны, в которых матричной фазой является карбид, а разветвленной — аустенит или продукты его превращения (чугуны с карбидами типа M_3C);

- чугуны, в которых матричной фазой является аустенит или продукты его превращения, а разветвленной — карбиды (чугуны с карбидами типа M_7C_3 , $M_{23}C_6$).

Содержание карбидов белых износостойких чугунов определяется в основном содержанием углерода и составляет от 12 до 50 %. Белые чугуны наиболее применяемых марок содержат 25—30 % карбидов. Размеры первичных и эвтектических карбидов зависят главным образом от скорости охлаждения в интервале кристаллизации. Для отливок с толщиной стенки от 3 до 100 мм средний размер карбидов M_7C_3 составляет соответст-

венно от 4 до 12 мм. При этом длина карбидов больше поперечника в 10 и более раз. Размеры вторичных карбидов, выделяющихся из пересыщенного аустенита и мартенсита, существенно меньше 1 мкм. При прочих равных условиях увеличение размеров карбидных включений снижает износостойкость чугуна [1].

Ориентировка карбидов по отношению к изнашиваемой поверхности имеет значение для чугунов с карбидами типа M_7C_3 с разными типами межатомных связей по осям a и c гексагональной кристаллической решетки. Как правило, преимущество по износостойкости обеспечивает ориентация карбидов осью c перпендикулярно изнашиваемой поверхности.

Таким образом, максимальную износостойкость имеют чугуны, содержание углерода в которых соответствует эвтектическому, а соотношение хрома и углерода обеспечивает образование карбидов типа $(Cr, Fe)_7C_3$ и отсутствие карбидов типа $(Fe, Cr)_3C$.

Металлическая основа белых износостойких чугунов — это аустенит и продукты его превращения. Ее главными характеристиками, влияющими на износостойкость, механические и технологические свойства, являются микротвердость, связь карбид — матрица, определяющая прочность закрепления карбидов в основе, и способность к деформации и фазовым превращениям в процессе изнашивания.

Высокая износостойкость белого чугуна с оптимальной карбидной структурой реализуется в максимальной степени только тогда, когда металлическая основа сама имеет высокую микротвердость, обеспечивает прочное закрепление карбидов и не деформируется при нагружении в процессе трения [1].

Самую высокую износостойкость белого чугуна обеспечивает прочная и твердая мартенситная металлическая основа. Остаточный аустенит снижает износостойкость чугуна с мартенситной основой, если аустенит стабилен и не наклепывается в процессе трения. Остаточный аустенит, который наклепывается при трении в условиях больших деформаций и превращается в мартенсит, может не снижать износостойкость чугуна с мартенситной основой.

Влияние легирования на структуру и свойства наплавленного высокохромистого чугуна. При дуговой наплавке для упрочнения деталей, испытывающих абразивный, газо- и гидроабразивный износ, в качестве наплавляемого металла применяют в основном высокохромистые специальные чугуны [2—6].

Согласно классификации наплавочных материалов, принятой МИСом, высокохромистые специальные чугуны (тип G) имеют следующий химический состав (%): 1,5—5,0 C; 25—35 Cr, до 6,0 Mn; до 4,0 Ni; до 5,0 W; до 1,0 V;

до 3,0 Мо; до 5,0 Со; до 1,5 Тi; до 1,5 В и обеспечивают твердость наплавленного металла на уровне 60 HRC.

Характер структуры высокохромистых чугунов, полученных дуговой наплавкой, принципиально не отличается от структуры чугуна в отливках. Наплавленный металл чище по сере, фосфору, неметаллическим включениям. Карбиды мельче и матрица более мелкозернистая благодаря более высоким скоростям охлаждения в интервале кристаллизации. Как правило, чем выше твердость карбидов в наплавленном чугуне, тем выше его износостойкость.

Получить карбидную фазу с максимально высокой износостойкостью можно при правильном легировании наплавленных чугунов. Для достижения оптимальной карбидной фазы, состоящей из наиболее легированных карбидов, отношение содержания каждого из карбидообразующих элементов к углероду должно соответствовать определенным значениям. Эти отношения составляют для хрома, вольфрама, молибдена и ванадия соответственно $Cr/C \geq 4,5$, $W/C \geq 1,5$, $Mo/C \geq 1,5$ и $V/C \geq 1,0$ [2].

Характер образующихся карбидов и их расположение в структуре связаны со степенью перегрева расплава, условиями охлаждения, но главным образом зависят от химического состава наплавленного металла. Расположение карбидов и их морфология заметно влияют на свойства материалов — износостойкость, твердость, ударостойкость.

У доэвтектических легированных чугунов вторичные карбиды и карбидная эвтектика (ледебурит) располагаются по границам зерен аустенита или продуктов его превращения. Карбидная эвтектика чаще всего располагается по границам кристаллитов. Такое расположение эвтектики обеспечивает большую износостойкость слоя наплавленного металла, чем тонкое или строчечное расположение карбидов. Повышенная мелкодисперсность эвтектики получается при высоких скоростях охлаждения наплавленного металла.

У заэвтектических чугунов выпадают первичные карбиды различных размеров и формы в виде отдельных включений и скоплений, расположенных в ледебурите. Чем больше скорость охлаждения после наплавки, тем более мелкие образуются первичные карбиды. Ледебурит в наплавленном металле состоит из карбидов и чаще всего из аустенита и мартенсита. Твердость наплавленного металла составляет 600—900 HV [2]. Заэвтектические чугуны при соответствующем легировании обладают наиболее высокой износостойкостью в случае равномерно распределенных в ледебурите первичных карбидов (карбоборидов) размером 20—60 мкм.

Для более полной оценки карбидной фазы следует отметить, что в отличие от чугуна износостойких отливок наплавленный высокохромистый чугун может иметь значительно более высокую износостойкость благодаря введению бора. Одновременно с повышением износостойкости высокохромистых чугунов бор значительно снижает их сопротивляемость действию ударных нагрузок. Бор в чугунах образует твердые и хрупкие бориды различных элементов, карбобориды и растворяется в карбидах железа, хрома, вольфрама, повышая их микротвердость. Легированные бором карбиды и образовавшиеся в структуре бориды (карбобориды) определяют высокую износостойкость железоуглеродистых сплавов. Низкая ударостойкость борсодержащих чугунов определяется не только наличием в структуре твердых и хрупких боридов, но и их расположением в виде цепочек по границам первичного зерна аустенита и образованием дисперсных выделений бора в эвтектике.

Введение 0,3—0,4 % бора уже сильно охрупчивает сплав. Поэтому для наплавленных высокохромистых

чугунов, работающих в условиях интенсивных ударов, содержание бора не должно превышать 0,3 % и только в том случае, если его введение требуется для увеличения износостойкости. При интенсивной ударной нагрузке следует избегать легирования бором.

Для чугунов, работающих в условиях значительного абразивного изнашивания и незначительных ударов, содержание бора можно повысить до 0,6—0,7 % (при содержании углерода до 3 %).

Наиболее перспективно легировать сплавы бором при сильном абразивном изнашивании и отсутствии ударов. При этом оптимальное содержание бора в хромистых, хромоникелевых и хромомарганцевых чугунах составляет примерно 0,8—1,2 %. Вводить бор в большем количестве не следует, так как это может привести к крошению карбидных и боридных частиц.

Износостойкость наплавленного металла в большой степени зависит от кристаллографического строения карбидов. Чем выше твердость карбидов при прочих равных условиях, тем выше износостойкость железоуглеродистых сплавов.

Хромистые чугуны с кубическим карбидом $M_{23}C_6$ обладают большей износостойкостью, чем чугуны с гексагональным карбидом хрома M_7C_3 и тем более с ромбоэдрическим карбидом M_3C .

Из вольфрамовых сплавов с разным строением карбидной фазы (M_3C , $M_{23}C_6$, M_6C , M_2C) при прочих равных условиях наибольшей износостойкостью обладают сплавы с карбидом типа W_2C .

При комплексном легировании важно, чтобы не было в избытке элемента, карбиды которого имеют меньшую износостойкость. Содержание углерода должно обеспечивать требуемое по свойствам сплава содержание карбидов. Содержание легирующего элемента должно быть таким, чтобы весь углерод был связан в наиболее износостойкий (твердый) карбид данного элемента [2].

Металлическая основа наплавленного высокохромистого чугуна выполняет две функции: обеспечивает износостойкость и другие служебные свойства, а также является составляющей, которая определяет прочность удержания твердых компонентов в наплавке — карбидов, боридов, карбоборидов и др. Наиболее удачным сочетанием высокой износостойкости, способности удержания твердых фаз и ударостойкости обладает аустенитно-мартенситная матрица.

Оптимальное соотношение содержания аустенита и мартенсита, определяющее получение заданных свойств, зависит от общего характера фаз и микроструктуры наплавки: степени легирования аустенита и мартенсита, определяющей прочность и вязкость; наличия и содержания карбидов, боридов, карбоборидов, их природы и свойств.

Легированные заэвтектические чугуны с полностью мартенситной основой имеют высокую износостойкость и очень низкую ударостойкость. В таких чугунах увеличение содержания аустенита способно повысить их ударостойкость и износостойкость за счет улучшения закрепления карбидов и боридов вязким аустенитом. Повышение ударостойкости заэвтектических легированных чугунов достигается, если содержание твердых фаз в сумме составляет не более 20—30 %. Оптимальное содержание аустенита, при котором сочетание износостойкости и ударостойкости будет наилучшим, — 20—40 %. При уменьшении содержания аустенита снижаются ударостойкость и износостойкость, а при его увеличении повышается ударостойкость и снижается износостойкость.

При легировании чугунов с 2,5—3,0 % углерода, содержащих хром, вольфрам, ванадий в сумме 20—22 %,

необходимо иметь в матрице около 20 % аустенита. Около 40 % аустенита необходимо, если наряду с карбидообразующими металлами в чугунах имеется бор. Для заэвтектических наплавочных материалов аустенитную составляющую сплава можно получить путем введения в него 2,5—3,0 % никеля.

Основным легирующим элементом, наиболее рациональным по комплексу технико-экономических факторов, является хром. Содержание хрома определяется содержанием в чугуне углерода исходя из условия $Cr/C \geq 2$ ат.м. % или $Cr/c \geq 9$ мас. %, с тем чтобы в наплавленном металле было обеспечено наличие износостойкой карбидной фазы. Поэтому, например, в чугуне с 2,5 % углерода нужно иметь не менее 22 % хрома. Верхний предел содержания хрома обуславливается получением отношения Cr/C около 4—5 ат.м. % или 18—22 мас. %.

По сварочно-технологическим характеристикам трудно обеспечить получение доброкачественного наплавленного металла, содержащего более 30 % хрома. Следовательно, содержание углерода в наплавленном Fe—Cr—C-сплаве не должно превышать 3 %. К тому же при высоком содержании углерода образование слишком большого количества первичных карбидов может привести к их выкрошиванию. Повышение износостойкости Fe—Cr—C-сплавов достигается путем их легирования вольфрамом и (или) ванадием, образующими более стойкие и твердые карбиды, чем хром, а также бором, образующим в наплавленном металле боридную или карборидную фазу.

При легировании наплавленного металла несколькими карбидообразующими металлами для получения надлежащей карбидной фазы содержание этих металлов по отношению к углероду должно составлять $\frac{Cr + W + V + др.}{C} = 2 \div 5$ ат.м. % при отношении $W/C = 0,53 \div 0,96$ и $V/C = 0,24 \div 0,45$. Поэтому при введении в сплав с предельным содержанием хрома (из условия $Cr/C \approx 2$ ат.м. % или $Cr/c = 9$ мас. %) не следует добавлять вольфрам сверх имеющегося в сплаве количества

хрома, а нужно производить частичную замену хрома вольфрамом в соотношении 3 % W на 1 мас. % Cr. Так, например, сплав, содержащий 2 % C и 20 % Cr, для повышения износостойкости можно преобразовать в сплав, содержащий 2 % C, 15 % Cr и 15 % W [2]. В Fe—C—Cr—W—V-сплавах (чугунах) наиболее твердые карбиды вольфрама образуются при отношении W/C, равном 0,53—0,90 ат. м. %.

Ванадий также повышает износостойкость Fe—C—Cr-сплавов. Содержание вводимого ванадия в чугун, легированный хромом и вольфрамом, должно определяться отношением $V/C = 0,24 \div 0,45$ ат.м. %, а содержание ванадия в наплавке обычно составляет 1,0—1,6 %.

Некоторое повышение износостойкости заэвтектических высокохромистых чугунов может быть достигнуто путем дополнительного легирования их марганцем. При этом марганец вводят не из расчета замены части хрома, как это было для вольфрама и ванадия, а как дополнительно легирующий элемент (4—5 %). Объясняется это тем, что действие марганца основано в большей мере на изменении свойств основы, чем на внесении изменений в карбидную фазу.

Практическая наплавка высокохромистого чугуна. В настоящее время имеется довольно большое количество электродных материалов для наплавки слоя высокохромистого чугуна, обеспечивающего высокую стойкость против абразивного изнашивания [2, 3, 6—8].

Ручную дуговую наплавку осуществляют покрытыми электродами (табл. 1) [7, 8] и др.

Электроды С-1 (ГН-1) из литого прутка сплава сор-майт-1 диаметром 3—6 мм и основного покрытия предназначены для наплавки деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания с ударными нагрузками. Легирование никелем увеличивает долю аустенита в структуре наплавленного металла и повышает его ударостойкость. Наплавленный слой обладает высокой стойкостью против абразивного изнашивания, но склонен к образованию трещин. Поэтому наплавку рекомендуют выполнять с предварительным подогревом деталей до 400—500 °С, короткой дугой, в один слой.

Таблица 1

Электрод и тип наплавленного металла	Коэффициент наплавки, г/(А · ч)	Расход электродов на 1 кг наплавленного металла, кг	Число слоев наплавки, не более		Твердость наплавленного металла, HRC	Типичные объекты наплавки
			на сталь	на чугун		
С1 (ГН-1) 300X28H4C3	12,8	1,4	1	1	48—54	Ремонт и изготовление быстроизнашивающихся деталей горячих центробежных насосов, арматуры для нефтепродуктов, деталей засыпных аппаратов доменных печей и др.
Т-590 300X25PC2Г	8,5	1,4	2	1	57—65	Наплавка деталей машин из стали и чугуна, работающих в условиях абразивного изнашивания без ударной нагрузки (лопатки дымососов, рабочие колеса землесосов и др.)
Т-620 300X23PC2ТГ	8,5	1,3	2—3	1	55—62	Наплавка деталей машин из стали и чугуна, работающих в условиях сильного истирания при наличии ударных нагрузок (била мельниц, щеки камнедробилок, зубья ковшей экскаваторов и др.)
ЭНУ-2 350X15ГЗР1	8,8	1,25	2	1	57—60	Наплавка стальных и чугунных деталей, работающих в условиях абразивного изнашивания с умеренными ударными нагрузками (зубья ковшей экскаваторов, детали дробилок, мельниц, смесителей, земснарядов, гидронасосов)

Остальные электроды имеют стержень из проволоки Св-08А или Св-08 диаметром 4—5 мм и длиной 450 мм и основное (легирующее) покрытие. Покрытыми электродами наплавляют только верхние (рабочие) слои. При большом износе детали облицовочные слои наплавляют другими электродами в зависимости от марки стали основного металла. Структура наплавленного металла представляет первичные карбиды и бориды в ледебурите (карбидной эвтектике) и остаточный аустенит.

Наплавленный металл обрабатывается только шлифованием и не поддается термической обработке; он склонен к образованию трещин, которые во многих случаях не снижают эксплуатационной стойкости деталей. Если по условиям работы детали трещины в наплавленном металле недопустимы, то применяют все возможные технологические приемы для исключения трещин: предварительный подогрев, наплавку более пластичного подслоя, режимы и технику наплавки, уменьшающие проплавление основного металла или облицовочных слоев [7, 8].

Применение порошковой проволоки позволяет в широких пределах регулировать состав наплавленного высокохромистого чугуна путем изменения состава шихты и коэффициента заполнения проволоки, а также легко механизировать процесс дуговой сварки и обеспечить его высокую производительность. Для износостойкой наплавки используют порошковые проволоки трубчатой конструкции с кромками, сформированными встык или внахлест. Чаще всего они имеют диаметр 3,6 мм (для наплавки под флюсом) и 1,8—3,2 мм (для механизированной и автоматической наплавки открытой дугой) [6]. Типичные порошковые проволоки производства ООО "НПФ "Элна", наплавляющие износостойкий высокохромистый чугун, приведены в табл. 2 по мере возрастания содержания углерода.

Применение порошковой проволоки ПП-Нп300Х25Н3СЗ — одной из первых проволок этого класса — решило проблему механизации дуговой наплавки высокохромистого чугуна, близкого по химическому составу и структуре сплаву сормайт-1. В работе [3] установлено, что холодные трещины в наплавленном слое

образуются при температуре ниже 300 °С, преимущественно в диапазоне температур 20—250 °С, причем скорость охлаждения наплавки на температуру образования трещин практически не влияет. Это обусловлено близостью значений временных и остаточных напряжений в наплавленном слое пределу прочности наплавленного металла при температуре ниже 300 °С.

Для уменьшения вероятности образования холодных трещин наплавку следует выполнять на основном металле или подслое с возможно более низким пределом текучести. Предварительный подогрев деталей до 400—600 °С и последующее замедленное охлаждение позволяют предотвратить холодные трещины, но такая технология применима лишь для деталей небольших размеров и простой формы.

Нередко крупные восстановленные детали эксплуатируют с волосовидными трещинами в наплавленном слое. Поскольку трещины чаще всего не переходят в основной металл и мало влияют на абразивную износостойкость и общую работоспособность детали, то этот дефект часто считается допустимым.

Как отмечалось выше, высокохромистые чугуны обладают повышенной абразивной износостойкостью при заэвтектической структуре. Поэтому при наплавке таких чугунов на низкоуглеродистую сталь нужно стремиться к минимальной доле основного металла, иначе наплавленный слой из-за разбавления основным металлом будет содержать недостаточное количество хрома и углерода и приобретет доэвтектическую структуру с пониженной износостойкостью.

При наплавке крупных деталей с большой производительностью (до 30 кг/ч) для повышения доли основного металла применяют увеличенный вылет электродной проволоки, поперечные ее колебания и умеренные токи на одной или двух одновременно горящих дугах.

Наплавку деталей сложной формы и небольших размеров выполняют шланговыми полуавтоматами с использованием самозащитных порошковых проволок. При наплавке этими проволоками лучшие результаты по формированию валиков и уменьшению доли основного металла

Таблица 2

Порошковая проволока	Диаметр, мм	Защитная среда	Твердость наплавленного металла, HRC	Типичные объекты наплавки
ПП-Нп200Х15С1ГРТ (ПП-АН125)	3,2	Самозащитная	50—58	Зубья, козырьки и стенки ковшей экскаваторов, колосники, грохоты, ножи грейдеров и бульдозеров, звенья и звездочки ходовой части гусеничных машин
ПП-Нп250Х30НЗ	2,8—3,6	Флюс АН-28 или самозащитная	45—50	Детали оборудования трубопрокатных и сортопрокатных станов, линейки прошивного стана
ПП-Нп250Х10Б8С2Т (ПП-АН135)	3,2	Самозащитная	50—58	Зубья и ковши скальных экскаваторов, рыхлители и коронки тяжелых бульдозеров для работы на мерзлоте
ПП-Нп300Х25Н3СЗ (сормайт-1)	3,2	«	50—56	Била углеразмольных мельниц, защитные поверхности конусов и чаш доменных печей; детали дорожно-строительных машин
ПП-Нп300Х28Н4С4	3,2	«	48—54	Зубья ковшей экскаваторов, колеса землесосов; металлургическое оборудование; нефтяная арматура
ПП-Нп350Х8Г4С4Р	1,6—3,6	Флюс АН-28 или самозащитная	50—56	Футеровочные плиты, лопасти бетономешалок, детали углеразмольного оборудования
ПП-Нп350Х10Б8Т2	2,6—3,2	Самозащитная	50—56	Детали ходовой части гусеничных машин, коронки рыхлителей, навесное оборудование бульдозеров; клапаны доменных печей

достигаются при вылете 40—70 мм и поперечном колебании конца проволоки с размахом 20—40 мм [3].

Проволока ПП-Нп200Х15С1ГРТ также рекомендует-ся для широкослойной наплавки на увеличенном вылете с колебательными движениями электродной проволоки, а общая толщина наплавленного слоя должна быть не более 12 мм [8].

Порошковая проволока ПП-Нп250Х30НЗ предназна-чена для наплавки открытой дугой или под флюсом дета-лей, работающих в условиях абразивного изнашивания с умеренными ударными нагрузками при повышенных тем-пературах. Склонность металла, наплавленного этой проволокой, к образованию трещин повышенная, поэто-му необходим предварительный подогрев детали до тем-пературы не ниже 500 °С. После наплавки осуществляют замедленное охлаждение детали в печи или в песке (флюсе). Твердость наплавленного металла на уровне 45—50 HRC, возможна обработка режущим инструмен-том. Наплавленный слой хорошо сопротивляется abra-зивному изнашиванию при температуре до 500 °С, сопро-тивление ударом удовлетворительное благодаря легиро-ванию никелем.

При использовании порошковой проволоки ПП-Нп250Х10Б8С2 рекомендуется вести наплавку при по-вышенном вылете 70—90 мм с поперечными колеба-ниями электродной проволоки амплитудой 30—50 мм. Сварочная ванна имеет пониженную жидкотекучесть, что облегчает наплавку на кромки деталей. Допускается многослойная наплавка отдельных участков толщиной до 40—50 мм [8]. Сопротивление ударам — высокое по сравнению с другими износостойкими материалами.

Высокой стойкостью против абразивного изнашива-ния обладает металл, наплавленный порошковой прово-локой ПП-Нп350Х8Г4С4Р, но склонность к образованию трещин повышенная, и проволока используется только в тех случаях, когда в наплавленном слое допускается нали-чие волосовидных трещин.

Еще более высокой износостойкостью (и твердо-стью до 65—70 HRC) отличается наплавленный порош-ковыми проволоками металл типа 500Х22М8Б8В2, 500Х23Б8, 500Х35РЗ, но эти материалы могут использо-ваться только для наплавки деталей, не испытывающих ударных нагрузок.

Следует отметить, что наплавка порошковой проволо-кой обеспечивает значительно более высокую производи-

тельность процесса, чем ручная дуговая наплавка. Коэф-фициент наплавки $A_n = 14 \div 24 \text{ г/(А} \cdot \text{ч)}$ (и даже до 30 г/(А · ч) при больших диаметрах проволоки) по сравнению с $A_n = 8,5 \div 12,8 \text{ г/(А} \cdot \text{ч)}$ при ручной наплавке (см. табл. 1).

ООО "НПФ "Элна", специализирующееся на разра-ботке и производстве порошковых проволок для дуговой сварки и наплавки, а также дугового и плазменного напы-ления, изготавливает порошковые проволоки всех марок для износостойкой наплавки, приведенные в данной ра-боте. Кроме того, по просьбе заказчика может быть про-изведена коррекция состава порошковой проволоки, на-пример с целью получения твердости наплавленного слоя больше верхнего предела.

Для износостойкой наплавки применяют также по-рошковые ленты, представляющие металлическую обо-лочку, заполненную смесью порошков ферросплавов, металлов и минералов [5, 6, 8]. Порошковые ленты вы-пускают двух типов: двухзамковые и однозамковые. Двух-замковые порошковые ленты сечением 18 × 3,8 мм постав-ляются в рулонах массой 45—65 кг; однозамковые — се-чениями 10 × 3, 12 × 3,8 или 16,5 × 3,8 мм, намотанными на кассеты массой 75—175 кг [6].

Характеристики некоторых наплавочных порошко-вых лент приведены в табл. 3. Порошковая лента ПЛ-Нп300Х25С3Н2Г2 (ПЛ-АН101) предназначена для на-плавки слоя износостойкого высокохромистого сплава типа сормайт-1 на детали, работающие в условиях интен-сивного абразивного изнашивания при нормальных и вы-соких температурах. Наплавка массивных деталей произ-водится с предварительным подогревом до 240—260 °С. Для уменьшения вероятности образования холодных трещин при наплавке деталей небольшого размера реко-мандуются предварительный подогрев до 450—600 °С и последующее замедленное охлаждение в печи [8].

При наплавке порошковой лентой ПЛ-Нп500Х40Н40С2РЦ (ПЛ-АН111), имеющей никеле-вую оболочку, наплавляется сплав, содержащий (%): 5,0 С; 1,6 Si; 0,8 Mn; 40,0 Cr; 40,0 Ni; 0,3 В; 0,2 Zr; Fe — осталь-ное, с очень высокой износостойкостью в условиях исти-рания абразивными материалами при повышенной тем-пературе [6, 8].

По сравнению с порошковыми проволоками порош-ковые ленты обеспечивают более широкие диапазоны содержания легирующих компонентов благодаря боль-шим значениям коэффициента заполнения. Коэффици-

Таблица 3

Порошковая лента	Твердость наплавленного металла, HRC	Типичные объекты наплавки
ПЛ-Нп300Х25С3Н2Г2 (ПЛ-АН101)	50—56	Абразивное изнашивание. Наплавка бил углеразмольных мельниц, защитных поверхностей конусов и чаш доменных печей, деталей дорожно-строительных машин
ПЛ-Нп400Х25С3Г2МН (ПЛ-АН101М)	50—58	То же
ПЛ-Нп450Х20Б7М6В2Ф (ПЛ-АН179)	55—62	Газоабразивное и абразивное изнашивание при повышенной температуре. Наплавка бесконусных загрузочных устройств доменных печей, футеровоч-ных элементов скипов и др.
ПЛ-Нп400Х20Б7М7Н5В2Ф (ПЛ-АН179Н)	54—60	Газоабразивное и абразивное изнашивание при повышенных температурах. Наплавка поверхностей конусов и чаш засыпных аппаратов доменных печей, деталей бесконусных загрузочных устройств
ПЛ-Нп500Х40Н40С2РЦ (ПЛ-АН111)	50—56	Газоабразивное изнашивание при повышенной температуре. Наплавка кон-тактных поверхностей конусов и чаш засыпных аппаратов доменных печей

ент наплавки при использовании порошковых лент составляет от 18 до 36 г/(А · ч), что обуславливает высокую производительность процесса (до 50 кг/ч).

