

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор
Б. Е. ПАТОН

Ю. С. Борисов, Г. М. Григоренко,
А. Т. Зельниченко, А. Я. Ищенко,
В. И. Кирьян, И. В. Кривцун,
С. И. Кучук-Яценко (зам. гл. ред.),
Ю. Н. Ланкин,
В. Н. Липодаев (зам. гл. ред.),
Л. М. Лобанов, А. А. Мазур,
В. И. Махненко, О. К. Назаренко,
В. Д. Позняков,
И. К. Походня, И. А. Рябцев,
Б. В. Хитровская (отв. секр.),
В. Ф. Хорунов, К. А. Ющенко

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:**

Н. П. Алешин (Россия)
Гуань Цяо (Китай)
У. Дилтай (Германия)
П. Зайффарт (Германия)
А. С. Зубченко (Россия)
В. И. Лысак (Россия)
Н. И. Никифоров (Россия)
Б. Е. Патон (Украина)
Я. Пилярчик (Польша)
Г. А. Туричин (Россия)
Чжан Янмин (Китай)
Д. фон Хофе (Германия)

УЧРЕДИТЕЛИ:

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

ИЗДАТЕЛЬ:

Международная ассоциация
«Сварка»

Адрес редакции:

03680, Украина, Киев-150,
ул. Боженко, 11
Институт электросварки
им. Е. О. Патона НАНУ
Тел.: (38044) 287 6302, 529 2623
Факс: (38044) 528 3484, 529 2623
E-mail: journal@paton.kiev.ua
http://www.nas.gov.ua/pwj

Редакторы:

Е. Н. Казарова, Т. В. Юштина
Электронная верстка:
И. Р. Наумова,
И. В. Петушков, А. И. Сулима

Свидетельство о государственной
регистрации КВ 4788
от 09.01.2001

**Журнал входит в перечни
утвержденных ВАК Украины
и Российской Федерации изданий
для публикации трудов
соискателей ученых степеней**

За содержание рекламных
материалов редакция журнала
ответственности не несет
Цена договорная

СОДЕРЖАНИЕ

НОВОСТИ	3
Вклад сварщиков в Великую Победу	7

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

<i>Ющенко К. А., Савченко В. С., Червяков Н. О., Звягинцева А. В.</i> К возможному механизму образования трещин в стабильно аустенитных швах вследствие сегрегации кислорода	10
<i>Махненко В. И., Великоиваненко Е. А., Розынка Г. Ф., Пивторак Н. И.</i> Совершенствование метода оценки риска разрушения в зоне утонений стенки магистральных трубопроводов	16
<i>Гайворонский А. А., Позняков В. Д., Саржевский В. А., Васильев В. Г., Орловский В. Ю.</i> Влияние термомодеформационного цикла наплавки на структуру и свойства железнодорожных колес повы- шенной прочности при их восстановлении	22
<i>Максимова С. В., Хорунов В. Ф., Зелинская Г. М.</i> Структурное состояние быстрозакаленного припоя системы Cu-Ti	27
<i>Назаренко О. К., Загорников В. И.</i> Влияние рабочего расстояния сварочной электронной пушки на геометрию сварного шва	32

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

<i>Патон Б. Е., Лобанов Л. М., Недосека А. Я., Федчун А. Ю., Елкин А. А., Ободовский Б. М.</i> Надежность эксплуатации сварных конструкций. Оценка и управление	36
<i>Ахонин С. В., Белоус В. Ю., Романюк В. С., Стесин В. В., Великий С. И., Семененко А. В., Полищук А. К.</i> Сварка в узкий зазор высокопрочных титановых сплавов толщиной до 110 мм	44
<i>Машин В. С., Пашуля М. П., Шонин В. А., Клочков И. Н.</i> Импульс- но-дуговая сварка плавящимся электродом в аргоне тонколис- товых алюминиевых сплавов	49
<i>Кононенко В. Я.</i> Использование способа сухой сварки при ремон- те подводных переходов газо- и нефтепроводов в России	54

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

<i>Кучук-Яценко С. И., Харченко Г. К., Смиян О. Д., Фальченко Ю. В., Загадарчук В. Ф., Буткова Е. И.</i> Распределение водорода в соединениях стали 10Г2ФБ, выполненных контактной стыковой сваркой оплавлением	60
По страницам журнала «Welding and Cutting», 2009, № 5	62
ОАО «Межгосметиз-Мценск» — на пути освоения производства всех востребованных на рынке сварочных материалов	66

ХРОНИКА

10-я Международная специализированная выставка «Сварка и резка»	68
--	----

ИНФОРМАЦИЯ	70
------------------	----

EDITORIAL BOARD:

Editor-in-Chief
B. E. PATON

Yu. S. Borisov, G. M. Grigorenko,
A. T. Zelnichenko,
A. Ya. Ishchenko, I. V. Krivtsun,
S. I. Kuchuk-Yatsenko (vice-chief ed.),
V. I. Kiryan, Yu. N. Lankin,
V. N. Lipodaev (vice-chief ed.),
L. M. Lobanov, A. A. Mazur,
V. I. Makhnenko,
O. K. Nazarenko, I. K. Pokhodnya,
V. D. Poznyakov, I. A. Ryabtsev,
B. V. Khitrovskaya (exec. secr.),
V. F. Khorunov, K. A. Yushchenko

THE INTERNATIONAL
EDITORIAL COUNCIL:

N. P. Alyoshin (Russia)
D. von Hofe (Germany)
Guan Qiao (China)
U. Dilthey (Germany)
P. Seyffarth (Germany)
A. S. Zubchenko (Russia)
V. I. Lysak (Russia)
N. I. Nikiforov (Russia)
B. E. Paton (Ukraine)
Ya. Pilarczyk (Poland)
G. A. Turichin (Russia)
Zhang Yanmin (China)

FOUNDERS:

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

PUBLISHER:

International Association «Welding»
Address of Editorial Board:
11 Bozhenko str., 03680, Kyiv, Ukraine
Tel.: (38044) 287 63 02, 529 26 23
Fax: (38044) 528 04 86
E-mail: journal@paton.kiev.ua
http://www.nas.gov.ua/pwj

Editors:

E. N. Kazarova, T. V. Yushlina
Electron galley:
I. R. Naumova,
I. V. Petushkov, A. I. Sulima
State Registration Certificate
KV 4788 of 09.01.2001

All rights reserved

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

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

CONTENTS

NEWS	3
Contribution of welders to the Great Victory	7

SCIENTIFIC AND TECHNICAL

<i>Yushchenko K. A., Savchenko V. S., Chervyakov N. O., Zvyagintseva A. V.</i> Probable mechanism of crack formation in stable austenite welds due to oxygen segregation	10
<i>Makhnenko V. I., Velikoivanenko E. A., Rozyinka G. F., Pivtorak N. I.</i> Improvement of method of assessment of risk of fracture in the zone of wall thinning in main pipelines	16
<i>Gaivoronsky A. A., Poznyakov V. D., Sarzhevsky V. A., Vasiljev V. G., Orlovsky V. Yu.</i> Effect of thermodeformational cycle of hard-facing on structure and properties of railway wheels of increased strength during their restoration	22
<i>Maksimova S. V., Khorunov V. F., Zelinskaya G. M.</i> Structural state of quick-hardened brazing alloy Cu-Ti	27
<i>Nazarenko O. K., Zagornikov V. I.</i> Effect of working distance of welding electron gun on weld geometry	32

INDUSTRIAL

<i>Paton B. E., Lobanov L. M., Nedoseka A. Ya., Fedchun A. Yu., Elkin A. A., Obodovsky B. M.</i> In-service reliability of welded structures. Assessment and control	36
<i>Akhonin S. V., Belous V. Yu., Romanyuk V. S., Stesin V. V., Velikiy S. I., Semenenko A. V., Polishchuk A. K.</i> Narrow-gap welding of joints of up to 110 mm thick high-strength titanium alloys	44
<i>Mashin V. S., Pashulya M. P., Shonin V. A., Klochkov I. N.</i> Pulsed-arc consumable electrode welding of sheet aluminium alloys in argon	49
<i>Kononenko V. Ya.</i> Application of method of dry welding in repair of underwater passages of gas and oil pipelines in Russia	54

BRIEF INFORMATION

<i>Kuchuk-Yatsenko S. I., Kharchenko G. K., Smiyan O. D., Falchenko Yu. V., Zagadarchuk V. F., Butkova E. I.</i> Hydrogen distribution in joints of steel 10G2FB made by flash-butt welding	60
Review of journal «Welding and Cutting» № 5, 2009	62
OJSC «Mezhgosmetiz-Mtsensk» is mastering production of all welding consumables demanded at the market	66

NEWS

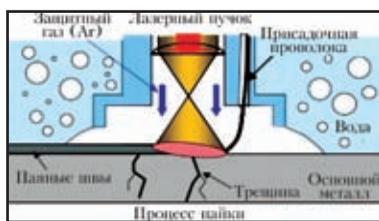
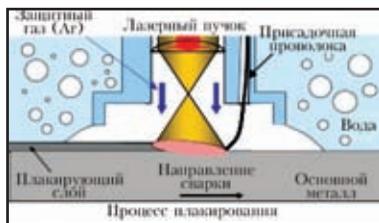
10th International Specialized Exhibition «Welding and Cutting»	68
INFORMATION	70

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

ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА ПОД ВОДОЙ

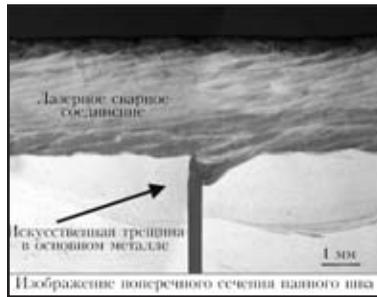
Фирма «Westinghouse» (США) в рамках услуг в области атомной энергетики предлагает новое технологическое решение по повышению стойкости оборудования против коррозионного растрескивания (КР).

В ядерной промышленности значительную проблему создают коррозионные растрескивания внутрикорпусных устройств ядерного реактора, обусловленные тремя факторами: склонностью конструкционного материала к растрескиванию, наличием коррозионной среды и растягивающих напряжений.



С помощью лазерной наплавки на основной металл можно наносить плакирующий слой, который будет обеспечивать стойкость против КР. Кроме того, можно также запаивать небольшие поверхностные трещины.

Лазерная сварка (наплавка/пайка) — это дистанционные способы, при которых используется лазерный пучок (а не вольфрамовый электрод) и присадочная проволока. С помощью пос-



ледней можно выполнять сварку (наплавку/пайку) под водой, создавая локализованное сухое пятно благодаря использованию защитного газа аргона. На основной металл наплавляется коррозионно-стойкий слой, который повышает стойкость основного металла против КР. При этом возможно запаивание поверхностных трещин глубиной 0,5 мм.

Подводная лазерная сварка может обеспечить эффективное уменьшение КР компонентов реактора во влажных условиях. Уровень воды в реакторе может оставаться таким же без необходимости тратить время на слив воды и увеличение мощности дозы облучения. Швы (наплавки) можно выполнять на глубине 30 м при изменяющейся геометрии.

Особенности лазерной сварки (наплавки) под водой:

- ✧ сварочная головка компактная и подходит для различной геометрии;

- ✧ малое количество тепла, подводимого к основному металлу: ~1...3 кДж/см, что составляет приблизительно 10 % количества тепла, подводимого при стандартной дуговой сварке ТИГ;

- ✧ процесс не будет повышать чувствительность окружающего металла к КР;

- ✧ осуществление пайки с целью удаления небольших трещин, что может свести на нет необходимость дорого-

стоящего ремонта аппаратного обеспечения или его замены;

- ✧ выполняются дальнейшие работы по отработке параметров для сварки облученных компонентов;

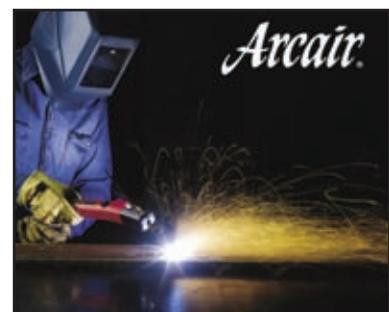
- ✧ лазерный блок может быть расположен далеко от места работы (300 м).

ВОЗДУШНО-ДУГОВОЙ РЕЗАК — СТРОГАЧ ARCAIR K4000

Фирма «Thermadyne» (США) предлагает воздушно-дуговой резак Arcair K4000, позиционируя его как выбор номер 1 во всем мире для эффективного удаления металла. Это идеальный инструмент для удаления сварных швов, строжки корня шва, подготовки кромок, удаления дефектов при ремонте и выполнении других операций, требующих удаления металла.

Сущность процесса воздушно-дуговой строжки угольным электродом состоит в удалении металла, расплавленного электрической дугой струей сжатого воздуха, фокусируемой губками строгача. Производительность удаления металла зависит от скорости расплавления металла и эффективности потока сжатого воздуха.

K4000 является особенно популярным выбором пот-



ребителей благодаря своей эргономичной конструкции, позволяющей производить работу эффективно и с комфортными передвижениями руки и запястья.

Этот инструмент может использовать круглые угловые электроды с диаметром от 4 до 13 мм и плоские электроды шириной 10 или 16 мм. Резак работает на токах до 1000 А от источника сварочного тока.

Кроме того, К4000 имеет следующие преимущества:

- ✧ естественный угол ручки в 15° обеспечивает комфорт оператору;

- ✧ вращающееся на 360° соединение с кабелем уменьшает нагрузку на руку оператора;

- ✧ удобная рукоятка позволяет оператору легко удерживать и позиционировать резак;

- ✧ высококачественный кабель с высоким сопротивлением температуре и истиранию;

- ✧ предельно прочная конструкция, обеспечивающая высокую надежность.

НОВАЯ СЕРИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ СВАРОЧНЫХ АППАРАТОВ «ФОРСАЖ»

Новая серия профессиональных сварочных аппаратов «Форсаж» воплотила все последние достижения в области инверторных технологий. Шестнадцатилетний опыт проектирования и производства сварочной техники на Рязанском приборном заводе, постоянный диалог с потребителями позволили создать экономичные аппараты с широким набором функций, оптимальными свойствами сварочной дуги и удобством пользования.



ром функций, оптимальными свойствами сварочной дуги и удобством пользования.

Легкие и компактные сварочные аппараты «Форсаж» новой серии обеспечивают мобильность при проведении работ в любых труднодоступных местах. Среди них: Форсаж-301PRO (ММА), Форсаж-302 (МИГ/МАГ, ММА), Форсаж-315 (ТИГ, ММА), Форсаж-200 (ММА, инвертор).

Оригинальные схемотехнические решения, реализованные на современной элементной базе ведущих зарубежных фирм, жесткая система внутривзаводских испытаний, обязательная предварительная опытная эксплуатация новых аппаратов на производственных объектах, обеспечили высочайший уровень качества и надежности оборудования.

Сварочные аппараты «Форсаж» производятся в условиях высокотехнологичного современного производства крупного российского предприятия, что является гарантией стабиль-

ной работы оборудования в течение всего срока эксплуатации.

Развитая сеть региональных дилеров, квалифицированная техническая поддержка со стороны предприятия, 17 сервисных центров на территории России и в Республике Беларусь способствуют поддержанию высокого уровня доверия потребителей к торговой марке «Форсаж».

Преимущества:

- ✧ легкий поджиг дуги;
- ✧ электронная стабилизация тока сварочной дуги;
- ✧ автоматическое управление работой вентилятора;
- ✧ возможность работы в продолжительном режиме;
- ✧ сварка в любых пространственных положениях;
- ✧ большой эксплуатационный ресурс;
- ✧ низкое энергопотребление.

ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТ ОТ «СЭЛМЫ»

Один из крупнейших производителей сварочного



оборудования в Украине «Фирма СЭЛМА» предлагает новый вид продукции — экологически чистый вид транспорта: пассажирские и грузовые электроциклы.

Электроцикл представляет собой трехколесное электротранспортное средство, оснащенное рулем мопедного типа, одним передним направляющим колесом и двумя задними ведущими колесами.

На общей раме электроцикла установлены сиденье для водителя и сиденье для двух пассажиров. При необходимости можно вместо задних пассажирских сидений установить кузов для перевозки груза. Электродвигатель установлен на приводной балке задних колес. Источник питания электродвигателя — тяговые аккумуляторы. Управление электроциклом осуществляется от ручки газа.

Основные преимущества электроциклов:

- ✧ экологически чистый вид транспорта (не загрязняет окружающую среду);
- ✧ низкое энергопотребление;
- ✧ затраты на зарядку аккумуляторов для пробега протяженностью до 60 км составляют 1 грн.;
- ✧ малые габариты и масса;
- ✧ высокая маневренность;
- ✧ отсутствие шума;
- ✧ возможность передвижения в помещениях за счет малых габаритных размеров;

✧ зарядка тяговых аккумуляторов производится от обычной сети с напряжением 200 В;

✧ простота конструкции и управления.

Технические характеристики

Скорость передвижения (регулируется плавно) вперед до 20, назад до 5 км/ч; пробег без подзарядки до 60 км; преодолеваемый подъем до 10 %; приводной двигатель мощностью 1500 Вт; тяговые аккумуляторные батареи по 12 В: 50 А·ч; грузоподъемность до 300 кг; время подзарядки 10 ч.

ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ И НАДЕЖНАЯ СИСТЕМА РОБОТИЗИРОВАННОЙ СВАРКИ

Разработчики новой системы TransSteel («Фрониус», Австрия) сделали ставку на полностью роботизированную сварку стали. Результат превзошел все ожидания: прочно, надежно, эффективно, быстро, с идеально подходящими для стали характеристиками сварки, с газовым или водяным охлаждением — на выбор. Перспективная система совместима с робототехникой ведущих производителей.

Основу новой системы роботизированной сварки составляет инновационная технология Steel Transfer Technology и полностью цифровой инверторный источник тока TransSteel. TransSteel Robotics поставляется в двух исполнениях: на максимальный сварочный ток 350 и 500 А. Данное значение тока достигается при продолжительности включения (ПВ) 40 %. При ПВ 100 % — соответственно 250 и 360 А. Наряду с возможностью ручной сварки TransSteel Ro-



botics может похвастаться различными дополнительными функциями и инновациями.

Все необходимые для процесса сварки рабочие среды подаются через разъем Fronius System Connector (FSC), который обеспечивает максимальную герметичность соединения, а значит, и безопасность.

Новый робот-интерфейс позволил упростить многие вещи: теперь интерфейс можно закрепить на источнике тока или на стене сварочной ячейки, в распоряжении сварщика — исполнение системы с зажиганием и гашением дуги через интерфейс автомата, а также с передачей аналоговых и цифровых сигналов по магистральным сетям DeviceNet, CanOpen, Interbus). Функция EasyJob позволяет одним нажатием кнопки сохранить в памяти оптимальный набор рабочих параметров (до пяти наборов).

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И СНИЖЕНИЕ РАСХОДОВ

«THERMAL DYNAMICS» (США) предлагает комплексные решения по модернизации машин плазменной резки с ЧПУ, повышающие технический уровень оборудования. Новый источник тока и плазматрон на существующем портале — это наиболее экономически эффективный путь для улучше-



РЕШЕНИЯ WISE ПОВЫШАЮТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

Сварочное оборудование постоянно совершенствуется. Применение и внедрение новейших электронных компонентов и методов цифровой обработки способствуют повышению производительности и качества сварки сегодня и дальнейшему их совершенствованию в будущем. Разработанные компанией «Kemppi» (Финляндия) продукты Wise — это великолепные новые программные решения, дающие

ния качества и производительности резки.

Комплекты для модернизации, к примеру, на базе системы для высокоточной плазменной резки Ultra-Cut, даже с использованием имеющегося на предприятии ЧПУ оборудования обеспечивают:

- ♦ оптимизацию расходов (большой ресурс расходных деталей с технологией XtremeLife для черных сталей и снижение расходов на газы с технологией WMS для резки нержавеющей сталей и алюминиевых сплавов);

- ♦ улучшение качества за счет превосходных характеристик плазменного оборудования и возможности использования оптимальных комбинаций газов;

- ♦ увеличение производительности (использование современной системы для резки на уже существующем портале).

Комплект на базе Ultra-Cut также позволяет использовать автоматическую газовую консоль, даже если имеющаяся система ЧПУ не предназначена для этого. С помощью уникальной системы с Touch-Screen монитором всегда возможно автоматическое управление газами. Это сокращает время установки параметров, сводит к минимуму ошибки операторов и позволяет получать повторяющиеся результаты. Преимущества, которые обеспечивает система Ultra-Cut, позволяют быстро окупить инвестиции и обеспечить предприятию прибыль на долгие годы.

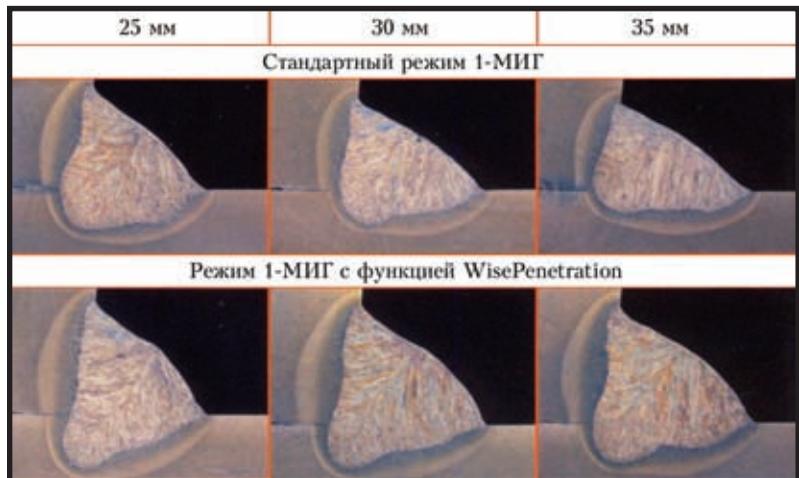
Преимущества WisePenetration:

- ♦ улучшенное качество сварки — уменьшение риска недостаточного проплавления и неравномерно провара;

- ♦ экономия рабочего времени и экономия затрат на исправление брака за счет повышения качества шва;

- ♦ уменьшение необходимости регулировки параметров сварки — простая эксплуатация и разворачивание на производстве;

- ♦ подходит для эксплуатации с длинными или ко-



клиентам целый ряд преимуществ. Продукты Wise влияют либо на эффективность сварочного процесса, либо обеспечивают совершенно новую технику выполнения сварки. Продукты Wise позволяют выйти на новый уровень производительности сварки, чего невозможно было бы достигнуть, используя стандартные сварочные процессы MIG/MAG.

Дополнительная функция WisePenetration обеспечивает стабильную мощность сварки независимо от изменений положения сварочной горелки или расстояния между сварочной горелкой и заготовкой. Подходит как для ручной, так и для роботизированной синергетической сварки MIG/MAG WisePenetration.

роткими кабельными комплектами.

Программное решение WisePenetration позволяет справиться с этими задачами и снижает необходимость чистовой шлифовки и ремонта.

Эта функция предлагается для ручной сварки MIG/MAG в качестве опции в семействах FastMIG Synergic и FastMIG Pulse, для роботизированной сварки MIG/MAG — в семействах KempArc и KempArc Pulse.

Повышение качества сварки, сокращение затрачиваемого рабочего времени, простота использования — эти преимущества заставляют обратить внимание на WisePenetration.

ВКЛАД СВАРЩИКОВ В ВЕЛИКУЮ ПОБЕДУ

Знаменательную дату — 65-летие Великой Победы над фашистской Германией и ее сателлитами — вместе со всеми отмечает и многомиллионный отряд сварщиков — ученые, инженеры, техники и рабочие.

Импульс развитию сварки дала Первая мировая война, поставив перед сварщиками ряд серьезных технических проблем. К концу 1930-х годов сварка стала ведущей технологией в производстве вооружений многих стран, почти полностью вытеснив клепку.

В годы Второй мировой войны необходимость в ускорении производства вооружений явилась мощным толчком для расширения применения и совершенствования сварочных процессов. Основной упор делался на поиск резервов, скрытых возможностей технологий. Вероломное нападение фашистской Германии на Советский Союз, потеря значительной части территории Украины с металлургическими и машиностроительными заводами, демонтаж оборудования заводов и переброска его в восточные регионы затормозили в конце 1941 г. темпы производства оружия. Применение сварочной техники помогло в рекордно короткие сроки быстро демонтировать оборудование эвакуируемых заводов, ускорить монтаж на новом месте и развернуть производство. Конструкторы, руководители производства понимали, что только упрощение процесса изготовления, в том числе и использование сварки, позволит в кратчайшие сроки выпустить нужное количество оружия.

В предвоенные годы советскими конструкторами были созданы новейшие танки: тяжелый КВ-1, средний Т-34, плавающий Т-40 и САУ на их основе. Бронекорпуса, узлы и элементы конструкций сваривали вручную специальными электродами. Для выполнения этой работы требовались тысячи высококвалифицированных сварщиков. Выход был найден в применении автоматической сварки.

В конце 1930-х годов в Институте электросварки под руководством Е. О. Патона была разработана технология автоматической дуговой сварки под флюсом конструкционных сталей. С началом Великой Отечественной войны институт был эвакуирован из Киева в Нижний Тагил и размещился на Уралвагонзаводе, где начал внедрять скоростную сварку в производство авиабомб. Вскоре сюда прибыли специалисты и оборудование Харьковского завода № 183, где был

создан танк Т-34. Заводы были объединены в одно предприятие, названное Уральским танковым заводом. Е. О. Патон направил усилия коллектива на разработку технологии автоматической сварки под флюсом специальных, броневых сталей и применения новой технологии для изготовления сложных пространственных конструкций бронекорпусов танков. Следует отметить, что нигде в мире такая задача не была решена. В кратчайшие сроки удалось установить причины возникновения трещин в сварных швах. Была разработана технология бездефектной сварки (В. И. Дятлов, А. И. Иванов); изучена природа процессов и экспериментально доказано наличие под слоем флюса дугового разряда (Б. Е. Патон, А. М. Макара); разработаны флюсы из доменных шлаков (А. И. Коренной); открыто явление саморегулирования дуговых процессов с плавящимся электродом (В. И. Дятлов), на основе которого сконструированы упрощенные автоматические сварочные головки с постоянной скоростью подачи электродной проволоки (П. И. Севбо, Б. Е. Патон). В 1942-1943 годах было разработано и реализовано 20 проектов установок для сварки танковых корпусов и 8 — для сварки авиабомб и боеприпасов. Еще одним заметным достижением стало создание по предложению директора завода Ю. Е. Максарева и Е. О. Патона первой сборочно-сварочной поточной линии.

Работы по применению нового процесса сварки велись в содружестве института, танковых КБ и заводов. В решении этих вопросов активно участвовали главный конструктор танка Т-34 А. А. Морозов, главный конструктор тяжелых танков ИС и КВ Ж. Я. Котин. Сотрудники ИЭС обучали рабочих и налаживали оборудование на заводах страны. Крупномасштабное применение автоматическая сварка нашла в Челябинске, куда был эвакуирован Ленинградский тракторный завод им. С. М. Кирова (танки КВ, Т-34 и САУ); на Горьковском автомобильном (артиллерийские установки, снаряды и др.); на Уральском заводе тяжелого машиностроения им. С. Орджоникидзе (г. Свердловск) (корпуса танков). К концу 1943 г. сварку под флюсом освоили на 52 заводах. За годы войны автоматами сварили 4 млн м шва, было сэкономлено 5 млн кВт·ч электроэнергии, трудоемкость изготовления корпуса танка снизилась в пять раз. Сварку могли выполнять подростки; только

на Уральском танковом заводе было высвобождено 250 сварщиков. К концу войны заводы страны выпускали до 30 тыс. тяжелых и средних танков и самоходных орудий ежегодно.

Еще в начале 1930-х годов в ряде стран были разработаны конструкции самолета из коррозионно-стойких сталей и алюминиевых сплавов со сварными каркасами фюзеляжа, крыльев и хвостового оперения. В СССР это были самолеты А. И. Путилова «Сталь-2», контактной сваркой которых занимался П. Н. Львов. Вклад в развитие контактной сварки узлов самолетов и приварки обшивки из хромоникелевых сталей внесли А. С. Гельман, Е. В. Соколов и другие специалисты ЦНИИТМаш (Москва). Успешному применению пайки алюминиевых сплавов способствовали работы по технологии и созданию припоев, выполненные в предвоенные годы в МАИ, НИИ ГВФ (П. Н. Львов, Н. В. Гевелинг, С. Н. Лоцманов). Повысить «живучесть» самолетов удалось, применив сварные и паяные трубчатые лонжероны, гофрированные обшивки, подмоторные рамы.

С первых дней войны работа Московского механо-машиностроительного института (ныне МГТУ им. Н. Э. Баумана) была направлена на производство вооружения. К. К. Хренов, Г. А. Николаев, С. Т. Назаров и другие сотрудники решили ряд вопросов по изготовлению и ремонту военной техники. С их участием в кратчайшие сроки были разработаны конструкции артиллерийского и стрелкового оружия с широким использованием контактной сварки в технологическом процессе. Так, С. Шпагин разработал штампосварную конструкцию пистолета-пулемета, что значительно упростило производство этого автоматического оружия. Сварщики Ленинграда переключились на выпуск военной продукции и сделали все возможное для обороны города. Н. О. Окерблом, В. П. Вологдин, А. А. Алексеев, Д. Н. Сагалович, Ф. Ф. Бенуа и другие организовали ремонт танков и другой военной техники, разработали новые технологии изготовления понтонов и других плавсредств. Так, в ноябре 1941 г. на судостроительном Балтийском заводе за несколько суток изготовили конструкции для переправы через Неву. Продолжалась постройка эсминцев, сторожевиков, тральщиков. Ручную дуговую (в том числе и подводную) и газовую сварку применяли для строительства вспомогательных судов, понтонов, катеров, ремонта кораблей. Только за второе полугодие 1941 г. были достроены 84 корабля. В период блокады в

Ленинграде и Кронштадте с применением сварки было отремонтировано около 850 кораблей, за 4 месяца был поднят и отремонтирован крейсер «Петропавловск», затонувший после артобстрела. Для связи с Большой землей в навигацию 1942 г. неслыханными до того темпами было сварено 14 барж грузоподъемностью по 900 т. Весной 1942 г. Сварочно-монтажный трест Наркомстроя (А. С. Фалькевич) построил через Ладожское озеро сварной подводный бензопровод высокого давления протяженностью 30 км, в том числе 21,5 км под водой на глубине от 1 до 12,5 м. Соединяли несертифицированные трубы ручной электродуговой и газовой сваркой. Во время войны были построены и другие трубопроводы (крупнейший из них Астрахань–Сталинград). Цельносварными начали изготавливать нефтерезервуары большой емкости, цистерны.

В освобождаемых районах и районах боевых действий необходимо было срочно восстанавливать железные дороги. Сотрудники ЦНИИТМаш и Народного комиссариата путей сообщения предложили новые технологические процессы дуговой и контактной сварки рельсовых стыков. Была спроектирована и изготовлена на заводе «Ревтруд» установка для контактной сварки рельсов с подвижной платформы. Первым в СССР рельсосварочным поездом за год было выполнено более 30 тыс. стыков. В 1943 г. работало уже 10 таких поездов. Для сварки проводов в полевых условиях в ЦНИИЖелдортранс был разработан магниевый термит (М. И. Вахнин и др.).

В годы войны возникла серьезная потребность в подводной сварке и резке металлов. Еще ранее К. К. Хренов в лабораторных условиях доказал возможность применения дуговой сварки и резки плавящимся электродом под водой. В специальной лаборатории, организованной в марте 1942 г. при Московском электромеханическом институте инженеров железнодорожного транспорта, началось обучение водолазов-сварщиков. Были сформированы специальные поезда, персонал которых освобождал фарватеры рек от взорванных мостов, участвовал в восстановлении мостов, подъеме затонувших кораблей и их ремонте. Было создано несколько станций подводного судоремонта. По примеру Советского Союза сварку и резку под водой начали применять и другие воюющие страны.

В 1941 г. электросварочное оборудование начал выпускать завод в пос. Новая Утка (Свердловская обл.), куда была эвакуирована из Ленинграда часть рабочих и инженерно-

технических работников завода «Электрик». За годы войны здесь было изготовлено 6 тыс. передвижных сварочных агрегатов, 15 тыс. сварочных трансформаторов, около 500 головок АГЭ-5-2 для дуговой сварки.

Дефицит металла, в том числе стального проката, вынуждал изготавливать металлоконструкции из некондиционных по составу сталей. Универсальными, обеспечивающими высокое качество шва, оказались электроды серии УОНИ-13, разработанные К. В. Петранем. Новые электродные покрытия из недефицитных материалов разработали в МВТУ им. Н. Э. Баумана (К. К. Хренов и др.). В ЦНИИТМаш в состав обмазки электродов ОММ-5 была введена древесина и гранит, созданы электроды ЦС-1 и ЦС-2 для наплавки твердых сплавов Сормайт, электроды для сварки углеродистых сталей (А. А. Алов, В. И. Ярхо, Г. И. Глушков и др.).