Применение порошковых лент требует разработки и применения специализированного оборудования для изготовления лент и дуговой наплавки на крупные, массивные изделия.

Таким образом, проблема восстановительной наплавки деталей, подвергающихся абразивному, газо- и гидроабразивному изнашиванию, долгие годы остается актуальной для всех промышленно развитых стран мира. Анализ развития этого направления свидетельствует о несомненных преимуществах механизированных способов дуговой наплавки порошковыми проволоками и лентами, обеспечивающих высокую производительность и высокое качество наплавленных слоев.

Поскольку шихта порошковых проволок и лент для наплавки высокохромистых чугунов содержит сравнительно большое количество дорогих порошков металлов и ферросплавов, существует задача обеспечения экономической эффективности наплавки. Она достигается в том случае, если восстановленная деталь намного увеличивает срок службы машин и механизмов, а наплавка повторяется неоднократно.

Повышению экономической эффективности способствуют такие факторы, как наплавка с минимальным проплавлением основного металла (или облицовочного слоя), а также уменьшение разбрызгивания. С другой стороны, стоимость материалов для изготовления порошковых проволок и лент имеет постоянную тенденцию

к росту, увеличиваются расходы на входной контроль исходных материалов, а также транспортные расходы и др. Все это влияет на стоимость наплавочных материалов и стимулирует работы по экономному использованию легирующих компонентов при одновременном достижении высокой износостойкости, ударостойкости и других служебных характеристик наплавленного слоя высокохромистого чугуна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чугун: Справочник / Под ред. А. Д. Шермана, А. А. Жукова. М.: Металлургия, 1991. С. 336—414.
2. Лившиц Л. С., Гринберг Н. А., Куркумелли Э. Г. Основы легирования наплавленного металла. М.: Машиностроение, 1969. 188 с.
3. Юзвенко Ю. А. Технология наплавки // Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Б. Е. Патона. М.: Машиностроение, 1974. С. 694—750.
4. Хасуи А., Моригаки О. Наплавка и напыление / Пер. с япон. М.: Машиностроение, 1985. 240 с.
5. Рябцев И. А. Наплавка деталей машин и механизмов. Киев.: Екотехнологія, 2004. 160 с.
6. Характеристика способов сварки, наплавки, пайки, резки / В. К. Лебедев, С. И. Кучук-Яценко, А. И. Чвертко и др.; Под ред. Б. Е. Патона // Машиностроение: Энциклопедия. М.: Машиностроение, 2006. Т. III-4. С. С. 340—371.
7. Электроды для дуговой сварки и наплавки: Каталог / Под ред. И. И. Фрумина. Киев.: Наукова думка, 1967. 440 с.
8. Наплавочные материалы стран-членов СЭВ: Каталог. Киев — М.: Международный центр научной и технической информации, 1979. 620 с.

Журналу "Автоматическая сварка" — 60 лет

Журнал "Автоматическая сварка" основан в марте 1948 г. по инициативе акад. Б. Е. Патона. С 1953 г. по настоящее время главным редактором журнала является акад. Б. Е. Патон. За прошедший период в журнале опубликованы свыше 12 000 статей по различным проблемам сварочного производства. Довольно быстро и на многие годы журнал завоевал широкую читательскую аудиторию. Этому способствовало прежде всего то, что в нем освещались многие выдающиеся разработки в области дуговой сварки с принудительным формированием металла шва, электрошлаковой сварки, технологии изготовления листовых конструкций методом рулонирования, дуговой сварки по бескислородному флюсу, изготовления многослойных, сварно-кованных и сварно-литых конструкций, сварки в углекислом газе проволокой малого диаметра, сварки по активированному флюсу, импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом, многоэлектродной дуговой сварки в общую ванну, контактной сварки непрерывным оплавлением рельсов и труб, электронно-лучевой сварки, паровых технологий, микроплазменной сварки, механизированной мокрой сварки под водой, плазменной резки, сварки и резки взрывом, технологии изготовления криогенной техники, сварки и напыления в космосе, сварки композитов, плазменного и газотермического напыления и др.

Журнал "Автоматическая сварка" часто называют сварочной энциклопедией, он помог становлению не одного поколения сварщиков, для которых являлся настольным пособием. Журнал популярен среди ученых, преподавателей, руководителей и специалистов-сварщиков не только Украины и стран СНГ, но и стран дальнего зарубежья.

В последние годы журнал претерпел изменения. От строгого академического издания прошлых лет его отличают современный облик, широкий спектр разнообразной информации не только научно-технического и производственного, но и рекламного характера.

*Поздравляем коллектив редакции журнала во главе с акад. Б. Е. Патоном,
желаем здоровья, благополучия и дальнейшего процветания!*

**Редколлегия и редакция журнала
"Сварочное производство"**

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

Сварочные технологии ремонта элементов трубопроводных систем теплоэнергетики

Ч. 1. Ремонт элементов трубопроводов I категории

Цель ремонта заключается в продлении срока службы сварных соединений и бесшовных деталей трубопроводов, эксплуатирующихся при различных параметрах рабочей среды (табл. 1).

Трудность в выборе оптимальных решений связана с отсутствием современной нормативно-технической документации по сварочной технологии ремонта. Действующие отдельные НТД, в том числе РД 34 17.310—96, РД 153-34.1-003—01 (РТМ-1с), РД

2730.940.102—92, не охватывают обширную номенклатуру повреждающихся элементов трубопроводов и, кроме того, по отдельным позициям ремонтных технологий устарели и требуют уточнения или переработки.

Вместе с тем в научно-исследовательских, ремонтных и эксплуатационных организациях накоплен положительный опыт в разработке и применении оптимальных вариантов комплексной сварочной технологии ремонта для восстановления работоспособности элементов трубопроводов в теплоэнергетике и родственных отраслях промышленности.

Отдельные ремонтные технологии с применением сварки отражены в работах [1, 2]. В данной работе обобщены и рассмотрены основные положения и конкретные применяемые оптимальные варианты сварочно-ремонтных технологий.

Основные организационно-технические требования, связанные с подготовкой и проведением сварочно-ремонтных работ, заключаются в следующем:

- решение о выполнении сварочно-ремонтной технологии принимается с учетом организационно-технической возможности и экономической целесообразности со стороны предприятия — владельца (собственника) тепловой электростанции;
- предприятие, выполняющее сварочно-ремонтные операции, должно иметь лицензию

(разрешение) на проведение этих работ. Кроме того, предприятие должно быть укомплектовано аттестованными инженерно-техническими работниками и рабочим персоналом (сварщиками, операторами-термистами, специалистами по неразрушающему контролю), а также оснащено необходимым сварочно-термическим оборудованием, приборами, инструментом, материалами;

- сварочно-ремонтная технология, применяемая предприятием, должна пройти производственную аттестацию. Сварочная технология ремонта разрабатывается специализированной организацией (например, научно-исследовательским институтом, имеющим право на выполнение таких работ) или ремонтным предприятием, после чего согласовывается со специализированной организацией;
- предприятие (ремонтная организация, тепловая электростанция) применяет сварочно-ремонтные технологии, обеспечивающие продление срока службы отремонтированных элементов на заданный остаточный ресурс;
- сварочно-ремонтные операции проводятся с выполнением требований безопасности: технической, электрической и пожарной.

Руководство выполнением сварочно-ремонтных работ возлага-

Таблица 1

Категория трубопроводов (ПБ 10-573—03)	Группа	Рабочий параметр среды	
		Температура, °С	Давление, МПа
I	1	Свыше 560	Не ограничено
	2	Свыше 520 до 560	То же
	3	Свыше 450 до 520	— " —
	4	До 450	Более 8,0
II	1	Свыше 350 до 450	До 8,0
	2	До 350	Более 4,0 до 8,0
III	1	Свыше 250 до 350	До 4,0
	2	До 250	Более 1,6 до 4,0
IV	—	Свыше 115 до 250	Более 0,07 до 1,60
Примечание. Если значения параметров среды находятся в разных категориях, то трубопровод следует отнести к категории, соответствующей максимальному значению параметра среды.			

ется на специалиста сварочного производства, аттестованного на II—IV уровни согласно ПБ 03-273—99. Конкретный уровень аттестации специалиста определяется ответственностью выполняемых сварочно-ремонтных операций, в которых принимаются во внимание условия эксплуатации трубопровода, характер и размеры повреждения, материал и типоразмер ремонтируемой детали, объем и условия выполнения ремонтных работ.

К выполнению сварочных операций допускаются сварщики, аттестованные на I уровень согласно ПБ 03-273—99 и имеющие опыт выполнения таких операций в условиях ремонта энергетического оборудования. Перед началом сварочно-ремонтных операций сварщик выполняет контрольное соединение типоразмера, аналогичного ремонтируемой детали трубопровода I—II категорий, при этом контрольное соединение сваривают в условиях, аналогичных производственным. Контрольное соединение при ремонте деталей трубопроводов III и IV категорий выполняется при необходимости.

Качество контрольного соединения оценивается по результатам визуального контроля с измерением, а также металлографического анализа макрошлифов поперечного сечения согласно РД 153-34.1-003—01 (РТМ-1с).

К проведению термической обработки (подогрева при сварке, термического отдыха, высокого отпуска) допускаются термисты-операторы, имеющие право на выполнение операций по регистрации температурных режимов и регулированию параметров нагрева, ознакомленные со сварочно-термической технологией ремонта конкретной детали. К проведению термической обработки также допускаются квалифицированные электрики, слесари, газосварщики, имеющие положительный опыт выполнения операций по орга-

низации и обслуживанию постов электротермического и газотермического нагрева с размещением нагревательных устройств на ремонтируемых элементах трубопроводов.

К контролю качества основного металла и сварных соединений при ремонтных работах допускаются специалисты неразрушающего контроля, аттестованные согласно ПБ 03-440—02, а также специалисты металловеды по выполнению металлографического анализа и контроля методом измерения твердости, имеющие право на проведение таких операций.

К операциям по удалению поврежденного металла, подготовке выборок (углублений) под сварку и обработке ремонтных швов и усиливающих наплавов механическим способом допускаются квалифицированные слесари, имеющие положительный опыт проведения таких операций в ремонтных условиях. Перед началом ремонтных работ слесари должны быть ознакомлены с особенностями выполнения слесарных операций по конкретному ремонтируемому элементу трубопровода.

Основным способом выполнения подварочных швов и усиливающих наплавов в ремонтных условиях является ручная дуговая сварка покрытыми электродами. В отдельных случаях применяется ручная аргонодуговая сварка вольфрамовым (неплавящимся электродом) с присадочной проволокой; ограниченное применение имеет ручная ацетиленокислородная сварка с присадочной проволокой.

Покрытые электроды перед сваркой подвергают следующим операциям:

- контролю по оценке химического состава наплавленного металла независимо от типа электродов и наличия сертификата. При отмене такого контроля возможны снижение трещиностойкости металла,

ухудшение качества сварных швов в случаях применения бракованного по химическому составу сварочного материала;

- контролю сварочно-технологических свойств электродов (плавление во всех пространственных положениях, возможность полного удаления шлака из швов-наплавов и др.). Сварочно-технологические свойства электродов проверяют согласно РД 153-34.1-003—01 (РТМ-1с);
- прокатке (за 4—6 ч до начала сварочных операций) при температурных режимах и выдержке в зависимости от типа и марки электродов (табл. 2). Хранение покрытых электродов обеспечивается согласно требованиям РД 153-34.1-003—01 (РТМ-1с).

При аргонодуговой сварке применяется аргон высшего качества и вольфрамовые электроды (стержни) марок ЭВЛ, ЭВЧ, ЭВИ-1, ЭВТ-15 и др.; при ручной ацетиленокислородной сварке применяется ацетилен и кислород высшего качества согласно РД 153-34.1-003—01 (РТМ-1с).

При проведении слесарных операций по удалению поврежденного металла, подготовке выборок (углублений) и обработке швов-наплавов применяется механический способ с помощью абразивного инструмента (шлифовальных машинок) и сверления. Не рекомендуется применять ударный инструмент при удалении трещин. Не допускается удалять поврежденный металл с помощью огневой резки (ацетиленокислородной, в том числе с газом-заменителем ацетилена; электрической дугой плавящимся электродом).

Для этих целей возможно применение резки плазменной дугой; также допускается воздушно-дуговая строжка (табл. 3). Удаление поврежденного металла этими способами резки сопровождается подогревом ремонтируемой де-

Таблица 2

Сталь	Электрод			Режим прокатки	
	Тип	Вид покрытия	Марка	Температура, °С	Выдержка, ч
Ремонт элементов трубопроводов I категории ($t_{\text{пара}} > 450\text{ }^{\circ}\text{C}$)					
15X1M1Ф 12X1MФ 20XMФЛ 15X1M1ФЛ 12X1M1Ф-ЦЛ	Э-09X1MФ ¹	Б	ТМЛ-3У ЦЛ-45 ЦЛ-20 ЦЛ-39	340—380	2,0—2,5
15XM 12MX 12X1MФ	Э-09X1M ¹		ТМЛ-1У ЦЛ-38 ЦУ-2XM		
12X1MФ 20XMФЛ 15X1M1ФЛ	Э-11X15H25M6AГ2		ЭА-395/9 НИАТ-5 ЦТ-10	200—240	1,0—1,5
	Э-08H60Г7M7T	ЦТ-36			
Ремонт сварных соединений трубопроводов I категории ($t \leq 450\text{ }^{\circ}\text{C}$)					
10, 20, 20Л, 15ГС, 16ГС	Э50А	Б	ТМУ-21 УОНИ-13/55 ЦУ-5	340—380	2,0—2,5
Ремонт сварных соединений трубопроводов II—IV категорий					
10, 20, 20Л, 15ГС, 16ГС, 17ГС, 09Г2С, 20ГСЛ, Ст3сп, Ст2пс	Э50А	Б	ТМУ-21 УОНИ-13/55 ЦУ-5	340—380	2,0—2,5
	Э42А		УОНИ-13/45 ЦУ-6	150—190	1,0—1,5
	Э46	Р	АНО-4, МР-3, ОЗС-4 ОЗС-12		
		РЖ	ОЗС-6 АНО-18		
		АР	АНО-24		
	Э42	АР	АНО-6М		
¹ Электроды также применяют при сварке сталей 12X1MФ и 15XM трубопроводов I категории (4-й группы) и II—IV категорий.					
Обозначения. Вид покрытия: Б — основной (фтористо-кальциевый), Р — рутиловый, РЖ — рутиловый с железным порошком, АР — ильменитовое покрытие смешанного кислорутилового вида.					

¹ Электроды также применяют при сварке сталей 12X1MФ и 15XM трубопроводов I категории (4-й группы) и II—IV категорий.

Обозначения. Вид покрытия: Б — основной (фтористо-кальциевый), Р — рутиловый, РЖ — рутиловый с железным порошком, АР — ильменитовое покрытие смешанного кислорудилювого вида.

тали. Поверхность выборки подлежит последующей обработке абразивным инструментом на глубину 2—3 мм для удаления закаленного (и науглероженного металла при воздушно-дуговой строжке) поверхностного слоя металла.

Сварочно-термическое оборудование при ремонтных работах применяется согласно рекомендациям РД 153-34.1-003—01 (РТМ-1с).

Основные положения сварочно-ремонтной технологии включают следующие требования:

- подлежащий ремонту элемент трубопровода подвергают обследованию с анализом характера повреждения для установления причин отказа детали. Такой анализ является необходимой мерой для принятия решения о возможности и целесообразности проведения ремонта или замене поврежденного элемента;
- поврежденный металл удаляют механическим способом (абразивным инструментом, сверлением). Допускается применение способов резки плаз-

менной дугой или воздушно-дуговой строжкой (с подогревом ремонтируемой детали) с последующей обработкой поверхности выбором абразивным инструментом;

- подготовленную поверхность выборки подвергают контролю неразрушающими методами дефектоскопии для подтверждения соответствия качества, формы и размера выборки требованиям сварочно-ремонтной технологии;
- подварочный (ремонтный) шов и усиливающую наплавку выполняют многослойным способом на заданных токовых режимах сварки (погонной энергии) и преимущественно с подогревом и после сварочной термической обработкой согласно сварочно-ремонтной технологии;
- контроль качества подварочного (ремонтного) шва и усиливающей наплавки проводят неразрушающими методами дефектоскопии (при необходимости измерением твердости). Контролю подвергается поверхность наплавленного металла (шва, наплавки) с прилегающими участками шириной не менее 30 мм основного металла после обработки механическим способом (абразивным инструментом);

Таблица 3

Форма угольного (графитового) электрода	Площадь поперечного сечения электрода, мм ²	Рекомендуемый ток, А
Круглый стержень	50	(280—320)/ (360—400)*
	80	(350—400)/ (400—450)*
Прямоугольный стержень	100	450—500
	140	500—700
	196	600—900

* В числителе приведены значения для неомедненных электродов, в знаменателе — для омедненных.

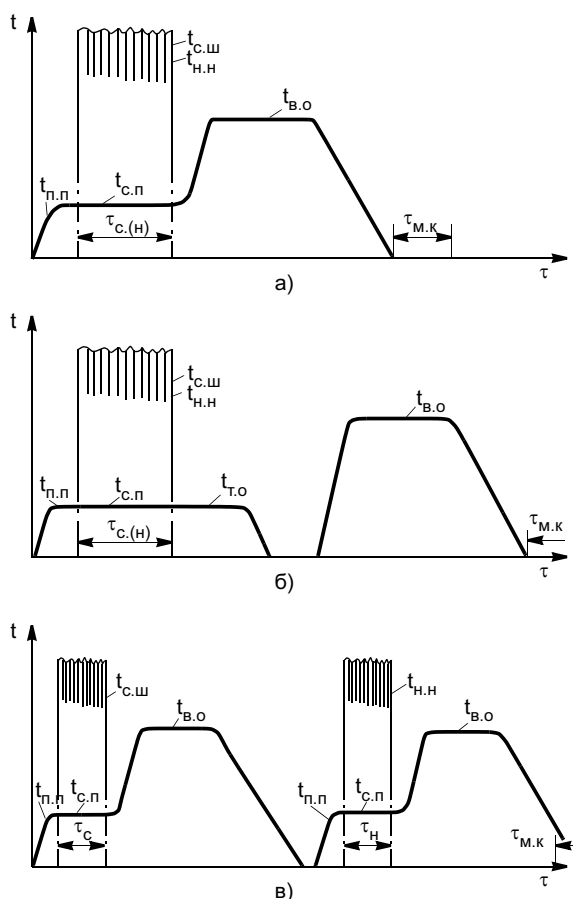


Рис. 1. Последовательность проведения технологических операций при ремонте элементов трубопроводов I категории из теплоустойчивых хромомолибденованадиевых сталей: а — при непрерывном выполнении сварочно-термических операций; б — при перерыве во времени между операциями сварки и термической обработки (высокий отпуск); в — при перерыве во времени между операциями выполнения подварочного шва и усиливающей наплавки ($\tau_{с.н}$ — сварки (наплавки); $\tau_{м.к}$ — время механической обработки и контроля, $t_{п.п}$, $t_{с.п}$ — соответственно температура предварительного и сопутствующего подогрева; $t_{т.о}$ — температура термического отдыха; $t_{с.ш}$ — температура сварки; $t_{н.н}$ — температура наплавки; $t_{в.о}$ — температура высокого отпуска)

- эксплуатационный контроль (методы, объемы, периодичность) проводят в течение назначенного остаточного срока службы отремонтированных элементов (сварных соединений, бесшовных деталей).

Последовательность выполнения сварочно-ремонтных операций восстановления работоспособности отремонтированных элементов трубопроводов I категории приведена на рис. 1.

Ниже приведены отдельные требования основных положений сварочно-ремонтной технологии элементов трубопроводов.

Анализ характера повреждения включает определение размера, места расположения, ориентации и вида трещин или определение степени микроповрежденности металла (от ползучести, графити-

зации), или утонения стенки трубных элементов (толщины швов) от истирания, коррозии. Фактическое состояние поврежденного металла оценивают по результатам визуального контроля, а также, при необходимости, по результатам металлографических исследований, ультразвукового контроля и/или магнитопорошковой дефектоскопии.

При проведении анализа учитывают условия эксплуатации (температуру, давление, активность рабочей среды, длительность наработки при стационарном режиме и числе циклических нагрузок). Обязательной является техническая информация по типоразмерам и материалу поврежденных элементов, результатам их эксплуатационного контроля.

При необходимости, дополнительно проводят контроль поврежденного элемента с определением фактических размеров (толщины стенки, наружного диаметра, радиусов перехода в местах сопряжения разнотолщинных деталей), химического состава и кратковременных свойств металла. В отдельных случаях для уточнения причин повреждения проводят специальные испытания образцов с оценкой остаточной жаропрочности, критической температуры хрупкости и др.

По результатам комплексного анализа полученной информации устанавливают механизм и причины повреждения элементов трубопровода. Причины повреждения обусловлены технологическими, конструкционными и эксплуатационными факторами. Важным и необходимым является определение основной (главной) причины отказа надежности элемента, поскольку остальные рассматриваются как сопутствующие причины повреждения. Первоочередной задачей является устранение основной причины повреждения для исключения ее негативного влияния на работоспособность отремонтированных элементов трубопроводов.

При повреждении структуры металла (от ползучести или графитизации) принимают решение о проведении восстановительной термической обработки отдельных элементов или трубопровода в целом [1], или об их замене. При недопустимом утонении стенки элементов или трубопровода (вследствие коррозии) принимают решение об их замене при соблюдении условия $S_f < [S] = S_R + C_2$ (S_f — фактическая толщина утоненной стенки; $[S]$, S_R — допустимая согласно РД 10-249—98 и расчетная толщина стенки соответственно; C_2 — эксплуатационная прибавка).

Форма и размер выборки (углублений) при ремонте сварных соединений зависят от температурных условий эксплуатации и материала трубопровода (рис. 2). В любом варианте (при ремонте сварного соединения и бесшовной детали) выборка должна иметь U-образную форму с углом скоса кромки 15—30° и шириной донной части не менее 10 мм с

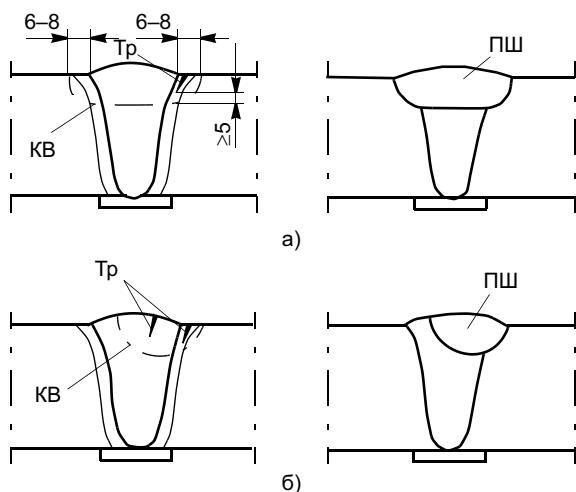


Рис. 2. Рекомендуемые формы выборки (после удаления поврежденного металла) и формы подварочных швов при ремонте сварных соединений паропроводов из теплоустойчивых хромомолибденованадиевых сталей для температуры эксплуатации согласно РД 34.17.310—96 (Тр — трещина; KV — контур выборки; ПШ — подварочный шов): а — 510 °С и выше; б — ниже 510 °С

переходом к скошенной кромке с радиусом сопряжения $R \geq 5$ мм (рис. 3). Поверхность выборки и прилегающие участки основного металла шириной не менее 30 мм очищают абразивным инструментом до металлического блеска. По-

сле проведения контроля (методами магнитно-порошковой дефектоскопии и/или металлографическим анализом с реплик) поверхности металла вновь очищают механическим способом (абразивным инструментом) и обезжиривают.

Подварочные (ремонтные) швы и усиливающие наплавки выполняют многослойным способом валиками ограниченного сечения (высотой 5—8 мм и шириной 12—20 мм). При ручной дуговой сварке используют покрытые электроды диаметром 2,5—4,0 мм. Сварку перлитными электродами выполняют на умеренных токовых режимах: $I = (30 \div 35)d_3$, (d_3 — диаметр электрода — стального стержня, мм); при использовании аустенитных электродов ток снижают примерно на 15 % из расчета $I = (25 \div 30)d_3$.

Необходимость в предварительном и сопутствующем подогреве ремонтируемого элемента устанавливают с учетом материала и размеров (толщины стенки, наружного диаметра) ремонтируемого элемента. Подогрев при сварке (наплавке) необходим для снижения остаточных сварочных напряжений, повышения пластичности металла в прилегающих к зоне сварки участках металла и эвакуации (удаления) атомарного водорода.

Термическая обработка после сварки (наплавки) включает

операции термического отдыха и высокого отпуска. Термический отдых проводят с выдержкой в течение менее 1 ч (при температуре, равной температуре подогрева при сварке-наплавке) для эвакуации (удаления) атомарного водорода из металла с целью повышения хладостойкости отремонтированной детали.

Высокий отпуск выполняют при 560—765 °С с выдержкой в течение 1—5 ч в зависимости от материала и толщины стенки ремонтируемого элемента (сварного соединения, бесшовной детали). Его проводят с целью релаксации остаточных сварочных напряжений, обеспечения необходимых структурных превращений и повышения пластичности металла в зонах высокотемпературного нагрева при сварке (наплавке).

При тепловой обработке металла (подогреве при сварке-наплавке, последующем термическом отдыхе и высоком отпуске) применяют следующие способы нагрева: индукционный токами промышленной и средней частоты, радиационный электронагревателями сопротивления и газопламенный с помощью газовых горелок. При индукционном нагреве применяют гибкие медные индукторы: неохлаждаемые и водоохлаждаемые нагреватели.

Температурные режимы нагрева регистрируются от хромель-алюмелевых термопар типа ТХА с помощью самопишущих приборов; при ремонте элементов трубопроводов II—IV категорий допускается определять температуру нагрева с помощью термокардшей.

Ремонт сварных соединений трубопроводов I категории из углеродистых и низколегированных сталей выполняют с помощью ручной дуговой сварки преимущественно с подогревом (при сварке-наплавке) и последующей термической обработкой (табл. 4).

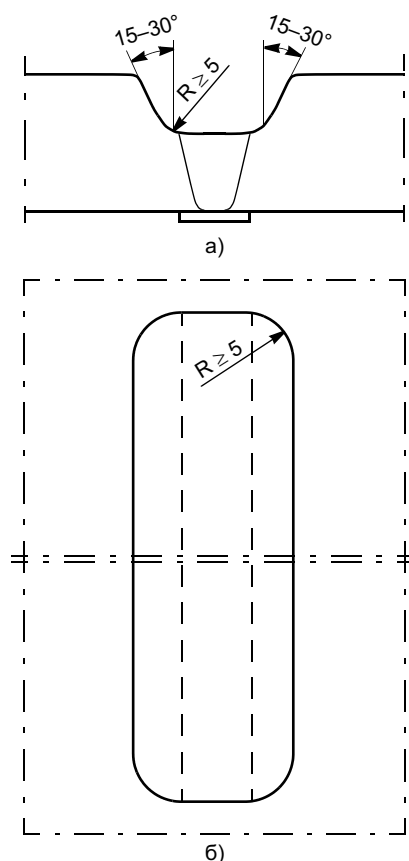


Рис. 3. Рекомендуемая форма выборки (углубления) после удаления поврежденного металла: а — поперечное сечение ремонтируемого элемента; б — план контура выборки

Таблица 4

Тип сварного соединения	Сталь	Тип наплавляемого металла	Подогрев при сварке		Высокий отпуск	
			S, мм	t _п , °C	S, мм	t _п , °C (τ, ч)
ССС, СССР _{ртз} , СССР _{кп} , СССР _д	12Х1МФ	09Х1МФ	10—30 >30	200—250 250—300	<20	720—750 (1)
	15Х1М1Ф, сочетание с 12Х1МФ		>10	300—350	<60 >60	720—750 (2) 720—750 (5)
	15Х1М1ФЛ, сочетание с 12Х1МФ и 15Х1М1Ф		>10	300—350	<20 <45 >45	720—750 (2) 730—760 (3) 730—760 (5)
ТСС, ШСС, ШСК	12Х1МФ	11Х15Н25М6АГ2 08Н60Г7М7Т	<20	250—300	<20	720—750 (2)
	15Х1М1Ф, сочетание с 12Х1МФ			300—350	<45 >45	730—760 (3) 730—760 (5)
ШСС коллекторов	12Х1МФ	11Х15Н25М6АГ2 08Н60Г7М7Т	<20	200—250 Без подогрева	<20	Без высокого отпуска
ССС	12Х1МФ	09Х1М	10—20	200—250	<20**	
Все типы сварных соединений	15ХМ 12ХМ		10—30 >30	150—200 200—250	<20 <45	700—730 (1) 700—730 (2)
	20ХМЛ и сочетание с 15ХМ и 12МХ		10—30 >30	200—250 250—300	≤45 >45	700—730 (2) 700—730 (3)
	20, 20Л, 25Л	Э50А	>30 ≥60	100—150	>30 ≥60	560—590 (1) 560—590 (2)

* Толщина штуцеров диаметром D_н ≤ 219 мм.** Наружный диаметр труб D_н ≤ 219 мм.

Примечания: 1. При перерыве во времени между окончанием сварки ремонтных перлитных швов-наплавов (с подогревом) и высоким отпуском должен проводиться термический отдых при температуре подогрева (см. рис. 1, б). Длительность термического отдыха составляет 1—3 ч в зависимости от толщины стенки трубных элементов S из хромомолибденовой стали (τ_{т.о} = 1 ч для S ≤ 30 мм; τ_{т.о} = 3 ч для S > 30 мм и h_{р.ш} ≥ 0,5S (h_{р.ш} — высота ремонтного шва в поперечном сечении)). 2. Термический отдых и высокий отпуск не проводятся в случаях применения аустенитных электродов при сварочно-ремонтной технологии.

Обозначения: СССР, СССР_{ртз}, СССР_{кп}, СССР_д — стыковые сварные соединения труб одинакового типоразмера, разнотолщинных трубных элементов, с коническими переходами, доньшка с коллектором соответственно. ТСС, ШСС — трониковые и штуцерные сварные соединения соответственно. ШСК — штампосварное колено.

Ремонт сварных соединений паропроводов из теплоустойчивых хромомолибденованадиевых сталей проводят с учетом следующих требований:

- выполнение основных положений сварочной технологии ремонта, рассмотренных выше, и технологических требований

по ремонту сварных деталей согласно РД 34.17.310—96;

- подготовка механическим способом (абразивным инструментом) выборок поврежденного металла необходимой чашеобразной формы (см. рис. 3).

Примечание. Сварные стыковые соединения труб (ССС)

могут быть оставлены без нанесения ремонтных заварок, если выполняется условие прочности (рис. 4):

$$(S_p)_{\min} > [S] = S_R + C_2,$$

где (S_p)_{min} — фактическая минимальная толщина стенки (утоненная выборкой) толщина; [S] — допустимая толщина стенки согласно РД 10-249—98; S_R — расчетная толщина стенки, равная D_н/(2φ_ω[σ] + p) ([σ] — допускаемое напряжение на сталь для срока наработки с остаточным ресурсом, φ_ω = 1); C₂ — эксплуатационная прибавка, равная 0,5 мм.

- качество поверхности выборки и прилегающих участков основного металла шириной не менее 30 мм (после механической обработки) контролируют неразрушающими методами (ВК с измерением; МПД или ЦД; в отдельных случаях также методом металлографического анализа с реплик); при необходимости дополнительно проводят УЗК контроль качества основного металла на участке ремонта для выявления возможных трещин. Результаты контроля оценивают по нормативным требованиям РД 153-34.1-003—01 (РТМ-1с) и СО 153-34.17.470—2003;
- ремонтные заварки выполняют многослойным способом валиками высотой 5—8 мм и шириной 12—20 мм при сварке перлитными электродами диаметром 2,5—3,0 мм (токовые режимы соответственно 75—90 и 90—110 А); электро-

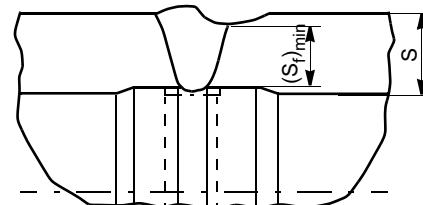


Рис. 4. Допускаемый вариант технологии ремонта поврежденных стыковых сварных соединений без ремонтных заварок выборок при выполнении условия прочности $(S_p)_{\min} > [S] = S_R + C_2$

ды диаметром 4 мм дополнительно применяют при больших объемах наплавки (ток сварки 120—160 А). При использовании аустенитных электродов сварочный ток снижают на 15—20 %, а ширину наплавляемых валиков следует сужать до 12—16 мм при высоте 5—8 мм.

Последовательность выполнения многослойных ремонтных заварок (подварочных швов) приведена на рис. 5. Рекомендуется предварительно наносить на поверхность выборки двухслойную облицовку, при этом валики первого слоя наносят с использованием электродов диаметром 2,5—3,0 мм, а второго слоя — электродами диаметром 4 мм (для создания эффекта самоотпуска ОШЗ); при последующем заполнении выборки используют электроды диаметром 3—4 мм (рис. 6).

Вариант сварочной технологии с нанесением двухслойной облицовки может применяться

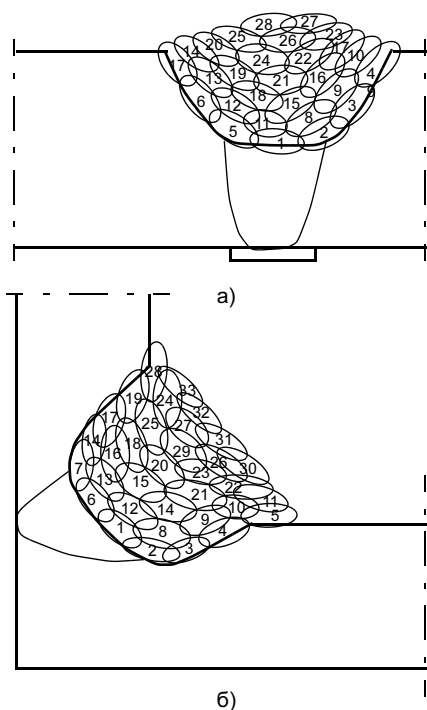


Рис. 5. Рекомендуемая последовательность выполнения многослойных подварочных швов (поперечное сечение) при ремонте стыковых (а) и тройниковых (б) сварных соединений

только для широких и глубоких выборок (в поперечном сечении) и доступности к месту ремонта; выбор такого варианта технологии определяется в каждом конкретном случае;

- выполнение ремонтных заварок (при сварке перлитными электродами) сопровождается предварительным и сопутствующим подогревом ремонтируемой детали (см. рис. 1). Температуру подогрева назначают с учетом типоразмера и материала ремонтируемых сварных соединений, она составляет 150—350 °С (см. табл. 4).

Ширина кольцевой зоны равномерного подогрева по всему периметру ремонтируемой детали не менее 150 мм (с выборкой в центре) для большей толщины стенки одного из сопрягаемых трубных элементов $S \leq 30$ мм и не менее 200 мм при $S > 30$ мм. Подогрев не применяется при сварке аустенитными электродами;

- по окончании сварочных операций сразу проводят высокий отпуск при 720—760 °С с выдержкой в течение 1—5 ч в зависимости от типоразмера и материала ремонтируемой детали с перлитным подварочным швом из стали 09Х1МФ (см. табл. 4, рис. 1, а). Ширину кольцевой (по всему периметру детали) зоны равномерного нагрева $L_{p.n}$ выбирают максимальной из двух значений

$$L_{p.n \max} = \{1,3 \sqrt{(D_n - S)S}; 4S\}.$$

В отдельных конкретных случаях ширина кольцевой зоны нагрева может превышать регламентированную величину согласно РД 153-34.1.003—01 (РТМ-1с) в зависимости от особенности ремонтируемой сварной детали и ширины ремонтной заварки;

- в случае вынужденного перерыва во времени между окончанием сварочного процесса и началом высокого отпуска дол-

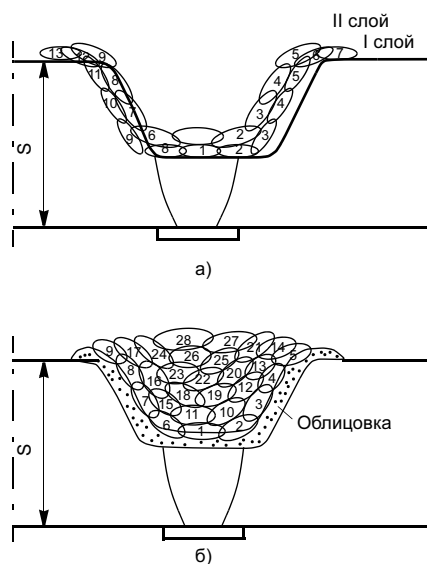


Рис. 6. Рекомендуемая последовательность выполнения многослойной ремонтной заварки для широких и глубоких выборок: а — нанесение двухслойной облицовки (I этап выполнения ремонтной заварки); б — заполнение оставшейся части выборки (II этап)

жен быть проведен термический отдых ремонтируемой сварной детали с перлитным подварочным швом (09Х1МФ) и после перерыва во времени (после термического отдыха) — высокий отпуск (см. рис. 1, б).

Термический отдых проводят при температуре подогрева с выдержкой в течение 1 ч для ремонтируемой сварной детали толщиной $S < 30$ мм и не менее 3 ч при $S > 30$ мм;

- усиливающие наплавки выполняют в случаях недостаточной конструкционной прочности сварных соединений всех типов (при $S_f/S_R = 1,0 \div 1,2$) и дополнительно для соединений типов ТСС и ШСС (при $d_o/D_n - 2S_f > 0,75$ и/или $0,95 > \beta^k/\beta^w > 1,05$ ($\beta^w \geq d_n^w/d_{вн}^w$)).

Наплавку проводят многослойным способом по всему периметру трубного элемента с перекрытием, при необходимости ремонтной заварки ее ширина определяется типоразмером сварной

детали (элемента) согласно РД 34.17.310—96. Схема укрепления сварных соединений усиливающей наплавкой приведена на рис. 7.

Наплавку выполняют по технологии (сварочные режимы, операции подогрева, термического отжига, высокого отпуска), типичной для выполнения ремонтных заварок (см. табл. 4, рис. 1, в);

- промежуточными операциями являются операции механической обработки поверхности подварочных швов — ремонтных заварок (усиливающих наплавок) с помощью абразивного инструмента и операции контроля качества неразрушающими методами: визуальным методом с измерением, МПД (ЦД), УЗК и, кроме того, измерением твердости металла подварочного шва, усиливающей наплавки.

По результатам контроля ус- танавливают соответствие каче-

ства и свойств зон ремонта нормативным требованиям.

Пример 1. Выбрать вариант ремонта стыкового сварного соединения паропроводных труб $\varnothing 273 \times 36$ мм после $\tau_H = 210$ тыс. ч эксплуатации. Кольцевая трещина глубиной 3,5—4,0 мм и длиной около 30 мм в ЗТВ_{рп} на наружной поверхности соединения. Сталь 12Х1МФ, металл шва — 09Х1МФ. Назначаемый остаточный ресурс $t_{o.p} = 40$ тыс. ч.

Исходные данные: $t = 545$ °С; $p = 14$ МПа; $\tau_H = 2,1 \cdot 10^5$ ч; $\tau_{o.p} = 0,4 \cdot 10^5$ ч; $\tau_{и.р} = \tau_H + \tau_{o.p} = 2,5 \cdot 10^5$ ч; глубина выборки после удаления трещины $h_B = 5$ мм; $[\sigma] = 57$ МПа для индивидуального ресурса $\tau_{и.р} = 2,5 \cdot 10^5$ ч; $C_2 = 0,5$ мм.

Поставленная задача решается в три этапа:

— на первом этапе определяют расчетную толщину стенки паропроводных труб, которая при расчете по формуле $S_R = pD_H / (2[\sigma] + p)$ составляет 29,9 мм;

— на втором этапе оценивают фактическую минимальную толщину стенки трубного элемента в зоне выборки: $(S_f)_{min} = S - h_B = 31$ мм;

— на третьем этапе определяют выполнение условия прочности, которое удовлетворяется, поскольку $(S_f)_{min} = 31$ мм $> S_R + C_2 = 30,4$ мм.

Из этого следует, что выборку можно не подваривать.

Таким образом, обоснован выбор варианта технологии ремонта сварного стыкового соединения на остаточный ресурс 40 тыс. ч. Технология ремонта заключается в полном удалении трещины (с помощью абразивного инструмента) без последующего выполнения подварочного шва (ремонтной заварки) в выборку глубиной до 5 мм.

Пример 2. Разработать сварочную технологию ремонта поврежденного сварного тройника $\varnothing 245 \times 45 / \varnothing 159 \times 30$ мм с металлом шва 09Х1МФ (материал паропровода — сталь 15Х1МФ).

Исходные данные $t = 545$ °С; $p = 25$ МПа; $\tau_H = 1,5 \cdot 10^5$ ч; $\tau_{o.p} = 0,5 \cdot 10^5$ ч; $\tau_{и.р} = \tau_H + \tau_{o.p} = 2 \cdot 10^5$ ч; $[\sigma] = 66$ МПа для $\tau_{и.р} = 2 \cdot 10^5$ ч; кольцевые трещины со стороны корпуса и штуцера в ЗТВ_{рп} на наружной поверхности сварного соединения с угловым швом; глубина трещин $a = 7 \div 8$ мм, протяженность $L = 50 \div 80$ мм; глубина кольцевой выборки после удаления трещин $h_B \approx 10$ мм; $D_H^K = 245$ мм; $D_{вн}^K = 155$ мм; $d_H^W = 159$ мм; $d_{вн}^W = 99$ мм; по результатам УЗТ $S^K = S_f^K = 45$ мм и $S^W = S_f^W = 30,0$ мм в пришовных зонах тройника; $C_2 = 0,5$ мм; $\beta^K = D_H^K / D_{вн}^K = 1,58$; $\beta^W = d_H^W / d_{вн}^W = 1,61$.

Поставленная задача решается в несколько этапов:

— на первом этапе оценивают расчетную толщину стенки штуцера и корпуса тройника $S_R^W = 25,3$ мм, $S_R^K = 39,0$ мм;

— на втором этапе оценивают фактическую минимальную толщину стенки трубных элементов в зоне общей выборки. Искомые значения составили: $(S_f^K)_{min} = S - h_B = 35$ мм для корпуса тройника и $(S_f^W)_{min} = 20$ мм для штуцера;

— на третьем этапе определяют выполнение условия прочности, которое не удовлетворяется, поскольку $(S_f^K)_{min} = 35$ мм $< S_R + C_2 = 39,5$ мм для корпуса тройника и $(S_f^W)_{min} = 20$ мм $< S_R + C_2 = 25,8$ мм для штуцера.

Из этого следует, что выборку необходимо подваривать;

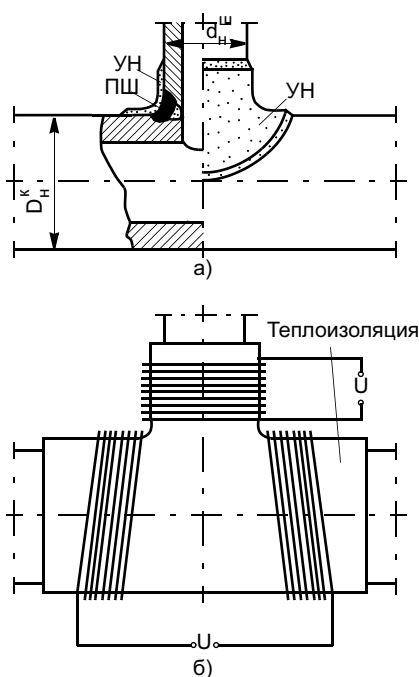


Рис. 7. Рекомендуемая схема сварочной технологии ремонта сварного тройника $\varnothing 245 \times 45$ мм/ $\varnothing 159 \times 30$ мм (сталь 15Х1МФ, металл шва 09Х1МФ): а — расположение подварочного шва (ПШ) и усиливающей наплавки воротникового типа (УН); б — размещение нагревательных устройств при проведении высокого отпуска

— на четвертом этапе определяют необходимость нанесения усиливающей наплавки в районе углового шва тройника по результатам проверки его конструкционной прочности. Установлено, что запас толщины стенки пришовной зоны штуцера и корпуса тройника является недостаточным:

$S_f^w / S_R^w = 1,19$ и $S_f^k / S_R^k = 1,15$; оптимальные значения $S / S_R \geq 1,4$.

Следовательно, сварной тройник необходимо укреплять усиливающей наплавкой воротникового типа (см. рис. 7, а).

По остальным параметрам сварной тройник удовлетворяет требованиям конструкционной прочности, поскольку $\beta^k / \beta^w = 0,98$ (в пределах рекомендуемого значения $1 \pm 0,05$) и $d_o / (D_H^k - 2S_f) = 0,64 < [0,75]$;

— на пятом этапе оценивают толщину усиливающей наплавки для условия $S^* / S_R = 1,4$. В этом случае S^* представляет суммарную толщину стенки трубного элемента с усиливающей наплавкой ($S^* = S_f + h_{y,n}$). Расчетное значение S^* для корпуса тройника составляет $S^{*k} = 1,4 S_R^k = 54,6$ мм и для штуцера $S^{*w} = 1,4 S_R^w = 35,4$ мм. Толщина усиливающей наплавки (при расчете из равенства $S^* = S_f + h_{y,n}$) для корпуса тройника $h_{y,n}^k = 9,6$ мм и для штуцера $h_{y,n}^w = 5,4$ мм. Принимаем $h_{y,n}^k = 10 \div 12$ мм и $h_{y,n}^w = 6 \div 8$ мм (после обработки усиливающей наплавки абразивным инструментом).

Ширина усиливающей наплавки в данном случае составляет $L_{y,n} = L_{п,ш} + L_k + L_{ш}$, где $L_{п,ш}$ — ширина подварочного шва; L_k — ширина кольцевой зоны со стороны корпуса тройника ($L_k \geq 50$ мм) и $L_{ш}$ — ширина кольцевой зоны со

стороны штуцера ($L_{ш} \geq 50$ мм) согласно РД 34.17.310—96;

— на шестом этапе принимают технологию выполнения подварочного шва и усиливающей наплавки воротникового типа. Основные положения технологии, последовательность проведения технологических операций и режимы подогрева с послесварочной термической обработкой приведены выше, включая данные табл. 4 и рис. 1, в. Качество отремонтированной детали оценивают по результатам неразрушающего контроля (ВК, МПД, УЗК, также измерением твердости металла наплавки и основного металла).

Таким образом, разработана сварочная технология ремонта поврежденного сварного тройника $\varnothing 245 \times 45 / \varnothing 159 \times 30$ мм с металлом шва 09Х1МФ (материал паропровода — сталь 15Х1М1Ф) с учетом результатов расчетной оценки конструкционной прочности ремонтируемой детали и определением размеров усиливающей наплавки.

Технология включает выполнение подварочного шва с усиливающей наплавкой воротникового типа. Сварочно-наплавочные операции сопровождаются подогревом ремонтируемой детали; после сварки проводят термический отжиг и высокий отпуск.

Данная технология обеспечивает продление срока службы отремонтированного сварного тройника на 50 тыс. ч до индивидуального ресурса 200 тыс. ч для параметров пара 545 °С и 25 МПа. Необходимыми мерами продления ресурса отремонтированного тройника являются контроль и обеспечение эксплуатации паропровода в проектных условиях.

Пример 3. Разработать технологию ремонта поврежденного стыкового сварного соединения СССР_{ртэ} $\varnothing 290 \times 50 / \varnothing 273 \times 32$ мм с металлом шва 09Х1МФ (материал трубных элементов — сталь 15Х1М1ФЛ и 12Х1МФ).

Исходные данные: $t = 545$ °С; $p = 14$ МПа; $\tau_H = 2 \cdot 10^5$ ч; $\tau_{o,p} = 0,5 \cdot 10^5$ ч; $\tau_{и,р} = \tau_H + \tau_{o,p} = 2,5 \times 10^5$ ч; $[\sigma] = 57$ МПа для $\tau_{и,р} = 2,5 \cdot 10^5$ ч; $C_2 = 0,5$ мм; кольцевая трещина выявлена со стороны трубы $\varnothing 273 \times 32$ мм в ЗТВ_{рп} на наружной поверхности сварного соединения; глубина трещины $a = 7 \div 8$ мм, протяженность $L = 70 \div 80$ мм; глубина кольцевой выборки после удаления трещины $h_B \approx 10$ мм. Для трубы $\varnothing 273 \times 32$ мм: $D_H = 273$ мм; расчетная толщина стенки $S_R = p D_H / (2[\sigma] + p) = 29,9$ мм; фактическая толщина стенки в пришовной зоне (по результатам УЗТ) $S_f = 28,4$ мм = $0,95 S_R$.

Поставленная задача решается в пять этапов:

— на первом этапе оценивают фактическую минимальную толщину стенки трубы в районе выборки: $(S_f)_{\min} = S_f - h_B = 18,4$ мм;

— на втором этапе определяют выполнение условия прочности, которое не удовлетворяется, поскольку $(S_f)_{\min} = 18,4$ мм $< S_R + C_2 = 30,4$ мм (из этого следует, что выборку необходимо подваривать)

— на третьем этапе определяют необходимость нанесения усиливающей наплавки по результатам проверки конструкционной прочности стыкового соединения. Установлено, что запас толщины стенки пришовной зоны трубного элемента $\varnothing 273 \times 32$ мм отсутствует, поскольку $S_f / S_R = 0,95$. Оптимальные значения составляют $S / S_R > 1,4$.

Следовательно, стыковое сварное соединение необходимо укрепить со стороны трубы $\varnothing 273 \times 32$ мм усиливающей наплавкой цилиндрического типа (рис. 8);

— на четвертом этапе оценивают толщину усиливающей наплавки из условия $S^* / S_R = 1,4$.

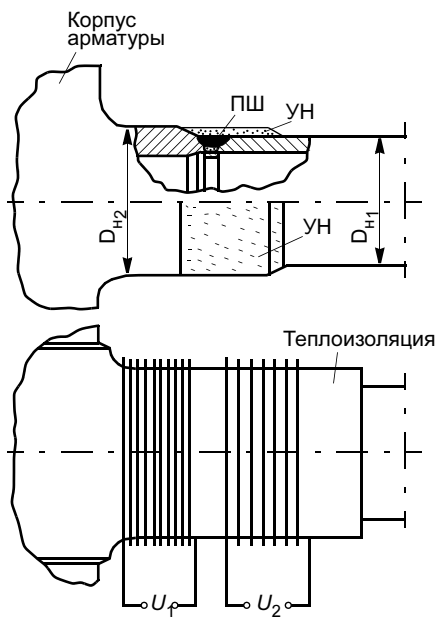


Рис. 8. Рекомендуемая схема сварочной технологии ремонта стыкового сварного соединения разнотолщинных трубных элементов $\varnothing 290 \times 50$ мм/ $\varnothing 273 \times 32$ мм (сталь соответственно 15Х1М1ФЛ/12Х1МФ, металл шва 09Х1МФ): а, б — см. рис. 7

Суммарная толщина стенки в пришовной зоне трубного элемента с усиливающей наплавкой определяется из равенства $S^* = S_f + h_{у.н}$ и составляет $1,4S_R = 41,9$ мм. Толщина усиливающей наплавки (при расчете из равенства $S^* = S_f + h_{у.н}$) составила 13,5 мм. Принято значение $h_{у.н} = 14 \div 15$ мм (после обработки усиливающей наплавки абразивным инструментом).