В годы войны возросла потребность в газовой сварке и резке. Газовая резка явилась основной технологией при демонтаже разрушенных металлоконструкций и заготовке деталей на заводах, газовую сварку и пайку широко применяли при ремонте в полевых условиях. Для выпуска резаков и горелок были построены заводы в Барнауле и Свердловске; на Уралмаше изготавливали машины для резки, установки для пиролизного газа. В 1944 г. был создан Всесоюзный НИИ автогенной промышленности (ВНИИавтогенмаш, директор А. Н. Шашков), где развернулись исследования по разработке технологий и совершенствованию оборудования для газоплазменной обработки.

В 1941–1945 гг. стали создаваться полевые подвижные ремонтные базы, в комплект оборудования которых входили установки для дуговой сварки и резки.

В трудных условиях военного времени ученые страны продолжали исследования, большинство из которых были направлены на решение проблем, возникающих при производстве вооружения и восстановления ме-

таллоконструкций. В годы войны сотрудниками ИЭС было написано и издано более десятка печатных работ. Среди них — третье издание фундаментальной монографии Е. О. Патона «Скоростная автоматическая сварка под слоем флюса», «Автоматическая сварка в судостроении» и «Руководство по сварке бронеконструкций». В январе 1943 г. по инициативе директора института в Нижнем Тагиле была проведена научная конференция по сварке под флюсом. Г. А. Николаев издал монографию «Применение сварки в артиллерийских системах и стрелковом оружии». В 1941 г. была создана секция по научной разработке проблем электросварки и электротермии Академии наук СССР. Под руководством В. П. Никитина был разработан способ автоматической сварки с разделением процессов тепловой подготовки основного и присадочного металла, Н. Н. Рыкалин провел исследования в области расплавления электродов и проплавления основного металла. А. А. Алов работал над изучением шлаковых включений и пор в металле шва. Успешные исследования точечной контактной электросварки элементов больших толщин проводил А. С. Гельман. Над раскрытием механизма возникновения напряжений и деформаций в процессе сварки работали В. П. Вологдин и Н. О. Окерблом. Проблемы сварки спецсталей, контроля качества сварки решали Г. А. Николаев, К. К. Хренов. В ЦНИИТМаш К. В. Любавский и Ф. И. Пашуканис разработали ряд флюсов (в том числе из недефицитных материалов) для автоматической сварки углеродистых и легированных сталей. Там же продолжалось совершенствование сварочного оборудования (И. Л. Бринберг).

Усилиями многих ученых, изобретателей, рабочих сварка стала ведущей технологией в строительстве предприятий, производстве и ремонте вооружений и внесла заметный вклад в Великую Победу.

А. Н. Корниенко, д-р ист. наук



К ВОЗМОЖНОМУ МЕХАНИЗМУ ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕЩИН В СТАБИЛЬНО АУСТЕНИТНЫХ ШВАХ ВСЛЕДСТВИЕ СЕГРЕГАЦИИ КИСЛОРОДА

Академик НАН Украины **К. А. ЮЩЕНКО**, **В. С. САВЧЕНКО**, д-р техн. наук,
Н. О. ЧЕРВЯКОВ, **А. В. ЗВЯГИНЦЕВА**, кандидаты техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Выполнен обзор существующих представлений на природу образования трещин в многослойных швах, либо в зоне термического влияния сталей и сплавов с однофазной структурой, классифицируемых как трещины провала пластичности. Отмечено, что механизм образования этих трещин является дискуссионным. Предложена гипотеза о возможном влиянии кислорода на процессы межзеренного разрушения. Последний снижает в установленном температурном интервале когезионную прочность границ зерен и способствует межзеренному разрушению.

Ключевые слова: дуговая сварка, высоколегированные стали, никелевые сплавы, сварные соединения, границы зерен, трещины провала пластичности, когезионная энергия, Оже-спектроскопия

Известна высокая чувствительность к образованию горячих трещин в сварных соединениях высоколегированных сталей со стабильно аустенитной структурой и никелевых суперсплавов при сварке плавлением. Горячие трещины по своей природе разделяются на два типа: кристаллизационные и подваликовые трещины (трещины провала пластичности), возникающие в процессе термосилового нагружения зон металла многопроходных швов (рис. 1). Температурный интервал образования кристаллизационных трещин BTR (Brittle Temperature Range) зависит от интервала твердожидкого состояния металла при кристаллизации шва. Нижняя граница этого интервала определяется значением температуры солидуса при окончании кристаллизации T_s . Температурный интервал провала пластичности DDC (Ductility Dip Cracks) определяется примерным соотношением $(0,6...0,8T_s)$ (рис. 1). В этом интервале трещины зарождаются и распространяются по границам большеугловых аустенитных зерен (рис. 2).

Ряд исследователей связывают механизм образования DDC с охрупчиванием границ зерен в результате образования цепочки выделений карбидов $Me_{23}C_6$ [2–4]. Исследования проводили на никелевом сплаве Inconel 52. В предложенном механизме карбиды металлов (типа $Me_{23}C_6$), выделившиеся по границам зерен (рис. 3), являются концентраторами, в которых реализуется микродеформация, способствуя тем самым зарождению несплошностей и, как следствие, зернограницному разрушению. При таком механизме образова-

ния трещин можно предположить, что на поверхности межзеренного разрушения должен быть реализован, благодаря карбидам, ямочный (чашечный) характер излома, при котором в большинстве ямок будет находиться частица карбида. Такой механизм характерен для вязкого внутри-

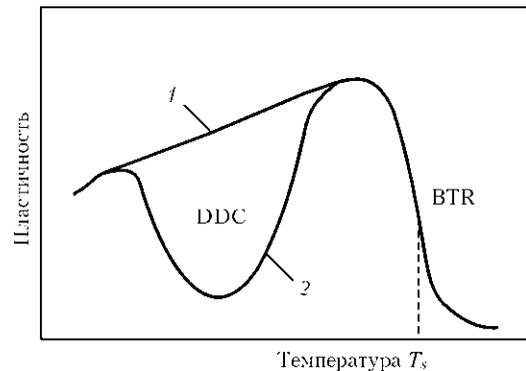


Рис. 1. Схема образования горячих трещин в сварных соединениях высоколегированных сталей и сплавов [1]: 1 — материал без провала пластичности; 2 — с провалом пластичности

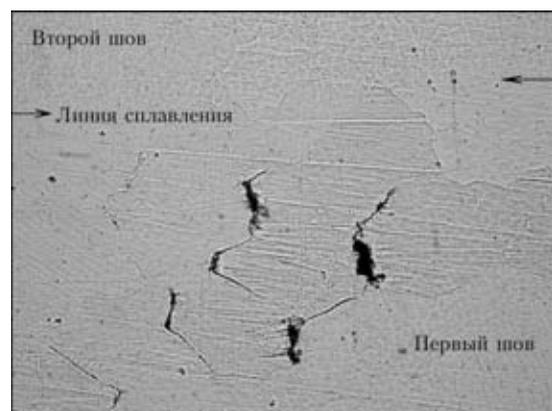


Рис. 2. Микроструктура (X200) металла валиков, выполненных проволокой In52 с DDC в многопроходных швах



Химический состав высоколегированной стали SUS 310 [7] по сравнению со сверхчистой сталью SUS 310ЕНР, мас. %

Марка стали (тип AISI 310)	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	O	N	Ti	Fe
SUS 310ЕНР	0,0002	0,0025	0,0001	0,0011	0,0008	21,58	21,13	0,0029	0,0022	0,18	Основа
SUS 310	0,12	1,00	1,48	0,020	0,011	20,59	25,12	—	—	—	»

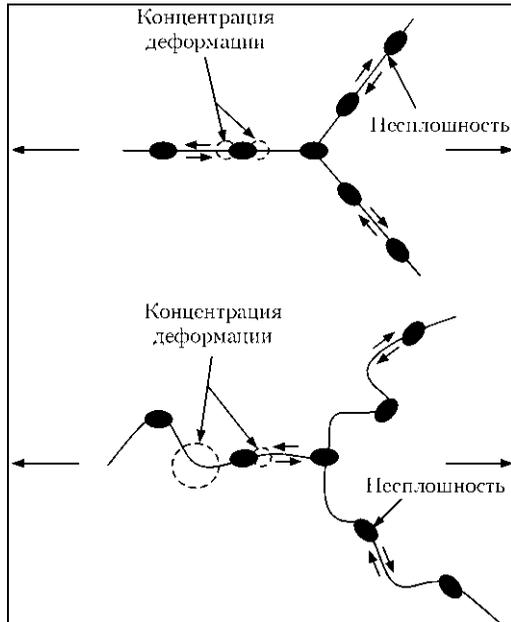


Рис. 3. Влияние межзеренных выделений при образовании трещин провала пластичности для прямых и извилистых границ зерен [4]

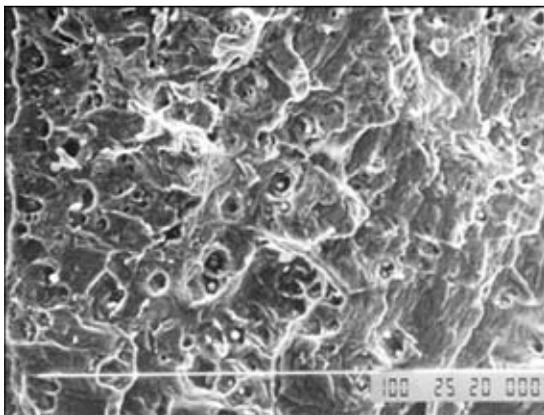


Рис. 4. Фрактограмма поверхности разрушения стабильно аустенитного металла шва с ямочным характером излома

зеренного разрушения высоколегированной стали с аустенитной структурой при комнатной температуре (рис. 4).

Вместе с тем исследования поверхности разрушения в зонах образования трещин провала пластичности [5] не подтверждают реализацию предложенного механизма. Авторы работы [5] отмечают формирование волнистой поверхности разрушения по плоскости зерен, которая иногда декорирована карбидами. В местах расположения карбидов отсутствуют локальные пластические деформации, формирующие характерные зоны с

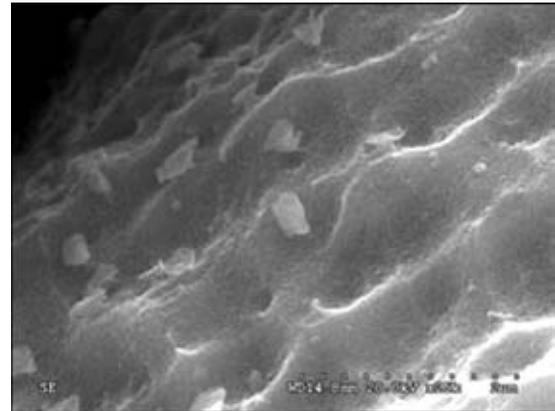


Рис. 5. Фрактограмма поверхности трещины провала пластичности с характерным строением, определенным как волнистое, декорированное выделениями карбидов [5]

ямочным механизмом разрушения (рис. 5). Анализ большинства результатов фрактографических исследований поверхности излома показывает [5], что карбиды не могли участвовать в формировании плоскости трещин в диапазоне провала пластичности. Следовательно, возможен механизм разрушения, отличный от предложенной авторами гипотезы, описанной в работе [2–4]. Еще одним подтверждением неправоты карбидной теории являются результаты оценки чувствительности к образованию трещин провала пластичности с использованием высоколегированной стали типа AISI 310 (таблица) с различной степенью чистоты по примесям [6].

Анализ опубликованных результатов в работе [6] показывает, что сверхчистая по примесям сталь SUS 310ЕНР стала нечувствительной к кристаллизационным трещинам (рис. 6). Тем не менее авторами отмечается наличие в металле швов трещин провала пластичности (DDC-зоны), несмотря на сверхнизкое содержание примесей в том числе углерода, что практически исключает образование карбидов по границам зерен. Таким образом, можно утверждать, что при сварке плавлением неплавящимся электродом в среде защитных газов образование DDC не контролируется выделением карбидов по большеугловым границам аустенитных зерен.

Анализ химического состава сверхчистой стали SUS 310ЕНР (см. таблицу) показывает, что наряду с такими примесными элементами, как углерод, кремний, марганец, фосфор, сера, в сверхчистом металле присутствует кислород, причем его количество на порядок больше, чем углерода.

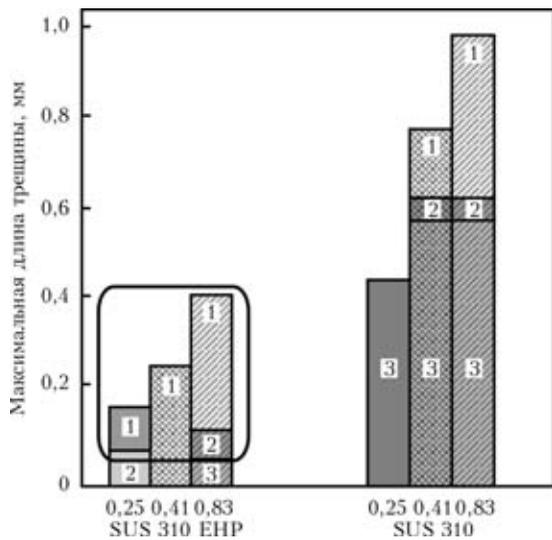


Рис. 6. Максимальная длина трещин провала пластичности (1), переходной зоны (2) и кристаллизационных трещин (3) в нержавеющей сталях типа 310 при деформациях 0,25; 0,41 и 0,83 % [6]

Рассмотрим возможное влияние кислорода на процессы образования DDC. Ранее было показано, что вероятным механизмом образования DDC является обогащение границ зерен примесными элементами, которые сегрегируют на границы в температурном интервале около $(0,6...0,8)T_s$ благодаря процессам диффузии, ускоряемым пластическими деформациями при сварке [7].

Исходя из этих утверждений, кислород может влиять на процессы межзеренного охрупчивания только в том случае, когда этот весьма активный элемент может существовать в металле в растворенном состоянии и иметь сравнительно высокий коэффициент диффузии в ГЦК-решетке. Такие данные можно получить с привлечением метода электродвижущих сил металлов в твердых электролитах с кислородной проводимостью. Его используют при определении параметров диффузии кислорода в твердом растворе металлических материалов, в том числе с ГЦК-решеткой [8, 9]. В качестве ионного проводника используется твердый электролит, состоящий из диоксида циркония (85 %) с добавками Y_2O_3 (15 %).

Представленный электрохимический метод позволяет использовать ZrO_2 как практически чистый ионный проводник для изучения диффузии кислорода в твердых металлах при высоких температурах. При этом диффузионный поток кислорода превращается в электрический ток, значение которого можно измерить.

Качественные исследования, выполненные авторами с использованием твердого электролита, на высоколегированной стали ЭИ417 (X23N18) (ГОСТ 5632–72) показали наличие тока в электролитической цепи, что указывает на диффузию кислорода в кристаллической решетке.

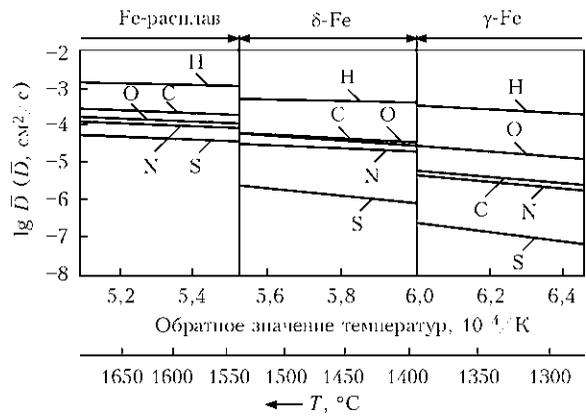


Рис. 7. Температурная зависимость среднего значения коэффициента диффузии элементов в железе [11]

Опубликованные данные о количественном соотношении фракций кислорода показывают, что в конструкционной стали, не раскисленной алюминием, общее содержание кислорода составляет 105 и диффузионно подвижного 40 ppm [10]. При раскислении количество общего и диффузионно подвижного кислорода соответственно уменьшается.

Скорость диффузии кислорода в железе с γ -структурой при высоких температурах приведена на рис. 7.

Анализ приведенных данных позволяет составить ряд диффузионной подвижности водорода, кислорода, углерода, азота и серы в зависимости от температуры. Причем коэффициент диффузии кислорода более чем на два порядка выше соответствующего значения для серы.

Таким образом, существуют предпосылки для диффузионного перераспределения кислорода между телом зерна и границей, возможно, ускоряемого дислокационным переносом примесных элементов при прохождении пластических деформаций под действием сварочного термического цикла.

Исходя из этих данных можно предположить, что в суперчистом по сере, углероду и фосфору металле SUS 310EHP элементом, приводящим к образованию DDC [7], является кислород. При этом необходимо учитывать, что источником поступления кислорода в сварочную ванну и шов (на примере сварки ТИГ) является не только кислород, находящийся в свариваемом и присадочном металле, но и всегда существующая вероятность насыщения сварочной ванны кислородом при сварке в аргоне.

Модель межзеренного разрушения при образовании DDC может быть представлена схемой, приведенной на рис. 8. В соответствии с этой схемой прочность межатомных связей определяется действием сил притяжения и отталкивания между элементарными частицами, находящимися в состоянии равновесия и определяющих когезионную энергию сцепления атомов по границам зерен.



Процесс сегрегации некоторых элементов, в том числе кислорода, в поле напряжений в вершине пограничной трещины (рис. 9) приводит к изменению когезионной прочности, способствуя перераспределению сил межатомного взаимодействия и чувствительности к межзеренному охрупчиванию в целом (рис. 10).

Последнее следует как из общих рассуждений о влиянии сегрегаций на прочность сцепления границ раздела, так и оценочных расчетов прочности по формуле из работ [14, 15], выведенной на основе более совершенной модели учета роли сегрегаций:

$$\sigma_m^s = \frac{\sigma_m^0}{1 + 1/2X_B(a_1/a_0 - 1)},$$

где σ_m^0 — прочность сцепления чистой границы раздела; X_B — концентрация сегрегирующего элемента на границе; a_1, a_0 — атомные размеры сегрегирующих атомов и атомов матрицы соответственно.

Рассмотрим возможное влияние углерода и кислорода на процессы изменения когезионной прочности границ, исходя из размеров атомных радиусов железа и никеля как основы большинства высоколегированных сталей и сплавов со стабильно аустенитной структурой (значения атомных радиусов некоторых элементов, нм [16] соответственно: 0,1411 Fe; 0,1377 Ni; 0,1606 O; 0,1281 C) для кислорода ($a_1/a_0 - 1 > 0 [-\sigma]$), для углерода ($a_1/a_0 - 1 < 0 [+ \sigma]$) $2\gamma \rightarrow [-\sigma]$.

Учитывая положительное значение соотношения ($a_1/a_0 - 1$) для кислорода, можно ожидать уменьшение этим элементом значения когезионной прочности границ в материалах на основе железа и никеля и сопротивления образованию трещин DDC в целом.

Аналогичные расчеты показывают, что в противоположность кислороду углерод дает отрица-

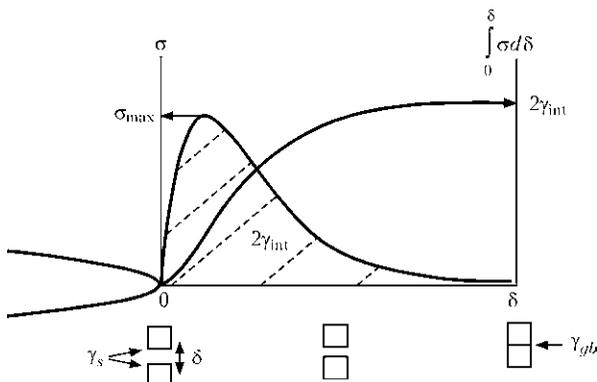


Рис. 8. Модель изменения когезионной прочности σ и когезионной энергии 2γ границ зерен в устье трещины при межзеренном разрушении [12] (γ_s — поверхностная энергия; γ_{gb} — энергия границ зерен; g_{int} — расчетное значение когезионной энергии; δ — раскрытие трещины)

S, C, O, отн. ед.

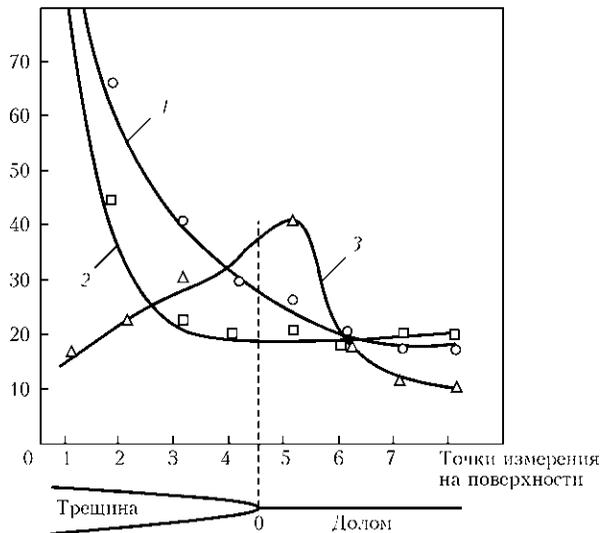


Рис. 9. Характер распределения примесных элементов перед вершиной трещины при высокотемпературном разрушении [13]: 1 — кислород; 2 — углерод; 3 — сера

тельное значение этого соотношения, не уменьшает когезионную прочность границ и не способствует, таким образом, образованию трещин DDC в рассматриваемых классах материалов в соответствии с принятой моделью.

Наряду с параметрами атомов и в соответствии с приведенной формулой, решающее влияние на процессы когезионной прочности оказывает концентрация примесных элементов по границам зерен в результате их сегрегации.

Концентрацию кислорода и углерода на поверхности хрупкого межзеренного разрушения оценивали с использованием Оже-спектроскопии на образцах одноосного растяжения из железоникелевого сплава 34НКД, растянутых в вакууме 10^{-5} мм рт. ст. при температуре провала пластичности 850°C при скорости деформирования $2,85 \cdot 10^{-4}, \text{c}^{-1}$. Выбор указанного материала определялся отсутствием в нем (в противоположность большинству высоколегированных сталей и сплавов со стабильно аустенитной структурой) хрома,

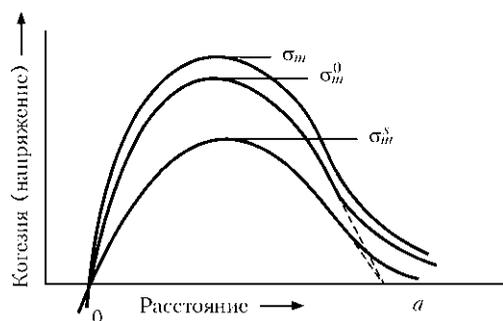


Рис. 10. Изменение когезионного межзеренного напряжения как функции расстояния от вершины трещины [14] (σ_m — когезионная энергия тела зерна; σ_m^0 — когезионная энергия чистой границы; σ_m^s — когезионная энергия границы с примесью; a — расстояние от фронта трещины в поле напряжений)

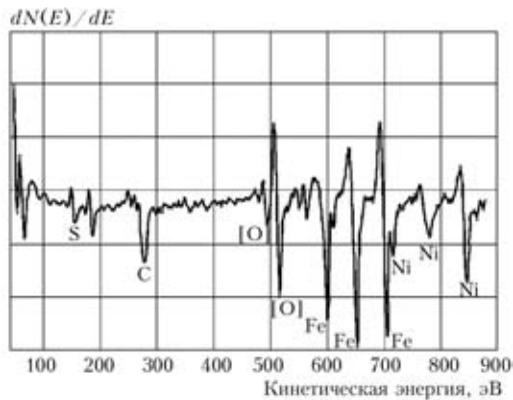


Рис. 11. Энергетический спектр относительного распределения основных легирующих и примесных элементов на поверхности трещины в металле шва сплава типа 34НКД

пик которого в энергетическом спектре Оже-спектроскопа практически совпадает с пиком кислорода и не позволяет разделить содержание этих элементов.

Химический состав сплава 34НКД (по ТУ 14-1-3798–84), используемый для экспериментов, следующий, мас. %: $\leq 0,03$ C; $\leq 0,10$ Mn; $\leq 0,10$ Si; $\leq 0,10$ Ti; $< 0,008$ P; $< 0,01$ S; 34...35 Ni; 1,5...2,0 Co; 9,2...0,4 Cu.

Оценку содержания углерода, кислорода и серы проводили по данным Оже-анализа на приборе LAS-2000 фирмы «Riber» на глубине около 5 нм от поверхности трещины после ее очистки от сорбатов ионным пучком. Энергетический спектр относительного распределения элементов приведен на рис. 11.

Содержание некоторых элементов на поверхности межзеренного разрушения образцов сплава 34НКД, ат. %, следующее: 29,3 C; 34,0 O; 1,2 S.

Анализ результатов показывает, что наблюдается обогащение поверхности границ зерен кислородом, углеродом и серой; исходя из значения соотношения $(a_1/a_0 - 1)$ кислород и сера могут понижать когезионную прочность границ зерен; углерод не способствует понижению когезионной прочности, так как соотношение $(a_1/a_0 - 1)$ имеет отрицательное значение и значение когезионной прочности σ_m не уменьшается (см. формулу); кислород в большей мере по сравнению с серой приводит к потере когезионной прочности, исходя из его повышенного содержания на границе; повышенное по сравнению с серой содержание кислорода можно объяснить высокими параметрами коэффициента диффузии кислорода (см. рис. 7).

Предварительные результаты позволяют высказать гипотезу о возможном механизме образования трещин в основном металле и металле шва сварных соединений высоколегированных сталей в температурном интервале провала пластичности DDC. Вероятно, что образование зародышевых несплошностей микроскопических размеров (рис. 12) способствует не только образованию и

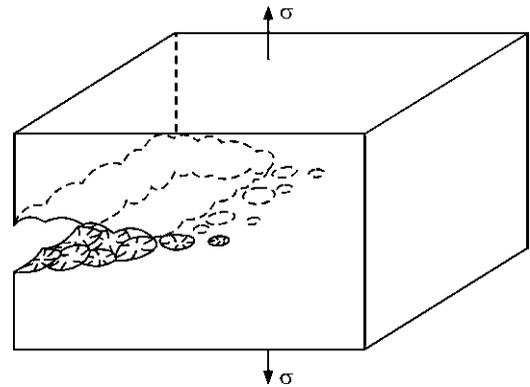


Рис. 12. Модель формирования менисковой неустойчивости материала при образовании волнистого характера поверхности разрушения [15]

локализации микропор по плоскости границы между зернами, но и концентрации в них сверхравновесного, сверхкритического содержания примесного элемента, что приводит к практически микрохрупкому разрушению по границам зерен с минимальным проявлением зон пластической деформации.

Выводы

1. Активно диффундирующие примеси такие, как углерод, кислород, водород, фосфор, растворенные в металле, в условиях градиента напряжений и температур при охлаждении металла, перераспределяются между твердым раствором и различными дефектами структуры дислокационного скопления, двойниками, границами зерен, включениями. При этом активируемый процесс образования и перемещения дислокаций в интервале DDC приводит к сверхравновесному обогащению границ зерен примесями. Эффект снижения прочности тем сильнее, чем выше коэффициент диффузии и концентрация элемента при прочих равных условиях, а также степень локализации растягивающих напряжений и деформаций на границе.

2. Не исключено, что при этом могут образовываться очаги жидкой фазы эвтектического происхождения молекулярных размеров, так как имеется тесная связь между скоростью диффузии примесных элементов, активацией процесса при определенных условиях термомеханического воздействия; количеством и расположением микро- и макротрещин в аустенитном металле по границам зерен; характеристиками излома и концентрацией примесных элементов на разрушенных плоскостях при продвижении трещин; высоким процентным содержанием примесей (углерода, кислорода, водорода, серы, фосфора и др.), фиксированными на поверхности трещины. С большой вероятностью можно констатировать, что разрушение в температурном интервале провала пластичности (DDC) происходит по когезионному механизму и методы борьбы с этими



трещинами целесообразно выбирать исходя из этого механизма.

1. Collins M. G., Lippold J. C. An investigation of ductility dip cracking in nickel-based filler materials. Pt 1 // Welding J. — 2008. — 82, № 10. — P. 288–295.
2. The mechanism of ductility dip cracking in nickel-chromium alloy / G. A. Young, T. E. Capobianco, M. A. Penik et al. // Ibid. — 2008. — 87, № 2. — P. 31–43.
3. Capobianco T. E., Hausou M. E. Auger spectroscopy results from ductility dip cracks opened under ultra-high vacuum // Proc. of the Intern. conf. on trends in welding research, 16–20 May, 2005, Callaway Gardens Resort, Pine Mountain, Georgia, USA. — P. 767–772.
4. Lippold J. C., Nissley N. E. Further investigations of ductility dip cracking in high chromium, Ni-base filler metals // Welding in the World. — 2007. — № 9/10. — P. 24–30.
5. Noecker F. F., DuPont J. N. Metallurgical investigation into ductility dip cracking in Ni-based alloys. — Pt II // Welding J. — 2009. — № 3. — P. 62–77.
6. Hot cracking behaviour of high-purity type 310 stainless steels / K. Nishimoto, K. Saida, K. Kiuchi, I. Nakayama // Material Joining process. — [2008]. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. IX-H-G98–08).
7. Yushchenko K., Savchenko V. Classification and mechanisms of cracking in welding high-alloy steels and nickel alloys in brittle temperature ranges «Hot cracking phenomena in welds II». — Berlin, Heidelberg: Springer-Verl., 2008. — P. 95–114.
8. Young-Wan Pang, Altstetter G. I. The diffusion and solubility of oxygen in solid nickel // Metal. Trans. A. — 1987. — № 7. — P. 43–50.
9. Rickert H., Steuer R. Electrochemische messung der sauerstoffdiffusion in metallen bei hoeherer temperature // Zeitschrift fuer Physikalische Chemie. — 1966. — 49, № 3–5. — S. 127–137.
10. Pietschmann G., Noky D. Anwendung der sauerstoffpotential — mepechnik in der stahlwerk spraxis // Nene Hutte. — 1988. — № 6. — S. 210–214.
11. Bester H., Lange K. W. Abechatzung mittlerer werte fuer die diffusion von kohlenstoff, sauerstoff, wasserstoff, stickstoff und schwefel in festem und fluessigem eisen // Archiv fuer das Eisen huettewesen. — 1972. — № 3. — S. 207–213.
12. Vasatake Yamaguchi. First-principles calculations of the grain-boundary cohesive energy — embrittling or strengthening effect of solute segregation in a bcc FeΣ3(111) grain boundary // Japan Inst. Metals. — 2008. — 72, № 9. — S. 658.
13. Hipsley C. A., Rauh H., Bullough R. Stress-driver solute enrichment of crack-tips during low-ductility intergranular fracture of low-alloy steel // Acta Metallurgica. — 1984. — 32, № 9. — P. 1381–1394.
14. Hondros E. D., Seah M. P. Segregation to interfaces // Intern. Metals Rev. — 1977. — № 12. — P. 288–292.
15. Исследование химического состава диффузионной зоны соединения в твердой фазе из сплава Ti–6%Al–4%V / Д. А. Жебынев, О. Г. Уколова, А. А. Гельман, К. Д. Анурьев. Метод сканирующей Ожэ-электронной спектроскопии // Физ. и химия обработки материалов. — 1985. — № 6. — С. 108–114.
16. King H. W., King H. W. Atomic size parameters for the elements // J. Phase Equilibria. — 1982. — 2, № 4. — P. 527.
17. Porusovanie pasok kovovych skiel pri monotonnom Tahovom zatazovaní / P. Dico, V. Ocelik, V. Hajko et al. // Kovo-ve materialy. — 1987. — 25, № 5. — S. 523–536.

A review has been made of current concepts of the nature of cracking in multilayer welds, or in the HAZ of steels and alloys with single-phase structure, classified as ductility dip cracks (DDC). It is noted that the mechanism of such crack formation is a subject for discussion. A hypothesis of the possible influence of oxygen on the processes of intergranular fracture is set forth. The latter lowers, in the established temperature range, the cohesive strength of grain boundaries and promotes intergranular fracture.

Поступила в редакцию 27.01.2010



Х МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ-ВЫСТАВКА «КОРРОЗИЯ-2010»

8–10 июня 2010

г. Львов ФМИ НАН Украины

Тематика конференции

- ✧ фундаментальные аспекты коррозии и коррозионно-механического разрушения
- ✧ водородная и газовая коррозия
- ✧ новые коррозионно-стойкие материалы
- ✧ газотермические, гальванические и другие покрытия
- ✧ ингибиторная и биоцидная защита
- ✧ электрохимическая защита
- ✧ методы исследований и коррозионный контроль
- ✧ противокоррозионная защита оборудования нефтегазовой промышленности
- ✧ противокоррозионная защита энергетического и химического оборудования
- ✧ коррозия и экономические проблемы
- ✧ проблемы подготовки специалистов-коррозионистов.