Ширину усиливающей наплавки определяют по формуле $L_{у.н} = L_{п.ш} + L_{тр} + L_{т.э}$ ($L_{п.ш}$ — ширина подварочного шва; $L_{тр}$ — ширина кольцевой зоны со стороны трубы ($L_{тр} > 50$ мм); $L_{т.э}$ — ширина кольцевой зоны со стороны толстостенного элемента ($L_{т.э} = 10 \div 15$ мм с последующим удалением наплывов металла абразивным инструментом));

— на пятом этапе принимают технологию выполнения подварочного шва и усиливающей наплавки цилиндрического типа. Основные положения технологии, последовательность проведения технологических операций и режимы по-

догрева с послесварочной термической обработкой приведены выше, включая данные табл. 4 и рис. 1, в. Качество отремонтированной детали оценивают по результатам неразрушающего контроля (ВК, МПД, УЗК, также измерением твердости металла наплавки и основного металла).

Таким образом, разработана сварочная технология ремонта поврежденного стыкового сварного соединения СССР_{ртэ} $\varnothing 290 \times 50/\varnothing 273 \times 32$ мм с металлом шва 09Х1МФ (материал трубных элементов — сталь 15Х1М1ФЛ и 12Х1МФ) с учетом результатов расчетной оценки конструкционной прочности ремонтируемого элемента и установлением размеров усиливающей наплавки.

Технология включает выполнение подварочного шва с усиливающей наплавкой цилиндрического типа. Сварочно-наплавочные операции сопровождаются подогревом ремонтируемой детали, после сварки проводят термический отдых и высокий отпуск.

Данная технология обеспечивает продление срока службы отремонтированного сварного соединения на 50 тыс. ч до индивидуального ресурса 250 тыс. ч для параметров пара 545 °С и 14 МПа. Необходимыми мерами продления ресурса отремонтированного сварного соединения являются его периодический контроль и обеспечение эксплуатации в проектных условиях.

Ремонт сварных соединений паропроводов из теплоустойчивых хромомолибденовых сталей проводят с учетом следующих особенностей и требований:

- выполнение основных положений сварочной технологии ремонта, рассмотренных выше;
- при разработке технологии ремонта необходимым является проведение расчетных процедур по оценке конструкционной прочности поврежденных сварных соединений с обоснованием выбора технологии ремонта

(без применения сварочных операций или с их применением), а также с обоснованием необходимости выполнения усиливающих наплавов (и определением их размеров) после сварки подварочного шва (см. примеры 1—3);

- выполнение сварочной технологии ремонта с применением сварочных материалов (электродов) типа Э-09Х1М, подогрева при сварке-наплавке при температуре 150—300 °С, термического отдыха (при необходимости) при температуре подогрева и высокого отпуска при 700—730 °С с выдержкой в течение 1—3 ч в зависимости от типоразмера ремонтируемых деталей (табл. 4);
 - расположение выборки для выполнения подварочного шва допускается ограничивать локальной зоной повреждения сварных соединений (см. рис. 2, б);
 - проведение сварочно-термических операций и контроля с оценкой качества ремонтных заварок (наплавов) по технологии ремонта сварных деталей из сталей 12Х1МФ, 15Х1М1Ф и им подобных (см. рис. 1—8).
- Ремонт сварных соединений трубопроводов I категории (группы 4) из углеродистых и кремнемарганцовистых сталей** проводят с учетом следующих особенностей и требований:
- выполнение основных положений сварочной технологии ремонта, рассмотренных выше;
 - выполнение сварочной технологии ремонта с применением сварочных материалов (электродов) типа Э50А, подогрева при сварке-наплавке при 100—150 °С и высокого отпуска при 560—590 °С с выдержкой в течение 1—2 ч при толщине стенки трубных элементов более 30 мм (см. табл. 4);
 - расположение выборки для выполнения подварочного шва допускается ограничи-

вать локальной зоной повреждения сварных соединений (см. рис. 2, б);

- проведение сварочно-термических операций и контроля с оценкой качества ремонтных заварок (подварочных швов) по технологии ремонта сварных деталей из сталей перлитного класса (см. рис. 2—6).

Сварочная технология ремонта бесшовных деталей трубопроводов I категории. К бесшовным элементам, ремонт которых проводится с помощью сварки, относятся фасонные литые детали (колена, корпуса арматуры) и прямые трубы, включая коллекторы. По сварочной технологии не допускается ремонтировать гнутые элементы (гибы) трубопроводов.

Основные трудности при ремонте фасонных литых деталей из углеродистых и низколегированных сталей связаны с выполнением подогрева в процессе сварки и послесварочной термической обработки. В связи с этим применяют два варианта сварочно-ремонтной технологии:

- основной вариант технологии, при котором ремонтные заварки выполняют перлитными электродами с применением при сварке подогрева и последующей термической обработки: термического отдыха, высокого отпуска (см. табл. 4). При такой технологии обеспечивается получение оптимального качества ремонтных соединений, однако сварочно-термические операции характеризуются большой трудоемкостью;
- резервный вариант технологии, при котором ремонтные заварки выполняют аустенитными электродами без подогрева при сварке и без послесварочной термической обработки. В этом случае с целью снижения (релаксации) остаточных сварочных напряжений рекомендуется проводить при сварке прочеканку (начи-

ная с третьего слоя) наплавляемого металла с помощью ударного инструмента с притупленным бойком с радиусом притупления 3—4 мм.

При сварочной технологии ремонта аустенитными электродами не обеспечивается необходимая работоспособность ремонтных соединений, однако такая технология является менее трудоемкой по сравнению с предыдущим (основным) вариантом.

Ремонт бесшовных литых деталей, проводимый с учетом особенностей сварочной технологии сварных соединений трубопроводов I категории, включает следующие операции:

- удаление поврежденного металла механическим способом

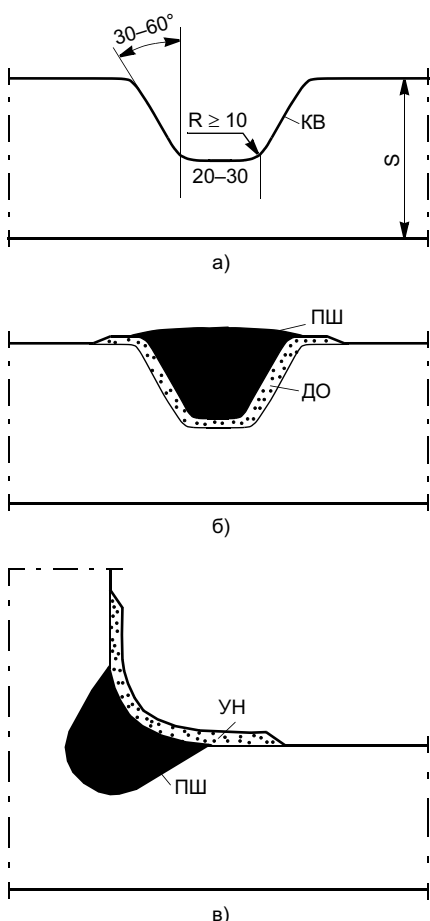


Рис. 9. Рекомендуемая форма выборки (а) и ремонтных заварок для стыкового (б) и углового (в) швов при ремонте литых корпусных деталей трубопроводов I категории (KB — контур выборки; ДО — двухслойная облицовка)

(абразивным инструментом) с засверловкой концов магистральной трещины диаметром 10—14 мм с последующей подготовкой выборки чашеобразной формы (рис. 9, а). Прилегающая поверхность основного металла шириной не менее 50 мм подлежит очистке до металлического блеска. Качество поверхности выборки и прилегающих участков контролируют неразрушающими методами (ВК, МПД или ЦД). Качество основного металла в районе выборки рекомендуется контролировать УЗК для выявления возможных литейных дефектов недопустимых размеров;

- выполнение подварочного шва многослойным способом продольными валиками (вдоль выборки) высотой 5—8 мм и шириной 15—25 мм до полного заполнения ремонтируемого углубления с выпуклостью шва 3—5 мм. Рекомендуется выполнять подварочный шов с предварительным нанесением двухслойной облицовки на поверхность выборки (рис. 9, б). Первый слой облицовки выполняют электродами диаметром 2,5 и/или 3 мм, второй — электродами диаметром 4 мм. Выборки глубиной до 5 мм можно оставлять без выполнения подварочного шва;
- выполнение усиливающей наплавки, перекрывающей подварочный шов в местах концентрации рабочих напряжений (рис. 9, в). Высота усиливающей наплавки составляет 10—15 мм и определяется в каждом конкретном случае в зависимости от типоразмера и особенности геометрической неоднородности ремонтируемой детали. Подварочный шов и усиливающую наплавку выполняют с применением электродов одного типа;
- сварка постоянным током обратной полярности на соот-

Таблица 5

Сталь	Тип электродов*	Подогрев при сварке (наплавке)		Режим высокого отпуска		
		S, мм	t _п , °C	S, мм	t _{в. о} , °C	τ, ч
Перлитный металл ремонтной заварки (основной вариант технологии)						
20Л 25Л 20ГСЛ	Э50А Э42А	>30	150—200	30—60 >60	560—590	1 2
20ХМЛ	Э50А**	10—30	200—250	10—20	700—730	1
	Э-09Х1М	>30	250—300	20—45 >45	700—730	2 3
20ХМФЛ 15Х1М1ФЛ	Э-09Х1МФ	>10	300—350	10—20 20—60 >60	720—750	1 3 5
Аустенитный металл ремонтной заварки (резервный вариант технологии)						
20Л 25Л 20ГСЛ	Э-11Х15Н25М6АГ2; Э-08Х14Н65М15В4Г2 (ЦТ-28)	>30	—	>30	—	—
20ХМЛ	Э-11Х15Н25М6АГ2; Э-08Х14Н65М15В4Г2*** (ЦТ-28)	>10	—	>10	—	—
20ХМФЛ 15Х1М1ФЛ	Э-11Х15Н25М6АГ2 Э-08Х14Н65М15В4Г2*** (ЦТ-28) Э-08Н60Г7М7Т***	>10	—	>10	—	—
* Марки электродов каждого типа приведены в табл. 2. ** Для заварки выборки глубиной не более 0,2S. *** Только для нанесения облицовки на поверхность выборки.						
Примечание. Высоконикелевые аустенитные электроды применяют при заварке выборки глубиной не более 20 % толщины стенки (≤0,2S) фасонной литой детали в зоне ремонта.						

ветствующих режимах в зависимости от типа и диаметра электродов, а также положения свариваемого шва в пространстве (табл. 5, 6) для фасонных литых деталей;

- сварка перлитными электродами с подогревом и проведением послесварочного высокого отпуска (см. табл. 4). При вынужденных перерывах в процессе сварки подварочного

Таблица 6

Тип электродов	Номер слоя шва	d _э , мм	Ток, А, при положении шва в пространстве		
			нижнем	вертикальном	потолочном
Углеродистый и низколегированный наплавляемый металл					
Э42А, Э50А, Э-09ХМ1, Э-09Х1МФ	1	2,5	80—95	75—90	75—90
	1	3,0	100—120	90—110	90—110
	1	4,0	140—160	130—150	130—140
	2	4,0	160—170	140—160	140—150
	≥3	4,0	160—180	160—170	150—160
Высоконикелевый аустенитный наплавляемый металл					
Э-11Х15Н25М6АГ2, Э-08Х14Н65М15В4Г2, Э-08Н60Г7М7Т	≥1	3	80—100	70—90	60—80
	≥1	4	110—140	100—120	90—110

шва (или между сваркой шва и нанесением усиливающей наплавки) должен проводиться термический отдых при температуре подогрева длительно-стью 1 или 3 ч при ремонте деталей толщиной соответственно до 30 мм и более.

Подогрев при сварке и термическую обработку после сварки проводят с помощью индукционных нагревателей или электронагревателей сопротивления на режимах согласно РД 153-34.1-003—01 (РТМ-1с).

Местному прогреву (на всю толщину стенки) подлежит кольцевая зона требуемой ширины (по периметру ремонтируемой детали) с подварочным швом в центре.

Определение ширины зоны равномерного нагрева (L_{р.н}) рассмотрено в технологии ремонта сварных соединений.

Газопламенный способ с местным нагревом при высоком отпуске применять не допускается.

Оптимальным является общий нагрев фасонных литых деталей (с ремонтными швами) путем проведения термической обработки в камерных электрических или газовых печах. В этом случае необходим временный демонтаж ремонтируемой детали из трассы паропровода на период проведения сварочно-термических операций;

- оценку качества ремонтных заварок по результатам неразрушающих методов контроля ВК, МПД или ЦД, УЗК (для перлитного наплавленного и основного металла) и ВК, ЦД (для аустенитного ремонтного шва в сочетании с перлитным основным металлом).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

О. А. ЦУКУРОВ, канд. техн. наук
ОАО "Институт сварки России"

Требования к процессам сварки в технических регламентах. Модель изложения, выполнения и процедуры подтверждения соответствия

Введение. В процессе практического применения в 2003—2006 гг. положений Федерального закона (ФЗ) "О техническом регулировании" в части разработки и последующего публичного обсуждения проектов технических регламентов (ТР) обозначился ряд проблем, затруднивших одобрение и последующее принятие указанных документов в качестве федеральных законов [1—4].

О масштабах этих проблем можно судить по многочисленным критическим публикациям и выступлениям специалистов в области технического нормирования и принятию за период действия данного ФЗ только одного технического регламента.

Эти проблемы сводились к наличию существенных противоречий в самом законе "О техническом регулировании", отсутствию четкой методической базы разработки ТР, а также значительным расхождениям с международными, прежде всего европейскими, подходами к разработке технических регламентов [5].

С целью исправления сложившейся ситуации и повышения эффективности осуществляемой реформы технического регулирования в мае 2007 г. был принят закон "О внесении изменений в Федеральный закон "О техническом регулировании", с реализацией которого большая часть обозначенных проблем может быть решена.

Однако, несмотря на принятые изменения в ФЗ, некоторые из нерешенных проблем все же остаются. Одна из них — отсутствие до настоящего времени методических подходов к разработке, утверждению и выполнению ТР, а также "единых правил установления требований к продукции и/или к связанным с ними процессам проектирования, производства...", наличие которых предписано ст. 3 ФЗ [6].

Это обстоятельство привело к различной интерпретации разработчиками проектов ТР положений ФЗ в части формирования структуры ТР,

определения и описания объектов технического регулирования, установления для них "минимально необходимых" (далее общих или существенных) требований, взаимосвязи регламентов и других нормативных документов и т. п.

В результате этого в проектах ТР существенные требования как к безопасности конечной продукции, так и техническим характеристикам технологических процессов, обеспечивающих выполнение требований безопасности, были установлены произвольно, без соблюдения каких-либо правил и оценки рисков. Такой же подход применялся и при выборе форм подтверждения соответствия конечной продукции и технологических процессов общим требованиям ТР. В итоге из рассмотренных более 100 проектов ТР, находящихся на стадии разработки, большинство возвращены на доработку и необходимые согласования [1]. По оценке заместителя руководителя Ростехрегулирования С. В. Пугачева, в этих проектах установлены "чрезмерно детализированные требования к продукции и процессам производства вплоть до организации и технологии производственных процессов, во многом основанных на ведомственных нормативах и инструкциях, применявшихся в стране в 70—90-х гг. По сути такие проекты ТР превращаются в огромные производственные инструкции, которые будут сковывать инициативу производителей, разработку прогрессивных способов обеспечения безопасности" [7].

Все вышеперечисленное в полной мере относится и к проектам ТР на продукцию, безопасность которой определяется процессами сварки [3]. В ряде проектов существенные требования к процессам сварки представлены или в недостаточном объеме, или отсутствуют полностью. В некоторых проектах помимо отмеченных выше недостатков объекты технического регулирования выбраны с

нарушением действующего законодательства, общие требования к сварочным процессам и их основным элементам необоснованно завышены, формы оценки соответствия (сертификации, аттестации) явно избыточны и не соотносятся с потенциальными рисками причинения вреда [8]. Кроме того, разработчики не учитывали международную практику технического регулирования и международные соглашения, подписанные в этой области российской стороной.

Такая вольная трактовка положений ФЗ неминуемо приведет к дополнительному административному давлению на изготовителей продукции, конфликту интересов между государством и товаропроизводителями, а также появлению новых технических барьеров в международной торговле вопреки задачам и целям ФЗ "О техническом регулировании". Актуальность и острота обсуждаемой проблемы заключается не столько в неспособности разработчиков проектов ТР (в силу объективных обстоятельств) создать современные правила разработки и изготовления безопасной продукции, сколько в неготовности товаропроизводителей выполнить на практике требования этих проектов.

На фоне рассмотренных проектов регламентов, содержащих требования к процессам сварки, можно выделить только один проект ТР, который выгодно отличается от остальных как наиболее соответствующий современной идеологии технического регулирования [9] — это проект ТР "О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением свыше 0,07 МПа или при температуре нагрева воды свыше 115 °С". При его разработке использованы принципы технического регулирования, применяемые при формировании европейских директив "Нового подхода". Несмотря на целый ряд серьезных недостатков, разработанный документ по структуре и отчасти по содержанию приближается к меж-

дународным аналогам — европейской директиве 97/23/ЕС "Оборудование, работающее под давлением" и проекту технического регламента Республики Беларусь "Оборудование, работающее под давлением. Безопасность" [10].

С целью избежания повторения перечисленных негативных моментов при разработке (или корректировке) проектов ТР в соответствии с новой версией ФЗ в данной работе предлагается рассмотреть следующие положения ФЗ и элементы европейских директив:

— установление разработчиками в ТР существенных требований к технологическим процессам, в том числе сварке, обеспечивающих выполнение общих требований безопасности конечной продукции;

— выполнение изготовителями продукции существенных требований к технологическим процессам сварки с использованием национальных стандартов, взаимосвязанных с ТР;

— процедуры подтверждения соответствия элементов сварочных процессов установленным стандартам в рамках оценки соответствия конечной продукции существенным требованиям ТР.

Перечисленные вопросы выбраны для рассмотрения как наиболее проблемные в настоящее время, исходя из приведенного анализа и общих принципов технического регулирования применительно к любой потенциально-опасной продукции.

Обращение в статье к европейским директивам связано с тем, что положения нового ФЗ приведены в соответствии с международными практикой и международными соглашениями, подписанными российской стороной и ориентированы на применение подобных документов ЕС при формировании отечественных технических регламентов. Европейские директивы уже использованы в качестве аналогов при разработке соответствующих технических регламентов Украины, Республики Беларусь и Казахстана.

С учетом изложенного рассмотрим обозначенные вопросы в следующих разделах статьи.

Установление в ТР существенных требований к технологическим процессам сварки

В соответствии с положениями ФЗ "О техническом регулировании" в ТР должны быть установлены с учетом степени риска причинения

вреда обязательные для применения и исполнения "минимально необходимые требования" к объектам технического регулирования, обеспечивающие достижение целей регламентов [6]. Эти требования должны быть основаны на научных и практических критериях и изложены как описания общих требований к безопасности конечной продукции и связанным с ними техническим характеристикам процессов, материалов, полуфабрикатов и комплектующих. При этом ТР "не должны содержать требования к конструкции и исполнению..." [6].

В новой редакции закона отсутствует понятие "исчерпывающие" применительно к обязательным требованиям, включаемым в ТР. Именно в результате неправильной трактовки этого положения в ранее разработанные проекты ТР включались практически целиком существующие стандарты, нормы и правила, превращая регламенты в неработоспособные многотомные документы [5].

Однако конкретные рекомендации по формированию в ТР существенных требований к продукции и технологическим процессам (модель изложения и содержание) в законе отсутствуют. Поэтому целесообразно обратиться за опытом установления данных требований к европейским директивам "Нового подхода" [4].

В директивах "Нового подхода" представлены общие минимальные (существенные) требования как к безопасности конечной продукции, так и соответствующие им общие технические требования к процессам ее изготовления, в том числе процессам сварки. В директивах также приведены формы подтверждения соответствия объектов технического регулирования установленным общим требованиям.

В качестве показательной рассмотрим директиву 97/23/ЕС "Оборудование, работающее под давлением", близкую по назначению к отечественному ТР "О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением", предписанного новым ФЗ к разработке и принятию [10].

Данная директива ранее была использована как аналог при разработке ТР Украины "Безопасность оборудования, работающего под давлением" и проекта ТР Республики Беларусь "Оборудование, работающее под давлением. Безопасность". Она содержит перечень объектов технического регулирования и общие требования к этим объектам, а также

правила их идентификации в целях применения директивы.

Объектами технического регулирования в директиве являются группы однородной конечной продукции, работающей под избыточным давлением, технологические процессы, в том числе сварка, материалы, полуфабрикаты и комплектующие, применяемые при изготовлении продукции и определяющие ее безопасность.

Для перечисленных объектов в директиве задан в общем виде комплекс обязательных технических требований, определяющих безопасность конечной продукции. Эти требования установлены с учетом анализа рисков для всех этапов жизненного цикла продукции, в том числе проектирования, изготовления, монтажа, эксплуатации и технического обслуживания, демонтажа, вывода из эксплуатации, утилизации.

Кроме того, в директиве установлены формы, схемы и процедуры подтверждения соответствия конечной продукции и процессов существенным требованиям, а также процедуры надзора и контроля за обращением продукции на рынке.

Существенные технические требования к процессам сварки и условиям их выполнения в директиве сформированы исходя из уровня требований безопасности к конечной продукции. Эти требования в общем виде представлены в директиве на этапе проектирования продукции (расчет сварных соединений на прочность и выбор сварочных материалов) и на этапе ее изготовления (см. рисунок).

Содержание и форма изложения в директиве существенных требований к процессам сварки для этапа изготовления продукции приведены в таблице.

Из таблицы следует, что при изготовлении с применением процессов сварки оборудования, работающего под давлением, существенные требования должны быть установлены к следующим объектам технического регулирования:

- сварным соединениям;
- сварщикам (квалификация);
- технологическим процессам заготовки и сварки (квалификация);
- персоналу неразрушающего контроля (квалификация);
- сварочным материалам (система прослеживаемости);
- процессам послесварочной термической обработки;
- испытаниям сварных соединений.



Схема установления, выполнения и подтверждения "существенных" требований к процессам сварки в директиве 97/23/ЕС

Приведенные существенные требования к процессам сварки должны быть выполнены товаропроизводителем для обеспечения соответствия конечной продукции требованиям данной директивы с целью ее доступа на европейский рынок.

Выполнение существенных требований к технологическим процессам сварки, установленных в ТР

Согласно ФЗ, выполнение общих требований ТР обеспечивается применением на добровольной основе национальных стандартов и (или) сводов правил, перечень которых утверждается национальным органом по стандартизации до вступления в силу ТР.

Реализация требований национальных стандартов и (или) сводов правил¹ является достаточным условием соблюдения существенных требований соответствующих ТР.

Однако в законе изначально отсутствует норма, регламентирующая требования к применению на-

циональных стандартов и (или) сводов правил для выполнения общих требований ТР к продукции и технологическим процессам (так же, как и при установлении в ТР общих требований к продукции и процессам).

Для выяснения этого вопроса рассмотрим схему применения европейских стандартов, взаимосвязанных с анализируемой директивой.

Для выполнения приведенных в таблице общих требований директивы, установленных к процессам сварки, изготовитель продукции должен воспользоваться так называемым Перечнем стандартов, гармонизированных с применяемой директивой 97/23/ЕС. В нем содержатся стандарты на все объекты технического регулирования директивы, в том числе на отдельные группы однородной конечной продукции, процессы сварки, материалы и др.

Общие требования к процессам сварки распространяются в равной степени на все группы конечной продукции, которые подпадают под действие директивы. Перечень некоторых групп однородной конечной продукции и соответствующие им европейские стандарты приведены ниже [4]:

— сосуды, работающие под давлением — ЕН 13445-(1-8):2002;

— трубопроводы промышленные металлические — ЕН 13480 (1-8):2002;

— резервуары сварные стальные для сжиженного нефтяного газа — ЕН 12493:2001;

— резервуары криогенные — ЕН 13458— (1-2):2002 и др.

В стандартах на отдельные группы конечной продукции, например на сосуды, работающие под давлением (ЕН 13445), содержатся детальные требования к каждому этапу ее жизненного цикла, включая и этап изготовления продукции с применением процессов сварки. Для этого этапа указанными стандартами на группы продукции предписывается дополнительно использовать ссылочные специализированные стандарты на отдельные элементы сварочных процессов.

Применение двух видов стандартов обеспечивает доказательную базу при подтверждении соответствия процессов сварки общим требованиям директивы.

Так, для выполнения общего требования директивы к сварным соединениям в части недопущения в них "внешних или внутренних дефектов, негативно влияющих на безопасность оборудования", изготовитель должен:

— определить необходимый уровень качества сварных соединений для производимой им продукции исходя из значений этих показателей, установленных в стандарте на конечную продукцию с учетом стандарта ЕН 25817;

— обеспечить достижение этого уровня качества сварных соединений за счет выполнения требований стандартов на конечную продукцию и ссылочных стандартов на отдельные элементы сварочных процессов.

Для выполнения остальных существенных требований директивы к процессам сварки изготовителю продукции потребуются квалифицировать в соответствии со следующими ссылочными стандартами: сварщиков по ЕН287; операторов установок для полностью механизированной и автоматической сварки плавлением и наладчиков установок контактной сварки по ЕН 1418; технологические процессы сварки по ЕН 288; специалистов неразрушающего контроля по ЕН 473.

Послесварочную термическую обработку сварных конструкций изготовитель должен производить в соответствии с требованиями стандарта на конечную продукцию и ссылочного стандарта CR/ISO 17663.

¹ Документов в области стандартизации, применяемых в РФ, введенных ФЗ от 01.05.2007 г. № 65-ФЗ.

3.1. Процедуры изготовления

Изготовитель должен обеспечить выполнение требований, установленных при проектировании оборудования, применяя соответствующие технологии и технологические процессы, особенно в отношении следующих аспектов

3.1.1. Изготовление деталей

При изготовлении деталей (формование, закругление кромок и т. п.) *не допускаются повреждения, трещины, изменения механических характеристик и т.п., которые могут повлиять на безопасность оборудования, работающего под давлением*

3.1.2. Неразъемные (сварные) соединения

Неразъемные соединения материалов и съемных частей *не должны иметь внешних или внутренних дефектов (повреждений), негативно влияющих на безопасность оборудования*

Свойства неразъемных соединений должны удовлетворять минимальным значениям характеристик соединяемых материалов, если при расчетах конструкции не предусмотрены другие значения соответствующих характеристик

Для оборудования, работающего под давлением, неразъемные соединения составных частей, которые влияют на устойчивость к воздействию давления оборудования в целом, а также тех частей, которые прикрепляются к нему непосредственно, должны выполняться достаточно квалифицированным персоналом в соответствии с предусмотренными технологическими процессами изготовления неразъемных соединений (технологией сварки)

Для оборудования, работающего под давлением, относящегося к категории II, III и IV, технологические процессы и персонал должны быть аттестованы третьей стороной, выбранной по усмотрению изготовителя, например в лице уполномоченного органа или другой организацией, аккредитованной третьей стороной

Для аттестации третья сторона должна провести освидетельствование или равнозначные испытания, предусмотренные стандартами, или должна дать разрешение на их проведение

3.1.3. Неразрушающий контроль

Для оборудования, работающего под давлением, неразрушающий контроль неразъемных соединений должен выполняться квалифицированным персоналом. Для оборудования, работающего под давлением, относящегося к категориям III и IV, этот персонал должен быть аттестован третьей стороной

3.1.4. Термическая обработка

В случаях, когда технологический процесс изготовления может изменить свойства материала настолько, что это повлияет на безопасность оборудования, работающего под давлением в целом, тогда на соответствующей стадии изготовления необходимо проводить термическую обработку

3.1.5. Прослеживаемость материалов

Необходимо предусматривать и надлежащим образом выполнять соответствующие процедуры, обеспечивающие возможность идентификации материалов, из которых изготовлены составные части оборудования, работающего под давлением, используя все возможные способы, начиная от выбора материалов, далее — в процессе изготовления и заканчивая приемкой готового оборудования, работающего под давлением

3.2. Приемка

Оборудование, работающее под давлением, должно подвергаться приемке, как установлено ниже.

3.2.1. Окончательная проверка

Оборудование, работающее под давлением, должно подвергаться окончательной проверке, во время которой необходимо установить посредством визуального осмотра или проверки технической документации, обеспечиваются ли требования технического регламента. При этом могут быть приняты во внимание результаты испытаний (проверок), проведенных в процессе изготовления. В той мере насколько это целесообразно и необходимо для безопасности окончательной проверке подлежат все внутренние и наружные части оборудования, работающего под давлением, если конкретная деталь не может быть проверена в составе готового оборудования

3.2.2. Контрольные испытания

Приемка оборудования, работающего под давлением, должна включать испытание на герметичность, которое, как правило, проводится как испытание гидростатическим давлением. При этом испытательное давление должно быть не ниже установленных требований.

Для серийно выпускаемого оборудования категории I, работающего под давлением, эти испытания могут быть проведены с использованием статистических методов контроля

В тех случаях, когда испытание гидростатическим давлением является неактуальным или практически не может быть проведено, допускается проводить испытания других видов, эффективность которых известна. Перед проведением этих испытаний необходимо провести дополнительные испытания, например, методами неразрушающего контроля или другими эквивалентными методами, равнозначными по достоверности

Прослеживаемость происхождения материалов изготовитель сварных конструкций осуществляет в соответствии с требованиями стандарта на конечную продукцию. При этом требования стандартов к квалификации сварщиков, технологических процессов сварки и персонала неразрушающего контроля изготовителю необходимо выполнить до начала производства. Кроме того, до начала производства изготовителю требуется иметь систему качества сварочного производства, сертифицированную на соответствие

стандарту EN 729 (для производства сосудов, работающих под давлением — стандарт EN 729-3). Наряду со стандартом на конечную продукцию требования к наличию сертифицированной системы качества установлены непосредственно директивой 97/23/ЕС в шести модулях (схемах) подтверждения соответствия. Выполнение требований стандартов к элементам процессов сварки и сопутствующим процессам является основанием для подтверждения соответствия процессов сварки общим требованиям директивы.

Перечень стандартов из области сварки и родственных процессов, гармонизированных с директивой 97/23/ЕС, в настоящее время содержит 154 стандарта (в том числе проектов), регламентирующих требования к следующим элементам сварочного производства:

— сварщикам, операторам, персоналу надзора, специалистам неразрушающего контроля и к процедурам их квалификации;

— технологическим процессам сварки (пайки) и к процедурам их квалификации;

— классификации способов сварки, основных и вспомогательных сварочных материалов, дефектов сварных соединений и др.;

— уровням качества сварных соединений;

— качеству выполнения процессов сварки;

— расходуемым сварочным материалам;

— методам контроля и испытаний и др.

Приведенная схема выполнения существенных требований директивы к процессам сварки с использованием взаимосвязанных европейских стандартов применима для подобной цели и в разрабатываемых отечественных ТР на продукцию, безопасность которой определяется сваркой.

Для реализации такой схемы в соответствии с ФЗ "О техническом регулировании" потребуется разработать несколько десятков национальных стандартов, гармонизированных с зарубежными аналогами. Работа в этом направлении ведется в инициативном порядке на средства предприятий и организаций-разработчиков уже на протяжении нескольких лет [3].

Первые четыре национальных технологических стандарта ГОСТ Р ИСО 3834 (1-4):2007 "Требования к качеству выполнения сварки плавлением металлических материалов", разработанные в ОАО "Институт сварки России", введены в действие приказом Ростехрегулирования с 01.01.2008 г. [11]. Кроме того, в институте переведены на русский язык и подготовлены к использованию в качестве основы для разработки проектов национальных стандартов еще 33 стандарта ИСО и ЕН [3].

Значительная работа по подготовке стандартов, гармонизированных с зарубежными аналогами, проводится также и РНТСО. В РНТСО разработаны и введены в действие 15 первоочередных основополагающих стандартов организации (общества), которые необходимо в ближайшее время перевести в ранг национальных стандартов.

На этом фоне вызывает недоумение позиция Национального органа по стандартизации (бывшего Госстандарта), который не включил в "Программу разработки национальных стандартов на 2007 г." раздел, относящийся к разработке стандартов по сварке. И это при том, что в действующей отечественной нормативной базе недостаточное количество необ-

ходимых современных стандартов по сварке и родственным процессам, гармонизированных с международными. В то время как в Республике Беларусь и Украине на текущий период подготовлены не менее 40 и 70 гармонизированных стандартов по сварке соответственно.

Подтверждение соответствия элементов сварочных процессов при оценке соответствия конечной продукции требованиям ТР

Согласно ФЗ "О техническом регулировании", перед размещением на рынке конечной продукции, разработанной и изготовленной по требованиям конкретного ТР, она должна быть подвергнута одной из процедур обязательного подтверждения соответствия. Эти процедуры осуществляются с целью удостоверения соответствия продукции и процессов (проектирования, производства, строительства, монтажа и др.) ТР, стандартам, сводам правил или условиям договоров.

Подтверждение соответствия в Российской Федерации может носить добровольный (в форме добровольной сертификации) или обязательный (в формах принятия декларации о соответствии или обязательной сертификации) характер.

Соответствие продукции ТР обеспечивается или непосредственным выполнением его существенных, общих требований безопасности, или выполнением требований взаимосвязанных с ним национальных стандартов и (или) сводов правил.

При неприменении взаимосвязанных национальных стандартов (сводов правил) или их отсутствии для оценки соответствия конечной продукции требованиям ТР допускается применение иных документов (п. 9 в редакции ФЗ от 01.05.2007 г. № 65-ФЗ).

Схема оценки соответствия конечной продукции требованиям ТР в общем виде включает следующие положения:

— обязательную сертификацию (или декларирование) конечной продукции на соответствие существенным требованиям технического регламента (органы по обязательной сертификации и аккредитованные испытательные лаборатории);

— проведение экспертизы и проверки технической "доказательственной" документации в отношении выполнения существенных требований к объектам добровольного

подтверждения соответствия, в частности к технологическим процессам выполнения сварных соединений и их составляющим (органы по добровольной сертификации) и в отношении состояния производства и системы менеджмента качества.

Следует особо отметить, что ТР должны содержать процедуры оценки соответствия с учетом необходимых затрат на введение обязательного подтверждения соответствия третьей стороной и которые бы оправдывали риск от потенциального ущерба.

Добровольное подтверждение соответствия

Этот вид подтверждения соответствия осуществляется для установления соответствия объектов технического регулирования требованиям национальных стандартов, стандартов организаций, сводов правил, систем добровольной сертификации и условиям договоров.

Применение на добровольной основе национальных стандартов и (или) сводов правил является достаточным условием соблюдения требований ТР. Оценка соответствия требованиям ТР осуществляется на основании подтверждения их соответствия национальным стандартам и (или) сводам правил.

При применении процессов сварки объектами добровольного подтверждения соответствия являются продукция (основные и вспомогательные сварочные материалы, полуфабрикаты и комплектующие), процессы производства (в том числе технологические процессы сварки), а также иные объекты (сварщики, специалисты неразрушающего контроля), требования в отношении которых установлены вышеперечисленными документами [6].

Согласно ФЗ, подтверждение соответствия перечисленных объектов должны осуществлять органы по сертификации систем добровольной сертификации. Они же выдают сертификаты соответствия на объекты, прошедшие добровольную сертификацию, и предоставляют заявителям право на применение знака соответствия, если его применение предусмотрено системой добровольной сертификации.

К настоящему времени федеральным органом исполнительной власти по техническому регулированию уже зарегистрированы несколько систем добровольной сертификации объектов сварочной деятельности.

В системе добровольной сертификации устанавливаются перечень объектов, подлежащих сертификации; перечень национальных стандартов, содержащих характеристики объектов, на соответствие которым осуществляется добровольная сертификация; правила выполнения предусмотренных данной системой добровольной сертификации работ и др. Системой добровольной сертификации может предусматриваться применение знака соответствия.

В соответствии с ФЗ система добровольной сертификации может быть создана юридическим лицом и (или) индивидуальным предпринимателем или несколькими юридическими лицами и (или) индивидуальными предпринимателями. Эта система может быть зарегистрирована федеральным органом исполнительной власти по техническому регулированию [6].

Выполняя существенные требования ТР, установленные к процессам сварки и их элементам, изготовитель должен до начала производства реализовать конкретные технические требования взаимосвязанных с ТР стандартов и подтвердить в органах добровольной сертификации соответствие данных объектов регулирования этим стандартам.

В результате подтверждения соответствия у изготовителя должна быть в наличии документация, относящаяся к квалификации сварщиков и специалистов неразрушающего контроля; квалификации (одобрению) технологических процессов сварки; сертификации системы качества сварочного производства на соответствие стандарту ЕН 729 (2-4), а также сертификаты на применяемые материалы, предоставленные их изготовителем в соответствии с требованиями ТР.

Только при наличии перечисленных документов, а также необходимых документов по системе качества изготовитель может приступать к выполнению процессов сварки.

Эти же документы должны быть предоставлены изготовителем продукции или его представителем в орган по сертификации конечной продукции при оценке ее соответствия общим требованиям конкретного ТР.

Обязательное подтверждение соответствия

В соответствии с ФЗ "О техническом регулировании" "объектом обязательного подтверждения соответствия (ТР) может быть только продукция, выпускаемая в обращение

на территории РФ" [6]. Это означает, что все иные объекты технического регулирования, обеспечивающие безопасность конечной продукции в рамках конкретного ТР, должны подвергаться процедурам добровольного подтверждения соответствия (см. раздел "Добровольное подтверждение соответствия"). Поэтому после изготовления и приемки конечной продукции (перед продвижением ее на рынок) изготовителю необходимо подтвердить ее соответствие существенным требованиям ТР с использованием форм обязательного подтверждения: принятия декларации о соответствии или обязательной сертификации.

Декларация о соответствии и сертификат соответствия имеют равную юридическую силу независимо от схем обязательного подтверждения соответствия и действуют на всей территории РФ.

Форма и схемы обязательного подтверждения соответствия устанавливаются только ТР с учетом степени риска недостижения целей ТР.

Принятие декларации о соответствии

Декларирование соответствия продукции требованиям ТР осуществляется по одной из следующих схем:

— принятие декларации о соответствии на основании собственных доказательств;

— принятие декларации о соответствии на основании собственных доказательств и доказательств, полученных с участием органа по сертификации и (или) аккредитованной испытательной лаборатории (центра).

Обязательная сертификация

Подтверждение соответствия продукции требованиям ТР в форме обязательной сертификации осуществляется органом по сертификации на основании договора с заявителем (изготовителем или продавцом конечной продукции). Факт соответствия продукции существенным требованиям ТР подтверждается сертификатом соответствия, выдаваемым заявителю органом по сертификации.

При осуществлении обязательной сертификации орган по сертификации привлекает для проведения исследований (испытаний) и измерений продукции аккредитованные испытательные лаборатории (центры).

Схемы сертификации, применяемые для сертификации опреде-

ленных видов продукции, устанавливаются соответствующим ТР. Однако конкретные требования по формированию в ТР схем обязательного подтверждения соответствия процессов изготовления пока не разработаны [12]. Поэтому для разъяснения этого вопроса вновь обратимся к европейским директивам "Нового подхода".

В директивах используются восемь базовых модулей оценки соответствия и их модификаций. Объектами оценки соответствия в них являются конечная продукция, системы менеджмента качества и техническая документация. Модули оценки соответствия относятся либо к стадии проектирования, либо стадии производства, либо одновременно к тому и другому (следует отметить, что отечественные схемы сертификации и декларирования, применяемые в настоящее время, во многом схожи с модулями оценки соответствия европейских директив).

Выбор конкретного модуля из числа установленных в директиве предоставляется изготовителю, который самостоятельно или с участием уполномоченного органа (органа по оценке соответствия, в том числе сертификации) выполняет выбранную процедуру оценки соответствия.

Рассматриваемая директива 97/23/ЕС содержит 13 модулей оценки соответствия, 6 из которых предполагают сертификацию системы качества изготовителя. Конкретный модуль в данном случае выбирается в зависимости от категории, к которой будет отнесено оборудование согласно классификации, приведенной в этой директиве.

Каждый модуль содержит указания к испытаниям продукции, оценке системы менеджмента качества и к составу технической документации, которую должен предоставить изготовитель на экспертизу и проверку в уполномоченный орган при оценке соответствия продукции требованиям директивы.

В состав технической документации (технического файла) входит и документация, относящаяся к сварочной деятельности изготовителя. Эта документация должна позволять проводить оценку соответствия сварочных и заготовительных процессов требованиям директивы и содержать:

- документы, подтверждающие выполнение существенных требований к процессам сварки, в том числе

сертификаты, выданные органами добровольной сертификации и относящиеся к квалификации сварщиков и специалистов неразрушающего контроля и квалификации (одобрению) технологических процессов сварки, а также сертификаты на применяемые сварочные материалы и полуфабрикаты, предоставленные их изготовителями;

- документы, подготовленные изготовителем:

- перечни стандартов, используемых при изготовлении, контроле и испытаниях сварных соединений;

- комплект необходимой конструкторской документации на детали, сборочные единицы и сварные узлы;

- перечень применяемых процессов сварки;

- перечень применяемых сварочных материалов;

- результаты проведения испытаний, предусмотренных процессами сварки (в том числе протоколы контроля и испытаний).

В случае, если схемой оценки соответствия предусматривается наличие у изготовителя сертифицированной системы качества, то его документация должна содержать следующую информацию:

- описание методик, процедур, технологических процессов изготовления сварных соединений, процессов контроля и обеспечения качества, которые должны применяться при изготовлении сварных конструкций;

- сведения о контроле и испытаниях, которые будут выполняться до, во время и после изготовления сварных соединений;

- результаты проверки качества (акты, протоколы контроля и испытаний), а также данные проверок и отчеты, касающиеся квалификации и аттестации сварщиков, персонала неразрушающего контроля и квалификации технологических процессов сварки.

При положительных результатах испытаний конечной продукции и экспертизы представленной документации изготовитель принимает декларацию о соответствии и ему предоставляется право маркирования продукции знаком "CE" (Conformite Europeenne — европейское соответствие).

Таким образом, рассмотренный пример дает общее представление о процедурах подтверждения соответствия элементов сварочных про-

цессов при оценке соответствия конечной продукции требованиям европейской директивы. Наличие у товаропроизводителя или его представителя декларации о соответствии и разрешения на право маркирования продукции является основанием для ее доступа на европейский рынок. Таким образом реализуются положения конкретной европейской директивы по подтверждению соответствия процессов сварки установленным существенным требованиям в рамках оценки соответствия конечной продукции.

Обсудив поднятые в статье вопросы, можно полагать, что рассмотренные положения ФЗ "О техническом регулировании" и европейской директивы помогут разработчикам ТР и изготовителям сварочной продукции сформировать представление о подходах и процедурах:

- установления в ТР существенных требований к технологическим процессам сварки;

- выполнения существенных требований к технологическим процессам сварки, установленных в ТР;

- подтверждения соответствия элементов сварочных процессов при оценке соответствия конечной продукции требованиям ТР.

ВЫВОДЫ

1. Анализ состояния разработки проектов технических регламентов (ТР) на продукцию, безопасность которой определяется технологическими процессами сварки, свидетельствует об использовании разработчиками ТР различных подходов к установлению, применению, выполнению и подтверждению соответствия "существенных" требований к процессу сварки. Это обстоятельство привело к разработке проектов ТР, противоречащих целям и задачам ФЗ "О техническом регулировании".

2. Основными причинами недозначного трактования ФЗ явилось несовершенство самого закона "О техническом регулировании" (в редакции 2002 г.) и отсутствие до настоящего времени методической базы, определяющей "единые правила установления требований к продукции и/или к связанным с ними процессам проектирования, производства...", наличие которых предписано ст. 3 ФЗ.

3. Выходом из создавшейся ситуации (наряду с принятием новой редакции ФЗ "О техническом регулировании") может быть использование европейских принципов техни-

ческого регулирования при формировании методической базы разработки и выполнения отечественных ТР. При этом техническое законодательство ЕС можно рассматривать как проверенную временем методическую основу задания, выполнения и оценки соответствия требованиям, обеспечивающим безопасность продукции. Тем более, что положения нового ФЗ приведены в соответствие с международной практикой и ориентируют разработчиков на применение действующих аналогичных европейских документов при формировании отечественных регламентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пугачев С. В. Состояние и проблемы реализации Федерального закона "О техническом регулировании" // Стандарты и качество. 2006. № 4. С. 22.
2. Техническое регулирование: требуются радикальные изменения // Стандарты и качество. 2006. № 10. С. 6.
3. Смирнов В. В., Казаков В. А., Цукуров О. А. Деятельность технического комитета по стандартизации "Сварка и родственные процессы" (ТК-364) по выполнению закона РФ "О техническом регулировании" // Сварочное производство. 2006. № 12. С. 43—47.
4. Цукуров О. А. Вопросы технического регулирования применительно к сварке и родственными процессам // Сварочное производство. 2006. № 7. С. 37—41.
5. Пугачев С. В. Причины и цели принятия изменений в закон "О техническом регулировании" // <http://www.rgru.ru/opinion/>.
6. Федеральный закон "О техническом регулировании" (в ред. федеральных законов от 09.05.2005 г. № 45-ФЗ, от 01.05.2007 г. № 65-ФЗ).
7. Пугачев С. В. Необходима координация работ! // Стандарты и качество. 2007. № 7. С. 6.
8. Текст проекта специального технического регламента "О безопасности процессов производства сварочной продукции" // Вестник технического регулирования. 2006. № 10. С. 114—122.
9. Проект технического регламента "О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением свыше 0,07 МПа или при температуре нагрева воды свыше 115 °С" // <http://www.minprom.gov.ru/activity/metrology/strateg/trprogramm>.
10. Directive 97/23/EC — Pressure equipment // Official Journal L 181. 1997. № 09/07. P. 0001—0055.
11. Цукуров О. А. Национальные стандарты, регламентирующие требования к качеству выполнения сварки металлических материалов плавлением (на основе международных стандартов ИСО 3834:2005 г.) // Сварочное производство. 2007. № 11. С. 46—53.
12. Рекомендации по выбору форм и схем обязательного подтверждения соответствия продукции при разработке технических регламентов // <http://www.gost.ru/wps/portal/>.

УДК 621.791:338.4:65

Г. П. БЕНДЕРСКИЙ, д-р техн. наук, **В. К. ФЕДОРОВ**, д-р техн. наук
("МАТИ"—РГТУ им. К. Э. Циолковского)
А. Е. КИСЛУХА, инж.
("НПО "Лианозовский электромеханический завод")

Управление инновационным процессом в условиях действия государственного оборонного заказа

Инновационный процесс представляет последовательную совокупность научно-исследовательских, проектно-конструкторских, производственных и технологических работ от новой перспективной идеи до производства новых изделий и последующего их внедрения и сбыта в условиях острой конкуренции, проводимых на фоне сложных маркетинговых исследований, стратегического менеджмента всесторонних технико-экономических обоснований и др.

Организация инновационной деятельности по этапам инновационного процесса достаточно подробно рассматривается во многих исследованиях [1—3 и др.]. При этом отмечаются следующие основные этапы инновационного процесса (см. рисунок): создание инновации, внедрение, устойчивый рост, зрелость и спад.

Управление инновационным процессом — целенаправленная организационная система деятельности по разработке, внедрению и обеспечению стабильного производства нового изделия.

Организация управления инновационным процессом достаточно хорошо изучена, и, казалось бы, сложные и неясные управленческие ситуации отсутствуют. Однако управление инновационным процессом на предприятиях оборонного комплекса в условиях действия государственного оборонного заказа имеет свою специфику и сложные проблемы.

Государственным оборонным заказом (гособоронзаказом) называется ежегодный заказ со стороны государства на производство и поставку вооружений, военной и специальной тех-

ники, отвечающий целям и максимально совпадающий по основным параметрам с соответствующим годовым срезом Государственной программы вооружений.

Гособоронзаказ является краткосрочным плановым документом, устанавливающим задания на поставки продукции (работ, услуг) для государственных нужд в пределах средств, предусмотренных в федеральном бюджете на соответствующий год, в целях поддержания необходимого уровня обороноспособности государства.

Гособоронзаказ содержит детальный (полный) перечень создаваемой продукции (работ, услуг), серийного производства новых образцов, а также ремонта имеющихся на вооружении комплексов и систем вооружений, военной и специальной техники. Гособоронзаказ как часть государственного заказа по объемам и параметрам финансирования должен соответствовать реальным экономическим возможностям государства.

В соответствии с действующим законодательством предприятие оборонного комплекса может получить заказ от государственного заказчика — гособоронзаказ — в результате победы в конкурсе, как правило, закрытом, либо в случае, когда оно является единственным поставщиком (исполнителем) данной техники. После подписания соответствующего госконтракта, обоснования и авансирования предприятие приступает к выполнению заказа.

В чем проявляются особенности управления инновационным процес-

сом в условиях действия гособоронзаказа?

Этап инновационного процесса, на котором проводится разработка, собственно создание инновации, можно разделить на три стадии научной и научно-технической деятельности.

На первой стадии в рамках научно-исследовательских работ (НИР) проводятся фундаментальные исследования с привлечением специализированных НИИ Минобороны, научно-исследовательских подразделений (кафедр и лабораторий) военных академий (университетов) и училищ (институтов). Финансирование при этом осуществляется в рамках бюджетных ассигнований по имеющемуся гособоронзаказу.

На второй стадии исследования проводятся в рамках НИР прикладного характера — прикладные исследования. Их проводят с привлечением тех специализированных НИИ Минобороны, научно-исследовательских подразделений (кафедр и лабораторий) военных академий (университетов) и училищ (институтов), которые в ходе фундаментальных исследований первого этапа добились положительных результатов. Финансирование прикладных исследований ведется государственным заказчиком в рамках бюджетных ассигнований по гособоронзаказу. Результаты прикладных исследований далеко не всегда дают положительный результат — достаточно велика вероятность получения бесперспективного (отрицательного) результата. Поэтому инвестиции в инновации на этом этапе носят венчурный (рисковый) характер.

Третья стадия характеризуется проведением опытно-конструкторских работ (ОКР) и экспериментальных разработок. Их проводят с привлечением специализированных НИИ Минобороны, научно-исследовательских подразделений (кафедр и лабораторий) военных академий (университетов) и училищ (институтов), на опытно-производстве и в научно-производственных и конструкторских подразделениях предприятия. Источники финансирования те же, что и на втором этапе, а также при необходимости собственные средства предприятия.

Этап инновационного процесса, на котором проводится внедрение инновации, является одним из ключевых, он описывается комбинированной экспоненциально-степенной функцией [1]. Этап начинается с первой поставки изделия потребителю. Предприятие должно приложить значительные усилия, чтобы потребитель подтвердил востребованность нового изделия, его высокие тактико-технические характеристики, их новизну. Маркетинговая стратегия предприятия на этом этапе должна быть направлена на информирование потребителей, их убеждение. Для убеждения заказчика необходимо спрогнозировать как приемлемую цену изделия при организации серийных поставок, так и достаточный объем серийного производства.

При создании и внедрении нововведения предприятие становится монополистом и стремится получить от своего положения максимальные преференции заказчика. Время, в течение которого предприятие-инноватор удерживает монополию, определяется скоростью реагирования конкурентов и позицией заказчика. Чем быстрее предприятие разработает нововведение и внедрит его у военного пользователя, тем более устойчивую позицию оно будет занимать в рейтинге заказчика.