Тел./факс: (031) 263-15-77

E-mail: corrosion2010@ipm.lviv.ua; <http://www.corrosion2010.ipm.lviv.ua>



СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ОЦЕНКИ РИСКА РАЗРУШЕНИЯ В ЗОНЕ УТОНЕНИЙ СТЕНКИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Академик НАН Украины **В. И. МАХНЕНКО**, **Е. А. ВЕЛИКОИВАНЕНКО**, канд. физ.-мат. наук,
Г. Ф. РОЗЫНКА, **Н. И. ПИВТОРАК**, инженеры (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Показано, что использование математических моделей, основанных на отказе от таких допущений, как прямые нормали и плоское напряженное состояние, при деформировании зоны утонения стенки трубопроводов и наличии одной локальной критической точки с экстремальными (детерминированными) условиями разрушения позволяет выявить влияние на предельное давление особенностей внутреннего либо внешнего дефекта, а также поведение материала в интервале деформирования от начала пластического течения до разрушения.

Ключевые слова: сварные трубопроводы, утонение стенки, риск разрушения, совершенствование метода оценки, вероятность разрушения, параметры закона Вейбулла, предельное давление, наружный (внутренний) дефект утонения

Многочисленные экспериментальные испытания и обработка аварийных разрушений современных магистральных газопроводов показывают, что разрушение металла в зоне различных утонений стенки в условиях интенсивного двухосного нагружения происходит при относительно невысоких пластических деформациях в этом участке (до 2,5...3,0%). При таких деформациях основным механизмом разрушения является отрыв под действием соответствующих нормальных напряжений в очаге разрушения. Такая концепция разрушения используется и в рекомендациях [1], где для трубопроводов в зоне утонения в качестве критерия предельного состояния используется допустимая минимальная толщина δ_{\min} стенки трубы в зоне утонения с исходными габаритными размерами s_0 вдоль образующей трубы и c_0 вдоль окружности, определяемая в виде

$$\delta_{\min} \leq [\delta] R_j(s_0, c_0, D, [\delta]), \quad (j = s, c), \quad (1)$$

где $[\delta]$ — расчетная допускаемая толщина трубы в данном месте в отсутствие утонения; R_j — величина, зависящая от $[\delta]$, s_0 , c_0 и диаметра трубы D [1] ($0,2 \leq R_j < 1,0$).

Эти рекомендации [1] достаточно хорошо апробированы экспериментально и признаются в качестве приближенного достаточно консервативного подхода оценки допустимости дефектов утонения. При этом за пределами рассмотрения остаются такие факторы, как наружный либо внутренний дефект утонения, геометрия дефекта в пределах габаритных размеров s_0 , c_0 . $(\delta - \delta_{\min}) =$

$= a$, свойства материала в виде сопротивления деформированию на участке выше предела текучести и до разрушения отрывом при критических деформациях порядка 2,5...3,0%, что примерно на порядок выше таковых за пределами утонения, при которых определяется величина $[\delta]$ на стадии проектирования трубопровода.

При практических оценках риска разрушения очень часто возникает вопрос стохастичности целого ряда геометрических данных относительно утонений, а также механических свойств материала в зоне утонения после длительного срока эксплуатации.

Задачей данной работы являлась разработка расчетных алгоритмов, с помощью которых при разумных затратах можно получать ответы на перечисленные вопросы при исследовании поведения под нагрузкой различных локальных утонений на трубопроводах.

При этом необходимо было выбрать модель деформирования стенки трубы, не связывая ее с основными гипотезами тонкостенных оболочек (прямые нормали и плоское напряженное состояние), а также модель разрушения материала при относительно невысоких деформациях, когда стохастичность зарождения разрушения не успевает забыться за счет развитого пластического течения.

Модель деформирования основана на трехмерном математическом описании в цилиндрической системе координат r, z, β деформирования участка стенки трубопровода (рис. 1), вырезанного координатными плоскостями $z = \text{const}$, $\beta = \text{const}$ с внутренним либо наружным дефектом, поверхность которого задана уравнением

$$r = \frac{D}{2} - f(\beta, z). \quad (2)$$



На граничных плоскостях (рис. 1) и поверхности дефекта заданы граничные условия, соответствующие таковым для целой трубы без учета утонения, что вполне приемлемо при достаточно локальных габаритных размерах утонения s_0 и c_0 .

Внутри области V , ограниченной указанными граничными плоскостями и поверхностью дефекта, имеют место классические соотношения между компонентами тензора деформаций ε_{ij} и вектором перемещений U_i в рамках теории малых упругопластических деформаций [2], т. е.

$$\begin{aligned} \varepsilon_{rr} &= \frac{\partial U_r}{\partial r}, \quad \varepsilon_{\beta\beta} = \frac{U_r}{r} + \frac{\partial U_\beta}{r\partial\beta}, \quad \varepsilon_{zz} = \frac{\partial U_z}{\partial z}, \\ 2\varepsilon_{r\beta} &= \frac{1}{r} \frac{\partial U_r}{\partial\beta} + r \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{U_\beta}{r} \right), \quad 2\varepsilon_{z\beta} = \frac{\partial U_\beta}{\partial z} + \frac{\partial U_z}{r\partial\beta}, \\ 2\varepsilon_{rz} &= \frac{\partial U_r}{\partial z} + \frac{\partial U_z}{\partial r}. \end{aligned} \quad (3)$$

Соотношения (3) сохраняются и для компонентов тензора приращений деформаций $\Delta\varepsilon_{ij}$ и вектора приращений перемещений ΔU_i , используемых при пластическом деформировании в рамках теории упругопластического течения.

Компоненты тензора напряжений σ_{ij} внутри области V удовлетворяют уравнениям равновесия, т. е.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial r}(r\sigma_{rr}) + \frac{1}{r} \frac{\partial\sigma_{r\beta}}{\partial\beta} + \frac{\partial\sigma_{rz}}{\partial z} &= \sigma_{\beta\beta}, \\ \frac{\partial}{\partial r}(r\sigma_{r\beta}) + \frac{1}{r} \frac{\partial\sigma_{\beta\beta}}{\partial\beta} + \frac{\partial\sigma_{\beta z}}{\partial z} &= 0, \\ \frac{\partial}{\partial r}(r\sigma_{rz}) + \frac{1}{r} \frac{\partial\sigma_{z\beta}}{\partial\beta} + \frac{\partial\sigma_{zz}}{\partial z} &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Связь между тензором напряжений и приращением перемещений в рамках теории упругопластического течения представляется в виде

$$d\varepsilon_{ij} = d \left[\left(\frac{\sigma_{ij} - \sigma}{2G} \right) + K\sigma \right] + d\lambda(\sigma_{ij} - \sigma), \quad (i, j = r, z, \beta), \quad (5)$$

где $d\lambda$ — скалярная функция координат, которая определяется условием текучести Мизеса с изотропным упрочнением, т. е.

$$\begin{aligned} d\lambda &= 0, \text{ если } f = \sigma_{\text{эКВ}}^2 - \sigma_s^2(\omega) < 0, \\ &\text{либо } f = 0, \text{ но } df < 0, \\ d\lambda &> 0, \text{ если } f = 0 \text{ и } df > 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Состояние $f > 0$ недопустимо.

Здесь $\sigma = 1/3(\sigma_{rr} + \sigma_{\beta\beta} + \sigma_{zz})$; $\sigma_{\text{эКВ}}$ — эквивалентное напряжение для тензора σ_{ij} ; $\sigma_s(\omega)$ — деформирующие напряжения для данного матери-

ала в зависимости от параметра деформационного упрочнения ω ; $\omega = \int d\varepsilon_{\text{эКВ}}^p$ — параметр Одквиста; $d\varepsilon_{\text{эКВ}}^p$ — приращение эквивалентной пластической деформации для тензора ε_{ij}^p

$$d\varepsilon_{ij}^p = d\lambda(\sigma_{ij} - \sigma). \quad (7)$$

Для реализации модели (2)–(4) в работе используется метод последовательного прослеживания нагружения объема V возрастающей внешней нагрузкой (например, внутренним давлением \bar{P}). На каждом шаге прослеживания учет условия текучести (6) проводится итерационным путем [3].

Модель разрушения основана на идее вероятного разрушения отрывом в зоне утонения (объеме V), когда максимальные главные напряжения σ_1 в этом объеме удовлетворяют условию

$$p = 1 - \exp \left[- \int_V \left(\frac{\sigma_1 - A}{B} \right)^\eta \frac{dV}{V_0} \right], \quad \sigma_1 > A. \quad (8)$$

Интегрирование проводится только по элементарным объемам ΔV , для которых $\sigma_1 > A$; A, B, η — параметры трехпараметрического закона распределения Вейбулла; V_0 — структурный параметр данной стали, при хрупком разрушении в вершине трещины $V_0^{\text{хр}} \sim (0,05 \text{ мм})^3$, при вязком $\sim h^3$, где h — характерный размер конечных элементов, обеспечивающих достаточно точное численное решение для σ_1 по модели деформирования в зоне утонения (2)–(7). Иными словами, величину V_0 можно принимать равной ΔV в разбивке объема V (рис. 1) на конечные элементы. Остальные параметры в модели (8) определяются сопоставлением расчета по моделям (2)–(7) с соответствующими экспериментальными данными. Наши исследования показывают, что в качестве

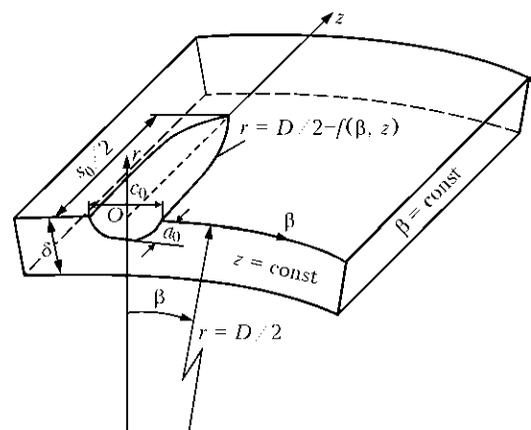


Рис. 1. Схема участка стенки трубопровода (область V), вырезанного координатными плоскостями $z = \text{const}$ и $\beta = \text{const}$ и дефекта утонения с габаритными размерами a, s_0, c_0

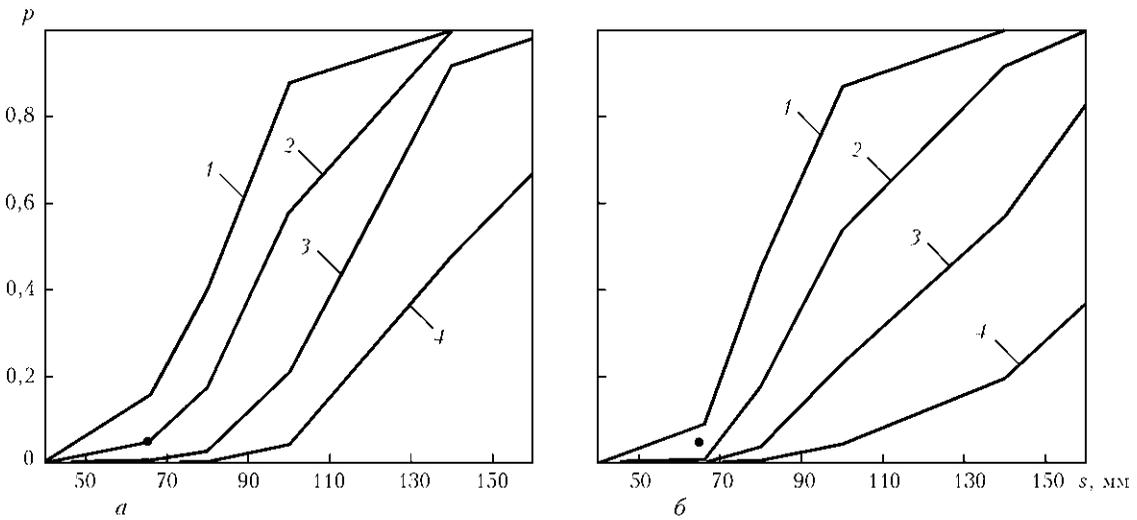


Рис. 2. Вероятность разрушения в зоне дефекта (утонения стенки) $a = 14$ мм, $c = 40$ мм в зависимости от s и \bar{P} для наружного (а) и внутреннего (б) дефекта в трубе 1420×20 мм при $\sigma_T = 440$ МПа, $A = 500$ МПа, $B = 420$ МПа (● — экспериментальные данные): 1 — $\bar{P} = 10$; 2 — 9; 3 — 8; 4 — 7 МПа

первого приближения можно использовать рекомендации работы [1], основанные на многочисленных экспериментах, т. е. выражение (1), полагая, что при этом вероятность разрушения p не превышает 0,05.

Определенные упрощения можно сделать и в модели разрушения (8), учитывая наличие экстремальных плоскостей $\beta = \text{const}$ и $z = \text{const}$, в которых нормальные напряжения $\sigma_{\beta\beta}$ либо σ_{zz} близки к σ_1 и в качестве объема интегрирования в (8) можно принимать слой, соответствующий $\beta = \text{const}$, толщиной $\Delta\beta R$, либо $z = \text{const}$ толщиной Δz . С учетом такого рассмотрения на основе соответствующих экспериментальных данных, например [1], руководствуясь принципом наибольшего правдоподобия (минимизации невязки по вероятности p) при вариации размеров утонения (s_0, δ_{\min}) при заданных геометрических размерах и механических свойствах материала трубопровода

определяются параметры A, B, η . Результаты такого подхода показывают, что достаточно хорошие результаты получаются при $\eta = 4,0$; $A = \frac{\sigma_B + \sigma_T}{2}$ (σ_B, σ_T — соответственно временное сопротивление и предел текучести материала в зоне утонения).

Величина B при указанных выше рекомендациях относительно V_0 легко может быть уточнена на основе модели (8). В итоге, имея для конкретной стали данные относительно A, B, η , размеров утонения различной формы, для различных геометрических параметров трубопровода и внутреннего давления \bar{P} на основе моделей (2)–(8) можно рассчитывать вероятность разрушения.

На рис. 2, 3 приведены результаты для трубопровода $D \times \delta = 1420 \times 20$ мм из стали 17Г1С при наличии поверхностного дефекта утонения

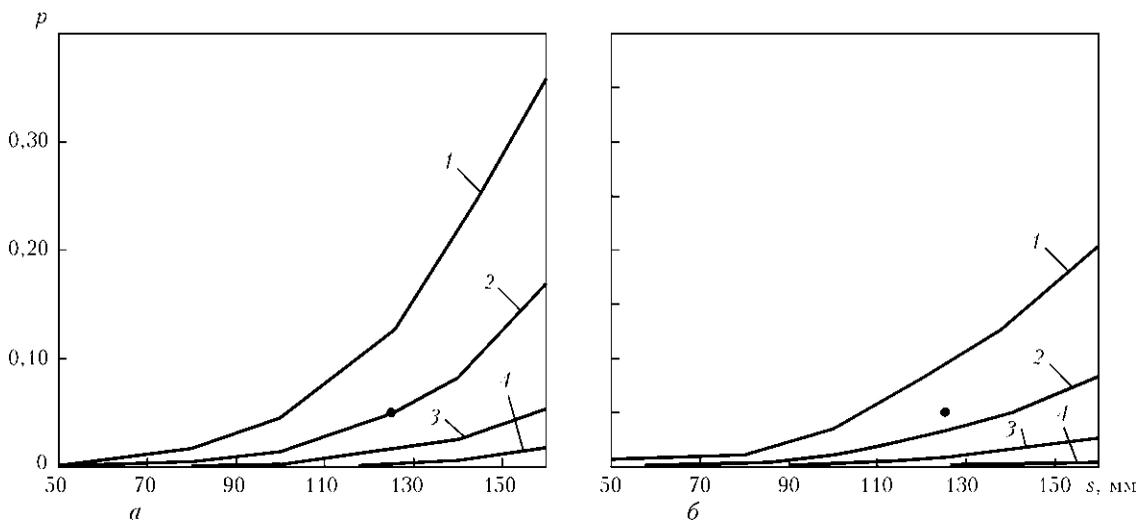


Рис. 3. Вероятность разрушения в зоне дефекта (утонения стенки) $a = 10$ мм, $B = 830$ МПа в зависимости от величин s и \bar{P} для наружного (а) и внутреннего (б) его расположения (остальные обозначения те же, что и на рис. 2)

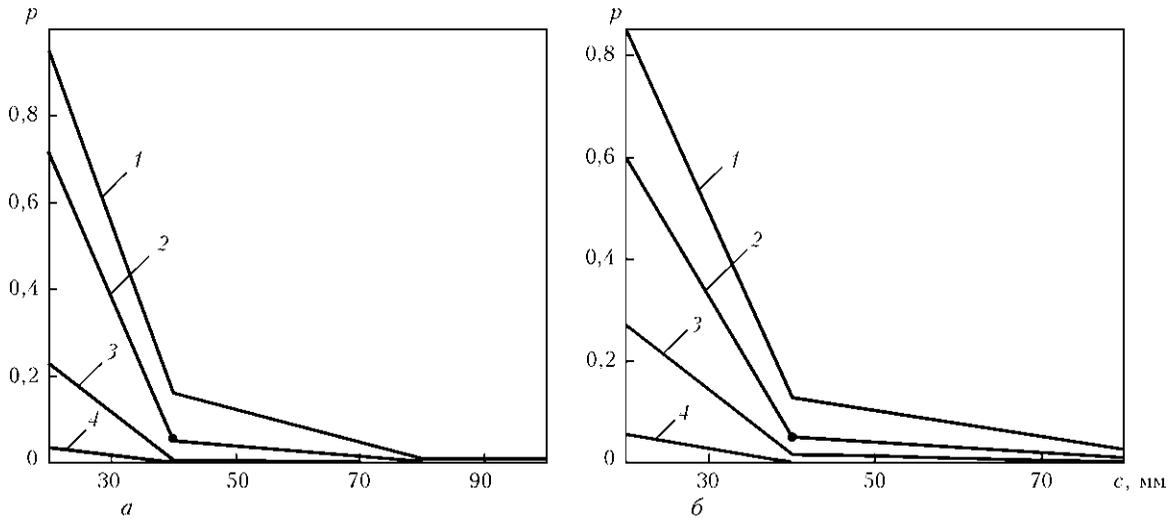


Рис. 4. Влияние ширины дефекта c на вероятность разрушения p в трубе 1420×20 мм, $\sigma_T = 440$ МПа для различных \bar{P} и постоянных $s = 66$ мм при глубине дефекта: a — $a = 14$ мм, $B = 420$ МПа; b — $a = 10$ мм, $B = 830$ МПа; 1 — $\bar{P} = 10$; 2 — 9; 3 — 8; 4 — 7 МПа

стенки, форма поверхности которого описывается в зависимости от координат z, r, β следующим уравнением второго порядка:

$$\left(\frac{R_q - r}{a}\right)^2 + \left(\frac{2z}{s_0}\right)^2 + \left(\frac{D\beta}{c_0}\right)^2 = 1, \quad (9)$$

где $R_q = D/2$ для наружного и $R_q = (D - 2\delta)/2$ для внутреннего дефекта; a, s_0, c_0 — габаритные размеры дефекта, имеющего плоскости симметрии $z = 0$ и $\beta = 0$.

Из данных на рис. 2, 3 обращает внимание различная несущая способность наружного и внутреннего дефекта утонения противостоять внутреннему давлению, а также существенное влияние глубины дефекта (величины a).

Как видно из рис. 2, 3, наружный дефект отличается более низкой сопротивляемостью внутреннему давлению, чем внутренний. Однако это различие велико в зоне высоких вероятностей разрушения ($p > 0,1$), что для практики не очень интересно. Поэтому отсутствие дифференциации в работе [1] дефектов утонения на внутренний либо наружный, опираясь на данные для наружного дефекта утонения в стенках трубопроводов, является достаточно оправданным. Тем не менее об этом факте следует помнить.

Данные на рис. 3 для более мелких дефектов ($a = 10$ мм) по сравнению с данными на рис. 2 для глубоких дефектов ($a = 14$ мм) характеризуются меньшей стесненностью деформирования, более низкими напряжениями и соответственно меньшими вероятностями отказа, что определяется не только более низкими напряжениями, но

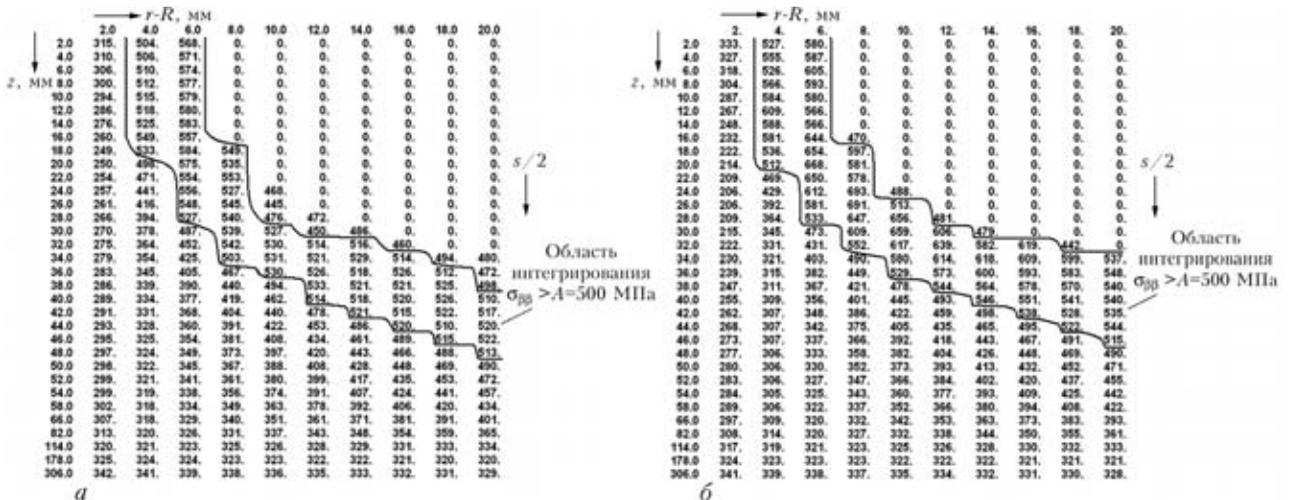


Рис. 5. Распределение окружных напряжений $\sigma_{\beta\beta}$ в плоскости симметрии $\beta = \beta_{кр}$ при $\bar{P}_{пред} = 10$ МПа, $\sigma_T = 440$ МПа, $a = 14$ мм, $s = 66$ мм, $c = 40$ (а) и 20 мм (б)



и величиной B при постоянных $A = 500$ МПа и $\eta = 4,0$. Так, на основе указанного выше выбора, опирающегося на данные рекомендации [1], для $a = 14$ мм на рис. 2 $B = 420$ МПа, а для $a = 10$ мм $B = 830$ МПа.

Определенный интерес представляют данные, приведенные на рис. 4, 5, иллюстрирующие влияние размера c для глубокого утонения $a = 14$ мм при постоянной величине $s = 66$ мм на вероятность разрушения по используемой модели. Эти данные относительно малого влияния величины c дефекта утонения при достаточно больших s и c на сопротивляемость разрушению хорошо согласуются с опытными данными работы [1] и других исследователей. Новым по сравнению с этим положением являются данные типа приведенных на рис. 4 при $c < 20$ мм (сопоставимых с толщиной стенки трубы). В этом случае канавочный дефект утонения приближается к трещине и соответственно возрастает концентрация напряжений, что отражается на значении вероятности отказа.

При оценке несущей способности дефектов утонения важно как распределяется нагрузка в металле при пластическом деформировании, приводящем к снижению концентрации напряжений.

На рис. 6, а приведены данные относительно влияния отношения σ_B/σ_T при постоянном значении $1/2(\sigma_B + \sigma_T) = A = 500$ МПа на предельное

давление $\bar{P}_{пред}$ в рассматриваемой трубе $D \times \delta = 1420 \times 20$ мм при вероятности разрушения $p = 0,05$ и наличии дефекта утонения глубиной $a = 10$ мм, вытянутого вдоль оси $s = 140$ мм и вдоль окружности $c = 40$ мм.

В зависимости от параметра упрочнения Одквиста ω (6) использовали степенной закон упрочнения материала при деформировании

$$\sigma_s^{(\omega)} = \sigma_T \left(1 + \frac{\omega}{\epsilon_0} \right)^m, \text{ где } \epsilon_0 = \frac{\sigma_T}{E}, m = 0,14.$$

Отношение σ_B/σ_T менялось в пределах, когда $\sigma_T = 350 \dots 440$ МПа при $A = 500$ МПа. Для трубных сталей такой широкий диапазон изменения σ_B/σ_T является малореальным, однако позволяет более рельефно демонстрировать условия деформирования материала за пределами упругости на предельное состояние в зоне дефекта утонения.

Видно, что с увеличением отношения σ_B/σ_T при постоянных $A = 1/2(\sigma_B + \sigma_T)$ предельное давление $\bar{P}_{пред}$ возрастает. Этот эффект объясняется характером перераспределения нагрузки в зоне дефекта в зависимости от уровня предела текучести материала σ_T . Чем ниже значение σ_T , тем более равномерно распределяется нормальные напряже-

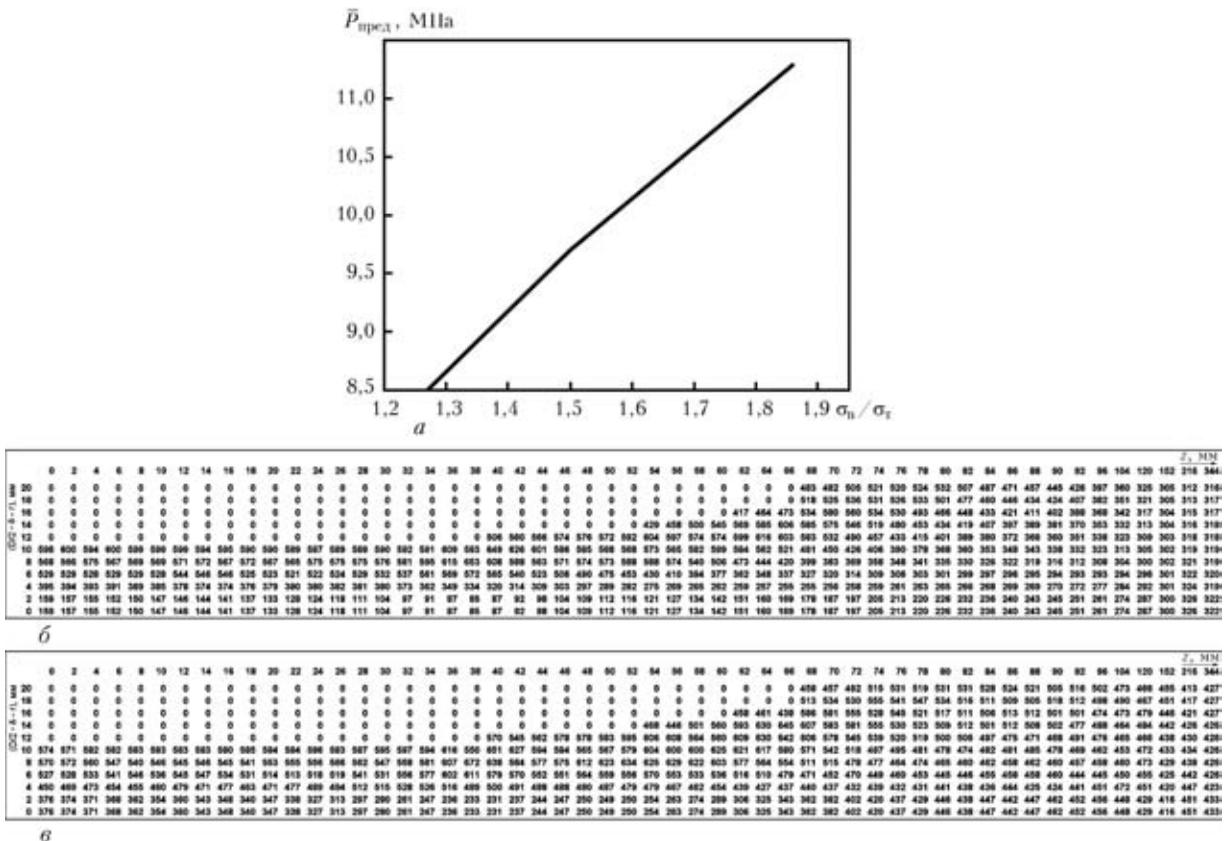


Рис. 6. Влияние отношения σ_B/σ_T на значение предельного давления $\bar{P}_{пред}$ для трубы 1420×20 мм при наружном дефекте утонения $a \times s \times c = 10 \times 140 \times 40$ мм, $B = 830$ МПа и $A = 500$ МПа (а) и распределение напряжений σ_{β} в сечении $\beta = 0$ в зоне дефекта $10 \times 140 \times 40$ мм, $P_{пред} = 8,5$ МПа, $\sigma_T = 440$ МПа (б); $P_{пред} = 11,5$ МПа, $\sigma_T = 350$ МПа (в)



ния в зоне дефекта при нагрузке, что в итоге приводит к снижению вероятности p . На рис. 6, б, в приведены расчетные данные, подтверждающие отмеченное выше.

Выводы

1. При расчетной оценке риска разрушения в зоне дефектов утонения современных магистральных газо- и нефтепроводов заслуживает внимания использование более общих подходов в описании как деформирования, так и разрушения, основанных на отказе от таких допущений, как прямые нормали и плоское напряженное состояние при деформировании зоны утонения и наличии одной локальной критической точки с экстремальными

(детерминированными) условиями разрушения [1].

2. Предложенный метод расчета, свободный от указанных выше допущений, позволил выявить влияние, обусловленное особенностями внутреннего либо внешнего дефекта утонения, а также с поведением материала в интервале деформирования от начала пластического течения до разрушения.

1. *Fitness-for-service*. American Petroleum Institute. Recommended Practice. — 2000. — 625 p.
2. *Прочность, устойчивость, колебания*: Справочник в 3 т. — Т. 1. / Под общ. ред. И. А. Биргера, Я.Г. Пановко. — М.: Машиностроение, 1968. — 831 с.
3. *Махненко В. И.* Расчетные методы исследования кинетики сварочных напряжений и деформаций. — Киев: Наук. думка, 1976. — 318 с.

It is shown that application of mathematical models based on elimination of such assumptions as direct normals and plane stressed state at deformation of the thinning zone and presence of one local critical point with extreme (determinate) fracture conditions, allows revealing the influence of the features of inner or outer defect on limit pressure, as well as material behaviour in the deformation range from the start of plastic flow to fracture.

Поступила в редакцию 05.10.2009

Вышел в свет очередной выпуск журнала **Weld+vision № 23** (ноябрь 2009 г.) на русском языке (издатель — «Фрониус Украина»)

Содержание

От редактора

Множество контактов формируют нашу повседневную жизнь — от биологии до технологии

Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы

Компетентность в проектировании TransSteel

Предлагаем СМТ с улучшенными характеристиками

Автономная сварка — революция в техническом обслуживании

Экономный способ обучения сварке

Кратко и по существу

Новости от «Fronius»

Практические примеры

СМТ исключает 24-часовое ожидание

Сварочные системы фирмы «Fronius» на швейцарской

фирме-производителе грузовых вагонов

О фирме

Случайные контакты помогают войти в мир новых технологий

Информация для путешественников

Милтон Кейнс — образец пригорода Лондона



Бесплатную подписку можно оформить
в редакции журнала «Автоматическая сварка»



ВЛИЯНИЕ ТЕРМОДЕФОРМАЦИОННОГО ЦИКЛА НАПЛАВКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ ПРИ ИХ ВОССТАНОВЛЕНИИ

А. А. ГАЙВОРОНСКИЙ, канд. техн. наук, В. Д. ПОЗНЯКОВ, д-р техн. наук,
В. А. САРЖЕВСКИЙ, В. Г. ВАСИЛЬЕВ, В. Ю. ОРЛОВСКИЙ, кандидаты техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Проведена оценка влияния температуры предварительного подогрева на замедленное разрушение металла ЗТВ. Установлено, что для обеспечения высокой сопротивляемости замедленному разрушению, исключающей образование холодных трещин в металле ЗТВ соединений, скорость охлаждения $w_{6/5}$ не должна превышать 5 °С/с. При этом необходимо применение предварительного подогрева с температурой выше 200 °С.

Ключевые слова: дуговая наплавка, цельнокатанные вагонные колеса, износ, зона термического влияния, структура, механические свойства

Цельнокатанные колеса для железнодорожного транспорта изготавливают из углеродистых сталей, которые для получения необходимой прочности и износостойкости подвергают специальной термической обработке. Сравнительный химический состав и механические свойства колесных сталей приведены в табл. 1 и 2. Содержание углерода в сталях составляет 0,44...0,67 мас. %, а уровень прочности превышает 900 МПа. В процессе эксплуатации колеса изнашиваются по профилю катания. В силу особенностей работы пары трения-качения колесо-рельс износу подвержена преимущественно рабочая поверхность гребня колеса. На предприятиях железнодорожного транспорта при восстановлении профиля катания колес применяют технологии наплавки гребней, что является экономически выгодным. Восстановление износа гребня наплавкой позволяет уменьшить отходы

металла обода при его механической обточке по профилю катания, а также повысить износостойкость колеса за счет наплавки металла с наперед заданными свойствами.