Этот этап имеет еще одну особенность. Здесь предприятие, несомненно, должно начать переход от производства, оснащенного традиционными технологиями, к новому производству, оснащеному новыми наукоемкими технологиями. Существует несколько методов перехода от одной характерной технологии и организации производства к другой — новой, построенной на применении новых высоких наукоемких технологий.

Обычно выделяют последовательный, параллельный и смешанный методы перехода [1]. Переход

может быть осуществлен как с остановкой производства, так и без нее. Как правило, переход к новой технологии и организации производства тесно связан с технологическими особенностями применяемых процессов и будущими новыми изделиями.

Наиболее эффективен последовательно-параллельный (смешанный) метод, который обладает рядом преимуществ, но для его реализации необходимо создавать так называемые переходные или гибридные модели организации производства. Смешанный метод перехода к новым формам технологии и организации производства и освоению новых изделий осуществляется плавно, без остановки производства. К тому же, с учетом постепенного обновления изделий может осуществляться и путем внедрения переходных, гибридных изделий в ходе серийного производства.

Такой способ модернизации производства и внедрения инноваций широко распространен в автомобильной и авиационной промышленности, а также машиностроении.

При успешном прохождении инновационного процесса на данном этапе наступает этап устойчивого роста объема производства выпускаемой продукции. Математически эту динамику можно описать возрастающей экспоненциальной функцией. Если новое изделие удовлетворяет запросам потребителей, то заказы на его производство начинают расти.

Учитывая закрытость гособоронзаказа для покрытия издержек, целесообразно параллельно продвигать экспортный вариант изделия. Для продвижения нового изделия по линии военно-технического сотрудничества с зарубежными заказчиками требуется хорошая реклама — умная, точная, эффективная. Реклам-

ная поддержка продвижения нового изделия на этом этапе требует больших затрат, так как конкуренция увеличивается, а цена существенно расти не может. Серийное производство покрывает издержки, и новое изделие постепенно становится прибыльным. Прибыль на этом этапе растет в связи с тем, что издержки на стимулирование сбыта приходятся на большой объем продаж при одновременном сокращении издержек серийного производства [2].

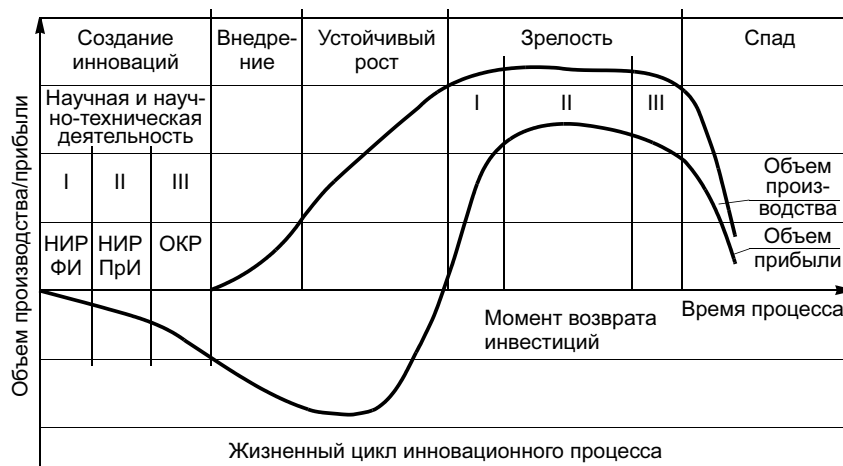
Для максимального продления этого очень важного для предприятия этапа необходимо придерживаться стратегии постоянного поиска:

- повышения качества нового изделия;
- проникновения в новые сферы поставок изделия;
- использования рекламы, ориентированной на потребителя;
- своевременного снижения цены и др.

Самый продолжительный этап инновационного процесса — зрелость. Он может быть представлен в виде последовательности следующих стадий: замедление роста I; стабилизация II; снижение спроса III (см. рисунок).

Математически замедление роста можно описать стремящейся к определенному пределу производимых изделий второй функцией Торнквиста, а стабилизацию целесообразно аппроксимировать как параболу. На этом этапе, как правило, повышается конкуренция со стороны производителей аналога выпускаемого изделия. Предприятие старается сохранить свои позиции, придерживается оборонительной стратегии и пытается продлить этап во времени за счет:

- активизации рынка сбыта, когда предприятие пытается привлечь новых заказчиков путем допол-



Основные этапы инновационного процесса

нительных усилий по продвижению изделия;

- модификации изделия, когда предприятие пытается привлечь новых заказчиков (ранее предпочитавших продукцию конкурентов) за счет повышения качества улучшения дизайнерского решения изделия и др.;
- совершенствования комплекса маркетинговых мероприятий, когда предприятие стимулирует сбыт за счет снижения цены, проведения более продуманной рекламы, перехода на более дешевые схемы продаж и др.

Снижение спроса и спад производства математически описываются отрицательной линейной зависимостью. Этот этап характеризуется снижением объема производства. Причинами спада могут быть как появление

другого инновационного изделия, так и появление аналога изделия, которые удовлетворяют возросшим требованиям потребителей.

На этом этапе жизненного цикла инновационного процесса неизбежно снижение прибыли, рост недозагрузки производственных мощностей, необходимость снятия устаревшей продукции с серийного производства.

Необходимо своевременно начинать новый инновационный процесс по разработке нового изделия. Нужна новая эффективная инновационная стратегия предприятия, обновление и укрепление его инновационного потенциала. Возможным вариантом стратегии предприятия может стать диверсификация проводимого инновационного процесса.

Учет рассмотренных особенностей управления инновационными

процессами на предприятиях оборонного комплекса в условиях действия гособоронзаказа позволяет обеспечить поддержание системы вооружения и ее компонентов в состоянии боеготовности, а в целом — систематическое техническое перевооружение вооруженных сил в целях поддержания необходимого уровня обороноспособности государства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Инновационный менеджмент: учебное пособие* / Под ред. Л. Н. Оголевой. М.: ИНФРА-М, 2007. 238 с.
2. *Васильева Л. Н., Муравьева Е. А. Методы управления инновационной деятельностью: учебное пособие*. М.: КНОРУС, 2005. 320 с.
3. *Ермасов С. В., Ермасова Н. Б. Инновационный менеджмент. Учебник для вузов*. М.: Высшее образование, 2007. 505 с.

ОБРАЗОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ

УДК 331.024.2:658

Е. П. ИЛСОВ, С. В. ЛИСИЧКИН

Межрегиональный координационно-аналитический центр по проблемам трудоустройства и адаптации к рынку труда выпускников учреждений профессионального образования МГТУ им. Н. Э. Баумана

О методе оценки эффективности работы центров содействия занятости учащейся молодежи и трудоустройству выпускников вузов

В настоящее время одной из важнейших социальных проблем, связанных с изменениями на рынке труда, является угроза безработицы для молодых специалистов, окончивших вузы, техникумы, училища. Выпускники учебных заведений оказываются одной из самых слабо защищенных в этом отношении категорий населения. С отменой обязательного распределения выпускников, существовавшего в условиях плановой экономики и обеспечивавшего постоянное рабочее место и необходимый минимум социальных гарантий, молодой специалист стал беззащитным перед угрозой безработицы.

Сегодня 60 % выпускников вузов, 30 % выпускников ПТУ и 70 % выпускников техникумов не работают по спе-

циальности. Работа на промышленных и сельхозпредприятиях вообще перестала привлекать молодых людей, а наибольший интерес вызывают торговля, финансы, менеджмент и система общественного питания.

Причина высокой безработицы среди молодежи — в низкой конкурентоспособности на рынке труда, неподготовленности к новым экономическим отношениям, несоответствии профессиональной подготовки потребностям рынка труда, недостаточной мотивации к труду.

Все это препятствует нормальному развитию общества и его трудового потенциала. В связи с этим представляется весьма актуальным решение проблем, связанных с синтезом двух составляющих процесса преобразова-

ния общества — профессионального образования и рынка труда.

В этом направлении в последнее время были получены определенные результаты. Минобрнауки России и Рособразование придает особое значение этому вопросу. Ежегодно на коллегиях этих ведомств ставится вопрос о содействии трудоустройству и временной занятости выпускников учреждений профессионального образования. С этой целью в Рособразовании ведется работа по созданию системы содействия трудоустройству выпускников профессиональных образовательных учреждений и адаптации их к рынку труда. Основу этой системы составляют центры содействия занятости учащейся молодежи и трудоустройству выпускников учреждений профессионального образования (далее центры), работающие в каждом учреждении профессионального образования. Они являются связующим звеном между рынком образовательных услуг и рынком труда.

Каждый такой центр должен решать задачи не только по непосредственному трудоустройству своих выпускников, но и предоставлению информации о спросе и предложении на рынке труда по профильным специальностям, переподготовке и непрерывному профессиональному обучению незанятых выпускников, а также стратегические задачи по содействию трудоустройству.

За 2000—2005 гг. почти в 80 % вузов, подведомственных Рособразованию, созданы центры. Информация о создании центров, их количественных и качественных характеристиках, направлениях работы, статистике трудоустройства выпускников поступает в Межрегиональный координационно-аналитический центр по проблемам трудоустройства и адаптации к рынку труда выпускников учреждений профессионального образования (далее МЦПТ) МГТУ им. Н. Э. Баумана.

Анализируя опыт работы центров, можно выделить общие тенденции направлений их деятельности и, как результат, общие критерии, по которым можно оценивать эффективность работы по содействию трудоустройству выпускников вузов и учащейся молодежи.

Критерий определяется задачами, решаемыми центрами:

- организация временной занятости студентов;
- организация стажировок и практик, предусмотренных учебным планом;
- содействие трудоустройству выпускников;
- предоставление выпускникам и работодателям информации о спросе и предложении на рынке труда посредством создания информационной системы;
- организация работы со студентами по вопросам их адаптации на рабочем месте;
- взаимодействие с предприятиями и организациями, оказывающими влияние на рынок труда: проведение ярмарок вакансий, презентаций профессий, создание долгосрочных программ сотрудничества;
- анализ российской практики в области содействия занятости студентов и трудоустройству выпускников;
- проведение маркетинговых исследований рынков труда и образовательных услуг;
- внесение предложений по корректировке учебных планов, номенклатуры специальностей и структуре выпуска учреждений профессионального образования в соответствии с текущими и планируемыми потребностями экономики региона;
- разработка программ дополнительного профессионального образования для незанятых выпускников

учреждений профессионального образования с учетом регионального рейтинга профессии, содействие в организации повышения квалификации и профессиональной переподготовки выпускников учреждений профессионального образования;

— обучение сотрудников учреждений профессионального образования данного региона, ответственных за трудоустройство выпускников;

— анализ сложившихся в регионе механизмов партнерства образовательное учреждение—регион;

— планирование, организация и проведение социологических, психологических и других исследований;

— обобщение и распространение наиболее эффективных программ работы центров;

— взаимодействие с территориальными органами занятости населения.

Для оценки эффективности работы центров по направлениям вводятся соответствующие показатели $k_1, k_2, \dots, k_{15}$.

Критериальные значения всех вышеперечисленных показателей определяются по трехуровневой системе:

- работа по данному направлению не ведется — 0,9;
- работа по данному направлению только начата, нет практических результатов — 1;
- работа по данному направлению ведется давно, есть практические результаты — 1,1.

Критерий оценки эффективности работы центра

$$K_3 = \prod_{i=1}^{15} k_i$$

где K_3 — критерий оценки эффективности работы центра; k_i — показатель работы центра по каждой из задач ($i = 1, 2, \dots, 15$).

Сбор данных, необходимых для определения значений показателей, осуществляется посредством анкетирования центров. Вопросы анкеты созвучны задачам, решаемым центром. Анкеты рассылаются в центры по электронной или обычной почте, а также размещаются на сайте МЦПТ (<http://cszum.bmstu.ru>).

Результаты анкетирования обрабатываются посредством метода экспертных оценок. Рабочая группа экспертов формируется на базе МЦПТ МГТУ им. Н. Э. Баумана из числа работников центров занятости и профильных отделов Минобрнауки и Рособразования. Процедура определения коэффициентов, соответствующих вопросам анкеты, проводится в несколько этапов. На первом этапе каждый эксперт на основании имеющихся данных и собственного опыта определяет предварительные значения коэффициентов. Далее проводится совещание рабочей группы экспертов, на котором рассматриваются обоснования предварительных результатов каждого эксперта. При необходимости предварительные результаты корректируются и принимается итоговое решение в определении окончательного значения коэффициента.

Данные, полученные в результате экспертной оценки, записываются в базу данных. Ввод информации в базу данных осуществляется специалистами центра при помощи веб-формы. Веб-форма содержит список коэффициентов и возможных вариантов их значений. Данные из формы передаются в программу, которая вычисляет на их основе критерий эффективности и заносит его в базу данных для хранения, дальнейшей обработки и последующей интернет-публикации на сайте МЦПТ в виде рейтинга центров.

УДК 621.791:061.2/4

Международный промышленный форум—2007

С 13 по 16 ноября 2007 г. в КВЦ "Сокольники" (Москва) проходил Международный промышленный форум, объединивший пять специализированных выставок "Металлообработывающее оборудование", "Машкомп", "Ретекмаш", "Подшипники", "Подъемно-транспортное оборудование". Экспонаты, представленные на выставке, востребованы многими предприятиями машиностроительной промышленности и получили высокую оценку специалистов.

Ниже приведено краткое описание некоторых экспонатов, демонстрировавшихся на форуме, и предложений предприятий.

Научно-производственный центр "Редуктор" (С.-Петербург) демонстрировал насосы и колодочные тормоза различного назначения.

Центробежные консольные одноступенчатые насосы типа БМ с горизонтальным расположением вала и осевым подводом жидкости для перекачивания массы концентрацией до 8 % и температурой до 100 °С. Проточная часть насосов изготовлена из коррозионно-стойкой стали, стойкой в кислых и щелочных средах. Напорный патрубок насосов выведен на ось и направлен вверх. Форма отвода спиральная. Рабочее колесо насосов закрытого или открытого типа с отбойными лопатками. Уплотнение вала — мягкий сальник. Привод насоса от электродвигателя через втулочную-пальцевую муфту.

Вакуумные водокольцевые насосы типа ВВИ с сальниковым уплотнением вала для откачки не агрессивных по отношению к чугуну паров и газов с целью создания вакуума в технологических установках.

Колодочный тормоз ТКП-100 с электромагнитным приводом для шкивов диаметром 100—300 мм, состоящий из следующих основных частей: электромагнита и механической части. Колодочный тормоз имеет пружинное замыкание. Оно автоматически размыкается при включении привода и устанавливается на быстроходных валах механизмов, оборудованных тор-

мозами шкивами. При выключенном электромагните под действием сжатой главной пружины рычаги прижимают колодки к поверхности тормозного шкива. При выключении электромагнита его якорь, прижимаясь к сердечнику, перемещает конец штока, который сжимает главную пружину. Рычаги, освободившись от действия пружины, расходятся, растормаживая шкив. Изменяя установочную длину пружины, можно изменять тормозной момент. Тип электромагнита МП-101, питающее напряжение колодочного тормоза 110 или 220 В, масса 16 кг.

ООО "МЭЛФИЗ-Ультразвук" (Москва) предложило ручную ультразвуковую установку МЭФ331 (рис. 1), обеспечивающую сварку жестких пластмасс, впрессовку металлических изделий в термопластичные материалы, развальцовку термопластичных заклепок, сварку синтетических нетканых материалов и т. п. По сравнению с другими методами такая технология позволяет отказаться от вредных для человека органических растворителей. Фасонные детали на поверхностях соединений нагреваются и пластифицируются преимущественно без присадочного материала под воздействием ультразвука и давления. Площадь ра-

бочей зоны установки до 650 мм², коммутируемая мощность 600 Вт, режим непрерывной работы 8 ч, ПВ = 50 %, питающее напряжение установки 220 В. Длина ручного инструмента 280 мм, масса 1,2 кг. Такая ручная ультразвуковая установка по габаритным размерам и массе в 2—3 раза меньше зарубежных аналогов. Акустическая система выполнена на пьезоэлектрических кольцах, генератор установки — на транзисторах и оснащен органами управления индикации, защитой, регулировкой и стабилизацией амплитуды, автоматической подстройкой частоты, сетевым фильтром.

Завод "Элион" (Москва) показал на выставке свою продукцию и новые технологические разработки.

Плазменный комплекс "Плазма 2007" для сварки, пайки, пайкосварки, разделительной, поверхностной и копьевой резки, плавления, локального нагрева черных и цветных металлов и других материалов, нанесения узоров на металлические поверхности и керамику, резки и оплавления краев стеклоткани. Комплекс работает плазменной струей с температурой 6500 °С, полученной в результате использования водяного пара в качестве плазмообразующей среды, что является преимуществом перед аналогичными продуктами на рынке сварочного оборудования. Комплекс может резать любой электропроводный и неэлектропроводный материал толщиной до 7 мм, в том числе углеродистую и коррозионно-стойкую сталь, а также любые сплавы алюминия и меди. При этом ширина реза достигает 1,0—1,5 мм, а зона, где металл изменяет структуру, не превышает ширины реза, линия реза может быть произвольной. Питающее напряжение комплекса 280—300 В, пределы регулирования тока 4—8 А. Время непрерывной работы горелки не менее 25 мин. Рабочая жидкость для резки — дистиллированная вода, для сварки и пайки — раствор этилового спирта в дистиллированной воде. Наибольший объем рабочей жидкости, направляемой в горелку, 80 мл. Мощность, потребляе-

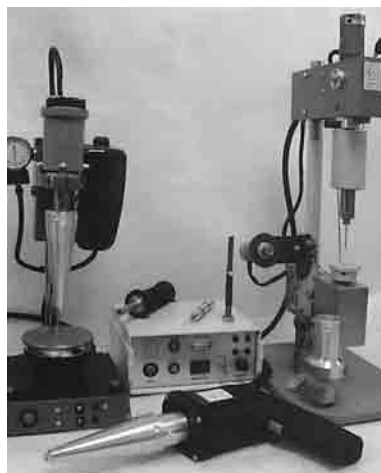


Рис. 1. Ручная ультразвуковая установка МЭФ331

мая комплексом, не более 1,8 кВт. Габаритные размеры горелки комплек- са 60 × 190 × 190 мм, масса 0,7 кг.

Цинкование для защиты метал- лических изделий от коррозии. За- щитные свойства цинковых покрытий сохраняются независимо от толщины слоя. Для усиления защитного эф- фекта цинковые покрытия обычно хромируют. Желто-радужные хромат- ные пленки в 5—10 раз повышают стойкость цинковых покрытий. Цин- кование можно производить в ручном или автоматическом режиме. Макси- мальный размер обрабатываемых деталей 750 × 500 × 50 мм.

ОАО "РИКОС" (Ростов-на-Дону) — ведущее предприятие по производству смазочных материалов — предложило машиностроителям свою продукцию:

ЛКС-2 для тяжелонагруженных подшипников качения шпиндельных узлов металлорежущих станков, ра- ботающих с высокими скоростями ($6 \cdot 10^5$ мин⁻¹) и нагрузках до 2,5 ГПа. Рабочий диапазон температур —50—150 °С.

Рубин для узлов трения машин и механизмов, работающих в условиях повышенных нагрузок. Рабочий диа- пазон температур —50—180 °С при не- прерывной подачи смазки до 200 °С.

Эмульцид РИКОС-2 для приго- товления 3—5 %-ных водных эмуль- сий, применяемых на операциях ре- зания, сверления и других видов об- работки металлов, сталей и чугунов. Эмульцид имеет в своем составе бак- терицидную присадку, что обеспечи- вает необходимую точность и шеро- ховатость обрабатываемых поверх- ностей. Использование такой СОЖ уменьшает интенсивность износа ре- жущего инструмента на 15—20 %. Входящие в состав ПАВ улучшают смываемость стружки, а присутствие антикоррозионной и бактерицидной присадок продлевает срок службы технологической эмульсии и защи- щает детали от коррозии.

Группа компаний "Росцвет" (Нижегород) показала на вы- ставке различные распылители, изго- товленные за рубежом.

Электростатический распыли- тель EZ35 (рис. 2), позволяющий ок- рашивать поверхность площадью до 4 м² без пополнения бункера. Он ос- нащен системой псевдооживления, обеспечивающей эффективный за- ряд порошков всех типов, что облег- чает работу с такими красками, как ме- таллики и антики. Отсутствие кон- трольной панели, бункера-питателя и соединительных проводов обеспечи- вает портативность распылителя. Питающее напряжение 220 В, мощ-



Рис. 2. Электростатический распы- литель EZ35

ность 10 Вт. Вместимость бункера до 0,5 кг. Масса распылителя 670 г.

Профессиональный распыли- тель "Метеор", работающий в авто- матическом режиме. Корпус распы- лителя изготовлен из армированного пластика, что обеспечивает более длительный срок службы. В рукоятке распылителя отсутствуют электриче- ские и электронные компоненты, что делает прибор электробезопасным. Большой ассортимент стеклонепол- нительных и керамических насадок позволяет получить факел с програм- мируемым отпечатком. Наряду с тра- диционными контурами производится плоскоструйное окрашивание слож- нопродольных изделий. Специальная насадка позволяет производить на- пыление внутренних поверхностей. Распылитель снабжен блоком управ- ления с возможностью регулировки толщины слоя, настройки на требуе- мый режим без включения высоко- вольтного блока. Питающее напря- жение распылителя 220 В, мощ- ность 25 Вт. Давление сжатого воз- духа, подаваемого на вход пульта управления, 0,2—0,4 МПа. Вмести- мость бункера 20 кг. Производитель- ность распылителя 3 м²/мин. Габари- тные размеры пистолета-распылите- ля 430 × 190 × 35 мм, пульта управ- ления — 280 × 250 × 105 мм. Масса распылителя 0,4 кг, пульта управ- ления — 2 кг.

ЗАО "Промкомплект" (С.-Пе- тербург) — крупнейший в России по- ставщик технологического оборудо- вания для нанесения лакокрасочных и гальванических покрытий, уделяю- щее большое внимание вопросам предварительной подготовки поверх- ности — предложило потребителям новые разработки.

Бесфосфатную подготовку по- верхности препаратом Bonelerite NT-1 — новый экологически чистый процесс подготовки стали, алюминия и оцинкованной стали под окраску. В процессе обработки образуется тон- кий нанокерамический слой, обеспе-

чивающий адгезию и хорошую защиту от коррозии. Защитные противокор- розионные свойства такого покрытия более высокие, чем у железифосфат- ного покрытия и сопоставимы со свой- ствами толстослойного железифос- фатного покрытия с пассивацией. Та- кой процесс выигрывает по затратам на обработку стоков, энергозатратам, обслуживанию оборудования и изго- товление агрегата подготовки по- верхности за счет более короткого времени обработки. Процесс бес- фосфатной подготовки включает обезжиривание, промывку, промывку деминерализованной водой, обработ- ку препаратом Bonelerite NT-1 и по- следующую промывку деминерали- зованной водой.

Автоматическую окрасочную систему PRIMATECH, точно контро- лирующую все заданные параметры окрашивания. Количество подаваемо- го порошка, величина факела и степень зарядки порошка регулируются для каждого пистолета в отдельности.

Автоматический манипулятор EBA-1 с мощностью двигателя 0,75 кВт для простого порошкового окраши- вания.

Манипулятор KHG 350 с корот- ким ходом каретки для применения в компактных камерах и камерах с бы- стрым переходом с цвета на цвет.

Устройство Novo Curve со спе- циально разработанной оптикой для измерения блеска на изогнутых по- верхностях и изделиях с маленькой площадью под углом 60°. Особенности устройства: минимальная площадь для измерений 2 × 2 мм; память уст- ройства на 999 измерений; полная статистика измерений. Имеется воз- можность передачи данных на ПК для анализа с использованием про- граммного обеспечения Novo-Soft или MS Excel.

Толщиномер Quamix RS-232, под- ключаемый к ПК, что позволяет тес- тировать результаты измерений с по- мощью специальных компьютерных программ. Диапазон измерений 0—5000 мкм.

ООО "Альфа полимер" (Моск- ва) показало толщиномеры и уста- новку ручного напыления.

Магнитный толщиномер Posi Pen Model A (рис. 3) для измерения немагнитных покрытий, таких как краска, эмаль, покрытие металлом. Толщиномер с высокой точностью можно поставить в любое место из- меряемой детали, которое недоступ- но датчику другого прибора. Прибор оснащен очень маленьким уникаль- ным магнитом, поэтому с его помо- щью можно проводить измерения на



Рис. 3. Магнитный толщиномер Posi Pen Model A

очень маленьких деталях, на выступах и впадинах. Диапазон измерений 5—500 мкм, погрешность $\pm 10\%$.

Толщиномер *Posi Test DFI Combo*, измеряющий толщину краски на любых металлах, включая сталь и алюминий. Прибор в автоматическом режиме распознает подложку и проводит измерения. Диапазон измерений 0—1000 мкм, точность измерений ± 2 мкм. Габаритные размеры толщиномера $100 \times 38 \times 23$ мм, масса 70 г. Датчик прибора оснащен рубиновым наконечником.

Компания "Вебер Ко Механикс" предложила потребителям различное оборудование и технологии, разработанные в различных странах мира.

Портальную машину серии *AquaCut* (Словакия) для гидроабразивной резки многих материалов, включая те, которые не могут подвергаться тепловым воздействиям. Раскрой обрабатываемого материала осуществляется чистой водой или смесью воды и абразива. Гидроабразивная резка применяется при обработке металла, камня, стекла, керамики. Особенностью данной технологии является образование кромок без окалины. Точность позиционирования машины 0,1 мм, скорость позиционирования 22 000 мм/мин, точность повторения 0,025 мм, толщина резки до 300 мм. При работе в машине используются до четырех режущих головок различного назначения; имеется возможность установки ротационной гидроабразивной головки и создание комбинации с плазменной режущей головкой или системой сверления, а также установки датчика контроля высоты при резке металлов. Ротационная головка обладает пятью степенями свободы и позволяет производить прямолинейные и косые резы. Вращение головки относительно оси OZ

позволяет осуществлять сложные косые резы, обеспечивать скос кромок на заготовках сложной формы. Головка оснащена датчиком контроля наличия металла в зоне резки.