Для восстановления цельнокатанных колес грузового транспорта, изготовленных из стали типа 2, применяют технологии с использованием одно- и двухдуговых способов наплавки под слоем флюса проволоками сплошного сечения [1, 2]. Данные технологии основываются на результатах исследований свариваемости углеродистых высокопрочных сталей [2–4]. Для восстановления гребней цельнокатанных колес разработаны технологические рекомендации по наплавке, а также специальное наплавочное и вспомогательное оборудование. Электродуговую наплавку гребней колес под слоем флюса выполняют на режимах, обеспечивающих погонную энергию на уровне 10...14 кДж/см. Технология предусматривает обязательное применение предварительного подогрева ободьев колес до температуры 150...200 °С (в зависимости от ис-

Таблица 1. Химический состав колесных сталей, мас. %

Тип колесной стали	C	Mn	Si	V	S, не более	P, не более	$C_{\text{экв}}$, мас. %
1 (ГОСТ 10791–89)	0,44...0,52	0,80...1,20	0,40...0,60	0,08...0,15	0,030	0,035	0,68
2 (ГОСТ 10791–89)	0,55...0,65	0,50...0,90	0,22...0,45	≤ 0,10	0,030	0,035	0,73
T (ТУ У 35.2-23365425-600:2006)	0,58...0,67	0,70...0,90	≤ 0,4	0,08...0,15	0,020	0,025	0,79

Таблица 2. Механические свойства колесных сталей

Тип колесной стали	HВ	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	δ_5 , %, не менее	ψ , %, не менее	KCU_{+20} , Дж/см ²
1 (ГОСТ 10791–89)	≥ 248	900...1100	12	21	30
2 (ГОСТ 10791–89)	≥ 255	930...1130	8	14	20
T (ТУ У 35.2-23365425-600:2006)	≥ 320	≥ 1100	8	14	18



пользуемого способа наплавки) и послесварочного замедленного охлаждения колес в термокамерах при скорости не более 50 °С/ч. При выполнении комплекса требований, предъявляемых к технологии наплавки, в частности, к технологическому оборудованию, сварочным материалам, технике и режимам наплавки, соблюдению термического цикла в процессе восстановления, гарантируется высокое качество наплавленного металла и надежность качес при эксплуатации.

До 2006 г. подвижной состав железнодорожного грузового транспорта в Украине и странах СНГ комплектовали цельнокатанными колесами, изготовленными из стали типа 2 с содержанием углерода ближе к нижнему пределу ($C \leq 0,60$ мас. %). С 2006 г. для уменьшения износа и повышения эксплуатационных характеристик цельнокатанные вагонные колеса начали изготавливать из новой колесной стали типа Т, временное сопротивление которой составляет $\sigma_B \geq 1100$ МПа, а твердость более $HB\ 320$. В отличие от колесной стали типа 2 новая сталь имеет более высокое содержание углерода (до 0,67 мас. %) и ванадия (до 0,15 мас. %). Углеродный эквивалент $C_{э\text{кв}}$ колесной стали типа Т составляет 0,79 мас. %. Следовательно, сварные соединения указанной колесной стали по сравнению с колесной сталью типа 2 ($C_{э\text{кв}} \geq 0,73$ мас. %) имеют более высокую склонность к образованию холодных трещин [5].

Отсюда можно предположить, что технологии наплавки, которые успешно применяют при восстановлении гребней колес из стали типа 2, не могут использовать для ремонта колес повышенной прочности. В связи с этим возникла необходимость в разработке новой технологии восстановления наплавкой гребней железнодорожных колес из колесной стали типа Т, для этого потребовалось исследовать ее свариваемость.

В настоящей работе приводятся результаты экспериментальных исследований по оценке влияния термодиформационного цикла сварки (ТДЦ) на структуру, механические свойства и сопротивляемость замедленному разрушению металла зоны термического влияния (ЗТВ) соединений новой колесной стали. При проведении данных исследований использовали колесную сталь типа Т

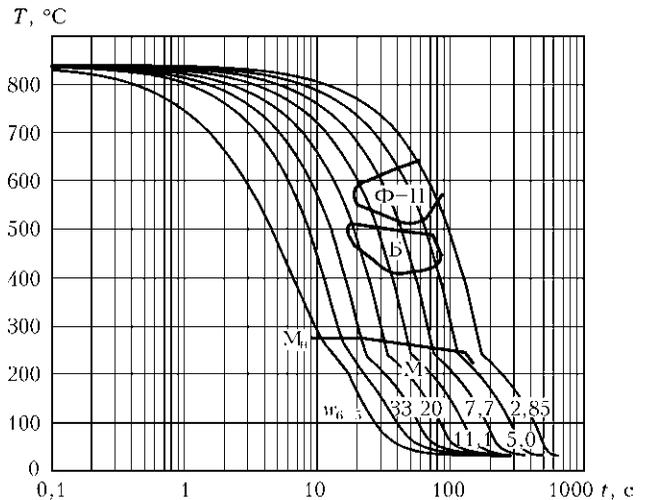


Рис. 1. Термокинетическая диаграмма превращения переохлажденного аустенита в металле ЗТВ колесной стали типа Т ($C = 0,625$ мас. %): М — мартенсит; M_n — начало мартенситного превращения; Б — бейнит; Ф — феррит; П — перлит

следующего состава, мас. %: 0,625 С; 0,73 Мп; 0,31 Si; 0,11 V.

Структура металла ЗТВ сварных соединений, выполненных дуговыми способами сварки, неоднородна, а размеры ее отдельных участков малы. Поэтому структурные изменения, которые происходят под воздействием ТДЦ, и их влияние на механические свойства на участке перегрева ЗТВ изучали на модельных образцах. Для этого использовали комплекс «Gleeble 3800», оснащенный термостатом и высокоскоростным дилатометром [6]. Исследуемые цилиндрические образцы имели диаметр 6 мм и длину 80 мм. В соответствии с методикой испытаний их нагревали до температуры 1200 °С со скоростью 150 °С/с, а затем охлаждали с разными термическими циклами, которые были подобраны таким образом, чтобы в температурном интервале 600...500 °С скорость охлаждения образцов $w_{6/5}$ изменялась в диапазоне 2,85...33,00 °С/с. Температуру начала и конца превращения переохлажденного аустенита определяли по отходу касательной от дилатметрической кривой, а соотношение фаз, образовавшихся в результате превращений аустенита, устанавливали методом отрезков [7]. Обобщенные результаты исследований представлены на рис. 1.



Рис. 2. Микроструктуры (X500) металла ЗТВ колесной стали типа Т при $w_{6/5} = 20,0$ (а), 11,1 (б) и 7,7 °С/с (в)



Таблица 3. Влияние скорости охлаждения на механические свойства металла ЗТВ колесной стали типа Т ($C = 0,625$ мас. %)

$w_{6/5}^{\circ C/c}$	σ_b , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %	ψ , %	KCU , Дж/см ²	
					+20 °С	-40 °С
5	1140	850	6,3	16,3	7,3	8,5
10	1280	940	3,4	9,6	5,7	4,2
20	1320	980	3,1	9,6	6,0	4,2

Как показали проведенные исследования, в колесной стали типа Т под действием ТДЦС при скорости охлаждения $w_{6/5} \geq 33$ °С/с превращение переохлажденного аустенита происходит исключительно в мартенситной области. Температура начала образования мартенсита составляет 280 °С, а микротвердость закаленного металла — $HV 0,5$ 594. С понижением скорости охлаждения в структуре металла образуются промежуточные фазы ферритно-перлитной смеси и бейнита, содержание мартенсита при этом уменьшается. Так, при $w_{6/5} = 20$ °С/с (рис. 2, а) в температурном интервале 510...450 °С происходит промежуточное бейнитное превращение переохлажденного аустенита, а мартенситное превращение начинается при 270 °С. Соотношение фаз в структуре составляет 96 об. % мартенсита и 4 об. % бейнита. Микротвердость закаленного металла снижается до $HV 0,5$ 500.

При $w_{6/5} = 11,1$ °С/с (рис. 2, б) превращение переохлажденного аустенита начинается в ферритно-перлитной области при 500...410 °С с образованием бейнита, превращение мартенсита начинается при температуре 260 °С. Соотношение фаз в структуре следующее, об. %: 83 мартенсита, 14 бейнита и 3 ферритно-перлитной смеси. Микротвердость закаленного металла $HV 0,5$ 420. При $w_{6/5} = 7,7$ °С/с (рис. 2, в) объемная доля мартенситной составляющей в структуре уменьшается до 60 %, 13 % бейнита, а объемная доля ферритно-перлитная составляет 27 %. При этом микротвердость закаленного металла снижается до $HV 0,5$ 406. При $w_{6/5} = 5$ °С/с превращение переохлажденного аустенита происходит в ферритно-перлитной области уже на 77 % при 620...520 °С. При такой скорости охлаждения содержание мартенсита резко уменьшается и составляет всего 10 об. %, бейнита 13 об. %, микротвердость металла равна $HV 0,5$ 360. При $w_{6/5} = 2,85$ °С/с превращение переохлажденного аустенита происходит с образованием только ферритно-перлитной смеси ($HV 0,5$ 358).

С понижением скорости охлаждения содержание мартенсита в структуре металла ЗТВ уменьшается, объемная доля ферритно-перлитной составляющей увеличивается, а содержание бейнита

Таблица 4. Влияние скорости охлаждения на механические свойства металла ЗТВ колесной стали типа 2 ($C = 0,55$ мас. %) [2]

$w_{8/7}$, °С/с	σ_b , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %	ψ , %	KCU_{-40} , Дж/см ²
1,15	940	600	13,3	33,3	6
5,90	970	605	12,9	33,3	6
32,0	1060	715	9,3	24,9	5

стабилизируется на уровне 13...14 %, при этом микротвердость снижается более чем в 1,5 раза.

Оценку влияния скорости охлаждения на механические свойства и ударную вязкость колесной стали типа Т выполняли с использованием модельных образцов, обработанных по ТДЦС на установке МСР-75 [8]. Для этого образцы основного металла размером 120×12×12 мм нагревали проходящим током до 1200 °С со скоростью 150 °С/с. Скорость охлаждения образцов составляла 5, 10 и 20 °С/с. Затем из термически обработанных заготовок изготавливали стандартные образцы для проведения испытаний на статическое растяжение типа II по ГОСТ 1497-84 и ударный изгиб типа I по ГОСТ 9454-78. В табл. 3 приведены механические свойства имитированного металла ЗТВ колесной стали повышенной прочности. Для сравнения в табл. 4 представлены данные о влиянии скорости охлаждения на свойства колесной стали типа 2 с содержанием углерода 0,55 мас. % [2].

В результате исследований установлено, что при $w_{6/5} \geq 10$ °С/с, когда основным структурным составляющим является мартенсит, металл ЗТВ соединений колесной стали типа Т отличается повышенной прочностью и низкой пластичностью. В сравнении со сталью типа 2 прочность закаленного металла на 25...30 % выше, а пластичность почти в 3 раза ниже. Кроме того, снижение уровня пластичности при увеличении скорости охлаждения и формировании мартенситной структуры металла происходит также более интенсивно. Если показатели относительного удлинения δ_5 и сужения ψ металла ЗТВ колесной стали типа 2 при повышении скорости охлаждения снижаются на 30 %, то у стали типа Т пластичность закаленного металла уменьшается на 45 %. При этом даже при относительно небольшой (5 °С/с) скорости охлаждения показатели пластичности металла ЗТВ колесной стали типа Т в 1,5 раза ниже, чем колесной стали типа 2 при высокой (32 °С/с) скорости охлаждения.

Аналогично проявляется влияние ТДЦС на изменение ударной вязкости новой колесной стали. Установлено, что при увеличении скорости охлаждения от 5 до 20 °С/с ударная вязкость металла ЗТВ при отрицательной температуре снижается почти в 2 раза. Следует отметить, что для колесной стали типа 2 снижение показателей удар-



ной вязкости при увеличении скорости охлаждения до 32 °С/с происходит на 17 %.

При наплавке гребней цельнокатаных колес в металле ЗТВ формируются остаточные напряжения растяжения, максимальный уровень которых в продольном направлении достигает 650 МПа [2]. Поэтому для обеспечения высокой стойкости соединений против образования холодных трещин в первую очередь необходимо, чтобы металл ЗТВ колесной стали имел достаточный запас пластичности. Это способствует более полному протеканию процессов релаксации локальных напряжений за счет развития микропластических деформаций, что существенно повышает сопротивляемость металла ЗТВ замедленному разрушению [9, 10]. Проведенные исследования показали, что под действием ТДЦ пластические свойства металла ЗТВ колесной стали типа Т значительно снижаются. В связи с этим следует ожидать, что металл ЗТВ сварных соединений новой колесной стали будет отличаться более низкой сопротивляемостью замедленному разрушению.

Этот показатель металла ЗТВ колесной стали повышенной прочности оценивали с применением общеизвестного метода «Имплант» [5]. В отличие от традиционного метода образцы-вставки из исследуемой стали диаметром 6 мм изготавливали без надреза [11]. В качестве технологических пластин использовали заготовки из высокопрочной низколегированной стали. Образец вставляли в отверстие технологической пластины с зазором. Сварку и нагружение образцов выполняли на специализированной установке, изготовленной в ИЭС им. Е. О. Патона. При проведении сравнительных испытаний применяли механизированный способ сварки в углекислом газе проволокой Св-08Г2С диаметром 1,2 мм на режимах, обеспечивающих погонную энергию на уровне 11,5 кДж/см. Температуру предварительного подогрева образцов изменяли от 20 до 200 °С, что позволяло регулировать скорость охлаждения металла ЗТВ в диапазоне 25...5 °С/с.

На рис. 3 представлены результаты исследований влияния температуры предварительного подогрева на критические напряжения разрушения металла ЗТВ новой колесной стали повышенной прочности. Как видно из рисунка, при сварке без предварительного подогрева ($T_0 = 20$ °С), когда под действием ТДЦ в структуре образуется преимущественно мартенситная составляющая ($w_{6/5} \sim 25$ °С/с), металл ЗТВ колесной стали типа Т имеет низкий уровень сопротивляемости замедленному разрушению. Критические напряжения разрушения $\sigma_{кр}$ составляют всего 90 МПа. Применение предварительного подогрева способствует существенному повышению сопротивляемости замедленному разрушению. При предварительном подогреве $T_0 = 70$ °С, когда скорость охлаждения

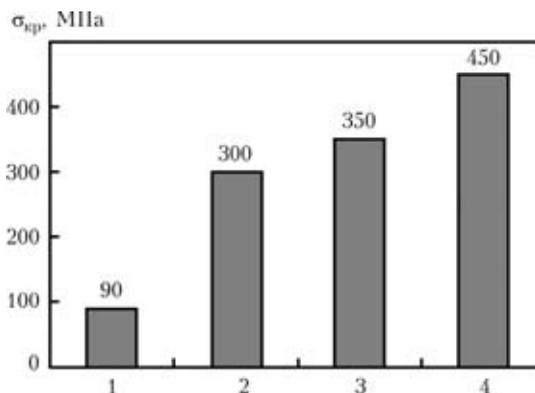


Рис. 3. Влияние температуры предварительного подогрева на сопротивляемость замедленному разрушению металла ЗТВ соединений колесной стали типа Т: 1 — 20; 2 — 70; 3 — 100; 4 — 150 °С

составляет $w_{6/5} \approx 15...18$ °С/с и в структуре металла ЗТВ превращение переохлажденного аустенита проходит с образованием промежуточных фаз, значения критических напряжений разрушения повышаются до 300 МПа. При $T_0 = 100$ °С ($w_{6/5} \approx 10...15$ °С/с) $\sigma_{кр} = 350$ МПа. При $T_0 = 150$ °С ($w_{6/5} \approx 7...10$ °С/с), когда в металле ЗТВ образуются структуры с минимальным содержанием мартенситной составляющей, значения $\sigma_{кр}$ повышаются до 450 МПа. В этом случае критические напряжения разрушения составляют примерно $0,45\sigma_T$ металла ЗТВ или $0,40\sigma_B$ основного металла колесной стали. При повышении температуры предварительного подогрева до $T_0 = 200$ °С и выше ($w_{6/5} < 5$ °С/с), когда превращение переохлажденного аустенита в металле ЗТВ происходит исключительно с образованием ферритно-перлитной смеси, замедленного разрушения образцов-вставок не происходит.

Таким образом, анализ термокинетической диаграммы превращения переохлажденного аустенита новой колесной стали повышенной прочности показывает, что под действием ТДЦ при скорости охлаждения $w_{6/5} \geq 7,7$ °С/с в металле ЗТВ новой колесной стали формируется закалочная структура, в которой доля мартенситной составляющей превышает 60 об. %. Металл ЗТВ имеет высокие прочностные показатели ($\sigma_B \geq 1280$ МПа) и низкую пластичность, что определяет его повышенную склонность к замедленному разрушению при статическом нагружении. При таких условиях охлаждения критические напряжения разрушения не превышают $0,45\sigma_T$ металла ЗТВ ($0,40\sigma_B$ колесной стали).

С целью повышения сопротивляемости замедленному разрушению и предотвращения образования холодных трещин в соединениях (наплавках) колесной стали повышенной прочности необходимо, чтобы скорость охлаждения $w_{6/5}$ в металле ЗТВ не превышала 5 °С/с. Снижение скорости охлаждения до указанного уровня возможно



в случае применения предварительного подогрева до 200 °С и выше.

Приведенные результаты исследований являются базовыми при разработке технологических рекомендаций по наплавке гребней колес повышенной прочности. Для обеспечения высокого качества наплавленного металла и надежности колес при эксплуатации необходимо проведение дополнительных исследований по оценке влияния технологических факторов на прочность соединений при статических и циклических нагружениях. В настоящее время такие исследования проводятся в ИЭС им. Е. О. Патона.

1. *Наплавка гребней вагонных колесных пар* / Н. В. Павлов, И. Д. Козубенко, Н. Е. Бызова, А. И. Рассоха // Железнодорож. трансп. — 1993. — № 7. — С. 37–40.
2. *Влияние технологических факторов на структуру и свойства металла ЗТВ при ремонтно-восстановительной наплавке гребней цельнокатаных вагонных колес* / В. А. Саржевский, А. А. Гайворонский, В. Г. Гордонный, В. Ф. Горб // Автомат. сварка. — 1996. — № 3. — С. 22–27, 33.
3. *Дилатометрические характеристики и диаграммы анизотермического распада аустенита колесной стали марки 2* / Г. Д. Кузьмина, С. Н. Киселев, Н. Н. Воронин,

- А. А. Куликов // Свароч. пр-во. — 1997. — № 12. — С. 3–5.
4. *Исследование тепловых процессов и структурообразования при двухдуговой наплавке колес вагонов на основе компьютерного моделирования* / С. Н. Киселев, Н. Н. Воронин, Г. Д. Кузьмина и др. // Там же. — 2000. — № 3. — С. 3–8.
5. *Макаров Э. Л. Холодные трещины при сварке легированных сталей.* — М.: Машиностроение, 1981. — 247 с.
6. *Григоренко Г. М., Костин В. А., Орловский В. Ю.* Современные возможности моделирования превращения аустенита в сварных швах низколегированных сталей // Автомат. сварка. — 2008. — № 3. — С. 31–34.
7. *Черепин В. Т.* Экспериментальная техника в физическом металловедении. — Киев: Техника, 1968. — 280 с.
8. *Саржевский В. А., Сазонов В. Я.* Установка для имитации термических циклов сварки на базе машины МСР-75 // Автомат. сварка. — 1981. — № 5. — С. 69–70.
9. *О двух путях релаксации остаточных микронапряжений в мартенсите стали* / Л. Е. Алексеева, В. И. Саррак, С. О. Суворова, Г. А. Филиппов // Металлофизика. — 1975. — Вып. 61. — С. 79–84.
10. *Саррак В. И., Филиппов Г. А.* Задержанное разрушение стали после закалки // Физ.-хим. механика материалов. — 1976. — № 12. — С. 44–54.
11. *Стеренбоген Ю. А.* Некоторые факторы, определяющие стойкость металла ЗТВ мартенситных сталей против образования холодных трещин // Автомат. сварка. — 1986. — № 6. — С. 5–8.

Influence of preheating temperature on delayed fracture of HAZ metal has been assessed. It is established that in order to ensure high resistance to delayed fracture, preventing cold cracking in the joint HAZ metal, the cooling rate $w_{6/5}$ should not be higher than 5 °C/s. In this case it is necessary to apply preheating at the temperature above 200 °C.

Поступила в редакцию 23.12.2009



5-я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО СВАРОЧНЫМ МАТЕРИАЛАМ

РАЗРАБОТКА, ТЕХНОЛОГИЯ, ПРОИЗВОДСТВО, КАЧЕСТВО

7–11 июня 2010

г. Артемовск Донецкая обл.

Организаторы:

- ✧ Ассоциация «Электрод» предприятий СНГ
- ✧ ЗАО «Артемовский машиностроительный завод «ВИСТЕК»

При поддержке:

- ✧ Межгосударственного научного совета по сварке и родственным технологиям
- ✧ Института электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины
- ✧ Российского научно-технического сварочного общества
- ✧ Общества сварщиков Украины

Контактный тел./факс: (38044) 287 72 35.

Дополнительную информацию можно получить также в редакции журнала по тел.: 287 6302 (В. Н. Липодаев) или E-mail: journal@paton.kiev.ua



СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ БЫСТРОЗАКАЛЕННОГО ПРИПОЯ СИСТЕМЫ Cu–Ti

С. В. МАКСИМОВА, канд. техн. наук, чл.-кор. НАН Украины В. Ф. ХОРУНОВ

(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),

Г. М. ЗЕЛИНСКАЯ, канд. физ.-мат. наук (Ин-т металлофизики им. Г. В. Курдюмова НАН Украины)

Установлено, что быстрозакаленная лента припоя находится в аморфном состоянии и имеет равномерное распределение легирующих элементов по ширине. Определены температурные интервалы перехода сплава из аморфного состояния в кристаллическое. Проведено рентгеноструктурное исследование фазового состава быстрозакаленной ленты в исходном состоянии и после изотермического отжига; в последнем случае идентифицированы кристаллические структуры — δ -CuTi и γ -CuTi₂.

Ключевые слова: пайка, припой, система Ti–Cu, структура, фазовый состав, аморфное и кристаллическое состояния, сверхбыстрая закалка, изотермический отжиг, рентгеноструктурный анализ

Аморфные металлические сплавы привлекают внимание многих исследователей благодаря их уникальным свойствам — высоким механическим характеристикам и коррозионной стойкости, электромагнитным показателям и др. [1].

Применение припоев в аморфном состоянии открывает новые возможности в области пайки. Одним из главных преимуществ аморфных припоев является химическая однородность. Данные припои обеспечивают хорошее смачивание паяемой поверхности, имеют высокие капиллярную активность припоя, диффузионную активность его компонентов и равномерное распределение последних в зоне пайки, что уменьшает вероятность образования хрупких фаз в металле паяного шва и обеспечивает оптимальную прочность паяных соединений. Припои характеризуются высокой пластичностью, что позволяет изготавливать закладные элементы требуемых размеров и дозировать применяемый припой при изготовлении уникальных ответственных конструкций в различных отраслях промышленности [2].

Целью настоящей работы является проведение сравнительных исследований структурных особенностей быстрозакаленного припоя Ti₅₇Cu₄₃ в исходном и отожженном состояниях, а также определение термической стабильности его аморфного состояния при нагреве.

К быстрозакаленным относятся сплавы, полученные быстрым охлаждением расплава (его закалкой). Структура и свойства быстрозакаленных сплавов существенно отличаются от структуры литых сплавов, полученных традиционными способами выплавки. В зависимости от скорости охлаждения они могут иметь высокодисперсную

дендритную, микрокристаллическую, нанокристаллическую и аморфную структуры [3].

Для производства припоев в аморфном состоянии наиболее широко применяется способ быстрого ($1 \cdot 10^4 \dots 1 \cdot 10^6$ °C/c) затвердевания расплава на внешней поверхности быстровращающегося диска-холодильника [4, 5]. Жидкий металл под давлением инертного газа проходит через сопло и попадает на внешнюю поверхность вращающегося диска, где затвердевает в виде тонкой ленты, которая удаляется за счет центробежных сил. Пластичные тонкие аморфные фольги (ленты) можно получать даже из хрупких сплавов (эвтектических, интерметаллидных) с помощью сверхбыстрой закалки. В таких системах при охлаждении с высокой скоростью имеется склонность к подавлению образования зародышей переносимых выше фаз и достижению аморфного состояния даже при отсутствии аморфизаторов — бора, кремния, фосфора и др.

Для исследований использовали быстрозакаленные ленты Ti₅₇Cu₄₃ толщиной 30...50 мкм и шириной около 20 мм. Металлографические исследования показали, что типичная структура свободной поверхности аморфной ленты Ti₅₇Cu₄₃, контактирующей с воздухом гладкая зеркальная (стекловидная) и характеризуется отсутствием каких-либо углублений и шероховатостей (рис. 1, а).

На обратной стороне ленты, контактирующей с поверхностью диска, имеются неровности (рис. 1, б), которые обусловлены рельефом материала диска, скоростью его вращения и др. При получении быстрозакаленных лент немаловажную роль играют температура перегрева над линией ликвидуса расплава, вязкость сплава, поверхностное натяжение, смачивание расплавом материала диска.

Следует отметить, что при быстрой закалке расплава возникает температурный градиент в направлении, перпендикулярном к плоскости лен-

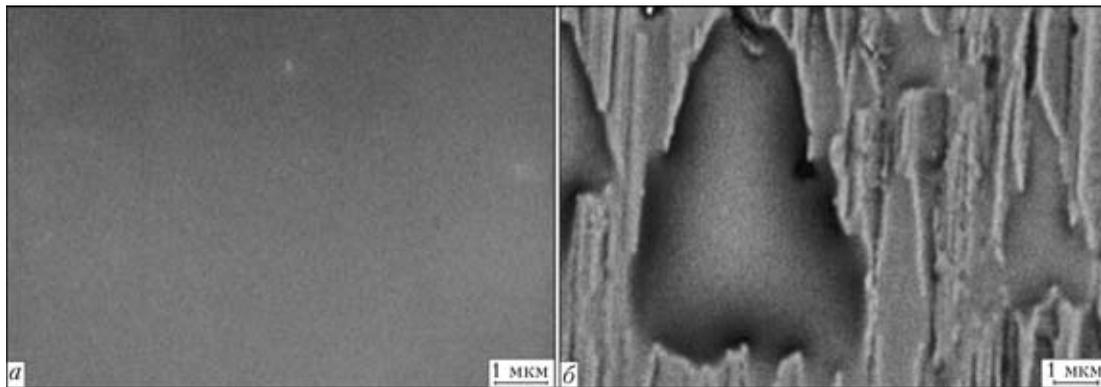


Рис. 1. Поверхность быстрозакаленной ленты, контактирующая с воздухом (а) и с поверхностью диска (б)

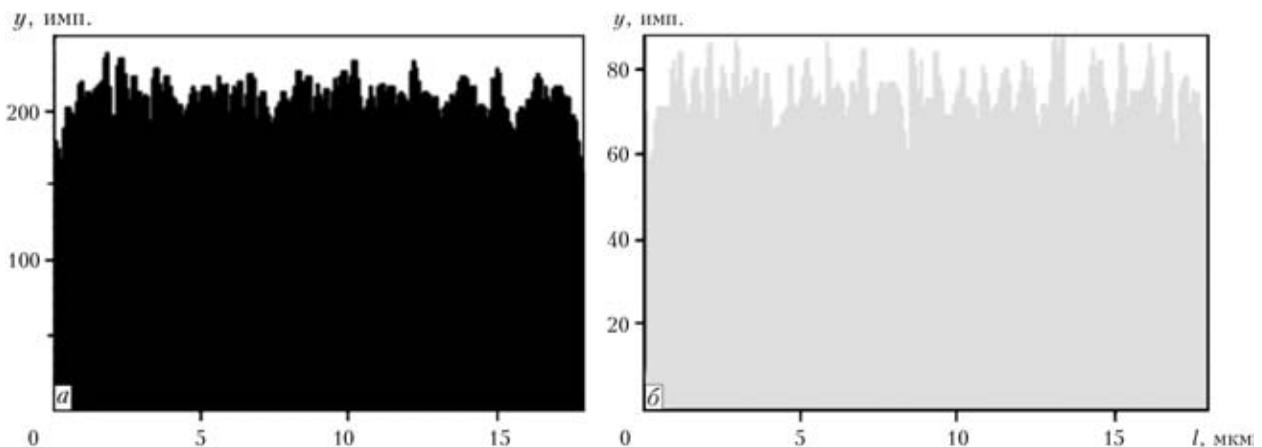


Рис. 2. Распределение титана (а) и меди (б) по ширине быстрозакаленной ленты (y — количество импульсов)

ты, который способствует формированию концентрационной неоднородности в распределении элементов по толщине ленты. В результате этого поверхностные слои, прилегающие к свободной стороне ленты, обогащаются более легкими элементами, в то время как в поверхностных слоях ее контактной стороны преобладают более тяжелые элементы [6]. Быстрозакаленная лента исследуемого припоя получена без использования химических элементов-аморфизаторов. При исследовании химической неоднородности в поперечном сечении ленты определено, что составляющие элементы припоя распределяются вдоль линии сканирования равномерно (рис. 2).

Изучение структурного состояния быстрозакаленного припоя в исходном и отожженном состояниях проводили с помощью рентгенографического метода на дифрактометре «ДРОН-3» в $Mo_{K\alpha}$ -излучении в режиме сканирования с шагом $0,1^\circ$ в области главного максимума и $0,5^\circ$ на других расстояниях. Графитовый монохроматор располагали на первичном пучке. Режимы регистрирующей аппаратуры подбирали таким образом, чтобы исключить шумы, флуоресцентное рассеяние от образца, а также излучение от сплошного спектра с длиной волны $\lambda/2$, которую пропускает кристалл-монохроматор.

Методика внесения поправок на некогерентное рассеяние, поляризацию, поглощение, флуоресцентное рассеяние образцом, а также нормировка дифракционных кривых были стандартными [7, 8].

Известно, что металлические стекла дают дифракционную картину, подобную металлическим жидкостям. Поэтому для изучения их структуры использовали технику эксперимента и математический аппарат Фурье-преобразования, который применяют при исследовании жидкости [7].

Для припоя $Ti_{57}Cu_{43}$ рассчитывали структурный фактор $i(s)$ и функцию радиального распределения атомов (ФРРА). По $i(s)$ и ФРРА определяли основные структурные характеристики — положение s_1 , высоту $i(s_1)$, ширину на половине высоты (полуширину) $\Delta s_{1/2}$ первого максимума структурного фактора, положение r_1 и площадь A первого максимума ФРРА.

Результаты рентгеноструктурного анализа показали, что для исследуемого состава припоя получена типичная [9] для аморфного состояния дифракционная картина в виде диффузных максимумов (рис. 3) с четко выраженным эффектом раздвоения второго максимума $i(s)$ (рис. 4). На правой ветви первого максимума структурного фактора $i(s)$ при $s \approx 3,5 \text{ \AA}^{-1}$ наблюдается наплыв.

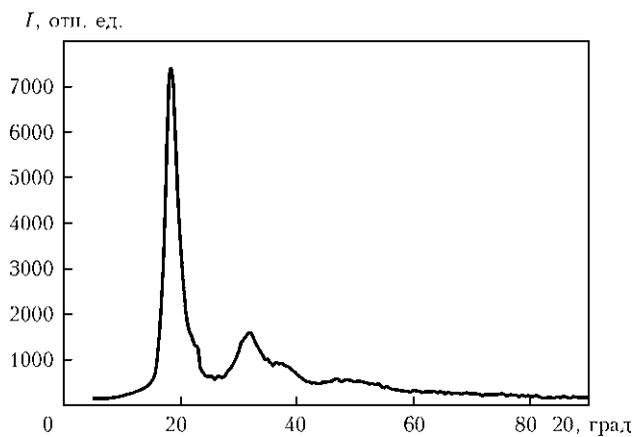


Рис. 3. Дифракционная кривая аморфной ленты

Кривая ФРРА имеет асимметрию первого максимума и дополнительный максимум в области $r \approx 3,6 \text{ \AA}$ (рис. 5). Эти факты могут свидетельствовать о том, что первый дифракционный максимум и первый максимум ФРРА, как и в случае атомного строения расплавов, состоящих из двух и более компонентов, можно считать суперпозицией нескольких максимумов, обусловленных существованием нескольких типов атомных группировок, различающихся по типу топологического и композиционного упорядочения атомов [7].

При исследовании температурного интервала плавления с помощью высокотемпературного дифференциального термического анализа (в атмосфере гелия при скорости нагрева и охлаждения $80 \text{ }^\circ\text{C}/\text{мин}$) зафиксированы (рис. 6) два экзотермических тепловых эффекта и один эндотермический.