Горизонтальный токарно-револьверный станок *GA-2600* (США), оснащенный 12-позиционной револьверной головкой с приводом на каждый инструмент. Наклонная компоновка обеспечивает жесткость основания, удобство удаления стружки и облегчает доступ оператора, что позволяет уменьшить время установки — снятия детали. Максимальные диаметр устанавливаемой заготовки 580 мм, диаметр точения — 350 мм, длина точения — до 1200 мм. Диаметр прутковой заготовки 65 мм. Пиковая рабочая мощность станка 18,5 кВт. Диапазон частот вращения шпинделя 40—4000 мин⁻¹. Станок оснащен системой ЧПУ Fanuc 0i-TB. Точность позиционирования (повторяемость) $\pm 0,003$ мм. Масса станка 4,6 т.

Трубогибочный станок *DB-39—90°* (Тайвань), представляющий двухголовочный трубогиб для одновременной (с двух сторон) гибки труб и другого профиля. Труба (одна или несколько) устанавливается на станок и две гибочные головки, расположенные на расстоянии друг от друга, одновременно производят гибку труб по заданной программе. Станок можно использовать для производства симметричных деталей, таких как рамки, скобы, рамы столов и др. Синхронный поворот гибочных головок обеспечивает высокую точность и симметрию деталей, а регулировка расстояния между гибочными головками позволяет добиться гибкости и универсальности в производстве. Высокая производительность достигается "пакетной гибкой", позволяющей производить одновременную гибку нескольких труб. Максимальный размер обрабатываемых труб: углеродистая сталь — $38,1 \times 1,8$ мм; коррозионно-стойкая — сталь 32×2 мм. Пакетная гибка (диаметр трубы $\times$ количество труб) 25 мм $\times$ 3 шт. Габаритные размеры станка $2800 \times 1350 \times 1480$ мм, масса 1,5 т. Режим работы станка автоматический и пошаговый.

Инверторный источник питания *RAINBOW-150* (Италия) (рис. 4) для сварки покрытым электродом (MMA). Такой однофазный сварочный источник хорошо адаптирован к перепадам напряжения в сети (5—20 %), имеет высокий класс защиты IP23 и может работать на открытых рабочих площадках. Источник питания также может работать с удлинителем от аппарата до сети питания длиной до 100 м без потери мощности и служит



Рис. 4. Инверторный источник питания RAINBOW-150

для сварки низко-, среднеуглеродистых, коррозионно-стойких сталей и чугуна. Он предназначен не только для сварки покрытыми электродами (MMA), но и неплавящимся электродом в аргоне (TIG) при контактном возбуждении дуги и плавном регулировании сварочного тока. Система термостатической защиты от перегрузки, принудительная система охлаждения источника "туннельный эффект", функция "Antistick" предотвращают залипание электрода. Функция "горячий старт" обеспечивает легкое возбуждение сварочной дуги, функция "форсирования дуги" — стабильность ее горения. Питающее напряжение источника питания 230 В, потребляемая мощность 3,7 кВт, плавкий предохранитель на 16 А, диаметр электродов 1,6—4 мм. Габаритные размеры источника $340 \times 115 \times 260$ мм, масса 4,2 кг.

Машину контактной стыковой сварки оплавлением *AS15* (Германия) для сварки профиля встык, втавр и под углом при изготовлении различных каркасов. Сварку осуществляют в автоматическом режиме, включая предварительный нагрев, оплавление и осадку. Прочность получаемого сварного соединения свыше 90 % от исходного материала. Сварной шов обрабатывается так же, как и основной материал. Машина обеспечивает высокую точность регулирования величины осадки свариваемых деталей и контролирует параметры сварки. Удаление графа со сварного соединения происходит автоматически. Свариваемое сечение низкоуглеродистой стали 15—400 мм², алюминия — 100 мм². Максимальное усилие осадки 15 кН. Номинальная мощность трансформатора 30 кВт.

Машину *LBS 045/040/1,0* (Германия) для дуговой и плазменной стыковой сварки полосового проката из черных и цветных металлов толщиной от 0,2 мм. Машина оснащена прецизионными пневматическими ножницами с двойным резом для одновременной

резки без заусенцев кромок обеих свариваемых полос с прижимами для каждой из них. Установка вспомогательных пластин к краям будущего шва для зажигания и гашения дуги очень проста. Пневмоприжимы убираются вверх, что обеспечивает точное позиционирование свариваемых полос относительно друг друга. Сервопривод с ЧПУ позволяет выбирать оптимальную скорость и ход сварочной головки. Ролики со специальным покрытием для правки сварного шва имеют автоматический привод и регулируются установочными упорами. Рабочие органы машины установлены по направлению движения штрипса под углом 15°.

Координатный промышленный робот (ПР) CSR 302 (рис. 5) для точечной и рельефной сварки в кондукторах для производства плоских и объемных сварных конструкций из проволоки и листового металла — коррозионно-стойкой стали и алюминиевых сплавов. Поворотный стол обеспечивает непрерывность сварочных работ за счет одновременно осуществляемых операций сварки на одной стороне стола и укладки заготовок в кондуктор — на другой. Модульная конструкция ПР позволяет легко адаптировать его под новые задачи. ПР работает по заданной программе и сохраняет до 512 сварочных программ. ЧПУ на базе 32-битного чипа обеспечивает перемещение сварочной головки, что обеспечивает точность координатного перемещения сварочной головки $\pm 0,2$ мм. Максимальные высота трехмерного изделия 400 мм, длина 2000 мм, ширина 1000 мм. Число сварочных цилиндров 3 шт. Угол поворота сварочной головки $\pm 90^\circ$. Максимальный сварочный ток 45 кА (ПВ = 15 %). Сварочное усилие пневмоцилиндра 5 кН.

Комплекс лазерного раскроя Axel-S (Бельгия), оснащенный сменным челночным столом для операций за-

грузки (разгрузки) в процессе резания и линейным приводом. Скорость резания комплекса до 40 м/мин в зависимости от толщины разрезаемого материала. Комплекс оборудован двумя резонаторами мощностью 4 кВт. Максимальный размер разрезаемого листа 3000×1500 мм при точности позиционирования $\pm 0,05$ мм. Габаритные размеры комплекса $12\,845 \times 5800 \times 2300$ мм, масса 24 т.

Высокоточный гидравлический листогибочный пресс PPEC 220/40 (Бельгия) для гибки листового металла. Усилие пресса 2200 кН, он имеет пять рабочих осей, включая V-ось — антипрогиб стола, управляемых системой ЧПУ CADMAN EXPRESS по заданной программе с точностью до 0,01 мм. Пресс оборудован сервоприводами с высокой скоростью и точностью перемещения; пропорциональными гидравлическими клапанами, обеспечивающими регулирование рабочей скорости и давления с панели управления. Датчики положения гибочной балки расположены на двух сторонах подвижной балки и связаны с системой ЧПУ станка, что гарантирует синхронную работу обоих гидроцилиндров и высокую точность положения гибочной балки. Пресс обеспечивает графическое изображение инструмента и детали; автоматический расчет глубины проникновения и усилия балки; встроенный алгоритм расчета длины развертки; автоматический выбор инструмента на основе выбранного материала; легкий метод ввода угла и коррекций. Пресс имеет счетчик деталей. Рабочая длина пресса 4270 мм, расстояние между стойками 3820 мм, рабочая скорость пресса 9,6 мм/с, скорость возврата 113 мм/с, мощность привода пресса 22 кВт.

Промышленная группа "ДЮКОН" предложила листообрабатывающее оборудование и оборудование для резки и сварки.

Электромеханические гильотинные ножницы MLS 20/20, имеющие сварную станину. Станок оборудован автоматически опускающимся обрезиненным прижимом листа. Положение рабочих ножей регулируется, что обеспечивает получение точного реза. Линия реза подсвечивается, что дает хорошую возможность обзора при работе. При работе ножницы имеют низкий уровень шума и высокую скорость. Длина обрабатываемого листа (длина реза) 2020 мм.

Максимальная толщина обрабатываемого листа 2 мм. Угол наклона ножей 175° . Число резов в минуту 38. Мощность двигателя ножниц 3 кВт. Ширина рабочего стола 930 мм, высота — 870 мм. Габаритные размеры ножниц $2185 \times 1076 \times 1530$ мм, масса 1 т.

Зиговочную машину S250/50M (рис. 6) с электроприводом для зиговки, гибки, отбортовки, рифления, прямой и круговой резки листового материала. В вентиляции машина применяется для прокатки соединительных загибов для скрепления круглых воздухопроводов между собой, а также кольцевых выпуклостей-зигов. Зиговочная машина оснащена прокатными роликами. Фасонный профиль каждой пары роликов предназначен для выполнения прокатки бортика, выкатки валика жесткости, отгибания кругового бортика под закатку проволоки, закатки проволоки, уплотнения фальцев, гофрирования конца обечайки. Машина состоит из чугунной свободной станины со столом, рабочего механизма, вращаемого электродвигателем с педальным включением, верхнего и нижнего сменных рабочих роликов и регулировочной рукоятки. Толщина обрабатываемого материала 1 мм, мощность двигателя 0,37 кВт, масса машины 22 кг.



Рис. 6. Зиговочная машина S250/50M

Портативную машину IK-72T (рис. 7), работающую в автоматическом режиме, применяемую для газовой резки во всех пространственных положениях от плоских до многогранных поверхностей. Машина осуществляет вырезку стальных деталей различной формы, в том числе криволинейных пластин, швеллеров, многогранных стальных деталей. Она укомплектована тремя видами рельс: одномерный рельс — плоская алюминиевая поверхность длиной 1,5 м,

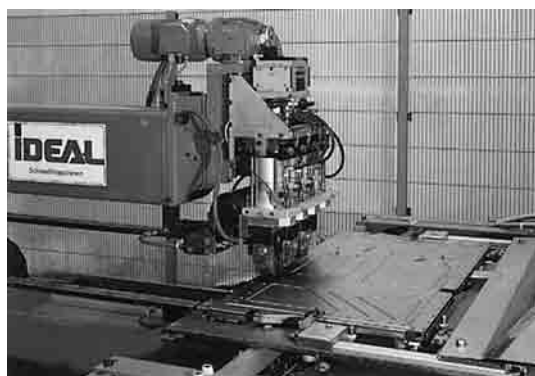


Рис. 5. Координатный промышленный робот CSR 302



Рис. 7. Портативная машина ИК-72Т

массой 10 кг с магнитами; двухмерный резиновый рельс, в двух плоскостях длиной 1 м, массой 6,5 кг с магнитами; трехмерный резиновый рельс с магнитами длиной 1 м, массой 6,5 кг. Машина изготовлена из алюминиевого сплава; скос кромок обеспечивается специальной градуированной втулкой (достаточно выставить требуемый угол). Подъем рычага сцепления освобождает боковые ролики и машина плавно трогается с места. Конструкция формы рельса и направляющих роликов обеспечивает мягкое и стабильное перемещение. Для изготовления рельсов использован твердый резиновый компаунд, что позволяет изгибать рельсы в двух и трех плоскостях. В центре рельса вмонтирована гибкая стальная трубка. Эта трубка предотвращает внезапное разрушение, характерное для гибких рельсов. Толщина разрезаемых листов 5—50 мм, скорость резки 150—700 мм/мин, радиус кривизны рельса: 3D-рельс — 2000 мм, 2D-рельс — 2500 мм. Форма кромки реза — прямоугольная и со скосом до 45°. Питающее напряжение машины 220 В, масса 4,5 кг.

ЗАО "Оборудование для неразрушающего контроля" демонстрировало различные приборы, разработанные и изготовленные в Великобритании.

Цифровой профилемер поверхности ELCOMETER 223 (рис. 8), работающий от батареек и использующий для измерения высоты неровностей поверхности с дополнительной функцией прямого вывода данных на цифровой дисплей. Вывод данных осуществляется через порт RS 232 для передачи показаний на ПК. Профилемер оснащен регистратором данных для их вывода на принтер, что обеспечивает сохранение копии отчета о результатах измерений. Диапазон измерений прибора 0—1000 мм, питающее напряжение 3 В, габаритные размеры 105 × 55 × 25 мм, масса 365 г.



Рис. 8. Цифровой профилемер поверхности ELCOMETER 223

Инфракрасный цифровой термометр ELCOMETER 214L с лазерным указателем (рис. 9), дисплеем с подсветкой и функцией автоматического выключения. Лазерный индикатор позволяет точно установить точку измерения температуры. Диапазон измеряемых температур –20—270 °С с погрешностью ±2 °С. Масса термометра без батареек 180 г.



Рис. 9. Инфракрасный цифровой термометр ELCOMETER 214L

Прибор Elcometer 1620/4 для оценки эластичности покрытий, нанесенных на металлические пластины толщиной до 1,2 мм, при вытяжке. Прибор оснащен пресс-формой диаметром 27 мм, изготовленной из закаленной стали, и штампом диаметром 20 мм. При помощи угловой рукоятки и редукторного привода штамп постепенно вдавливаются в образец. Прибор может быть оборудован электроприводом, заменяющим угловую рукоятку. Это обеспечивает отличную воспроизводимость с постоянной скоростью вдавливания 200 мкм/с. Он оснащен дисплеем с подсветкой. Прибор обеспечивает точное измерение (10 мкм) глубины вдавливания, отображаемое на дисплее, и возможность осмотра изломов, трещин и разрывов покрытия.

В рамках форума были проведены научно-практическая конференция по машиностроительным технологиям и презентации фирм, а также круглые столы "Новые инновационные технологические решения: сварка проплавленным лазерным лучом и сварка лазерным лучом с присадкой на роботизированных комплексах" и "Автоматизированная электроконтактная технология восстановления и упрочнения деталей".

А. Н. ИВАНОВ, инж.

Международная научно-техническая конференция "Технологии и оборудование ЭЛС — 2008"

19—22 мая 2008 г.
С.-Петербург

Тематика конференций

- ✓ Технологии ЭЛС
- ✓ Работоспособность сварных конструкций
- ✓ Оборудование для ЭЛС
- ✓ Моделирование физических процессов ЭЛС и работы электронно-оптических систем установок
- ✓ Экономические аспекты применения ЭЛС

Организаторы: Федеральное агентство по науке и инновациям, Правительство С.-Петербурга, Комитет экономического развития, промышленной политики и торговли, ФГУП "ЦНИИМ", СПбГПУ, СПбОНТЗ, ФГУП "ЦНИИ КМ "Прометей", ЗАО "Орма".

Место проведения: ФГУП "ЦНИИМ", ул. Парадная, 8.

Справки по тел./факсу: (812) 394 1461; 570 5558; 8-921-183 0669.

E-mail: ontz@peterlink.ru
tichonova@yandex

БИБЛИОГРАФИЯ

УДК 621.791.(05)(-87):016

Содержание зарубежных журналов по сварке¹

AUSTRALASIAN WELDING JOURNAL (Vol. 52, First Quarter, 2007, Австралия)

Dinon M. et al. Сварка в горной местности Папуа Новая Гвинея. Р. 7—9.

Сохранение турбин в рабочем состоянии — опыт на отдаленных Соломоновых островах. Р. 12—13.

Kuebler R. Огромные возможности — "Линкольн Электрик Корп." работает в Монголии. Р. 14—15.

Luan G. Сварка трением с перемешиванием находит применение в Китае. Р. 16—19.

Cannon B. Введение в систему классификации сварочных расходных материалов изменяется в Австралии и Новой Зеландии. Р. 20—22. СИ 07.06.322.

Аттестация и сертификация. Р. 28—29.

Gupta R. K. et al. Микроструктурное изменение и свойства соединения из сплава алюминия AA2219, выполненного сваркой трением с перемешиванием. Р. 35—39.

Sterjovski Z. et al. Оценка поперечного водородного растрескивания высокопрочного металла швов, выполненных пошковой проволокой. Р. 40—48.

JOURNAL OF THE JAPAN WELDING SOCIETY (Vol. 76, N 5, 2007, Япония)

Основные направления развития сварки и соединения в Японии в 2006 г.

I. Деятельность в области сварки

Японское сварочное общество. С. 45—46.

Японское сварочное инженерное общество. С. 47.

Промышленность. С. 48.

Международная деятельность. С. 49.

Образование и издательская деятельность. С. 50—51.

II. Перспективные технологии сварки и соединения

Свариваемые материалы

Низколегированная сталь. С. 52—53.

Коррозионно-стойкая сталь. С. 53.

Легированная сталь. С. 53—54.

Сварка сплавов на основе никеля, плакированной стали и разнородных материалов. С. 54.

Новые технологии. С. 54—55.

Научные исследования в области сварки и соединения цветных металлов. С. 56—57.

Алюминий и его сплавы. С. 57.

Магний и его сплавы. С. 57.

Медь и медные сплавы. С. 57.

Титан и его сплавы. С. 57.

Зарубежные и японские научные исследования в 2005—2006 гг. С. 58.

Научные исследования применения стали различных марок. С. 58—59.

Сварка и соединение новых материалов на основе металлов. С. 61.

Сварка керамики и композитов. С. 62.

Способы сварки и соединения и создание систем

Способы дуговой сварки (история, моделирование, визуальные исследования дуговых явлений, новые технологии, перспективы). С. 63—66.

Обработка высокоэнергетичными лучами (история, изучаемые источники нагрева, процессы обработки, темы научных исследований, современные достижения, перспективы). С. 67—69.

Сварка трением с перемешиванием. С. 70.

Сварка трением. С. 71—72.

Диффузионная сварка. С. 72.

Контактная сварка. С. 73—74.

Сварка взрывом, давлением и электромагнитная сварка. С. 74—75.

Склеивание, соединение механическим и другими способами. С. 75.

Пайка (результаты последних научных исследований, направление развития, результаты последних исследований в области припоев). С. 77—79.

Микропайка в электронике (история, бессвинцовые припои, объемные электронные приборы, перспективы). С. 80—81.

Модификация поверхности (получение тонких и толстых пленок, напыление, наплавка и другие технологии). С. 82—84.

Резка (история, плазменная резка, лазерная резка и другие способы, перспективы). С. 85—86.

Роботизированные сварочные системы. С. 87—89.

Системы CAD/CAM. С. 89—90. Сенсоры/мониторинг. С. 90—91.

Оценка свойств сварных соединений

Оценка статистической прочности. С. 92—93.

Оценка ударной вязкости и вязкости разрушения. С. 94—96.

Обзор направлений научных исследований в области устойчивости. С. 97—100.

Оценка стойкости против воздействия окружающей среды. С. 101—102.

Оценка сварочных деформаций и остаточных напряжений. С. 103—105.

PRZEGŁAD SPAWALNICTWA (N 2—3, 2007, Польша)

Wiśniewski G. Обзор правил аттестации и сертификации персонала по неразрушающему контролю в разных отраслях промышленности. Р. 4—10.

Szefner Z. Концепции управления современными сварочными установками. Р. 11—18.

Klimpel A. et al. Влияние режимов работы и параметров точечной сварки неплавящимся электродом и плазмой нахлесточных соединений листовых материалов из сплава титана Ti—6Al—4V на качество, форму и свойства соединений. Р. 24—27.

Mirski Z., Granat K. Легколетучие флюсы — свойства, техника безопасности при использовании. Р. 28—34.

(N 4, 2007, Польша)

Nowacki J. et al. Компьютеризированный расчет затрат в области сварки. Р. 4—12.

Winiowski A. et al. Высокотемпературная пайка концевой инструмента из быстрорежущей стали с помощью высокоплавких припоев. Р. 13—16.

Wiśniewski G. Основные принципы систем управления качеством в сварочных процессах. Аттестация сварщиков и ин-

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. Платона по тел./факсу: 8-10-38044-287-0777 или library@paton.kiev.ua).

спектров согласно стандарту EN 14730-2. Гармонизация аттестации сварщиков, работающих по сварке рельсовых путей термитным способом. Р. 21—29.

Węgrzyn T. Легирующие элементы в металле швов, наплавленных стальными низкоуглеродистыми электродами. Р. 30—32.

(N 5, 2007, Польша)

Nowacki J., Zając P. Влияние односторонней сварки с большим зазором (6 мм) с помощью трубчатой электродной проволоки из дуплексной стали на структуру и стойкость против коррозии. Р. 4—11.

Mirski Z. et al. Исследование свойств поверхностного слоя спеченных карбидов, подготовленных для склеивания. Р. 12—16.

(N 6, 2007, Польша)

Buława J. Влияние затрат на эксплуатацию лазера в общих затратах на резку. Р. 8—10.

Faerber M. Лазерная резка — современное состояние развития технологии. Р. 12—14.

Tasak E. et al. Проблемы качества сварных соединений железнодорожных стрелочных переводов. Р. 21—25.

Slania J. Поправка к требованиям стандарта PN-M-69009, касающаяся классификации промышленных предприятий. Р. 26—28.

Pakos R. Сертификация сварщиков, работающих со сталью, на основе требований европейского и международного стандартов. Р. 29—33.

Węgrzyn T., Hadryś D. Ремонт корпусов из стали с помощью методов сварки. Р. 34—37.

SCHWEISSEN UND SCHNEIDEN

(N 9, 2007, Германия)

Janßen-Timmen R., Moos W. Сварка и резка 2006 — рост конъюнктуры. S. 462—474.

Reisgen U. и. а. Дуговая сенсорная система для сварки в защитном газе в узкий зазор ленточным электродом с отклонением дуги. S. 476—481.

Völlner G. и. а. Роботизированная сварка трением с перемешиванием изделий авиационной техники. S. 482—487.

Haferkamp H. и. а. Высокочастотное колебание луча для повышения стабильности процесса при лазерной сварке алюминиевых сплавов. S. 488—491.

Dilthey U. и. а. Гидродинамический анализ процесса при гибридной сварке: лазерная + дуговая в защитном газе. Ч. 2. Перемешивание. S. 492—498.

Zwätz R. Аттестация сварщиков стали. Должна ли Германия одобрить DIN EN ISO 9606-1. S. 503—505.

8-й коллоквиум по высокотемпературной и низкотемпературной пайке и диффузионной сварке. S. 512—516.

Заседание комитета CEN/TC 135 по вопросу EN 1090 в июне 2007 г. в Хельсинки. S. 516—518.

О работе службы информации — обзор литературы. S. 518—522.

SOUDEGE et TECHNIQUES CONNEXES

(Vol. 60, N 9/10, 2006, Франция)

Будущая сварка рождается в лабораториях Института сварки. Р. 12—13.

Австрийская фирма поставила расходные сварочные материалы в Гану на гидроэлектростанцию в Акосомбо. Р. 14—15.

Chauveau D. Неразрушающий контроль отвечает задачам оптимизации долговечности промышленных эксплуатирующихся установок. Р. 25.

Orlowski J. A. Орбитальная ТИГ-сварка силовой установки спутника. Р. 33—37.

(Vol. 60, N 11/12, 2006, Франция)

Повышение спроса на сталь. Р. 8.

Сварка тяжелых толстостенных изделий. Р. 9.

Институт сварки передал свою деятельность по стандартизации в UNM (Союз по стандартизации машин и механизмов). Р. 11.

Вредное воздействие марганца на сварщиков — официальное мнение МИСа. Р. 15.

1906—2006 гг. — 100-летие истории сварки. Р. 22—23.

TECNOLOGIA QUALIDADE

(N 56, Abril/Junho, 2006, Португалия)

Boynard C. et al. Технология электромагнитного акустического контроля для техобслуживания и контроля труб котлов. Р. 7—10.

Boynard C. Перспективный контроль трубопроводов без удаления изоляционного материала. Р. 11—14.

Leitao D., Tenera P. Конкурентоспособность средств механизации. Р. 15—19.

Barros P. Цифровая рентгенография. Р. 20—25.

Lus A. et al. Концепция, разработка и изготовление ультразвуковых датчиков. Р. 26—31.

WELDING JOURNAL

(Vol. 86, N 6, 2007, США)

Darcis Ph. P. et al. Экспериментальные методы измерения ударной вязкости сварных швов трубопроводов. Р. 48—50.

Devine J. Ультразвуковая сварка играет основную роль при соединении фотоэлементов. Р. 52.

Disney J. A. Исторический Хенвордский проект по сварке компонентов коррозионно-стойких стальных труб становится общедоступным. Р. 54—57.

Borchert N., Phillips D. Методы успешного выполнения сварки металлических труб. Р. 58—62.

Nordahl T. Подводные кабели, соединяемые с помощью орбитальной сварки. Р. 64—65.

Emmerson J. Применение механизированной сварки труб большого диаметра. Р. 66—67.

Hancock R. Веб-сайт Американского сварочного общества по сварке. Р. 68—70.

Padmanabham G. et al. Характеристики растяжения и разрушения образцов из Al—Cu—Li-сплавов, полученных МИГ-сваркой. Р. 147-s—160-s.

Tumuluru M. Влияние покрытий на характеристики прочности двухфазной стали 780 МПа при контактной точечной сварке. Р. 161-s—169-s.

Regina J. R. et al. Влияние хрома на свариваемость и микроструктуру плакированных слоев из Fe—Cr—Al-сплавов. Р. 170-s—178-s.

Paleocrassas A. G. et al. Низкоскоростная лазерная сварка сплава алюминия 7075-T6 с помощью одномодового иттербиевого оптоволоконного лазера мощностью 3000 Вт. Р. 179-s—186-s.

ZVARANIE — SVAROVANI

(Roc. 56, N 4, 2007, Словакия)

Kubon Z. et al. Влияние термической обработки сварных изделий, выполненных из хромомолибденованадиевых сталей, на срок службы труб котлов. S. 105—110.

Bernasovský P. et al. Анализ разрушения в тавровом соединении трубопровода для подачи водорода. S. 111—114.