Наличие первого незначительного экзотермического эффекта в температурном интервале $460...480 \text{ }^\circ\text{C}$ подтверждает факт протекания структурной релаксации, которая снижает уровень закалочных напряжений в различных микрообъемах и предшествует кристаллизации. При повышении температуры максимальное тепловыделение имеет место при $500 \text{ }^\circ\text{C}$, что приводит к

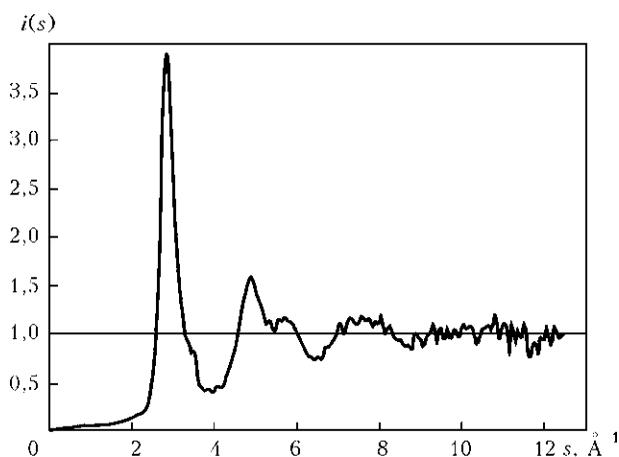


Рис. 4. Структурный фактор аморфной ленты

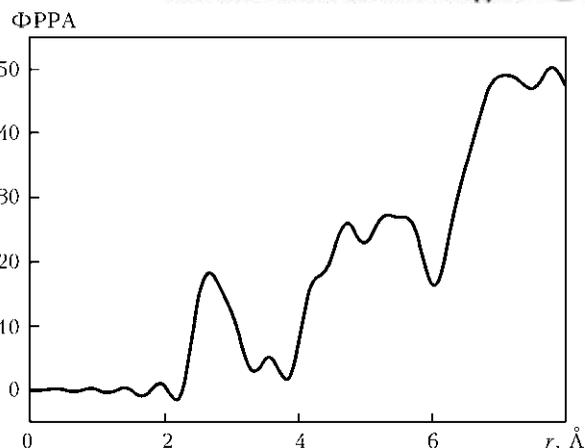


Рис. 5. Кривая ФРРА

объемной кристаллизации сплава и свидетельствует об относительно невысокой термической стабильности аморфного (метастабильного) состояния быстрозакаленной ленты. В случае полной структурной релаксации экзотермический эффект отсутствует [6]. При дальнейшем повышении температуры наблюдается эндотермический эффект, что свидетельствует о полном расплавлении металла припой. При охлаждении происходит кристаллизация расплава, и на термограмме фиксируется только один тепловой эффект. Такой характер распределения тепловых эффектов является подтверждением наличия аморфного состояния в быстрозакаленной ленте.

В соответствии с данными высокотемпературного дифференциального термического анализа проведен низкотемпературный изотермический отжиг при температуре $510 \text{ }^\circ\text{C}$ (и для сравнения при $400 \text{ }^\circ\text{C}$) в течение 1 ч в вакууме.

После отжига рельеф свободной поверхности ленты был волнообразный (рис. 7, а), а не зеркальный (стекловидный), который характерен для исходного состояния. Обратная сторона ленты, контактирующая с поверхностью диска, практически осталась без изменений (рис. 7, б).

При низкотемпературном отжиге аморфных сплавов происходит структурная релаксация остаточных напряжений и осуществляется перест-

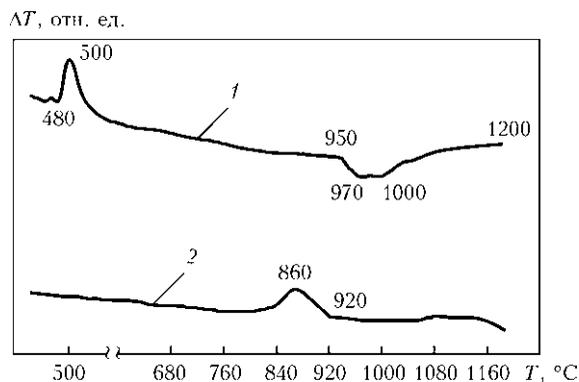


Рис. 6. Термограмма быстрозакаленной ленты припой $\text{Ti}_{57}\text{Cu}_{43}$ при нагреве (1) и охлаждении (2)

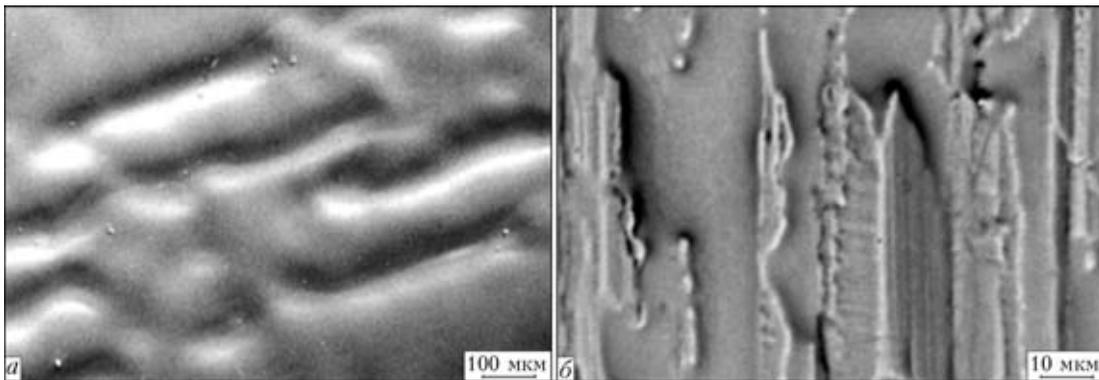


Рис. 7. Поверхность ленты, контактирующая с воздухом (а) и поверхностью диска (б), после изотермического отжига при 510 °С

ройка их локальной структуры (изменение расположения атомов, их упорядочение) [6]. Так, отжиг при низкой (400 °С) температуре мало сказывается на структуре быстрозакаленной ленты (рис. 8, а, б). Однако следует отметить, что образуются структурные микрообласти, между которыми намечается появление размытых границ раздела.

При повышении температуры отжига до 510 °С контраст микроструктуры усиливается и наблюдаются более четкие структурные изменения (рис. 8, в, г). Поверхность приобретает слабо выраженную ячеистую структуру с размытыми границами (рис. 8, в), что характерно для начальной стадии распада аморфного состояния. При химическом травлении отожженного образца намечаются границы раздела между отдельными микрообластями (рис. 8, г).

После отжига ленты $Ti_{57}Cu_{43}$ при 400 °С, наблюдается типичная для аморфного состояния дифракционная картина.

Данная система, с одной стороны, характеризуется полным отсутствием неметаллов — аморфизаторов (бора, кремния и др.), а с другой, относится к эвтектическому типу с наличием интерметаллидных соединений.

Известно, что присутствие в системе интерметаллидных соединений со сложным типом кристаллической решетки является основным фактором стеклообразующей способности сплавов, который позволяет получать аморфное состояние.

Так, в системе Cu–Ti стеклообразующая способность обусловлена эвтектическим характером взаимодействия интерметаллидных фаз-стеклообразователей — $CuTi$ и $CuTi_2$ [1]. Важным признаком, свидетельствующим о стеклообразующей

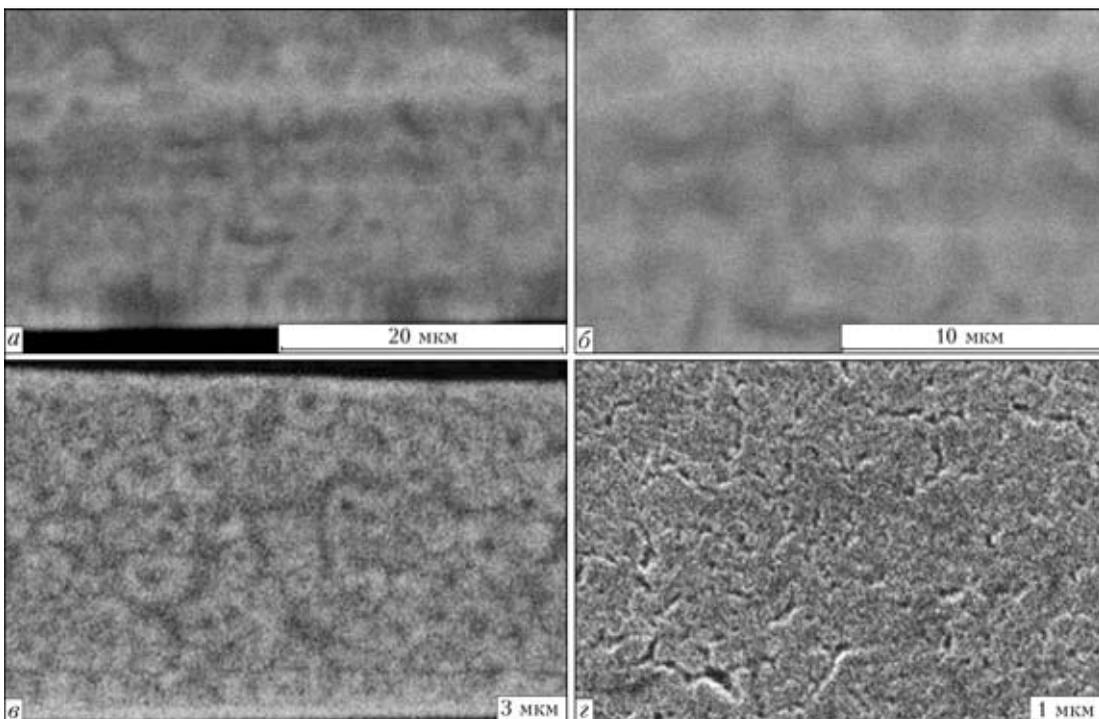


Рис. 8. Микроструктуры ленты после изотермического отжига при 400 (а, б) и 510 °С (в, г)

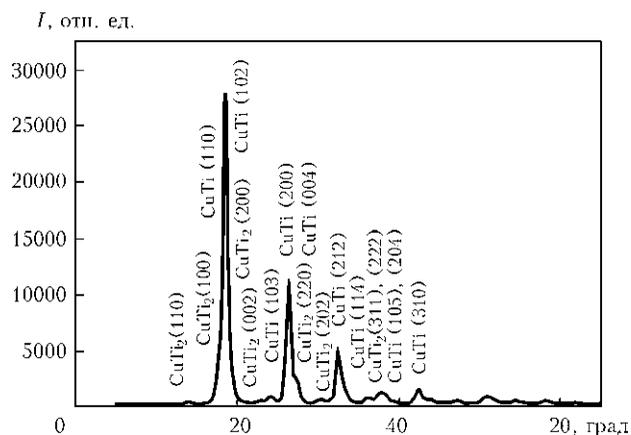


Рис. 9. Рентгенограмма, полученная после изотермического отжига припоя

способности данного химического соединения именно этого типа, является образование при кристаллизации из аморфного состояния в процессе нагрева.

Эти данные хорошо согласуются с результатами рентгеноструктурных исследований сплава $Ti_{57}Cu_{43}$, полученными при изотермическом отжиге в вакууме. Так, после перехода сплава $Ti_{57}Cu_{43}$ из аморфного состояния в кристаллическое идентифицированы кристаллические структуры $\delta-CuTi$ и $\gamma-CuTi_2$ (рис. 9).

Таким образом, при использовании аморфных припоев для получения неразъемных соединений пайкой с длительным нагревом на начальных его стадиях происходит структурная релаксация аморфного состояния с дальнейшим переходом в кристаллическое. Пайка осуществляется припоем, находящимся в микрокристаллическом состоянии. Для детального изучения этого процесса необходимы более тонкие методы исследований, в том числе высокотемпературная металлография.

Аморфное состояние применяемого припоя положительно сказывается в первую очередь на его технологичности. Благодаря высокой пластичности, малой толщине и химической однородности припой обеспечивает высокое качество пайки,

отсутствие дефектов (в виде непропаев) и высокую прочность паяных соединений. Так, применение исследуемого припоя в аморфном состоянии при пайке дисперсно-упрочненного медного сплава марки Glidcor Al-25 обеспечило паяным соединениям прочность на разрыв на уровне 80...90 % прочности основного металла [10].

Из изложенного выше можно заключить, что быстрозакаленный припой $Ti_{57}Cu_{43}$ в виде ленты в исходном состоянии является рентгеноаморфным. Изотермический отжиг при 510 °С способствует переходу сплава из аморфного состояния в кристаллическое, при котором идентифицированы кристаллические структуры $\delta-CuTi$ и $\gamma-CuTi_2$.

1. Ковнеристый Ю. К. Объемно-аморфизирующиеся металлические сплавы. — М.: Наука, 1999. — 79 с.
2. Хорунов В. Ф., Максимова С. В. Аморфные припои — перспективный материал для современных технологических процессов пайки // Автомат. сварка. — 2005. — № 10. — С. 35–40.
3. Фатхуллин О. Х. Современное состояние металловедения быстрозакаленных жаропрочных сплавов // Технология легких сплавов. — 2005. — № 1–4. — С. 24–31.
4. Аморфные ленточные припои для высокотемпературной пайки. Опыт разработки технологии производства и применения / Б. А. Калинин, В. Т. Федотов, О. Н. Севрюков и др. // Свароч. пр-во. — 1996. — № 1. — С. 15–19.
5. Влияние структурного состояния припоя на физико-механические свойства паяных соединений / Б. А. Калинин, А. Н. Плющев, В. Т. Федотов и др. // Там же. — 2001. — № 8. — С. 38–41.
6. Шпак А. П., Куницкий Ю. А., Лысов В. И. Кластерные и наноструктурные материалы. — Киев: Академперіодика, 2002. — Т. 2. — 540 с.
7. Немошкаленко В. В., Романова А. В., Ильинский Ф. Г. Аморфные металлические сплавы. — Киев: Наук. думка, 1987. — 245 с.
8. Романова А. В. Некоторые исторические факты и воспоминания к развитию представления об атомной структуре жидкости и металлических стекол // Металлофизика, новейшие технологии. — 1995. — № 8. — С. 3–29.
9. Гольдер Ю. Г. Металлические стекла // Технология легких сплавов. — 1978. — № 6. — С. 74–93.
10. Высокотемпературная вакуумная пайка дисперсно-упрочненного медного сплава Glidcor Al-25 / С. В. Максимова, В. Ф. Хорунов, В. А. Шонин и др. // Автомат. сварка. — 2002. — № 10. — С. 15–19.

It is established that rapidly-quenched braze alloy strip is in the amorphous condition with uniform distribution of alloying elements across its width. Temperature ranges of alloy transition from an amorphous into the crystalline state are established. X-ray investigation of phase composition of rapidly-quenched strip in the initial condition and after isothermal annealing has been conducted; in the latter case the crystalline structures have been identified as $\delta-CuTi$ and $\gamma-CuTi_2$.

Поступила в редакцию 13.01.2010



ВЛИЯНИЕ РАБОЧЕГО РАССТОЯНИЯ СВАРОЧНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ПУШКИ НА ГЕОМЕТРИЮ СВАРНОГО ШВА

Чл.-кор. НАН Украины **О. К. НАЗАРЕНКО, В. И. ЗАГОРНИКОВ**, канд. техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Экспериментально исследована геометрия электронно-лучевых проплавлений в широком диапазоне рабочих расстояний пушка–изделие. Установлена слабая корреляция между расстоянием пушка–изделие и глубиной проплавления на металлах большой толщины. Возможность существенного увеличения рабочего расстояния без заметного изменения параметров проплавления объясняется соответствующим уменьшением угла сходимости пучка в области изделия.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, сварочная пушка, рабочее расстояние, глубина шва, фокусное пятно, угол сходимости пучка

До настоящего времени отсутствует международный стандарт на пространственные характеристики сварочного электронного пучка, несмотря на большой интерес к вопросу взаимосвязи параметров пучка и геометрии швов [1, 2]. В требованиях к сварочной электронной пушке достаточно часто оговариваются размеры фокусного пятна, т. е. минимального сечения пучка в плоскости свариваемого изделия. Считается, что небольшое пятно является основным условием формирования глубоких швов с минимальными поперечными размерами литой зоны, одновременно улучшается качество изображения зоны сварки во вторичных электронах. Поскольку размеры фокусного пятна прямо пропорциональны рабочему расстоянию сварочной пушки, многие операторы стремятся расположить ее как можно ближе к изделию, несмотря на увеличение при этом вероятности электрических пробоев в ускоряющем промежутке пушки из-за попадания паров металла и газов из сварочной ванны.

При электронно-лучевой сварке металлов малых толщин (до нескольких миллиметров), когда осуществляется поверхностный подвод тепловой энергии и кратер в сварочной ванне практически отсутствует, размеры минимального сечения пучка на поверхности изделия действительно определяют размеры литой зоны при прочих одинаковых условиях. Однако когда шов формируется в металле толщиной в десятки и даже сотни миллиметров, размеры фокусного пятна сами по себе уже не определяют размеры литой зоны и значительно более существенную роль играют пространственные характеристики так называемой фокусной глубины пучка или, другими словами, его перешейка, по всей длине которого усредненная

удельная плотность энергии в пучке практически постоянная. Чем протяженнее перешеек, тем легче сформировать шов максимальной глубины с практически параллельными боковыми стенками. Поэтому справедливо утверждать, что угол наклона боковых стенок литой зоны во многом определяется общей конфигурацией пучка в области перешейка.

Экспериментальное исследование геометрии электронно-лучевых проплавлений в широком диапазоне рабочих расстояний сварочной пушки, результаты которого обсуждаются ниже, выполнено в качестве этапа подготовки нормативных материалов по оборудованию и технологии электронно-лучевой сварки.

Методика экспериментов и полученные результаты. Для проведения экспериментов использовали энергоблок ЭЛА-60 с ускоряющим напряжением 60 кВ. Схема электронно-оптической системы приведена на рис. 1. Пушка снабжена таблеточным LaB_6 -катодом радиусом $r_{\text{кат}} = 1,5$ мм, рабочая температура $T_{\text{кат}} = 2000$ К. Середина немагнитного зазора фокусирующей электромагнитной линзы находится на расстоянии $a = 120$ мм от кроссовера пучка — минимального сечения пучка на выходе из эмиссионной системы. Внутренний диаметр линзы $D = 40$ мм, ширина немагнитного зазора $S = 18$ мм.

Поскольку поперечные размеры пучка существенно зависят от коэффициента сферической аберрации линзы, оценим его с помощью следующих соотношений, где увеличение линзы $M = b/a$ [3]:

$$\frac{C_{\text{сф}}}{S} = \left[\frac{a}{S} \right]^3 \left[1 + \frac{1}{M} \right] p(x) \left[\frac{1 + 1/M}{a/S} q(x) + 1 \right], \quad (1)$$

$$x = D/S, \quad (2)$$

$$q(x) = 0,26x - 0,25, \quad (3)$$

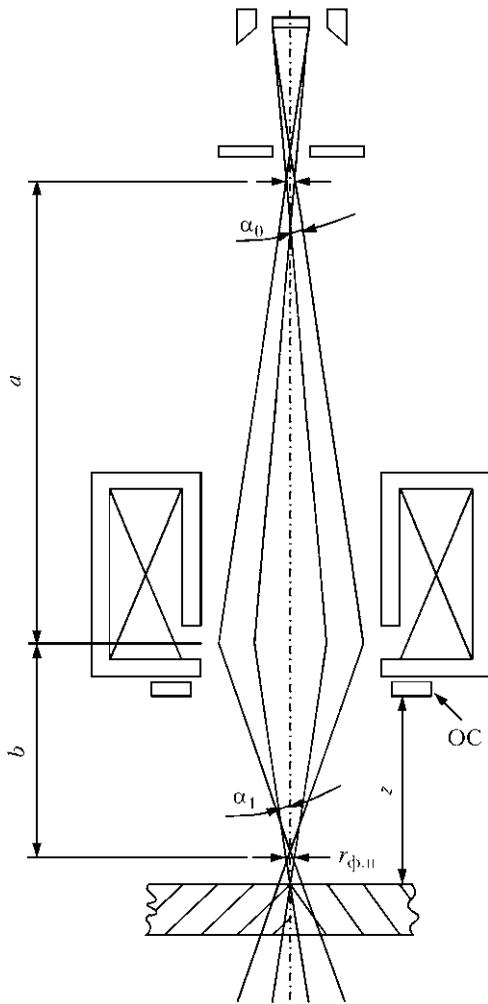


Рис. 1. Схема электронно-оптической системы пушки ЭЛА-60: a, b — расстояния от середины немагнитного зазора линзы до кроссовера и плоскости фокусировки соответственно; α_0, α_1 — половинные углы расходимости пучка после кроссовера и сходимости пучка выше перешейка соответственно; ОС — отклоняющая система; z — рабочее расстояние

$$p(x) = \frac{2,46}{x + 0,47} - 0,28. \quad (4)$$

Для $b = 100 \dots 600$ мм расчетные значения коэффициента сферической aberrации применяемой фокусирующей линзы $C_{сф}$ приведены на рис. 2.

При выполнении экспериментов использовали пластины низкоуглеродистой стали 09Г2С толщиной 65 мм и нержавеющей стали 12Х18Н10Т толщиной 8 мм. Плоскость фокусировки пучка располагалась ниже поверхности пластин на глубине соответственно около 32 и 4 мм, причем проплавления выполняли несквозными, а сами пластины устанавливали под углом около 10° к горизонту с целью возможно более точного нахождения максимальной глубины. Место расположения максимальной глубины проплавления определяли по расположению минимальной ширины литой зоны на поверхности пластин, где проводили вырезку участков для изготовления макрошлифов. Толстые пластины располагали на следу-

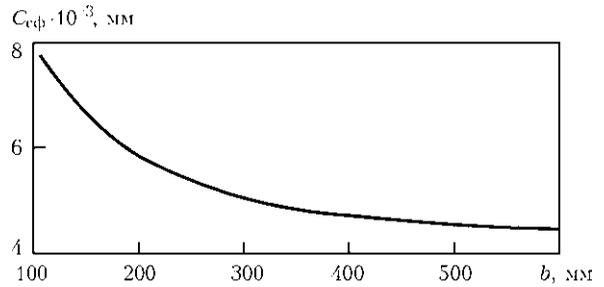


Рис. 2. Расчетная зависимость коэффициента сферической aberrации магнитной линзы пушки ЭЛА-60 от расстояния немагнитный зазор – плоскость фокусировки

ющих расстояниях от торца пушки: 20, 100, 220 и 470 мм, тонкие — на расстояниях 45, 125, 245 и 495 мм. В каждом случае рабочим расстоянием соответствуют значения $b = 120$ мм (увеличение линзы $M = 1$), 220 мм ($M = 1,7$), 320 мм ($M = 2,7$) и 570 мм ($M = 4,75$). Неизменными устанавливались скорость сварки 5 мм/с и мощность пучка 24 кВт для металла толщиной 65 мм, скорость сварки 25 мм/с и мощность пучка 4,8 кВт для металла толщиной 8 мм, $U_{уск}$ в обоих случаях составляло 60 кВ.

На рис. 3 приведены полученные результаты для различных расстояний до изделия.

Обсуждение результатов. Полученные экспериментальные данные однозначно указывают на слабую корреляцию глубины проплавления и расстояния до изделия. При мощности пучка 4,8 кВт наблюдается только сравнительно небольшое уменьшение глубины проплавления по мере увеличения расстояния от пушки до изделия с 45 до 495 мм.

В случае применения пучка мощностью 24 кВт в диапазоне расстояний до изделия 200...600 мм глубина проплавления практически постоянная. При минимальном расстоянии до изделия 20 мм, когда диаметр фокусного пятна минимален, глубина проплавления оказалась на 25 % меньше, чем при больших рабочих расстояниях.

Для объяснения полученных экспериментальных результатов выполним оценочные расчеты пространственных характеристик пучка в зависимости от его длины. При расчетах исходим из того, что поперечные размеры пучка определяются тепловыми скоростями электронов, сферической aberrацией и увеличением фокусирующей линзы. Благодаря высокой стабильности и малым пульсациям параметров питающих устройств, пренебрегаем влиянием хроматической aberrации магнитной линзы на поперечные размеры пучка. Можно также пренебречь влиянием объемного заряда пучка, поскольку уже вблизи анодного отверстия он скомпенсирован положительно заряженными ионами [4].

Принимая за радиус пучка расстояние от оси пучка до линии окружности, где плотность тока уменьшается в $e = 2,718$ раз по отношению к



плотности тока на оси пучка, согласно Ленгмюру получаем

$$r_{кр} = r_{кат} \left\{ \frac{T}{11600 U_{уск}} \right\}^{0,5} \frac{1}{\alpha_0} \quad (5)$$

Если кроссовер пучка проектируется на плоскость свариваемого изделия магнитной линзой, свободной от сферической aberrации, то радиус пучка на изделии равен

$$r_1 = M r_{кр} = r_{кат} \left\{ \frac{T}{11600 U_{уск}} \right\}^{0,5} \frac{1}{\alpha_1} \quad (6)$$

Если электроны не имеют тепловых скоростей, но линза характеризуется сферической aberrацией, радиус пучка на изделии равен

$$r_2 = (M + 1)^4 C_{сф} \alpha_1^3 \quad (7)$$

В реальном случае радиус фокального пятна можно представить следующим образом:

$$r_{ф.п} = (r_1^2 + r_2^2)^{0,5} \quad (8)$$

Отсюда получено [5]

$$\alpha_1 = 0,87 \frac{1}{M + 1} \frac{r_{кат}^{0,25} (T/11600)^{0,125}}{C_{сф}^{0,25} U_{уск}^{0,125}} \quad (9)$$

$$r_{ф.п} = 1,33(M + 1) \frac{r_{кат}^{0,75} C_{сф}^{0,25} (T/11600)^{0,375}}{U_{уск}^{0,375}} \quad (10)$$

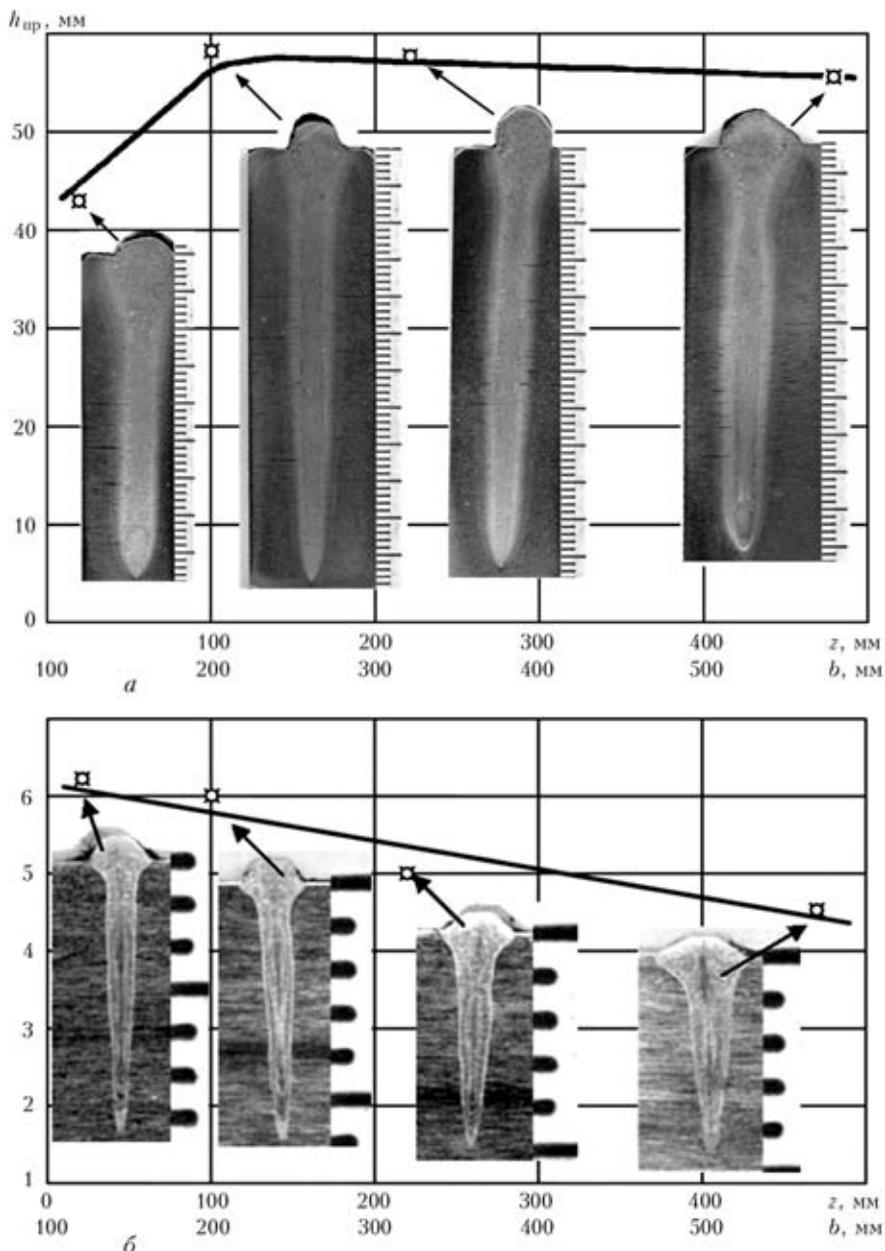


Рис. 3. Изменение глубины проплавления и макрошлифы поперечных сечений при различных расстояниях до изделия для стали 09Г2С ($w_{п} = 24$ кВт) (а) и 12Х18Н10Т (48 кВт) (б)

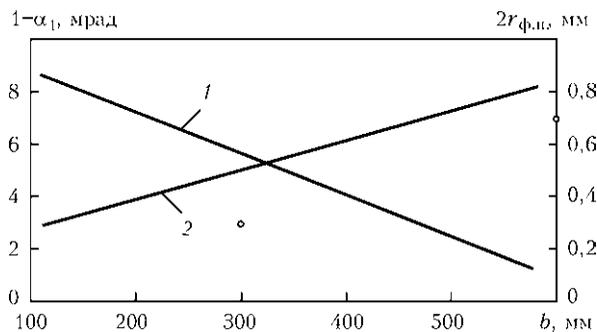


Рис. 4. Расчетные зависимости половинного угла сходимости (1) и радиуса фокусного пятна (2) для различных расстояний b

Результаты оценок радиуса и половинного угла сходимости пучка в плоскости изделия, удаленного от пушки на различные расстояния, приведены на рис. 4.

Как следует из рис. 4, при увеличении расстояния от середины немагнитного зазора пушки до изделия практически в 5 раз (от 120 до 570 мм) радиус фокусного пятна увеличивается в 3 раза. Однако благодаря уменьшению угла сходимости пучка возрастает протяженность перешейка пучка и соответственно незначительно меняется глубина и геометрия литой зоны формируемых проплавлений.

Некоторое уменьшение глубины проплавления при предельно малом рабочем расстоянии можно объяснить тем, что значение половинного угла сходимости пучка 10^{-2} рад является для условий эксперимента критическим, поскольку протяженность перешейка оказывается недостаточной для формирования более глубокого проплавления.

Выводы

1. Если при электронно-лучевой сварке металлов толщиной до 3...4 мм геометрические размеры проплавления определяются радиусом поперечного сечения маломощного пучка электронов, то при сварке металлов больших толщин пучком соответственно большей мощности глубина литой зоны зависит от протяженности перешейка пучка, которая определяется углом сходимости пучка на изделии.

2. Протяженность перешейка пучка, формируемого конкретной сварочной пушкой, незначительно изменяется в достаточно широком диапазоне расстояний до изделия, поэтому глубина литой зоны оказывается практически неизменной.

3. Для наиболее широко применяемых сварочных пушек типа ЭЛА-60 мощностью 10...60 кВт рекомендуемое оптимальное расстояние торца пушки—изделие составляет 150...200 мм с учетом необходимости хорошего отображения зоны стыка во вторичных электронах.

1. Menhard C., Loewer T. The electron beam geometry — definition, measurement and significance for the welding process // *Welding and Cutting*. — 2009. — № 8, № 3. — P. 138–142.
2. Mladenov G., Koleva E. Evaluation and some applications of the electron beam emittance // *Proc. of 7th Intern. conf. on beam technology*, 17–19 Apr. 2007, Halle, Germany. — P. 85–92, publ. by SLV/DVS.
3. Дер-Шварц Г. В. К расчету сферической аберрации осесимметричных магнитных линз // *Радиотехника и электроника*. — 1971. — № 7. — С. 1305–1306.
4. *Электронно-лучевая сварка* / О. К. Назаренко, А. А. Кайдалов, С. Н. Ковбасенко и др. / Под ред. Б. Е. Патона. — Киев: Наук. думка, 1987. — 256 с.
5. Bas E. B., Cremosnik G., Lerch H. Beitrag zum problem der erzeugung des elektronenstrahles fuer schmelzen // *Verdampfen, Schweißen und Bohren mit Elektronenstrahlen: Schweizer Archiv fur angewandte Wissenschaft und Technik*. — 1962. — S. 112–121.

Geometry of electron beam penetrations over a wide range of gun to workpiece distances was experimentally studied. A weak correlation was established between the gun to workpiece distance and penetration depth on thick metals. The possibility of substantially increasing the gun to workpiece distance without a marked change in the penetration parameters is attributable to a corresponding decrease in the convergence angle of the beam within a workpiece region.

Поступила в редакцию 16.12.2009



НАДЕЖНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ. ОЦЕНКА И УПРАВЛЕНИЕ

Академик **Б. Е. ПАТОН**, академик НАН Украины **Л. М. ЛОБАНОВ**, **А. Я. НЕДОСЕКА**, д-р техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
А. Ю. ФЕДЧУН, **А. А. ЕЛКИН**, **Б. М. ОБODOВСКИЙ**, инженеры (Одесский припортовый завод)

Представлена технология и аппаратура для неразрушающего контроля состояния сварных конструкций с оценкой разрушающей нагрузки и остаточного ресурса. Прогнозируемая разрушающая нагрузка и остаточный ресурс определяются в процессе эксплуатации при рабочей нагрузке. Показано применение системы при контроле оборудования Одесского припортового завода.

Ключевые слова: сварные конструкции, надежность эксплуатации, техническая диагностика, акустическая эмиссия, прочность

Некоторое время назад мы мечтали, что придет такая пора, когда можно будет достаточно точно определить, в каком состоянии находится та или иная конструкция, нужно ли выводить ее из эксплуатации или она еще в состоянии работать [1]. Сейчас разработки в области прочности материалов, диагностики и прогнозирования их работоспособности, вычислительной и измерительной техники шагнули настолько далеко, что появилась возможность реализовать на практике такие методы. Разработанные технологии позволяют из единого центра дистанционно оценить и прогнозировать состояние эксплуатируемой конструкции, где бы она ни находилась. Это существенное достижение науки и техники. Контроль постепенно из рутинного и трудоемкого превращается в удобный офисный. Мы уже видим будущее, когда системы непрерывного мониторинга будут работать на всех опасных объектах Украины, обеспечивая безопасность и надежность их эксплуатации [2].

Современное развитие техники обусловило создание сварных металлических сооружений крупных размеров, эксплуатация которых проходит в весьма сложных условиях. К таким объектам прежде всего относятся крупногабаритные хранилища опасных веществ, корпуса судов, доменные печи, их воздухонагреватели и засыпные аппараты, телевизионные башни, башни-трубы тепловых электростанций длиной более 300...500 м, собственно электростанции, мосты, сверхмощные шагающие экскаваторы, башенные краны судостроительных заводов, компрессорные станции газопроводов и т. д.

Надежная эксплуатация перечисленных металлоконструкций в основном определяется несущей

способностью их силовых частей и сварных узлов. Однако расчет несущей способности элементов конструкций, обеспечивающий достаточную надежность, затруднен по ряду причин.

Затруднения в оценке состояния сварных металлоконструкций в настоящее время преодолевают в большинстве случаев принятием конструктивных решений при их проектировании путем установления больших запасов для основных прочностных свойств. При этом не только удорожается сооружение, но и снижаются его технико-экономические характеристики.

Такой подход связан с большими затратами времени, труда и средств и не всегда дает желаемые результаты, так как воспроизвести весь спектр эксплуатационных условий при испытании сложных конструкций весьма затруднительно. В реальных условиях конструкция может работать в режимах, существенно отличающихся от принятых при испытаниях и тем более при расчетах ее несущей способности.

Средством для решения задачи обеспечения безопасности эксплуатации сварных конструкций является создание информационно-измерительных систем, позволяющих оценить еще на стадии испытаний надежность конструкций, а также контролировать работоспособность конструкций или головного образца серии непосредственно в процессе работы.

Целью данной статьи является анализ работок ИЭС им. Е. О. Патона в области создания технологии и аппаратуры непрерывного мониторинга сварных конструкций, а также реализация этих разработок в промышленности.

Современное развитие средств вычислительной техники, радиоэлектроники, прикладной математики, техники испытаний, науки о прочности материалов и механики сплошной среды позволяет решить задачу непрерывного контроля ра-

ботоспособности применительно к различным типам сварных конструкций.

Для работы информационно-измерительной системы необходимо регулярное получение оперативных данных, прежде всего, о состоянии узлов конструкции и различного рода дефектов, которые накапливаются при эксплуатации. При наличии данных о конструкции и соответствующей обработке этой информации можно оперативно, в реальном режиме времени оценивать ее несущую способность.

Это, в частности, дает возможность получить большие технические и экономические выгоды в тех областях техники, где из-за незнания истинных эксплуатационных нагрузок дорогостоящие натурные конструкции испытывают до разрушения с целью получения прочностных характеристик и создания технической документации на их серийное производство.

В последнее время вырос общий объем работ в области создания «интеллектуальных» конструкций, оснащенных системами непрерывного контроля с выдачей рекомендаций обслуживающему персоналу [1–7]. Системы контроля такого рода должны обеспечить возможность конструкции давать информацию о своем состоянии, возможности или невозможности ее дальнейшей эксплуатации, формулировать условия, при которых дальнейшая эксплуатация конструкции остается надежной.

С 1978 г. на Одесском припортовом заводе (ОПЗ) начали функционировать четыре изотермические емкости, предназначенные для хранения и перегрузки аммиака, поступающего на завод по специальному трубопроводу из Тольятти и перегружаемого далее в отсеки танкеров [8, 9]. Общий вид хранилища аммиака объемом 34 тыс. м³, диаметром 52 м и высотой 21 м приведен на рис. 1.

Объем перегрузки аммиака составлял около 5 млн т в год, включая 1 млн, которые производятся непосредственно на заводе.



Рис. 1. Общий вид хранилищ аммиака ОПЗ

Производство, хранение и перегрузка аммиака относятся к сфере опасных производств. Поэтому в 2002 г., когда закончился срок регламентной эксплуатации хранилищ и оборудования завода, было проведено заседание научно-технического совета предприятия, где была отмечена необходимость принятия дополнительных мер по обеспечению дальнейшей их безопасной эксплуатации. Решением научно-технического совета было поручено разработать 10-летний план оснащения завода системами непрерывного мониторинга основных производств на базе передовых технологий контроля, позволяющих заблаговременно оценить и предотвратить аварийную ситуацию технологического оборудования, не прекращая его эксплуатацию. В соответствии с планом была начата работа по разработке и оснащению таким оборудованием конструкций основных производств, работающих с аммиаком.

Первая диагностическая система контроля аммиакохранилищ, построенная на основе акустической эмиссии (АЭ), разработана ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины совместно с венгерской фирмой «Видеотон». Система смонтирована на хранилище аммиака ST-4 и запущена в 2003 г. В течение следующих трех лет оборудованием непрерывного мониторинга были оснащены еще три хранилища, а в 2006 и 2007 годах такое оборудование заработало в цехах производства аммиака (рис. 2). На рис. 3 представлена структурная схема технологии, обеспечивающей решение поставленной задачи. Основой технологии является информация, поступающая с датчиков АЭ. Существует два блока обработки информации. Первый блок первичной обработки, где формируются данные измерений в формате, необходимом для работы аналитического блока. Во втором блоке информация поэтапно превращается в показатели, прогнозирующие разрушающую нагрузку и остаточный ресурс эксплуатирующейся конструкции. Технология предусматривает также подготовку специалистов к работе с контролирующим обо-



Рис. 2. Общий вид цеха производства аммиака ОПЗ



Рис. 3. Схема технологии контроля системой ЕМА 3



Рис. 4. Суммарные напряжения в оболочке корпуса хранилища

рудованием, разработку совместно с государственными органами необходимой для работы нормативной документации. Проводится аттестация измерительной части приборов и выдаются необходимые документы. Весь комплекс работ, сопровождающих поставку диагностического оборудования, является достаточным для успешной практической работы на предприятиях и заводах.

Введенная в действие на хранилищах ОПЗ диагностическая система уже в начале работы сразу же обнаружила развивающиеся микродефекты в районе приварки держателей труб нагнетания аммиака к корпусу цилиндрической обечайки хранилища. Дефекты были обнаружены в местах, которые не подлежали ранее контролю по существующей нормативной документации и являлись очагами, где в дальнейшем, накапливаясь с течением времени, могут образоваться более серьезные повреждения. Таким образом, качественно новый подход к контролю состояния конструкций показал свою эффективность непосредственно после запуска системы мониторинга. Разработка оборудования и технологии контроля состояния

хранилищ учитывала современные достижения в области науки о прочности материалов, в области вычислительной и измерительной техники.

Многолетний опыт работы ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины в области создания информационно-измерительных систем на основе АЭ, а также опыт работы венгерской фирмы «Видеотон» в области создания аппаратуры позволили спроектировать, изготовить и запустить промышленную контрольно-диагностическую аппаратуру для длительного непрерывного мониторинга. К настоящему моменту ею оснащены четыре хранилища аммиака и оборудование двух цехов по его производству.

Выполнению расчетно-аналитических работ по созданию диагностической системы непрерывного мониторинга пред-

шествовали работы по исследованию напряженного состояния отдельных узлов конструкции корпуса хранилища. Стенки цилиндрических резервуаров хранилищ изготовлены из листов низкоуглеродистой стали марки А-537С1 (ASTM) переменной толщины, уменьшающейся с его высотой. Необходимо было оценить корпус хранилищ и оборудование цехов с выделением и классификацией зон с различным уровнем напряженного состояния и дефектности. В частности, установлено, что за прошедшие более чем 20 лет эксплуатации хранилищ остаточные сварочные напряжения в швах не претерпели существенных изменений и достигали, как и в исходном состоянии, предела текучести свариваемых материалов (для принятых в изготовлении корпуса сталей $\sigma_T = 360$ МПа). На рис. 4 показаны суммарные остаточные сварочные напряжения и напряжения, вызванные нагрузкой от наполненного жидким аммиаком бака, в районе уторного шва. Как видно из рисунка, максимальные напряжения сосредоточены в сварных швах, где достигают в узкой полосе шириной 10...12 см предела текучести при растяжении.

На рис. 5 представлена типовая блок-схема системы непрерывного мониторинга, разработанная специально для контроля хранилищ аммиака и оборудования цехов по его производству, с передачей информации в диагностический центр предприятия и в системе Интернет на более далекие расстояния. Схема включает по 57 информационных каналов на каждом хранилище (48 акустических и 9 дополнительных, в том числе запасные каналы), контролирующие непрерывно около 4×3500 м² поверхности хранилищ.

Данные измерений по каналам связи поступают в два блока, оснащенных измерительной и компьютерной техникой, где происходит предва-

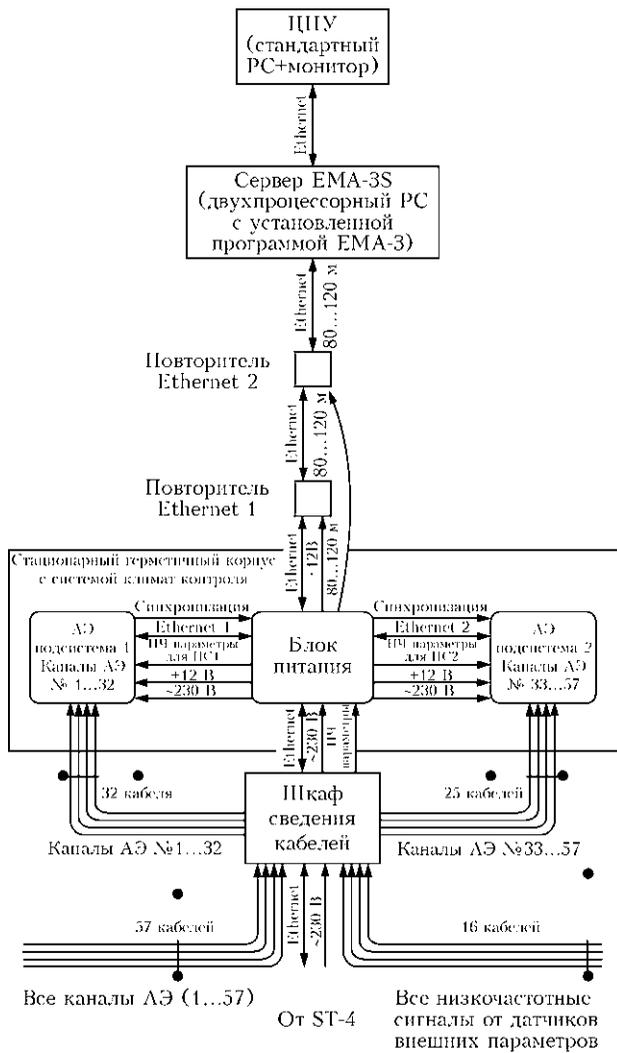


Рис. 5. Типовая блок-схема системы непрерывного мониторинга оборудования ОПЗ

рительная обработка информации. Учитывая, что блоки работают непрерывно на открытом пространстве, предусмотрен климат-контроль внутри блоков для обеспечения нормальных условий эксплуатации. Далее по линиям связи информация поступает в центральный сервер, где осуществля-

ется основная обработка информации с выдачей решения о состоянии контролируемых объектов. В частности, рассчитываются прогнозная разрушающая нагрузка и остаточный ресурс работоспособности конструкций корпусов хранилищ. Информация отображается на мониторе компьютера в центральном диагностическом центре завода.

Проведенные предварительные исследования и расчеты позволили установить области корпуса хранилища, которые должны контролироваться с повышенным вниманием. Общий вид стационарной системы непрерывного мониторинга ЕМА-3S, установленной в цехе производства аммиака, а также мобильная система семейства ЕМА представлены на рис. 6. На рис. 7 показана схема последовательности обработки диагностической информации, поступающей с контролируемых объектов.

Метрологические характеристики аппаратуры устанавливаются по следующим блокам параметров: электронная часть аппаратуры; измерительные датчики блокоизмерения координат АЭ событий; блок прогнозирования разрушающих нагрузок.

Наиболее серьезные технические требования предъявляются к блоку 2 (1-го этапа обработки), который передает исходную информацию на блок 2 (2-го этапа обработки). Блок 1 связан с измерительными приборами и датчиками, установленными на объекте.

От надежности и точности информации, поступающей в блок 3 и далее в блоки 4 и 5, зависит точность прогноза разрушающей нагрузки и остаточного ресурса. Если блоки 3–5 достаточно хорошо отработаны в мировой практике, то организация работы блока 2 связана с существенными трудностями извлечения информации с заданной вероятностью и точностью перед последующим направлением ее в блок 3. Представленные соображения предъявляют принципиально новые, очень серьезные требования к построению архитектуры диагностического оборудования и про-



Рис. 6. Стационарный (а) и мобильный (б) варианты диагностической системы семейства ЕМА

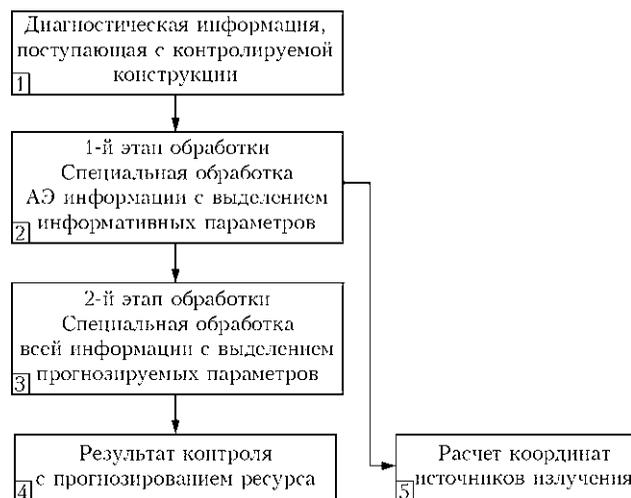


Рис. 7. Этапы обработки информации диагностической аппаратурой на основе АЭ

цедуре его аттестации. Так, для систем АЭ мониторинга семейства ЕМА предусмотрена аттестация по четырем блокам параметров. Заключительными этапами аттестации являются этапы измерения координат источников АЭ и определения разрушающей нагрузки.

Технология АЭ контроля эксплуатации хранилищ и оборудования ОПЗ. Процесс мониторинга выполняется системой ЕМА-3S непрерывно и автоматически. Каждая из измерительных систем ЕМА-3S использует отдельный управляющий компьютер, на котором сохраняются файлы проведенных измерений. Сохранение данных происходит с задаваемой оператором периодичностью. Рекомендуемым интервалом сохранения данных является 0,5...2 ч.

По результатам измерений программа проводит расчет разрушающей нагрузки и остаточного ресурса контролируемых конструкций, данные по которым сохраняются в базе данных и выдаются на экран компьютера в числовом и графическом видах.

На рис. 8 представлено рабочее окно программы ЕМА-3S. В правой верхней части окна расположены графики реального времени, показывающие текущую нагрузку и темп появления непрерывной АЭ, которые характеризуют общее состояние объекта контроля и накопление незначительных повреждений. В верхней левой четверти окна испытаний программы ЕМА-3S расположен индикатор прогноза разрушающей нагрузки и предупреждения об опасности. При нормальном состоянии металла индикатор имеет зеленый цвет, прогноз разрушающей нагрузки отсутствует. Если в процессе измерения появляется повышенная акустическая активность, индикатор меняет цвет соответственно уровню предупреждения (смена цвета полос сопровождается коротким звуковым сигналом):

1-е предупреждение — желтый цвет, 2-е — оранжевый, 3-е — красный цвет, разделено на два уровня — опасный и аварийный (таблица). При прогнозировании системой разрушающей нагрузки на индикатор выводится значение прогноза (представлено нижним и верхним значениями в диапазоне погрешности не более $\pm 15\%$ при вероятности 0,95) и координат опасного места. В нижней правой четверти окна испытаний программы ЕМА-3S расположена схема объекта контроля, например, для аммиакохранилищ в виде развертки боковой поверхности с расположенными датчиками АЭ. Места возникновения акусти-

Действия персонала при различной индикации на экране дисплея системы ЕМА-2S

№ п/п	Показания индикатора в левом верхнем углу дисплея	Действия персонала
1	Зеленая полоса 	Штатный режим. Продолжать эксплуатацию
2	Желтая полоса 	Внимание. При появлении прогнозируемого разрушающего уровня налива и превышении его над рабочим более чем в два раза. Продолжать эксплуатацию
3	Коричневая полоса 	Оценить прогнозируемый разрушающий уровень налива по показаниям индикатора. При превышении прогнозируемого уровня над рабочим менее чем на 30 % остановить эксплуатацию. Провести дополнительный анализ поступающей информации в соответствии с инструкцией
4	Красная прерывно пульсирующая полоса 	Остановить эксплуатацию. Провести дополнительную проверку прочности корпуса хранилища в соответствии с инструкцией
5	Красная непрерывная полоса или непрерывно пульсирующая 	Аварийная ситуация. Остановить эксплуатацию. Срочный сброс нагрузки

* Смена цвета полос сопровождается коротким звуковым сигналом.

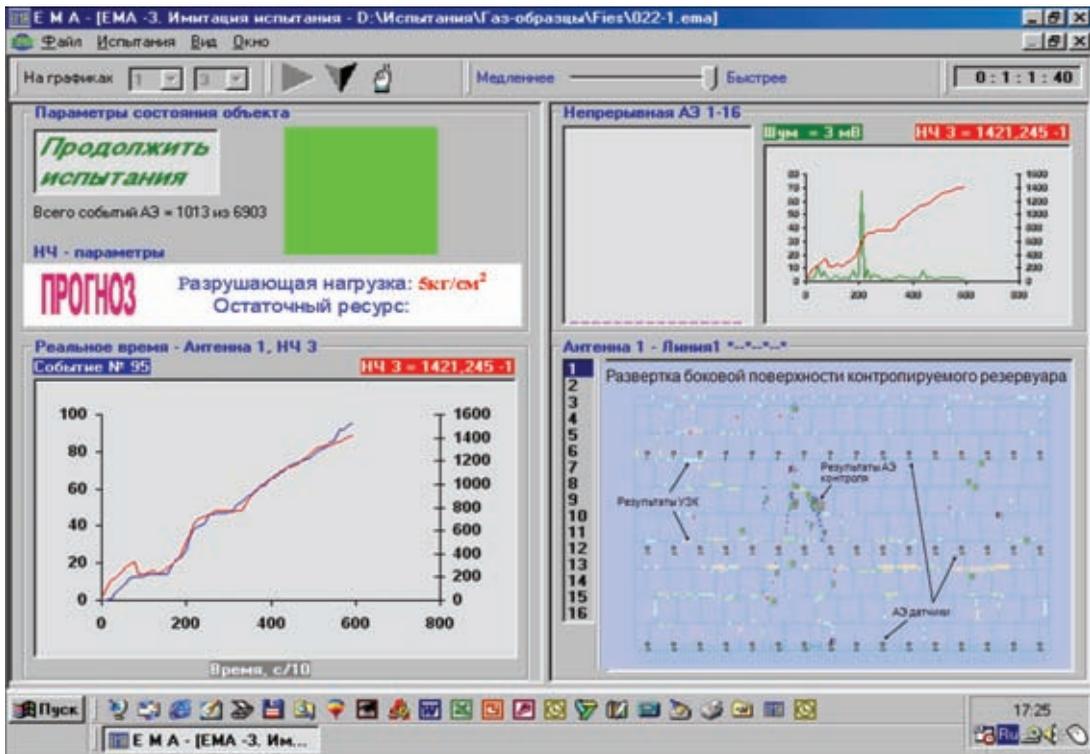


Рис. 8. Вариант рабочего окна программы системы ЕМА-3S

ческой активности отмечены прямоугольниками с флажком. Цвет прямоугольника указывает на уровень амплитуды последнего события АЭ в соответствии с настройками программы ЕМА-3S, а цвет флажка — на уровень опасности состояния в соответствии с приведенной выше шкалой цвета для 1-го – 3-го предупреждений.

В нижней левой части окна ЕМА-3S в виде графика представлена информация об уровне АЭ по активному каналу измерения (синим цветом) и действующая нагрузка в условных единицах (мВ) ($1 \text{ мВ} = 5,6 \cdot 10^{-3} \text{ кг/см}^2$) (красным). Характер указанных на графике кривых при нормальном состоянии конструкции должен быть горизонтальным или равномерно наклонным.

Расчет разрушающей нагрузки и остаточного ресурса аммиакохранилищ происходит автоматически. Результаты АЭ мониторинга выводятся на экран управляющего компьютера. К полученной во время контроля информации обеспечивается доступ по Интернет для ее периодического анализа специалистами и ее использования при формировании и совершенствовании эталонов для прогноза разрушающей нагрузки и остаточного ресурса. В случае возникновения сложной для анализа состояния конструкции ситуации проводятся дополнительные работы по его оценке. Например, уточнение текущего состояния аммиакохранилища осуществляют после остановки погруочно-разгрузочного процесса и других работ, вызывающих акустические шумы и электрические наводки на корпус резервуара.

При необходимости аммиакохранилище подвергают выдержке и принимают решение о его состоянии, пользуясь показаниями индикаторов в программе ЕМА-3S. Ориентировочные критерии работоспособности корпуса резервуара приведены в соответствующих нормативных таблицах для первых 10 мин контроля резервуара на выдержке.

При возникновении критической ситуации по таблице, п. 3, 4 следует принять необходимые меры по разгрузке корпуса хранилища аммиака.

Автоматизированная система непрерывного АЭ мониторинга ЕМА-3S имеет следующие встроенные средства обеспечения бесперебойной работы:

- источники бесперебойного электропитания;
- аппаратные устройства слежения за работой измерительных подсистем АЭ;
- специальные устройства для принудительной перезагрузки подсистем АЭ;

программы-агенты верхнего уровня для обеспечения бесперебойной работы программ ЕМА-3S и STIntegrator, осуществляющие в случае сбоев и неполадок их принудительный перезапуск.

Работа всех названных выше средств в комплексе обеспечивает бесперебойную работу системы в штатном режиме и в большинстве известных нештатных ситуаций.

Срок очередного технического освидетельствования контролируемых конструкций и оборудования может назначаться по фактическому состоянию на основании показания системы непрерывного АЭ мониторинга ЕМА-3S.

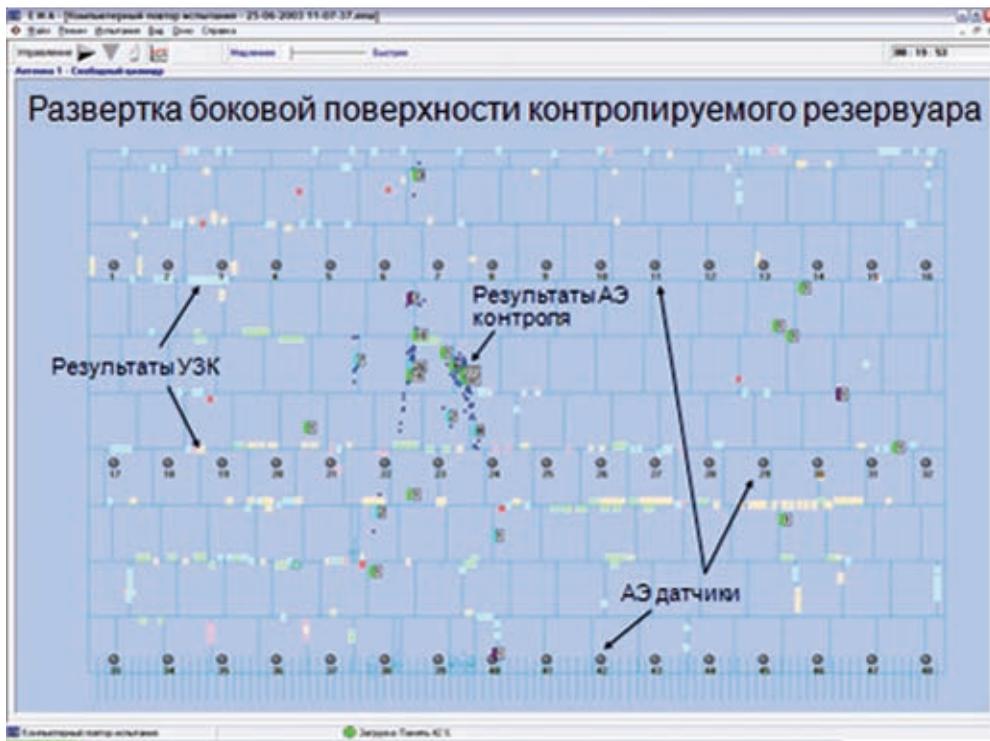


Рис. 9. Развертка на экране монитора боковой поверхности хранилища площадью 3500 м² (точками показаны места накопления усталостных повреждений)

Система рассчитана на бесперебойную работу в режиме непрерывного мониторинга в течение 16 лет.

На рис. 9 представлена выделенная из рабочего окна программы системы ЕМА-3S развертка боковой поверхности хранилища аммиака общей площадью 3500 м². Как было отмечено выше, че-

тыре таких хранилища контролируются 48×4 датчиками АЭ. Установлены также датчики деформаций и уровня налива, составляющие в совокупности вектор состояния материала. Анализ вектора состояния материала в каждый момент времени эксплуатации резервуара позволяет принимать решение о разрушающей нагрузке и ос-

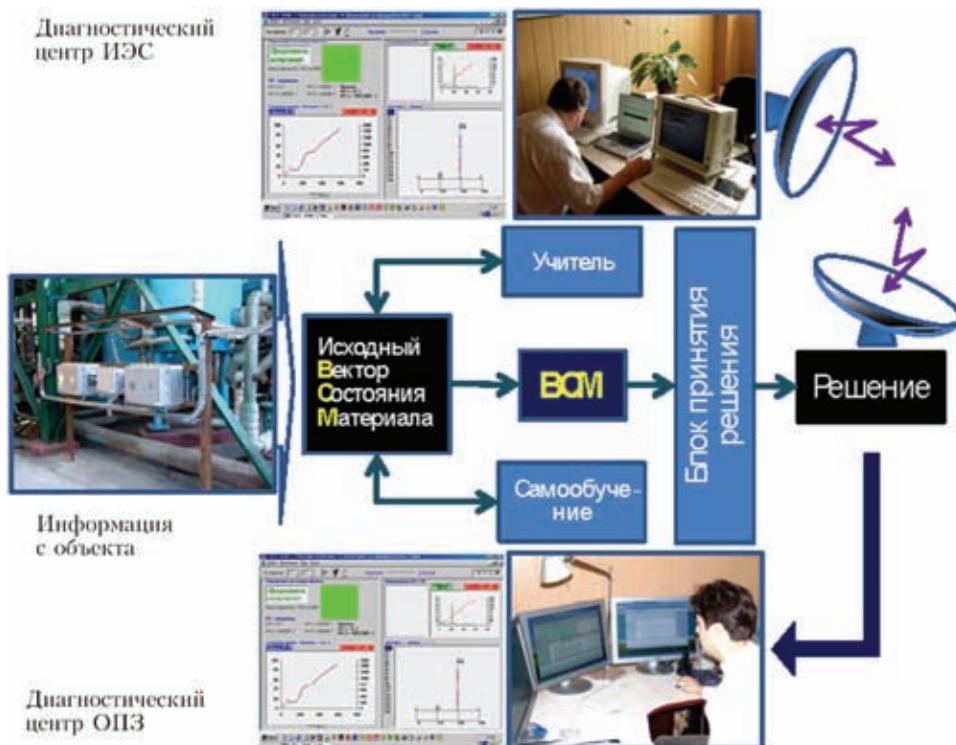


Рис. 10. Дистанционное управление эксплуатацией контролируемых конструкций

таточном ресурсе хранилища. На рис. 9 более четко видны черные круглые точки в средней части развернутой боковой поверхности резервуара, которыми отмечены места АЭ кластеров, где происходит накопление эксплуатационных повреждений. Данные области совпали с местами крепления кронштейнов нагнетательного трубопровода, совершающего колебательные движения в результате неравномерной работы нагнетающего аммиака насоса.

Существенное значение приобретает возможность дистанционного управления процессом эксплуатации контролируемых конструкций. При этом центр управления может быть расположен на любом и, в том числе, значительном расстоянии от контролируемого объекта. Данная возможность имеет большое значение и смысл. При необходимости (например, при освоении новых технологий контроля) консультативная помощь может быть оперативно оказана специалистами высокой квалификации сотрудникам диагностических центров предприятий, находящимся в другом, зачастую достаточно удаленном месте. На рис. 10 показана схема технологии, работающей в режиме дистанционного управления эксплуатацией контролируемых конструкций, организованная совместно ОПЗ и ИЭС им. Е. О. Патона. Специалисты аналитического центра в Киеве могут наблюдать ту же картину показаний контрольных мониторов, что и сотрудники контролирующей службы завода. Это дает возможность обсуждать результаты контроля и принимать по ним совместные взвешенные решения.

Состояние корпусов хранилищ по данным системы непрерывного мониторинга. Хранилища аммиака, как уже было отмечено, изготовлены и введены в эксплуатацию в 1978 г. Время регламентной работы для таких конструкций обычно принимается равным 20...25 лет. В течение этого периода предполагается отсутствие значимого влияния внутренних деструктивных процессов, протекающих в материалах конструкции при штатных режимах эксплуатации.

Однако с течением времени негативные процессы накопления повреждений в материалах начинают проявляться в виде отдельных всплесков микроразрушений. С одной стороны, начинают проявлять активность существующие в материалах дефекты, которые ранее при статочных ис-

пытаниях себя не проявляли в связи с высокими исходными свойствами материалов. С другой стороны, в результате структурных превращений на микро- и макроуровнях появляются и развиваются новые дефекты, которые постепенно образуют очаги скоплений (кластеры). Система непрерывного контроля показала перманентные во времени и на данный период эксплуатации неопасные всплески акустической активности в материалах корпусов хранилищ, что свидетельствует о непрерывном протекании изменений, связанных с процессом эксплуатационной наработки. Указанные обстоятельства требуют, чтобы эксплуатация корпусов хранилищ в послерегламентном периоде сопровождалась более строгим контролем состояния материала, что и обеспечивает диагностическая система непрерывного мониторинга.

1. *Некоторые* пути построения автоматических информационно-измерительных систем для диагностики надежности сварных конструкций / Б. Е. Патон, И. В. Кудрявцев, А. Я. Недосека и др. // Автомат. сварка. — 1974. — № 9. — С. 1–5.
2. *15 лет назад* (по материалам статьи академика Б. Е. Патона и д-ра техн. наук А. Я. Недосеки «Концепция технической диагностики трубопроводного транспорта» в журнале «Техническая диагностика и неразрушающий контроль» № 3 за 1992 г.) // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2007. — № 3. — С. 3–10.
3. *Патон Б. Е., Лобанов Л. М., Недосека А. Я.* Техническая диагностика: вчера, сегодня и завтра // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2003. — № 4. — С. 6–10.
4. *Paton B. E., Nedoseka A. J.* Diagnostic of designs and safety of an environment // The report on intern. conf. «The Human factor and environment». Intern. Institute of Welding, July 19–20 1999 г., Lisbon, Portugal.
5. *Harris D. O., Dunegan H. L.* Verification of structural integrity of pressure vessels by acoustic emission and periodic proof testing // Testing for prediction of material performance in structures and components, ASTM STP 515 (Philadelphia, PA: ASTM, 1972). — P. 158–170.
6. *Недосека А. Я.* Основы расчета и диагностики сварных конструкций / Под ред. Б. Е. Патона. — К.: Индпром, 2001. — 815 с.
7. *Хареев В. Г., Бородин Ю. П., Шанорев В. А.* Система комплексного диагностического мониторинга опасных производственных объектов // В мире неразруш. контроля. — 2006. — № 4. — С. 13–17.
8. *Obodovsky B., Fedchun A., Nedoseka A.* Application of a permanent acoustic emission monitoring of four ammonia storage tanks // Ammonia Technical Manual. — 2006. — P. 23–34.
9. *Правила безопасности для наземных складов жидкого аммиака (ПБ-03-182-98):* Утв. Федеральным горным и пром. надзором России, 1998. — М.: Госгортехнадзор, 2004. — 48 с.