Kováčik M., Hyža R. Ультразвуковые методы испытания сварных швов и критерии приемки. S. 115—118.

(Roc. 56, N 5, 2007, Словакия)

Sejc P., Belanová J. Возможное использование технологии МИГ-сварки/пайки при изготовлении металлургических соединений из стальных и алюминиевых толстых листов. S. 135—138.

Mráz L. et al. Определение температуры предварительного нагрева в соответствии со стандартом STN UT 1011-2 и компьютерной программой VÚZ — PI SR. S. 139—144.

Matysová M. Лазерная пайка автомобильных кузовов. S. 145—147.

(Roc. 56, N 6—7, 2007, Словакия)

Hakl J. et al. Стойкость против текучести стали 0,5Cr—0,5Mo—0,3V после длительной работы. S. 163—166.

Hobbacher A. F. Рекомендации МИСа по усталости сварных компонентов и конструкций. S. 167—173.

(Roc. 56, N 8, 2007, Словакия)

Tatarko P. et al. Структура и свойства игольчатого феррита в конструкционных свариваемых сталях. S. 211—215.

Kálna K. Расчет сварных конструкций относительно усталостного разрушения в соответствии с рекомендациями МИСа. S. 215—219.

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

Способ пайки алюминия и алюминиевых сплавов, композиция для пайки алюминия и алюминиевых сплавов.

1. *Способ пайки* алюминия и алюминиевых сплавов осуществляют с использованием композиции, содержащей фторсиликат щелочного металла и фторид алюминия. Отличается тем, что в композицию дополнительно вводят алюминиевый порошок, а фторид алюминия используют в чистом виде или в смеси с фторалюминатом калия при следующем соотношении компонентов композиции (%): 30—98 фторсилката щелочного металла; 1—14 фторида алюминия и/или его смесь с фторалюминатом калия; 1—56 алюминиевого порошка. 2. *Композиция для пайки* алюминия и алюминиевых сплавов включает фторсиликат щелочного металла и фторид алюминия. Отличается тем, что дополнительно содержит алюминиевый порошок, а фторид алюминия — в чистом виде и/или в виде смеси с фторалюминатом калия при указанном соотношении компонентов композиции. 2288080 (С1), А. В. Полторыбатько (RU), Д. А. Шаклеин (RU), В. Е. Задов (RU). [33].

Вентиль резака для газокислородной резки металлов содержит цилиндрический корпус с седлом, входным и выходным каналами, клапан и шток, установленные в полости корпуса с возможностью поступательного перемещения относительно седла, и маховик с резьбовым поясом, предназначенным для взаимодействия с резьбовым поясом корпуса. Отличается тем, что маховик снабжен другим резьбовым поясом, предназначенным для взаимодействия с ответным резьбовым поясом, выполненным на штоке, корпус снабжен средством предотвращения проворота штока при вращении маховика, а клапан жестко закреплен на конце штока, при этом резьбовой пояс корпуса выполнен с шагом, превышающим шаг резьбового пояса штока, и резьба поясов имеет одинаковое направление. 2288081 (С1). В. С. Суворов (RU), П. А. Левахин (RU). ЗАО ПО "Джет" (RU). [33].

Способ сварки, предусматривающий релаксацию остаточных механических напряжений. Способ сварки двух деталей путем наплавки присадочного металла с получением соединения между деталями включает первый проход с наплавкой слоя, соединяющего детали, и второй проход с наплавкой слоя, заполняющего соединение. Отличается тем, что перед вторым проходом срезают заподлицо утолщение, образованное с обратной стороны соединяющего слоя и выходящее за пределы соединенных деталей. 2288082 (С2). П. АЛЛЕГР (FR), И. ЛЕЖЕАЙ (FR). "КОММИССАРИАТ А Л'ЭНЕРЖИ АТОМИК" (FR). [33].

Механизм импульсной подачи сварочной проволоки содержит узел постоянной подачи проволоки, электромагнит с якорем, снабженным хвостовиком, и устройство преобразования постоянной подачи проволоки в импульсную через тракт подачи в зону сварки. Отличается тем, что устройство преобразования постоянной подачи проволоки в импульсную выполнено в виде прикрепленного с помощью оси к хвостовику ролика, расположенного в конусном пазу тракта подачи проволоки, по которому она пропущена со стороны наружной цилиндрической поверхности

сти ролика. 2288083 (С1). С. А. Солодский (RU), В. Т. Федько (RU), О. Г. Брунов (RU). Томский политехнический университет (RU). [33].

Способ лазерной резки и устройство для его осуществления. 1. *Способ лазерной резки*, при котором перед резкой измеряют среднестатистический предел изгиба листовой заготовки, затем на закрепленную листовую заготовку через сопло резака подают сфокусированное лазерное излучение с заданным фокусным расстоянием и поток газа и перемещают ее под лучом по заданному контуру. Отличается тем, что закрепленную заготовку растягивают, создавая растягивающие напряжения, которые определяют расчетным путем. 2. *Устройство для лазерной резки* содержит источник лазерного излучения, зеркало, резак и платформу с зажимами для разрезаемой заготовки. Отличается тем, что снабжено координатным столом, системой с ЧПУ, информационно-вычислительной системой и программным модулем, выполненным с возможностью коррекции контура реза пропорционально создаваемым в материале деформациям, а платформа имеет резьбовые направляющие для растяжения заготовки, выполненные в виде винтовых пар с лево- и правосторонней резьбами, и установлена на координатном столе, управляемом системой с ЧПУ, связанной через программный модуль с источником лазерного излучения и информационно-вычислительной системой. 2288084 (С1). В. В. Исаков (RU), А. А. Швецов (RU). ФГУП "Московское машиностроительное производственное предприятие "САЛЮТ" [33].

Установка для исследования параметров механизированной сварки в защитных газах содержит самоходную тележку, пульт управления скоростью движения тележки, штангу, суппорты для перемещения штанги в горизонтальном и вертикальном направлениях. Отличается тем, что дополнительно содержит приспособление для крепления полуавтомата, жестко установленное на штанге, зажим для фиксации сварочных шлангов и полукруглую шкалу для определения угла отклонения полуавтомата от вертикали, установленную на штанге. 58417 (U1). Тюменский государственный нефтегазовый университет (RU). [33].

Сварочная головка для дуговой сварки содержит тележку с приводом, установленную на направляющей, сварочную горелку, механизм корректировки ее угла наклона, механизм поперечной корректировки сварочной горелки. Отличается тем, что тележка выполнена в виде двух платформ с возможностью углового перемещения относительно друг друга и содержит узел настройки под типоразмер свариваемой детали, а механизм корректировки угла наклона сварочной головки выполнен в виде делительного устройства. 58418 (U1). Б. Л. Гецкин (RU), В. Н. Павлов (RU). ООО "НПО "Технотрон". [33].

Бесшнуровый паяльник. Узел жала для паяльника, питаемого с помощью средства электропитания, содержит два электрода, каждый из которых имеет электрическое удельное сопротивление 1500 мкОм·см или более, теплопроводность, меньшую, чем 17,3073 Вт/(м·К) или равную этой величине, прочность на изгиб примерно 10,343 кПа и плотность от 1,50 до 1,75 г/см², и каждый электрически изолирован от другого изолятором, расположенным между электродами, причем каждый из электродов имеет форму, обеспечивающую отдельное электрическое соединение с положительной и отрицательной клеммами средства электропитания. 2288818 (С2). Д. АКСИНТЕ (US), Г. АКСИНТЕ (US). "ХАЙПЕРИОН ИННОВЕЙШНЗ ИНК". (US). [34].

Регулируемый источник питания для ручной дуговой сварки содержит мостовой выпрямитель на диодах, вход которого подключен к одной секции вторичной обмотки трансформатора, две батареи конденсаторов, подключенных параллельно диодам одного плеча мостового выпрямителя и к одному выводу этой секции, а между плечами мостового выпрямителя установлен сглаживающий дроссель с расщепленными обмотками. Отличается тем, что вторичная обмотка трансформатора содержит дополнительно вольдобавочную секцию, к которой подключены

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

Обозначения: С — патент РФ, выданный вместо ранее не публиковавшегося а. с. СССР на оставшийся срок; С1 — патент, выданный без предшествующей публикации сведений о заявке; С2 — патент, выданный с предшествующей публикацией сведений о заявке; А1 и А2 — авторское и дополнительное авторское свидетельства СССР, ранее не публиковавшиеся; U1 — свидетельство РФ на полезную модель.

два тиристора, управляемые системой импульсно-фазового управления, содержащей двухпороговый компаратор, вход которого подключен к выходу источника питания, а выход — к входу блокировки импульсов системы импульсно-фазового управления. 2288819 (С1). В. П. Кузнецов (RU), С. В. Рудько (RU). ГОУВПО "КНАГТУ" (RU). [34].

Способ управления механизмом импульсной подачи сварочной проволоки включает выдачу сигнала в адаптивную систему управления механизмом импульсной подачи сварочной проволоки с источником управляющего сигнала в автоматическом режиме. Отличается тем, что в качестве управляющего сигнала используют сигнал датчика усилия сварочной проволоки в направляющем канале сварочного шланга и датчика шага подачи, а импульс производят в момент достижения сварочной проволокой в направляющем канале шланга энергии, соответствующей оптимальному ускорению движения сварочной проволоки, при этом частоту следования импульсов определяют настройкой датчика усилия, скоростью подачи проволоки и шагом, заданным датчиком шага подачи сварочной проволоки. 2288820 (С1). С. А. Солодский (RU), В. Т. Федько (RU), О. Г. Брунов (RU). Томский политехнический университет (RU). [34].

Способ дуговой сварки покрытым электродом вертикального шва методом сверху вниз включает электродинамическое воздействие на металлическую и шлаковую ванны, затекающие внутрь козырька покрытия на торце электрода, образующегося при отставании плавления электродного стержня. Отличается тем, что электродинамическое воздействие осуществляют путем увеличения сварочного тока с момента начала короткого замыкания, вызванного затеканием металлической или шлаковой ванны внутрь козырька покрытия на торце электрода, при этом в момент снижения напряжения дуги ниже 10—14 В сварочный ток увеличивают в 1,5 раза от установленного, а при сохранении короткого замыкания свыше 30 мс дополнительно увеличивают сварочный ток в 1,75—2,0 раза от установленного и при восстановлении дугового разряда сварочный ток восстанавливают до установленного значения. 2288821 (С2). В. С. Милютин (RU), А. А. Морозов (RU), А. В. Дмитриенко (RU). ЗАО "Уралтермосвар" (RU). [34].

Способ получения изделий с внутренними полостями включает установку трубчатой внутренней оболочки, навивку по спирали на ее внешнюю поверхность трубчатого полостеобразующего элемента, выполнение сборки трубчатой внутренней оболочки с трубчатой внешней оболочкой и последующую сварку взрывом. Отличается тем, что предварительно во внутреннюю полость трубчатого спирального полостеобразующего элемента помещают заряд взрывчатого вещества, выполненный, например, в виде детонирующего шнура, закладываемого во внутреннюю полость трубчатого полостеобразующего элемента до его навивки, причем на свариваемых поверхностях внешнего и внутреннего трубчатых элементов предварительно выполняют резьбу, а сварку взрывом осуществляют перемещением фронта детонации по винтовой линии. 2288822 (С1). С. А. Шестаков (RU), В. И. Пындак (RU). Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет (RU). [34].

Способ сварки плавлением включает воздействие импульсным магнитным полем. Отличается тем, что импульсным магнитным полем воздействуют на зону кристаллизации расплавленного металла сварного шва с периодичностью импульсов разряда 0,5—2 с. 2288823 (С2). В. А. Глушков (RU), А. Ю. Иголкин (RU), Н. П. Родин (RU) и др. Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С. П. Королева (RU). [34].

Способ изготовления тавровых элементов ортотропной плиты включает раскладку на опорной плите сборочного стенда настильного листа, прикрепление его по контуру, установку с помощью приспособлений и закрепление сваркой ребра жесткости на настильном листе параллельно продольным кромкам, разъединение сварной плиты с опорной плитой сборочного стенда. Отличается тем, что один конец размещенного на настильном листе ребра жесткости и закрепление сваркой неподвижно, а второй конец устанавливают с возможностью осевого перемещения и к нему прикладывают растягивающее усилие с напряжением, не превышающим предела текучести материала ребра жесткости, после чего сварку ведут сплошным швом со стороны неподвижно закрепленного конца ребра жесткости. 2288824 (С1). И. И. Муравьев (RU), С. В. Гурьев (RU). [34].

Н. ПОСМЕТНАЯ

В. С. Штенникову — 60 лет

Исполнилось 60 лет заведующему кафедрой "Сварочное производство" Ижевского ГТУ, генеральному директору Удмуртского аттестационного центра НАКС, проф., д-ру техн. наук Василию Сергеевичу Штенникову.

В 1971 г. В. С. Штенников окончил Ижевский механический институт (в настоящее время Ижевский ГТУ) по специальности "Оборудование и технология сварочного производства" и дальнейшая научная деятельность Василия Сергеевича неразрывно связана с этим институтом.

В 1979 г. он защитил кандидатскую диссертацию в Уральском политехническом институте. В 1981 г. был избран заведующим кафедрой "Сварочное производство" ИжГТУ, которой с перерывами на работу деканом факультета, секретарем парткома университета и учебу в докторантуре руководит более 16 лет.

В 2005 г. В. С. Штенников защитил докторскую диссертацию в Южно-Уральском ГУ, став первым и единственным в истории ИжГТУ и Удмуртии доктором технических наук.

Научные интересы В. С. Штенникова связаны с исследованием и разработкой процессов дуговой и электрошлаковой наплавки с порошкообразными присадочны-

ми материалами и моделированием физико-химических процессов сварки и наплавки. Он автор более 120 публикаций, в том числе справочника инженера-сварщика, 2 учебных и 20 учебно-методических пособий, 9 авторских свидетельств на изобретения.

Научно-техническая сварочная общественность РФ и Удмуртии знает Василия Сергеевича как грамотного специалиста, активного организатора и координатора сварочного производства. По его инициативе в Удмуртской Республике созданы и плодотворно работают аттестационные центры НАКС.

Василий Сергеевич является заслуженным деятелем науки Удмуртской Республики, награжден знаком "Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации", избран академиком Международной академии реальной экономики, награжден медалью "За заслуги в деле возрождения науки и экономики России" Международной академии наук о природе и обществе.

Поздравляем Василия Сергеевича с юбилеем, желаем здоровья, благополучия и больших творческих свершений!

**Кафедра "Сварочное производство" ИжГТУ,
Удмуртский аттестационный центр НАКС,
редколлегия и редакция журнала "Сварочное производство"**

Рефераты опубликованных статей

УДК 621.791.763

Влияние режимов ручной дуговой сварки на характер коррозионного разрушения в кислых средах сварных соединений стали 12Х18Н10Т. Сараев Ю. Н., Безбородов В. П., Селиванов Ю. В. — Сварочное производство. 2008. № 4. С. 3—7.

Исследовано влияние способов сварки на стойкость сварных соединений стали 12Х18Н10Т против коррозионного разрушения в кислых средах. Сварные соединения выполняли ручной дуговой сваркой постоянным и импульсным током электродами ОЗП-36 на установке нового поколения ФЕБ-315ИР "МАГМА". Установлено, что применение импульсного режима обеспечивает формирование мелкозернистой структуры металла шва и сокращение области сенсibilизации, а также повышает коррозионную стойкость сварного соединения в кислой коррозионной среде. Данный способ может быть рекомендован для сварки оборудования для химической и радиохимической отраслей промышленности и переработки облученного ядерного топлива. Табл. 3. Ил. 4. Библиогр. 17.

УДК 621.791.052:539.4

Оценка выносливости сварных соединений из стали ВСт3сп при наличии остаточных напряжений. Негода Е. Н. — Сварочное производство. 2008. № 4. С. 8—11.

Численным методом исследована усталостная прочность сварной пластины при поперечном циклическом нагружении. Технологическая наследственность сварочного процесса учтена в виде остаточных сварочных напряжений, рассчитанных на основе схемы линейного мощного быстродействующего источника нагрева. Установлено, что сварное соединение в рамках рассматриваемой задачи обладает "неограниченной выносливостью", что связано с особенностями распределения асимметрии цикла, эквивалентных напряжений и предела выносливости. Максимальная усталостная поврежденность локализуется на некотором расстоянии от торца пластины, примыкая к зоне растягивающих остаточных сварочных напряжений. Разработанная методика анализа выносливости позволяет расчетным путем оценить усталостную прочность сварной конструкции. Ил. 6. Библиогр. 7.

УДК 621.791.052:539.4

Оценка несущей способности тавровых сварных соединений с неповарами в условиях вязкого разрушения при изгибе. Шахматов М. В., Айметов С. Ф., Айметов Ф. Г. — Сварочное производство. 2008. № 4. С. 11—16.

Предложен расчетный метод определения предельного изгибающего момента двусторонних тавровых сварных соединений с неповарами в условиях вязкого разрушения. Методика учитывает влияние геометрических параметров угловых швов, объема наплавленного металла, глубины проплавления соединяемых элементов, способа задания внешнего изгибающего момента и основывается на определении положения очагов пластического течения при изгибе. Полученные результаты могут быть использованы как для оценки несущей способности соединений, так и оптимизации геометрии сварных швов. Справедливость полученных расчетных формул подтверждена экспериментальными данными. Ил. 5. Табл. 2. Библиогр. 5.

УДК 621.791.754

Физико-математическое моделирование перехода капли электродного металла в сварочную ванну. Брунов О. Г., Солодский С. А. — Сварочное производство. 2008. № 4. С. 16—19.

Качество сварки и процесс формирования сварного шва в защитных газах во многом зависят от переноса электродного металла. Рассмотрена физико-математическая модель перехода капли в жидкую ванну на основе глицерина, отражающая зависимость скорости перехода капли в жидкость от ее кинетической энергии и вязкости жидкости. Получена хорошая сходимость

результатов расчетов с результатами экспериментов. Ил. 5. Библиогр. 4.

УДК 621.791:621.373.826

Расчет параметров импульсной лазерной сварки алюминиевых сплавов малой толщины. Левин Ю. Ю., Ерофеев В. А. — Сварочное производство. 2008. № 4. С. 20—24.

Разработана математическая модель расчета параметров импульсной лазерной сварки алюминиевых сплавов малой толщины. Установлены критерии формирования соединения без выплесков, кратеров, пустот. Предотвращение образования выплесков обеспечивается плавным увеличением мощности лазера в начале импульса, пустот — скорости выхода луча из канала. Поддержание мощности луча на уровне порога возникновения канала предотвращает образование кратера. Герметичность соединения обеспечивает выбор скорости сварки в зависимости от расчетной длины сварочной ванны. Ил. 8. Библиогр. 4.

УДК 621.791:669.13

Дуговая наплавка слоя износостойкого высокохромистого чугуна. Метлицкий В. А., Осин В. В. — Сварочное производство. 2008. № 4. С. 25—30.

Обсуждена актуальная проблема интенсивного абразивного и гидроабразивного изнашивания рабочих органов машин и механизмов. Проанализированы структура и свойства износостойких высокохромистых чугунов. Отмечены особенности формирования структуры при дуговой наплавке высокохромистых чугунов, а также влияние легирования на их структуру и свойства — износостойкость, твердость, ударостойкость. Освещены процессы ручной и механизированной наплавки слоя высокохромистого чугуна, особенности наплавки покрытыми электродами, порошковыми проволоками и лентами. Затронуты вопросы экономической эффективности износостойкой наплавки и сделан прогноз развития данного направления. Табл. 3. Библиогр. 8.

УДК 621.791:621.643.1/2

Сварочные технологии ремонта элементов трубопроводных систем теплоэнергетики. Ч. 1. Ремонт элементов трубопроводов I категории. Хромченко Ф. А. — Сварочное производство. 2008. № 4. С. 31—42.

Обобщены и рассмотрены основные положения сварочных технологий ремонта элементов трубопроводов. Приведены оптимальные варианты сварочно-ремонтных технологий, обеспечивающие продление сроков службы трубопроводов I категории. Табл. 6. Ил. 9. Библиогр. 2.

УДК 621.791:006

Требования к процессам сварки в технических регламентах. Модель изложения, выполнения и процедуры подтверждения соответствия. Цукуров О. А. — Сварочное производство. 2008. № 4. С. 43—49.

Проанализирован опыт разработки проектов технических регламентов на продукцию, безопасность которой определяется процессами сварки, в части выбора подходов к установлению, выполнению и подтверждению соответствия предлагаемых ("существенных") требований к этому процессу в свете положений новой редакции ФЗ "О техническом регулировании".

Рассмотрены модель изложения и содержание "существенных" требований к процессу сварки, процедуры их выполнения и подтверждения соответствия, используемые в европейских директивах "Нового подхода", близких по назначению к разрабатываемым техническим регламентам. Подтверждена целесообразность использования европейских принципов как при формировании отечественной методической базы разработки технических регламентов, так и в процессе их создания и выполнения. Табл. 1. Ил. 1. Библиогр. 11.

Abstracts of the articles published in "Svarochnoe Proizvodstvo", 2008, № 4

Impact of the manual arc welding conditions on the corrosive attack pattern in the acidic medium of the steel 12X18H10T welded joints. Sarayev Yu. N., Bezborodov V. P., Selivanov Yu. V. P. 3—7.

Welding manner impact on the steel 12X18H10T welded joints resistance to the corrosive attack in the acidic medium is studied. Welded joints were carried out by manual arc welding (direct and pulse current) using ОЗЛ-36 electrodes on the plant ФЕБ-315ИР "МАГМА" of new generation. It is established that pulse conditions application ensures fine-grained structure formation of the weld material and reduction of the sensitization area; as well as upgrades welded joint corrosion resistance in the acidic medium. This procedure may be recommended to weld equipment intended for chemical and radi-chemical industries and irradiated nuclear fuel reprocessing.

Endurance estimation of the steel BCr3cn welded joints at the residual voltage occurrence. Negoda Ye. N. P. 8—11.

Welded plate endurance at transverse repeated loading is investigated by numerical method. Technological heredity of the welding process is taken into account as residual voltage calculated on the base of the circuit of a powerful line high-speed heating source. It is established that in the network of the considered task a welded joint has "unlimited endurance", that is attributed to the distribution features of the cycle asymmetry, equivalent voltage, and threshold strength. Maximal fatigue fracture is localized at a certain distance from the plate end about on the area of tensile residual voltage. Developed procedure of endurance analysis allows for estimating welded construction endurance by calculation.

Bearing capacity estimation of the welded T-joint with poor penetration under conditions of ductile bending failure. Shakhmatov M. V., Aymetov S. F., Aymetov F. G. P. 11—16.

Calculation method for determination of limit torque of the double-sided welded T-joints with poor penetration under conditions of ductile failure is suggested. The procedure takes into consideration effect of the fillet geometries, added metal volume, jointed components weld penetration, representation of the external torque, and it is based on the determination of the plastic yielding hearth location at bending. The obtained results may be applied both to evaluate weld bearing capacity and welding seam geometries optimization. Obtained design formulae justification is confirmed by experimental data.

Physical and mathematical modelling of the electrode metal droplet recovery into weld pool. Broonov O. G., Solodsky S. A. P. 16—19.

Welding quality and welding seam formation in shielding gas much depends on the electrode metal transfer. Physical and mathematical model of the droplet recovery into the molten-pool on the basis of glycerol is considered; the model mirrors dependence of the droplet recovery rate into liquid on its kinetic energy and fluid viscosity. Good convergence between calculated and experimental results is obtained.

Calculation of the impulse laser welding condition of the smaller thickness aluminium alloys. Fevin Yu. Yu., Yerofeyev V. A. P. 20—21.

Mathematical model for the calculation of the impulse laser welding condition of the smaller thickness aluminium alloys is worked out. Formation criteria for joining without spitting, crater and void are settled. Prevention of spitting formation is ensured by smooth laser power increase at the beginning of pulse, of void — by the emission rate of the ray from the channel. Ray power maintenance at the threshold-level of the channel initiation prevents crater formation. Joining proofness is provided by welding rate which depends on the effective length of the weld pool.

Arc deposit welding of the abrasion-resistant high-chromium iron layer. Metlitsky V. A., Osin V. V. P. 25—30.

Pressing problem of intensive abrasive and hydroabrasive wear of the operative parts of machines and mechanisms is covered. High-chromium iron properties and structure are studied. Special features of structure formation at deposit welding of the high-chromium iron are specified, as well as alloying effect on their structure and properties: wear resistance, hardness and impact resistance. Manual and machine-operated overlaying of a high-chromium iron layer are described, also special features of deposit welding by coated-electrodes, flux cored electrodes and band are covered. Issues of wear-resistant deposition cost effectiveness are touched upon, predicted development of the trend is given.

Welding practice of the heat-and-power engineering pipeline system elements repair. Part 1: Repair of the 1st class pipeline elements. Khromchenko F. A. P. 31—42.

Fundamentals of the making-good welding procedures for pipeline elements are generalized and reviewed. Optimum alternative for the repair welding procedures enabling 1st class pipeline life cycle extension.

Welding process technical specifications. Pattern for description, carrying out, and conformance verification procedure. Tsoukourou O. A. P. 43—49.

Experience of technical regulations project development for products safety of which is determined by the welding processes is studied, particularly in the choice of approach to establishing, fulfilment and conformance verification of the suggested (essential) requests to the process in the light of national law revision "On the technical regulation".

Pattern for description and contents of essential requirements to the welding process, procedures of carrying out and conformance verification used in the European directions "New approach" similar in purpose to the developed technical specifications. Practicability of the European concepts use is confirmed both at domestic methodological base formation for technical regulations development and in the process of their creation and fulfilment.

Ордена Трудового Красного Знамени ОАО "Издательство "Машиностроение"

107076, Москва, Стромынский пер., 4

Сдано в набор 13.02.2008. Подписано в печать 24.04.2008. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 8,37. Уч.-изд. л. 11,23. Заказ 7/08.

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".