The paper presents the technology and instrumentation for NDT of the condition of welded structures with assessment of breaking load and residual life. The predicted breaking load and residual life are determined during operation at working load. Application of the system in control of equipment at Odessa Port Plant is shown.

Поступила в редакцию 13.01.2010



СВАРКА В УЗКИЙ ЗАЗОР ВЫСОКОПРОЧНЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ТОЛЩИНОЙ ДО 110 мм

С. В. АХОНИН, д-р техн. наук, В. Ю. БЕЛОУС, канд. техн. наук,
В. С. РОМАНЮК, В. В. СТЕСИН, С. И. ВЕЛИКИЙ, А. В. СЕМЕНЕНКО, А. К. ПОЛИЩУК, инженеры
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Разработан способ дуговой сварки титановых сплавов большой толщины (20...110 мм) в узкую разделку, имеющий следующие преимущества: снижение требований к подготовке кромок и соответственно затрат на подготовительные операции, уменьшение угловых деформаций и остаточных сварочных напряжений в соединениях, экономный расход сварочной проволоки и электроэнергии при обеспечении высокого качества сварных соединений. Гарантированное сплавление боковых стенок разделки со сварным швом достигается благодаря управляющему поперечному переменному магнитному полю.

Ключевые слова: сварка ТИГ, титановые сплавы, присадочная проволока, большая толщина, узкий зазор, управляющее магнитное поле, сплавление кромок, структура, механические свойства

В последние годы наблюдается значительный рост объема применения титановых сплавов в различных отраслях промышленности. Помимо традиционного использования в аэрокосмической технике и кораблестроении, титановые сплавы стали широко применять в химическом машиностроении. Существует тенденция более широкого использования высокопрочных титановых сплавов, например ВТ6, ВТ20, ВТ23 ($\sigma_B = 835...1400$ МПа). Значительное количество сварных соединений толщиной 20...110 мм получено многослойной аргонодуговой сваркой в U-образную или V-образную разделку. Существенным недостатком этого способа сварки является большой объем наплавляемого металла, при этом стоимость используемой титановой проволоки значительно превышает стоимость титанового проката. Для соединения конструкций толщиной 20...110 мм в ряде случаев наиболее эффективной является технология аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом в щелевую разделку (узкий зазор), для успешной реализации которой необходимо обеспечить следующие условия: надежную защиту зоны сварки и вольфрамового электрода от окисления воздухом; качественное формирование металла шва и гарантированное оплавление вертикальных стенок щелевой разделки; обзор зоны сварки для контроля за процессом; контроль за положением вольфрамового электрода в центральной плоскости разделки в ходе сварки.

Сварку титана в щелевую разделку рекомендуется выполнять по двум схемам: с защитным соплом, которое опущено в зазор [1]; с защитным соплом, расположенным над поверхностью сва-

риваемых деталей [2]. При использовании второй схемы сварки в зазор помещают только один вольфрамовый электрод. Можно выполнять сварку в узкий зазор шириной 8...12 мм, что позволяет в 1,5...2,0 раза сократить расход дорогостоящего присадочного материала по сравнению со сваркой в узкий зазор по первой схеме, а также снизить сварочные деформации. Однако при использовании второй схемы возникает проблема защиты зоны сварки и наплавленного металла от поглощения кислорода и азота из воздуха. Исследования, проведенные в ИЭС им. Е. О. Патона, показали перспективность процесса сварки титана в узкий зазор по второй схеме. Была создана установка АД238 консольного типа для сварки листового титана толщиной до 100 мм и длиной до 2000 мм [2].

Основной задачей при выполнении сварки в узкий зазор является обеспечение надежного и равномерного сплавления вертикальных стенок щелевой разделки с наплавляемым валиком, а также валиков между собой. При сварке в узкий зазор вольфрамовым электродом без отклонения сварочной дуги значительная доля ее тепла расходуется на повторное проплавление предыдущего прохода. При этом могут возникать непровары вертикальных стенок разделки. Особенно часто непровары образуются в месте пересечения вертикальных стенок разделки с поверхностью предыдущего прохода, что связано с интенсивным теплоотводом на этом участке сварного соединения.

Для гарантированного проплавления боковых стенок применяют, как правило, поперечное перемещение сварочной дуги, которое может осуществляться как механически (поперечным перемещением или вращением вольфрамового электрода) [3], так и посредством наложения внешнего магнитного поля, в результате чего происходит

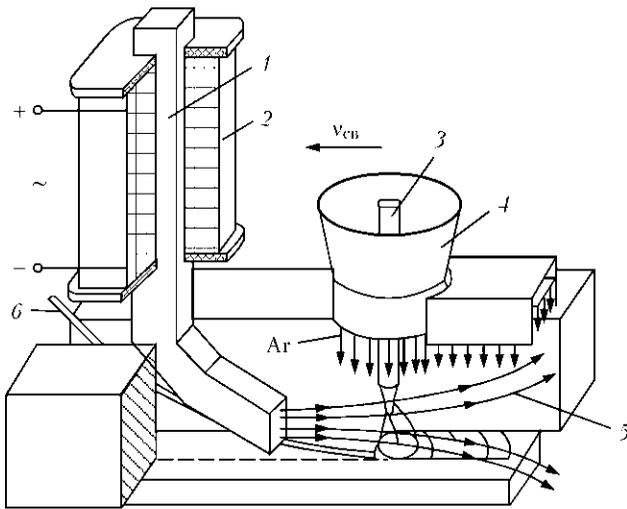


Рис. 1. Схема процесса сварки в узкий зазор с управляющим магнитным полем: 1 — сердечник электромагнита; 2 — катушка электромагнита; 3 — вольфрамовый электрод; 4 — защитное сопло; 5 — силовые линии управляющего магнитного поля; 6 — присадочная проволока

отклонение сварочной дуги [2] и смещение ее анодного пятна. Поскольку титан и сплавы на его основе являются немагнитными материалами, то наиболее эффективный способ обеспечения надежного и равномерного расплавления боковых стенок зазора — это электромагнитное управление отклонением сварочной дугой.

Для реализации управления сварочной дугой применен источник питания катушки электромагнита «БУМП-2» (ООО «Росток-СПАРКС»), формирующий импульсы трапецеидальной формы с амплитудой до 6 А. При сварке сердечник электромагнита выполняет функции магнитопровода и помещается в узкий зазор (рис. 1). При протекании тока через катушку электромагнита в зоне горения дуги создается магнитное поле, силовые линии которого в зоне дуги расположены преимущественно вдоль направления сварки. Такое магнитное поле является поперечным по отношению к дуге. Поочередное отклонение свароч-

ной дуги к боковым стенкам разделки и соответственно смещение анодного пятна дуги на боковые стенки осуществляется сменой полярности тока, протекающего через катушку электромагнита. Максимальная индукция управляющего магнитного поля в зоне дуги может составлять 8 мТл. При этом продольная составляющая индукции управляющего магнитного поля не превышает 20 %. Частоту реверсирования магнитного поля при использовании разработанной системы формирования управляющего магнитного поля «БУМП-2» можно регулировать в диапазоне от 1 до 80 Гц, магнитную индукцию — от 0 до 8 мТл.

Исследования особенностей формирования сварных швов титановых сплавов при сварке в узкий зазор с управляющим магнитным полем показали, что управление боковых стенок возрастает с увеличением поперечной составляющей индукции магнитного поля и уменьшением частоты его реверсирования. При частоте реверсирования управляющего магнитного поля более 20 Гц наибольшая глубина проплавления поверхности предыдущего слоя зафиксирована в центре шва. В сварных швах, выполненных на оптимальных режимах, непровары и несплавления полностью отсутствуют.

Электрическая дуга при сварке в узкий зазор горит в стесненных условиях, при этом, помимо вольфрамового электрода, в щелевой разделке размещены направляющая для присадочной проволоки и магнитопровод электромагнита, что затрудняет возможность оператору непосредственно контролировать процесс сварки. Для визуального наблюдения за процессом сварки и контроля состояния вольфрамового электрода и положения присадочной проволоки в разделке разработана малогабаритная видеокамера ВК-27, оснащенная насадкой прямого угла. Она предназначена для телевизионного наблюдения за процессом сварки ТИГ конструкций из титана и титановых сплавов на токе до 500 А. В состав видеокамеры входят светофильтр, объектив, матрица фотоприемника

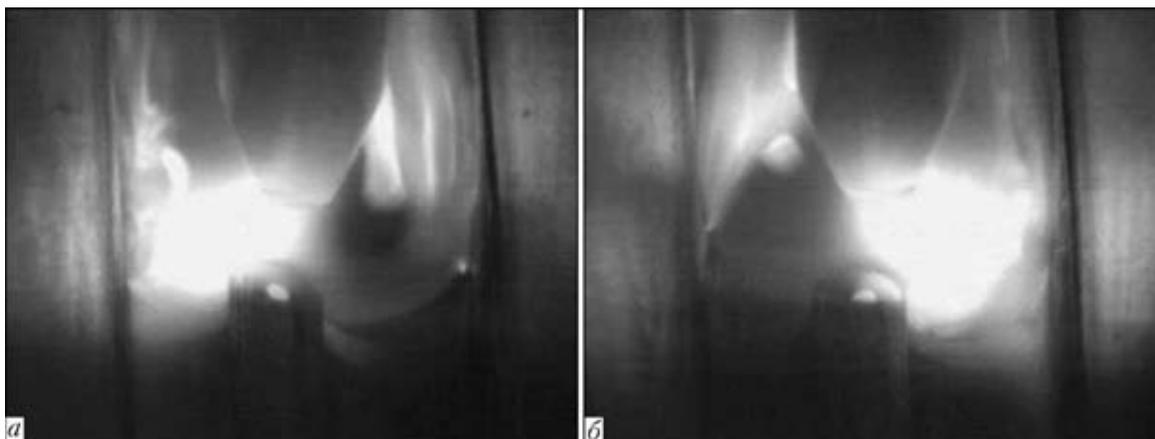


Рис. 2. Видеоизображение процесса аргонодуговой сварки титана вольфрамовым электродом в узкий зазор с внешним управляющим магнитным полем при отклонении дуги к левой (а) и правой (б) стенкам разделки

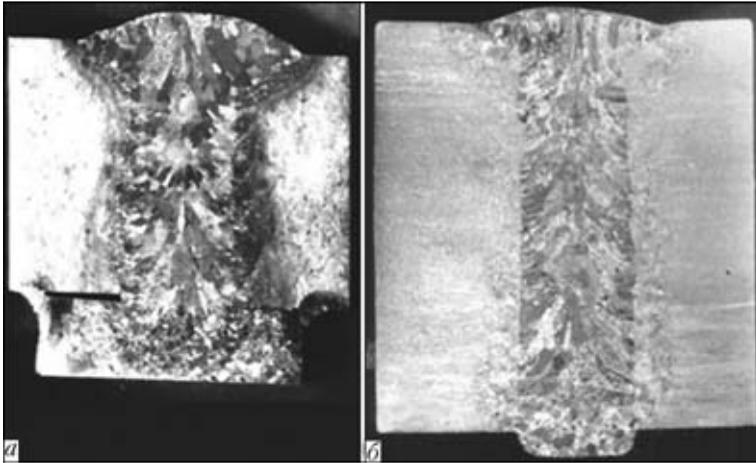


Рис. 3. Макрошлифы сварных соединений, полученных сваркой ТИГ в узкий зазор с управляющим магнитным полем на остающейся (а) и формирующей (б) подкладке

и микропроцессорный контроллер на базе цифрового сигнального процессора. Камера формирует выходной видеосигнал формата PAL. С помощью телевизионного наблюдения за процессом сварки в узкий зазор можно решить еще одну проблему — обеспечить контроль за положением вольфрамового электрода в центральной плоскости разделки в процессе сварки (см. рис. 2).

На основании результатов исследований отработаны две схемы сборки деталей под сварку в узкий зазор и подобраны соответствующие режимы. Первая предусматривает применение подкладки, которая приваривается с обратной стороны свариваемых деталей. Существенным недостатком такой схемы применительно к титановым сплавам является то, что приваренную подкладку, как правило, необходимо удалять, при этом на поверхности деталей остаются дефекты. Для предотвращения этого предложена вторая схема сборки и сварки с формирующей водоохлаждаемой подкладкой [4], которая служит кристаллизатором для валика первого прохода, защищает обратную сторону детали от окисления воздухом

Таблица 1. Содержание газов в сварных соединениях сплава ВТ23, мас. %

Материал	[O]	[N]	[H]
Основной металл	0,07	0,024	0,002
Присадочная проволока СП15	0,06	0,016	0,0023
Металл шва	0,06	0,020	0,0022

Таблица 2. Механические свойства основного металла и металла сварных швов

Объект исследования	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	$KCV_{2,2}$, Дж/см ²
Основной металл – сплав ВТ23	1030	980	13,0	30,0	35
Металл шва	1010	978	4,0	3,9	21
Сварное соединение	960	—	—	—	—

и выполняет функции токоподвода. Макрошлифы сварных соединений, полученных по указанным схемам, представлены на рис. 3.

Результаты определения содержания газов в металле шва (табл. 1) показали, что оно не превышает содержание газов в основном металле и зависит от их содержания в присадочной проволоке. Это подтверждает высокое качество газовой защиты при сварке.

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что прочность сварных швов, выполненных на титановом сплаве ВТ6 аргонодуговой сваркой в узкий зазор с применением присадочной проволоки СПТ2, в состоянии после сварки по своим свойствам находятся на уровне 95 % прочности основного металла (табл. 2), что соответствует требованиям, предъявляемым к швам первой категории.

Исследования структуры швов, выполненных на двухфазном титановом сплаве ВТ23 с применением высоколегированной присадочной проволоки СП15, показали, что при отсутствии индукции без колебаний сварочной дуги фиксируется наличие грубоигльчатой структуры с длинными мартенситными иглами, которые встречаются как в центральной части шва, так и в периферийной. В периферийной части металла швов, выполненных с магнитной индукцией 6 мТл, мартенситная структура более грубая. Однако мартенситные иглы в данном случае короче, чем в металле швов, выполненных без колебаний сварочной дуги.

В металле сварных швов, выполненных с магнитной индукцией более 6 мТл, формируется однородная структура, при этом как в центральной, так и в периферийной зоне швов грубые мартенситные иглы отсутствуют. Увеличение частоты реверсирования свыше 20 Гц практически не влияет на длину мартенситных игл.

Анализ микроструктуры сварных швов титанового сплава ВТ23 с присадочной проволокой СП15, выполненных сваркой в узкий зазор, показал, что средняя длина мартенситных игл без магнитного поля составляет 0,10...0,05 мм. При сварке с частотой реверсирования магнитного поля 10 Гц и магнитной индукцией 6 и 12 мТл средняя длина мартенситных игл уменьшается соответственно до 0,06...0,08 и 0,04...0,05 мм. При магнитной индукции 8 мТл и увеличении частоты реверсирования магнитного поля от 2,5 до 20,0 Гц средняя длина мартенситных игл уменьшается от 0,10...0,15 до 0,03...0,04 мм. Дальнейшее увеличение частоты реверсирования магнитного поля заметно не

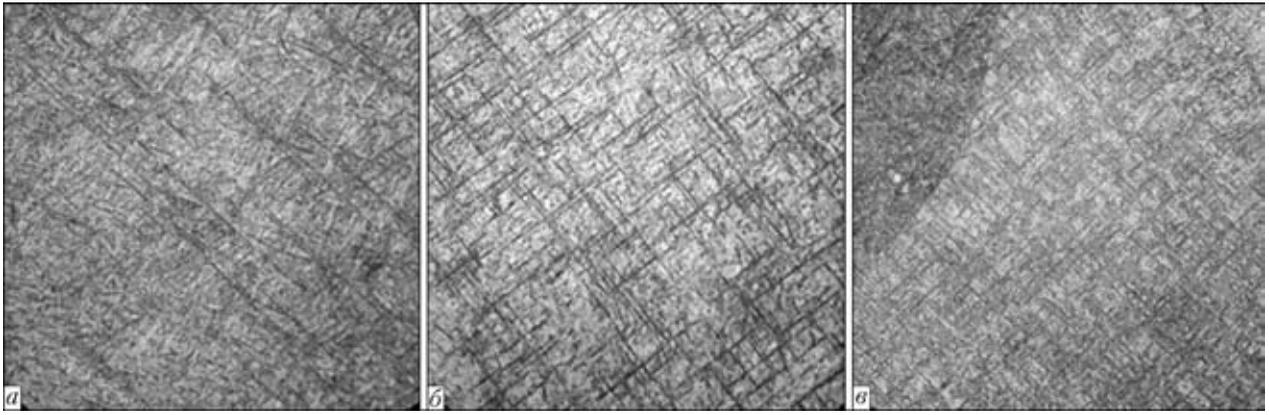


Рис. 4. Микроструктуры ($\times 400$) металла сварных швов, выполненных без магнитного поля (а) и с управляющим магнитным полем с индукцией 6 (б) и 8 мТл (в)

сказывается на длине мартенситных игл в металле швов.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что применение магнитного управления сварочной дугой при сварке позволяет почти в 4 раза уменьшить среднюю длину мартенситных игл и получить более однородную и мелкоигольчатую структуру металла шва (рис. 4). По мнению авторов, улучшение вторичной структуры металла шва двухфазных титановых сплавов связано с возникновением поперечных колебаний сварочной ванны. Поперечные колебания расплава в хвостовой части сварочной ванны фиксируются на видеозаписи процесса сварки в узкий зазор, а также проявляются в изменении чешуйчатости поверхности шва: с увеличением частоты реверсирования управляющего магнитного поля расстояние между чешуйками уменьшается. В результате поперечных колебаний сварочной ванны происходит периодическое подплавление металла на фронте кристаллизации, а в сварных швах двухфазных титановых сплавов формируется мелкодисперсная структура, в которой средний размер мартенситных игл уменьшается от 160 до 40 мкм.

Решение перечисленных выше задач позволило разработать сварочную установку для полу-

чения соединений высокопрочных титановых сплавов толщиной до 110 мм сваркой ТИГ в узкий зазор с магнитным управлением дугой (рис. 5). На установке сварка выполняется по второй схеме. Для решения проблемы защиты зоны сварки разработана сварочная горелка с цилиндрическим защитным соплом, расположенным над поверхностью свариваемых деталей (рис. 6), внутренняя поверхность которого имеет образующую по форме, близкую к кривой Витошинского [5]. Применение такой сварочной горелки позволило гарантировать надежную защиту зоны сварки при получении сварных соединений титана и сплавов на его основе толщиной до 110 мм.

Сварочная установка состоит из следующих основных узлов: неподвижного портала для расположения сварочной головки над местом сварки; тележки с механизмом перемещения сварочной головки вдоль шва; сварочной горелки с защитным сапогом; механизма вертикального перемещения сварочной головки с системой автоматической регулировки напряжения дуги; механизма поперечного перемещения сварочной головки; механизма подачи присадочной проволоки; системы магнитного управления дугой; системы телевизионного наблюдения за процессом сварки; стола для сварочных об-

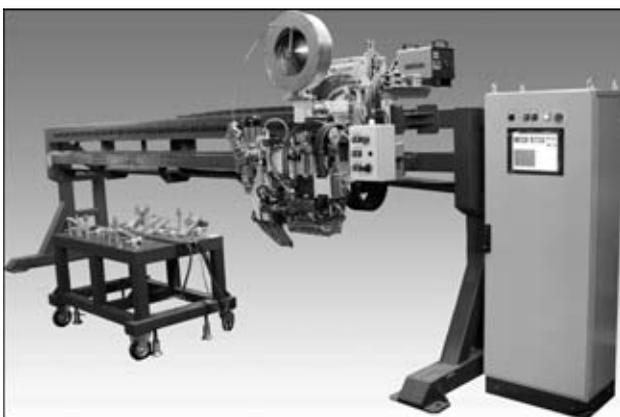


Рис. 5. Установка портального типа для сварки в узкий зазор соединений титана и сплавов на его основе толщиной 20...110 мм

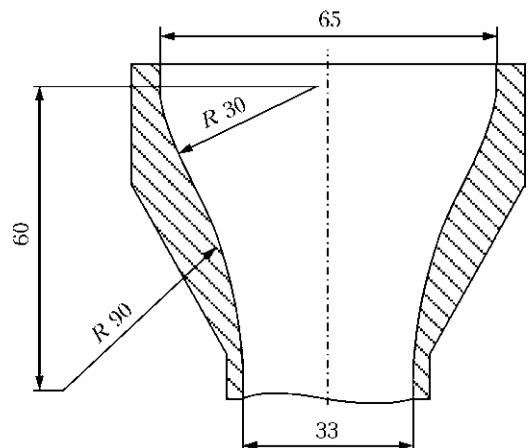


Рис. 6. Схема защитного сопла для сварки в узкий зазор титана и сплавов на его основе



разцов; источника питания ВДУ-511 с возбудителем дуги ВСД-02; шкафа управления с сенсорным дисплеем; пульта местного управления.

Система управления установкой предназначена для осуществления технологического процесса аргонодуговой сварки титановых сплавов и обеспечения функционирования оборудования на следующих режимах: «Наладка» — для проверки работы всех механизмов установки и выполнения установочных перемещений перед сваркой; «Автомат» — для автоматического управления технологическим процессом сварки по заданной программе. С помощью системы управления осуществляются как визуальное наблюдение за процессом сварки, так и регистрация его параметров — напряжения, тока дуги, скорости сварки, скорости подачи проволоки, частоты и индукции магнитного поля.

Сварочная установка выполняет многопроходную сварку в автоматическом режиме соединений технического титана и сплавов на его основе толщиной 20...110 мм и протяженностью до 4000 мм в узкий зазор прямолинейными швами, толщина наплавляемого слоя за один проход составляет 5...7 мм.

Разработанные технология сварки и установка обеспечивают получение сварных соединений высокого качества.

Выводы

1. На основании проведенных исследований разработана технология сварки высокопрочных титановых сплавов в узкий зазор с внешним уп-

равляющим магнитным полем, обеспечивающая высокое качество сварных соединений и их механические свойства на уровне не менее 90 % показателей основного металла.

2. При сварке в узкий зазор с управляющим магнитным полем в металле швов, выполненных на сварных двухфазных титановых сплавах, формируется мелкодисперсная структура, причем средний размер мартенситных игл уменьшается в 4...5 раз (от 160 до 40 мкм) по сравнению с металлом швов, выполненных без управляющего магнитного поля.

3. Разработана установка портального типа для многопроходной сварки соединений титана и высокопрочных сплавов на его основе толщиной 20...110 мм и протяженностью до 4000 мм в автоматическом режиме в узкий зазор прямолинейными швами, которая обеспечивает высокое качество полученных сварных соединений.

1. Михайлов В. И., Сахаров И. Ю. Сварка конструкций из титановых сплавов больших толщин (проблемы технологии) // Тi-2006 в СНГ: Сб. тр. междунар. конф., Россия, г. Суздаль, 21–24 мая 2006 г. — Киев: Наук. думка, 2006. — С. 109–111.
2. Paton B. E., Zamkov V. N., Prilutsky V. P. Narrow-groove welding proves its worth on thick titanium // Welding J. — 1996. — № 4. — P. 37–41.
3. Гринин В. С., Штрикман М. М. Высокопроизводительная автоматическая сварка в узкощелевую разделку // Свароч. пр-во. — 1982. — № 7. — С. 21–23.
4. Белоус В. Ю. Сварка толстолистового титана с применением формирующей подкладки // Автомат. сварка. — 2009. — № 10. — С. 40–42.
5. Ардентов В. В., Федоренко Г. А. О влиянии конструкций проточной части горелок на характеристики газовой защиты // Свароч. пр-во. — 1973. — № 10. — С. 24–26.

A method of narrow-gap arc welding of thick titanium alloys (20...11 mm) was developed, which has such advantages as simplification of edge preparation and reduction of the cost of preparatory operations, lowering of angular deformations and residual welding stresses, reduction of welding wire and power consumption, while guaranteeing the high quality of welded joints, irrespective of the thickness of elements being joined. Guaranteed fusion of side walls of the groove with the weld is achieved due to the controlling transverse variable magnetic field.

Поступила в редакцию 22.03.2010



УДК 621.791.75.042

ИМПУЛЬСНО-ДУГОВАЯ СВАРКА ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ В АРГОНЕ ТОНКОЛИСТОВЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

В. С. МАШИН, канд. техн. наук, М. П. ПАШУЛЯ, инж., **В. А. ШОНИН**, канд. техн. наук,
И. Н. КЛОЧКОВ, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Исследованы технологические особенности импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом в аргоне стыковых соединений тонколистовых алюминиевых сплавов АМц, АМг2, АМг6, 1915Т1 и АД33Т1 толщиной от 1 до 2,8 мм. Показано влияние режимов сварки на геометрические параметры швов, их макроструктуру и механические свойства соединений. Даны рекомендации по технологии сварки.

Ключевые слова: сварка плавящимся электродом, тонколистовые алюминиевые сплавы, импульсная дуга, режимы сварки, сварные соединения, геометрия швов, механические свойства

При изготовлении листовых конструкций из алюминиевых сплавов низкой и средней прочности наиболее широко применяют два способа дуговой сварки — плавящимся и неплавящимся электродами в инертных газах. Они позволяют получать соединения со сравнительно высокими уровнями прочности и пластичности швов и обеспечивают необходимые эксплуатационные характеристики сварных соединений [1].

Сварка плавящимся электродом в отличие от сварки неплавящимся вольфрамовым электродом обеспечивает более концентрированное введение тепловой энергии дуги в свариваемый металл, глубокое проплавление алюминиевых сплавов, высокие скорости сварки, узкую ЗТВ и меньшие деформации изделий. Такой процесс незаменим при изготовлении тонколистовых соединений, особенно тавровых, где процесс сварки плавящимся электродом не обеспечивает качественного формирования шва и полного проплавления стенок тавра из-за нестабильности расплавления присадочной проволоки и блуждания дуги по двум листам [2].

Недостатками процесса сварки плавящимся электродом являются «грубочешуйчатое» формирование поверхности шва, малый радиус и повышенный угол перехода шва к поверхности основного металла, а также значительные потери легкоиспаряемых легирующих элементов с электродного металла [3]. При этом в швах и зоне сплавления часто образуются поры, которые возникают вследствие относительно высокого содержания водорода в основном и присадочном материале, перегрева электродного металла [4] и значительного нарушения технологического про-

цесса сварки. Поэтому в соответствии с ГОСТом 14806–80, разработанным в начале 1970-х годов и действующим до настоящего времени, процесса сварки плавящимся электродом алюминиевых сплавов может применяться только для металла толщиной не менее 3 мм для стыковых и тавровых соединений и не менее 4 мм для угловых и нахлесточных.

Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом (ИДСПЭ) по сравнению со сваркой постоянным током позволяет стабилизировать процесс переноса капель электродного металла, улучшить формирование швов, уменьшить выгорание (испарение) легкокипящих легирующих элементов с электродной проволоки и повысить механические свойства сварных соединений [5, 6].

В последнее время в Европе, США и Японии выпускают сварочные установки, которые включают импульсные источники питания с синергетическим управлением процессом переноса капель электродного металла для поддержания синхронного процесса «один импульс — одна капля» [7] и подающие механизмы толкающе-тянущего типа для сварочных проволок диаметром 0,8...1,6 мм. Такими наиболее эффективными установками являются аппараты типа TransPulsSynergic (TPS), которые предназначены для автоматизированных и роботизированных линий по изготовлению изделий различного назначения. Применение этого оборудования для ИДСПЭ позволяет расширить диапазон свариваемых толщин металла в сторону их снижения.

Цель данных исследований — получение качественных соединений из тонколистовых алюминиевых сплавов различных систем легирования толщиной до 3 мм при использовании ИДСПЭ.

Методика исследований. При отработке методики основывались на известных положениях о необходимости уменьшения термического воз-



действия процесса сварки плавлением на термоупрочненные алюминиевые сплавы путем применения высококонцентрированных источников нагрева. Это достигается, например, при сварке лазерным лучом [8] или при гибридной лазерно-дуговой сварке плавящимся электродом [9] с использованием в качестве защитного газа гелия или гелий-аргоновых смесей ($He \geq 70\%$) [10, 11]. Поэтому при ИДСПЭ соединений тонколистовых алюминиевых сплавов в качестве эффективной меры снижения погонной энергии сварки применяли относительно высокие сварочные токи и повышенные скорости сварки. Для получения качественных соединений придерживались следующего положения — чем выше сварочный ток (соответственно выше напряжение дуги и скорость сварки), тем меньше ширина швов и высота их выпуклости (при неизменной глубине проплавления металла) и, как следствие, меньше остаточные деформации соединений.

В исследованиях применяли алюминиевые сплавы АМц толщиной 1 мм, АМг2 толщиной 1 мм, АМг6 толщиной 1,5 и 1,8 мм, АД33Т1 и 1915Т1 толщиной 2,8 мм и сварочную проволоку СВАМг6 (ГОСТ 7871–75) диаметром 1,2 мм. В качестве защитного газа использовали аргон высшего сорта. Автоматическую ИДСПЭ стыковых соединений выполняли на сварочной установке «Fronius TPS-450». Перед сваркой поверхность металла зачищали шабером. Угол наклона сварочной горелки составлял $10...15^\circ$, расстояние от сопла горелки до сва-

риваемого металла 8...12 мм, расход аргона 20 л/мин.

Сварку стыковых соединений выполняли на съемных подкладках из нержавеющей стали с канавками шириной 2 мм и глубиной 0,8 мм для сплавов толщиной 1...2 мм, а также шириной 3,8 мм и глубиной 1 мм для сплавов толщиной 2,8 мм. Геометрические параметры швов — ширину B и высоту H лицевой выпуклости определяли на поперечных макрошлифах. Значения погонной энергии процесса ИДСПЭ рассчитывали по формуле $q_{\text{п}} = K_{\text{эф}} I_{\text{св}} U_{\text{д}} / v_{\text{св}}$, кДж/см, где $K_{\text{эф}}$ — эффективный КПД дуги (0,72 для аргона). Механические свойства основного металла и сварных соединений определяли на стандартных образцах ГОСТ 6996–66.

На рис. 1, 2 представлены микроструктуры соединений сплавов АМц, АМг2 и АМг6 в зависимости от режима сварки. Определено, что оптимальная ширина швов и их плавный переход к основному металлу наблюдается при $I_{\text{св}} \geq 55$ А и $v_{\text{св}} \geq 50$ м/ч ($q_{\text{п}} \leq 0,5$ кДж/см) при скорости сварки 30 м/ч оптимальное формирование выпуклости швов наблюдается при $I_{\text{св}} \leq 40$ А. Следует отметить, что такая скорость ($v_{\text{св}} \leq 30$ м/ч) наиболее приемлема при полуавтоматическом процессе, когда сварщик еще может надежно поддерживать вылет сварочной горелки и ее равномерное перемещение.

Расчеты показали, что при поддержании одинаковой глубины проплавления металла толщиной 1...3 мм повышение скорости сварки в 3 раза

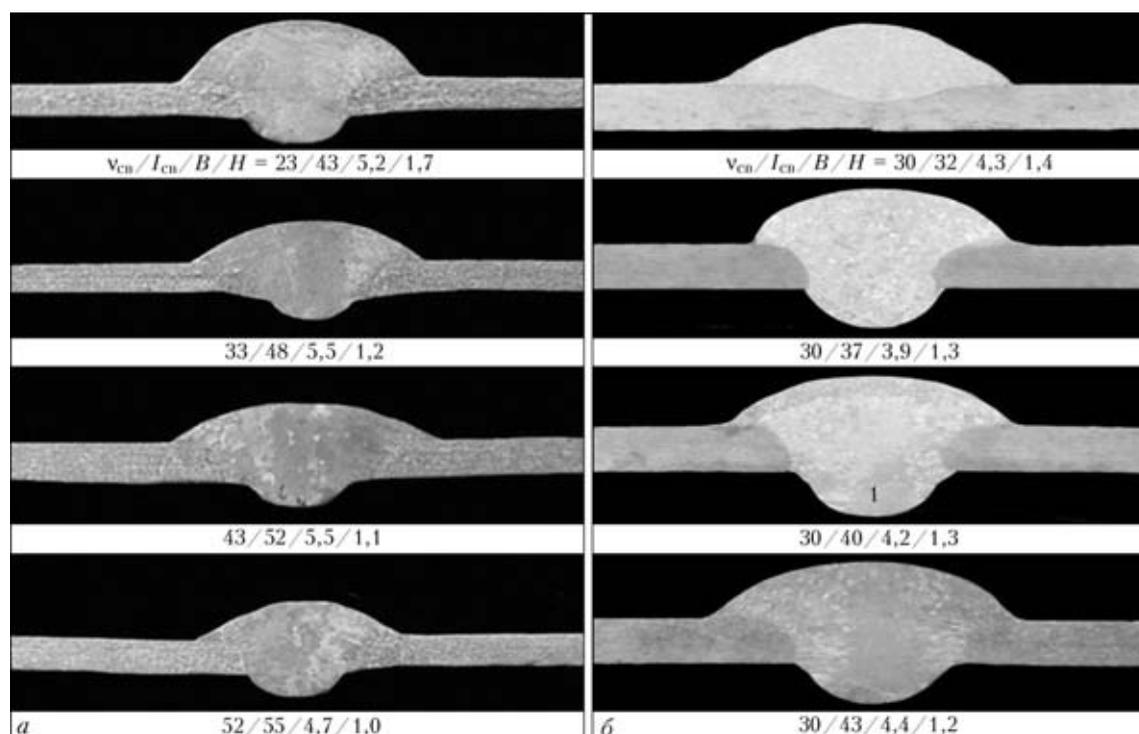


Рис. 1. Влияние режима сварки на геометрию соединений сплава АМц (а) и АМг2 (б) толщиной 1 мм. Здесь и далее номер в области металла шва соответствует номеру опытной сварки с погонной энергией согласно рис. 3

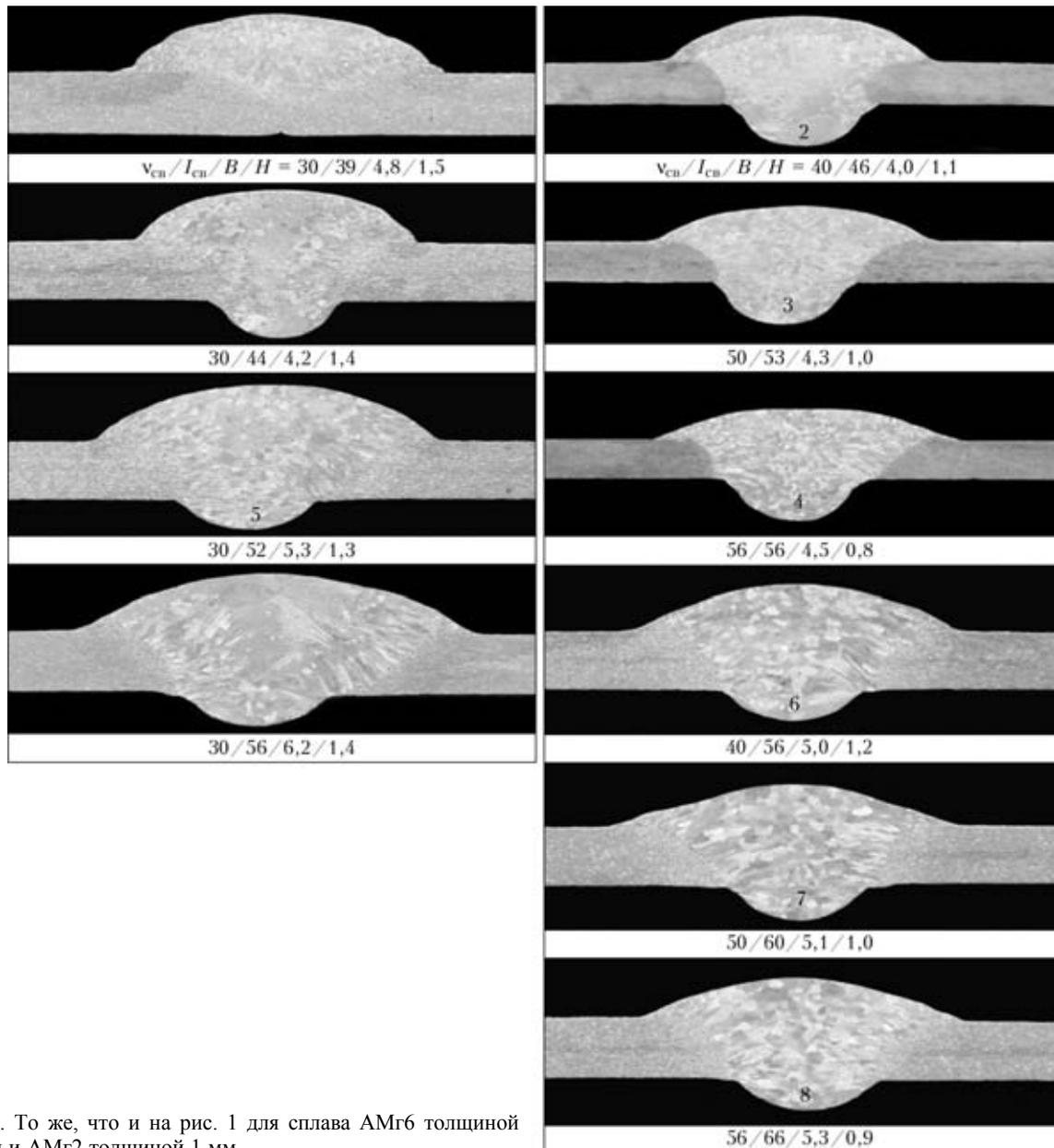


Рис. 2. То же, что и на рис. 1 для сплава АМг6 толщиной 1,5 мм и АМг2 толщиной 1 мм

(например, с 20 до 60 м/ч) требует увеличение силы сварочного тока всего в 1,7 раза и повышения напряжения на дуге в 1,15 раза, что приводит к снижению в 1,6 раза погонной энергии процесса сварки (рис. 3). Это, вероятнее всего, объясняется тем, что глубина проплавления алюминиевых сплавов h находится в пропорциональной зависимости от давления дуги P , которое, в свою очередь, зависит от квадрата силы сварочного тока и определяется по следующему уравнению [12]: $h = f(P) \approx B_0 + B_1 I_{св} + B_2 I_{св}^2$, где B_0 , B_1 , B_2 — коэффициенты уравнения регрессии, зависящие от состава защитного газа, диаметра и марки электродной проволоки и пр.

Анализируя данные, представленные на рис. 1–3, можно сделать вывод, что автоматическую ИДСПЭ алюминиевых сплавов толщиной

1...2 мм необходимо выполнять при $I_{св} \geq 55$ А и $v_{св} \geq 50$ м/ч ($q_{п} \leq 0,5$ кДж/см). Это касается технологий сварки без применения систем слежения за перемещением сварочной горелки по кромкам стыкового соединения. В случае использования указанных выше систем слежения скорость сварки может быть значительно повышена.

На рис. 4 представлены размеры выпуклости швов и макроструктура соединений сплава 1915 в зависимости от режимов сварки. Установлено, что в швах соединений, полученных на оптимальных режимах сварки ($v_{св} = 40...50$ м/ч), отсутствуют поры диаметром более 0,1 мм.

Исследования показали, что геометрические размеры швов, полученные ИДСПЭ, не превышают соответствующих значений, которые рекомендуются государственными (ГОСТ 14806–80)



Средние значения механических свойств сварных соединений (числитель), выполненных ИДСПЭ и основного металла (знаменатель) (во всех испытываемых образцах направление проката металла совпадает с осью сварного шва)

Марка сплава	δ , мм	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{0,01}$, МПа	δ_5 , %	$\sigma_B^{cc}/\sigma_B^{om}$	$\sigma_{0,2}^{cc}/\sigma_{0,2}^{om}$	Зона разрушения
АМг2	1,0	180	82	79	12,3	0,94	1,0	ЗТВ, ОМ
АМг2*	1,0	$\frac{177}{192}$	$\frac{80}{82}$	$\frac{78}{80}$	$\frac{12,4}{22}$	0,92	0,98	»
АМг6	1,5	352	182	146	15	0,96	0,93	ЗС и ЗТВ
АМг6*	1,5	$\frac{312}{365}$	$\frac{171}{196}$	$\frac{139}{148}$	$\frac{12}{20}$	0,85	0,87	Шов
АМг6	1,8	348	166	111	17	0,97	0,86	ЗС и ЗТВ
АМг6*	1,8	$\frac{319}{357}$	$\frac{158}{192}$	$\frac{97}{151}$	$\frac{14}{20}$	0,89	0,82	Шов
АД33Т1	2,8	218	126	81	8,8	0,69	0,44	ЗТВ
АД33*	2,8	$\frac{216}{314}$	$\frac{124}{277}$	$\frac{79}{151}$	$\frac{8,7}{14,9}$	0,68	0,45	»
1915Т1	2,8	346	216	185	9,2	0,82	0,72	ОМ
1915Т1*	2,8	$\frac{297}{426}$	$\frac{173}{297}$	$\frac{155}{205}$	$\frac{5,7}{19,0}$	0,70	0,58	Шов

* Выпуклости шва сняты.

и отраслевыми стандартами на сварные алюминиевые соединения при ручной и автоматической сварке вольфрамовым электродом.

Результаты исследований механических свойств образцов сварных соединений представлены в таблице и свидетельствуют о том, что для термически неупрочненных сплавов типа Al-Mg-Mn условный предел прочности соединений (с двухсторонним усилением шва) снижается по сравнению с основным металлом не более чем на 6 %, а условный предел текучести не более чем на 14 %. Наибольшее снижение σ_B и $\sigma_{0,2}$ по сравнению с основным металлом наблюдается для соединений термически упрочненных сплавов: для

сплава АД33Т1 соответственно на 32 и 55 %; для сплава 1915Т1 на 16 и 28 %. Особенность разрушения сварных соединений с выпуклостями шва состоит в том, что все они разрушаются за пределами металла шва. Со снятыми выпуклостями соединения сплавов АМг2, АМг6 и 1915Т1 разрушаются по металлу шва, а снижение механических свойств по сравнению с основным металлом составляет соответственно: для соеди-

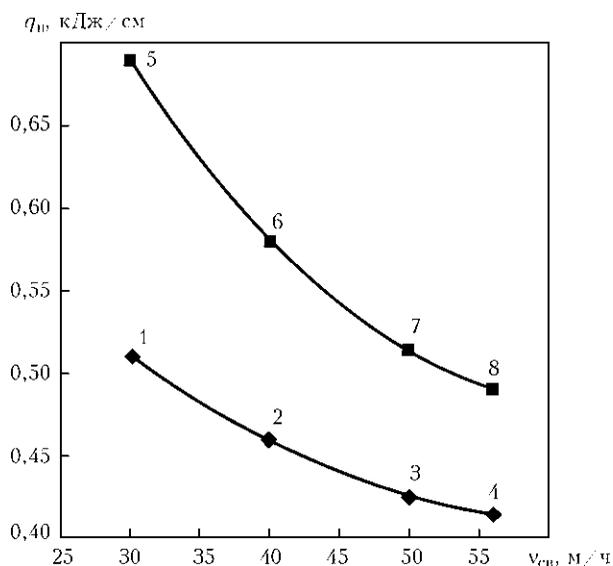


Рис. 3. Влияние скорости сварки на среднее значение погонной энергии процесса ИДСПЭ сплава АМг2 толщиной 1 мм (точки № 1...4) и сплава АМг6 толщиной 1,5 мм (№ 5...8)

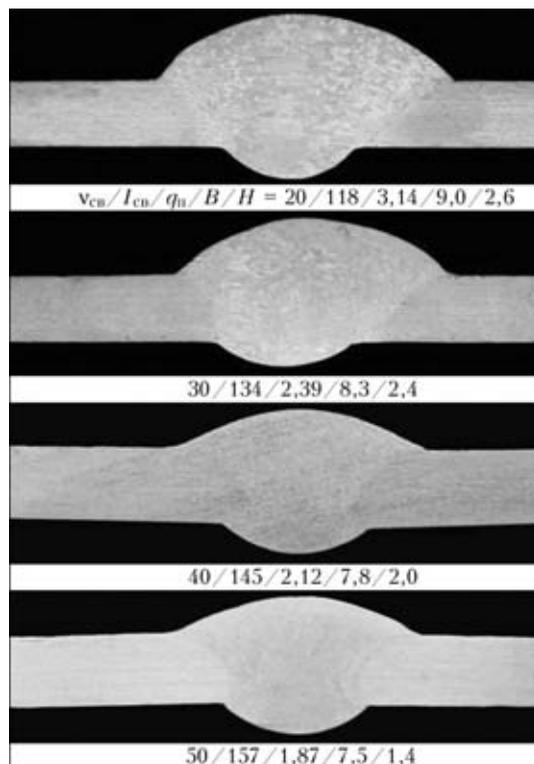


Рис. 4. Влияние скорости сварки, сварочного тока и погонной энергии сварки на геометрию соединений сплава 1915Т1

нений сплава АМгб σ_B — до 15 %, $\sigma_{0,2}$ — до 16 %; для соединений сплава 1915Т1 σ_B — до 16 %, а $\sigma_{0,2}$ — до 28 %. Для соединений сплава АД33 наличие или отсутствие выпуклостей шва практически не влияет на показания условных пределов прочности и текучести, поскольку разрушение соединений происходит по металлу ЗТВ.

Выводы

1. Современные импульсные источники питания с синергетическим управлением процессом ИДСПЭ позволяют расширить диапазоны толщин свариваемых металлов в сторону меньших их значений. При этом оптимизация режимов сварки, обеспечивающих стабилизацию равномерного формирования корня шва, приводит к повышению качества соединений тонколистовых алюминиевых сплавов.

2. С помощью ИДСПЭ в аргоне можно получать соединения алюминиевых сплавов толщиной 1...2,8 мм с достаточно хорошим качеством формирования швов и высокой их плотностью. При этом геометрические размеры наплавленного металла не превышают соответствующих значений параметров швов, получаемых ручной или автоматической сваркой вольфрамовым электродом.

3. Для снижения погонной энергии процесса ИДСПЭ и получения качественных соединений из тонколистовых алюминиевых сплавов необходимо применять относительно высокие сварочные токи и повышенные скорости сварки.

4. Результаты исследований процесса ИДСПЭ тонколистовых сплавов могут быть использованы для внесения изменений в существующие государственные и отраслевые стандарты на сварные соединения алюминиевых сплавов и послужат в дальнейшем широкому применению технологии

высокоскоростной сварки плавящимся электродом тонколистовых изделий из высокопрочных алюминиевых сплавов.

1. *Алюминий и его сплавы в современных конструкциях* / А. Я. Ищенко, Т. М. Лабур, В. Н. Бернадский, О. К. Маковецкая. — Киев: Екотехнологія, 2006. — 112 с.
2. *Машин В. С., Покляцкий А. Г., Федорчук В. Е.* Механические свойства соединений алюминиевых сплавов при сварке плавящимся и неплавящимся электродом // Автомат. сварка. — 2005. — № 9. — С. 43–49.
3. *Левченко О. Г., Машин В. С.* Санитарно-гигиеническая характеристика процесса сварки плавящимся электродом в инертных газах алюминиевого сплава АМгб // Там же. — 2003. — № 1. — С. 48–50.
4. *Средняя температура металла электродных капель при сварке алюминиевых сплавов в инертных газах* / А. Я. Ищенко, В. С. Машин, И. В. Довбищенко, С. М. Гетманец // Там же. — 1994. — № 1. — С. 48–49.
5. *Влияние режимов импульсно-дуговой сварки алюминия АДЮ на форму и пористость швов* / В. С. Машин, В. М. Павшук, И. В. Довбищенко, П. П. Шейко // Там же. — 1991. — № 4. — С. 57–60.
6. *Жерносеков А. М., Андреев В. В.* Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом (Обзор) // Там же. — 2007. — № 10. — С. 48–51.
7. *Воропай Н. М., Илюшенко В. М., Ланкин Ю. Н.* Особенности импульсно-дуговой сварки с синергетическим управлением параметрами режимов // Там же. — 1999. — № 6. — С. 26–31.
8. *Дриц А. М., Овчинников В. В.* Особенности лазерной сварки алюминиево-литиевых сплавов 1420 и 1460 // Цветн. металлы. — 2009. — № 9. — С. 59–63.
9. *Особенности лазерно-дуговой сварки плавящимся электродом алюминиевых сплавов различных систем легирования* / В. Д. Шелягин, В. Ю. Хаскин, В. С. Машин, М. П. Пашуля // Автомат. сварка. — 2009. — № 12. — С. 28–36.
10. *Довбищенко И. В., Ищенко А. Я., Машин В. С.* Применение гелия при сварке алюминиевых сплавов плавящимся электродом // Там же. — 1997. — № 2. — С. 14–19.
11. *Ищенко А. Я., Машин В. С., Будник В. П.* О пористости швов при сварке алюминиевых сплавов плавящимся электродом в инертных газах // Там же. — 1995. — № 1. — С. 16–18.
12. *Средняя температура металла ванны при дуговой сварке алюминиевых сплавов в инертных газах* / А. Я. Ищенко, В. С. Машин, И. В. Довбищенко, С. М. Гетманец // Там же. — 1994. — № 11. — С. 15–19.

Technological peculiarities of pulsed-arc butt welding of 1...2,8 mm thick sheet aluminium alloys АМts, АМg2, АМg6, 1915Т1 and АД33Т1 by the MIG method in argon atmosphere were studied. The effect of welding parameters on geometric parameters of the welds, their macrostructure and mechanical properties of the welded joints was shown. Recommendations on the welding technology are given.

Поступила в редакцию 30.07.2009



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПОСОБА СУХОЙ СВАРКИ ПРИ РЕМОНТЕ ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ ГАЗО- И НЕФТЕПРОВОДОВ В РОССИИ

В. Я. КОНОНЕНКО, канд. техн. наук (ГП «Екотехнология» НТК «Ин-т электросварки им. Е. О. Патона»)

Рассмотрено применение сухой подводной сварки при ремонте подводных переходов магистральных газо- и нефтепроводов через реки. Подробно описан новый специализированный мобильный водолазный комплекс, предназначенный для ремонта магистральных газопроводов диаметром 1020 и 1220 мм на глубине от 2 до 30 м с применением сухой подводной сварки, прошедший натурные испытания.

Ключевые слова: сухая подводная сварка, магистральные газопроводы, ремонт подводных переходов, мобильный водолазный комплекс

В настоящее время способ гипербарической подводной сварки, который начал развиваться с 1960-х годов, является наиболее востребованным при решении задач, связанных со строительством и ремонтом подводных газо- и нефтепроводов и других гидротехнических сооружений на различных глубинах. Предпосылками для развития этого способа явилось использование материалов с более высокими механическими свойствами, увеличение глубины выполнения работ и повышение требований к исполнителям, которые должны обеспечить соединения с прогнозируемым уровнем качества. При этом способе сварки отсутствует контакт с водой реакционной зоны и свариваемого металла, а также обеспечены более комфортные условия работы водолазов-сварщиков по сравнению с мокрыми способами сварки, что позволяет получить равнопрочные сварные соединения независимо от внешних условий и глубины выполнения работ. Это особенно актуально для РФ, где к концу 2008 г. количество подводных переходов магистральных трубопроводов (МТ) через водные преграды общей протяженностью 5800 км составило 1855 ед. (или 2687 ниток). По различным причинам воздействие окружающей среды и труднодоступные подводные переходы МТ являются сложными объектами для проведения подводно-технических работ с использованием подводной сварки.

Цель настоящей работы — ознакомить с технологией сухой сварки подводных переходов нефте- и газопроводов и оборудованием, используемым для ее реализации в РФ в течение последних 30 лет.

Основной объем работ в сухих камерах выполняют при ремонте подводных трубопроводов. Камеры проектируют и изготавливают индиви-

дуально под заказ [1–3]. Такая камера массой от 8 до 20 т, как правило, входит в состав корабельного водолазного комплекса. Разработан также ряд мобильных упрощенных модификаций камер, предназначенных для быстрой доставки к месту аварии в контейнерах. Кроме самой камеры, в состав комплекса входят гидравлические подъемники и центраторы, необходимые для перемещения труб в вертикальной и горизонтальной плоскостях при их фиксации и герметизации в торцах камеры. Камеры укомплектованы набором уплотняющих элементов, обеспечивающих герметизацию труб различных диаметров. В дополнительный комплект входит оборудование для зачистки, резки и подгонки труб, герметизированный источник питания, позволяющий выполнять сварку с использованием технологий ручной дуговой сварки (РДС), сварки ТИГ и МИГ/МАГ и термообработку сварных соединений, герметичные емкости для хранения инструмента и приспособлений, оборудование для термообработки и контроля сварных соединений.

В состав оборудования камеры входят также системы дымоудаления, пожаротушения, контроля состава газовой среды и гидравлическая система для фиксации и перемещения на небольшие расстояния ремонтируемой трубы в случае ее центровки при монтаже. В верхней части камеры расположен люк, с которым стыкуется водолазный колокол. Водолазы-сварщики из колокола могут переходить непосредственно в камеру. В период монтажа на трубе, когда камера затоплена, сварщики выполняют работы в водолажном снаряжении. После окончания монтажных работ они работают без водолазного снаряжения, но при необходимости надевают дыхательную маску, подключенную к системе газоснабжения водолазного колокола.

Сварочные работы под водой выполняют специалисты, прошедшие многомесячное обучение под руководством специально подготовленных

инженеров и техников, которые постоянно следят за физическим состоянием водолазов-сварщиков, составом и влажностью газовой смеси, а также контролируют все электрические параметры дугового процесса.

В практике ремонта подводных переходов на территории бывшего СССР сухую сварку почти не применяли, за исключением ремонта нефтепровода Александровское–Анжеро-Судженск в месте его перехода через реку Обь [4, 5]. В этом случае оба дефекта трубы диаметром 1020 мм с толщиной стенки 16 мм из стали 18Г2АФ находились в верхней части монтажных стыков. В феврале-марте 1979 г. на глубине 6 м в кессоне был заварен первый дефект — трещина, видимая часть которой составляла 250 мм. В качестве кессона использовали найденную в ближайшем регионе емкость для воды размером 1,8×1,5×2,2 м, что позволило выполнять сварочные работы на трубе в «секторе» от 9 до 3 ч. Воду отжимали сжатым воздухом, а сварочный аэрозоль из зоны горения дуги удаляли путем местной вытяжки. Вход и выход водолазов-сварщиков, а также подачу всего необходимого осуществляли через нижнюю часть кессона. Дефектный участок размером 400×650 мм был удален с применением газокислородной резки, а в образовавшееся отверстие ввели заплату с подкладкой. Корневой шов выполняли с применением мокрой механизированной сварки, а разделку заполняли с использованием покрытых электродов в сухой среде. Водолазное оборудование позволяло водолазам-сварщикам в течение одного рабочего дня выполнить всего два спуска под воду продолжительностью 45...50 мин каждый. Общее время, затраченное на изготовление камеры, ее монтаж и осуществление сварочных работ, составило 65 сут.

Второй дефект ремонтировали в феврале-марте 1980 г. Разрыв грунта проведен в летне-осеннее время, а зачистку трубы от гидроизоляции и ус-

тановку того же кессона, который использовали при ремонте первого дефекта, осуществляли в течение 10 рабочих дней. Как и в первом случае, трещина располагалась в «секторе» от 13.00 до 14.30 ч, ее видимая часть составляла 200 мм. Технология выполнения сварочных работ была такой, как и при ремонте предыдущего стыка. При сварочных работах водолазы-сварщики использовали аппарат ШАП-62, что позволило работать под водой без выхода на поверхность в течение 3...4 ч. При ремонте этого дефекта сварочные работы были произведены за 10 ч (с учетом предварительного подогрева трубы и зачистки швов).

В настоящее время в РФ выполнен ряд ремонтных работ на МТ с использованием сухой сварки [6]. Для этого использовали специализированный подводный кессон Захарова (СПКЗ) модификации I, который представляет собой открытый водолазный колокол, установленный боковой поверхностью на МТ. СПКЗ различных типов размеров обеспечивает ремонт МТ диаметром от 325 до 1420 мм.

СПКЗ, схема которого показана на рис. 1, состоит из металлического корпуса 18, соединенного с четырьмя направляющими 9 и крепежным кронштейном 16, с шарнирными устройствами 3. Боковые поверхности корпуса 18 имеют сегментный вырез 6, радиус которого соответствует радиусу ремонтируемого МТ 4. Герметичность установки СПКЗ на наружную поверхность МТ обеспечивается размещенным в кольцевом зазоре между сегментным вырезом корпуса 6 и поверхностью МТ уплотнителем 7, выполненным из микропористой резины. На поверхности корпуса 18 расположены два вентиляционных отверстия 10 и 14 (соответственно основное и дополнительное), на которых установлены краны для регулировки выпуска защитного газа и сварочного дыма. К основному вентиляционному отверстию 10 через шланг подсоединен вентиляционный раструб, обеспечивающий отвод сварочного дыма из кессона. Корпус 18 с помощью шарнирных устройств 3 закрепляется на двух штангах-грузах 2 на требуемой высоте. Устойчивость конструкции обеспечивается балластными ящиками 19 с размещенными в них балластными грузами 1. На дефектном участке ремонтируемого трубопровода СПКЗ закрепляется с помощью прижимных полуколец 11 и талрепов 12, 13, а его положение на поверхности МТ фиксируется с помощью четырех болтов-упоров 5, размещенных на направляющих 9, которые обеспечивают фиксацию требуемого положения СПКЗ относительно оси МТ. На крепежных кронштейнах 16 приварены монтажные петли 15 для монтажа корпуса 18 СПКЗ на грузоподъемной раме при его подъеме или спуске под воду.

СПКЗ позволил выполнить ряд ремонтных работ с помощью ручной дуговой сварки (РДС) в

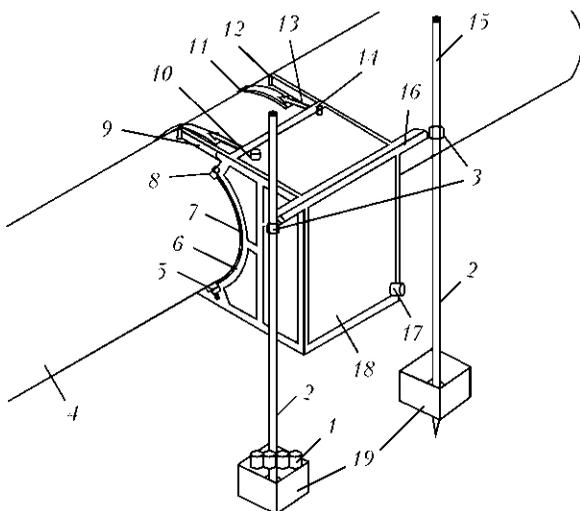


Рис. 1. Схема СПКЗ [7]: 1–19 — см. в тексте



Ремонт дефектов МТ, выполненных ООО «Спецподводремонт» способом сухой подводной сварки

МТ и его характеристики (глубина расположения дефектов)	Заказчик, год выполнения	Дефект	Способ ремонта
Петровск–Новопсков, диаметр 1020 мм на р. Дон (5 м)	ООО «Волгоградтрансгаз», 2006 г.	Сквозной в виде трещины в поперечном сварном шве длиной 180 мм	РДС с последующей установкой муфты МПСС (длина $L = 1400$ мм, давление $P = 217$ МПа)
«Отвод на Заречье», диаметр 530 мм на р. Лена (10 м)	ООО «Сахатранснефтегаз», 2006 г.	То же длиной 360 мм	РДС с последующей установкой муфты ПГМ (длина $L = 990$ мм, $P = 171$ МПа)
Газоотвод Хатассы–Павловск, диаметр 530 мм на р. Лена (10 м)	То же, 2007 г.	То же длиной 280 мм	РДС
Ямбург–Елец 2, диаметр 1220 мм на р. Обь (8 м)	ООО «Тюментрансгаз», 2007 г.	Трещины (стресс-коррозия) на теле трубы в продольном направлении: первая длиной 1660 мм и глубиной 8 мм; вторая длиной 580 мм и глубиной 10 мм	РДС с последующей установкой муфты МПСС ($L = 5200$ мм, $P = 1060$ МПа)

среде защитных газов на МТ, список которых приведен в таблице.

Для всех работ, описанных в таблице, технологический процесс был приблизительно одинаков и включал следующие операции:

- размывку и очистку поверхности трубопровода от гидроизоляции;
- установку кессона и вытеснение воды путем подачи аргона или углекислого газа;
- очистку поверхности трубы на ширину не менее 150 мм от границ предполагаемой выборки дефектного участка механическим способом;
- фиксацию концов трещины сверлением и удаление дефектного металла шлифованием с формированием двух кромок;
- предварительный подогрев до $100...150$ °С и сварку;
- неразрушающий контроль сварного соединения;
- демонтаж камеры, установку муфты, восстановление нарушенной гидроизоляции и замык отремонтированного участка трубопровода.

При ремонте сквозного дефекта кольцевого стыкового сварного соединения подводного перехода через р. Лена газопровода Хатассы–Павловск муфта ПГМ не устанавливалась.

Подготовку под РДС дефектов кольцевых стыков сварных соединений труб выполняли в следующем порядке:

очищали поверхность труб механическим способом на ширину не менее 150 мм от границ предполагаемой выборки;

для предотвращения распространения трещины ее края фиксировали путем сверления сверлом диаметром 5 мм на расстоянии $15...30$ мм от границ трещины в направлении возможного ее распространения;

производили послонную выборку абразивными кругами дефектного металла для получения необходимой формы кромок под сварку, при этом выборка должна была иметь прямолинейную U-

образную форму с параллельными границами и закругленными углами; ее длина должна перекрывать дефект не менее чем на $30...50$ мм в каждую сторону ($+30...50$ мм на выход абразивного круга в каждую сторону от границ дефекта); в случае, если не требовалось сквозной выборки, дефектный участок удаляли шлифованием до остаточной толщины металла трубы $3,0...3,5$ мм; если необходима сквозная выборка, сварку корневого слоя шва осуществляли участками длиной не более 75 мм при криволинейном расположении трещины вдоль кольцевого участка сварного соединения; при ее прямолинейном расположении допускается производить одновременную выборку и сварку корневого слоя шва; сварку заполняющих слоев шва осуществляли обратнотупенчатым способом по всей длине дефектного участка, а облицовочного слоя шва — по всей длине дефектного участка на проход.

Работы по подготовке к ремонту, сварке и контролю качества сварного соединения после ремонта выполняли водолазы-сварщики в водолазном снаряжении в кессоне в атмосфере углекислого газа.

Для сварки корневого слоя использовали электроды типа Э50А диаметром $2,00...3,25$ мм марки ЛБ-52У, а для сварки заполняющих и облицовочного слоев — электроды типа Э60 диаметром $3,2...4,0$ мм марки ОК 74.70.

Контроль качества сварки производили поперационно визуально и проверкой сплошности наплавленного металла ультразвуковым методом в объеме 100 %. Допустимые размеры дефектов сварных швов не должны были превышать значений, приведенных в РД 558–97.

СПКЗ модификации II является следующим шагом на пути развития технологии ремонта газопроводов с помощью сухой подводной сварки в РФ. Он представляет собой специализированный подводный комплекс (СПК), состоящий из кессона и установочной рамы (рис. 2) и пред-

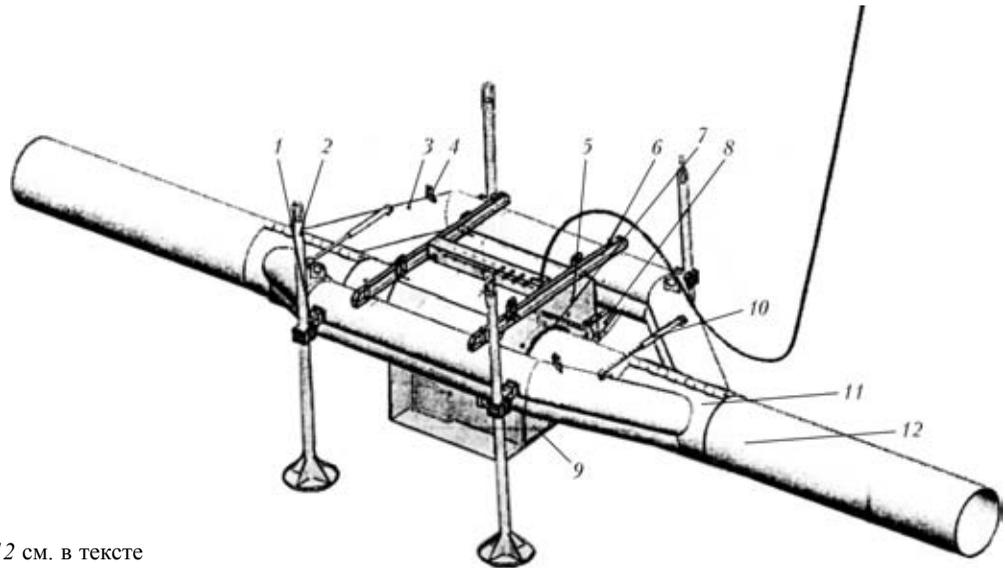


Рис. 2. Схема СПК: 1–12 см. в тексте

назначенный для сварки трубопроводов диаметром 1020 и 1220 мм с толщиной стенки 14...20 мм на глубине от 2 до 30 м. Натурные испытания прошел 27–31 октября 2009 г. С помощью СПК можно вырезать и заменять поврежденные участки трубопроводов, заваривать сквозные и несквозные дефекты, стыковать трубопроводы под водой и выполнять другие сварочные работы на подводных МТ. Общая масса комплекса составляет 25,5 т.

В этой модификации корпус кессона для уменьшения габаритных размеров при транспортировке сделан разъемным (рис. 3). Кессон состоит из пяти основных частей (см. рис. 2): корпуса 5 (верхней и нижней части); герметизирующей створки 9; опорной балки 6; откидного упора 8; пневматического уплотнения 7.

Кессон массой 5,9 т, размером 2,74×4,14×3,06 м и объемом 16,2 м³ позволяет выполнять работы сразу двум водолазам-сварщикам, использующим стандартные сварочные материалы и технологии. В торцах кессона расположены сменные герметизирующие створки 9, которые при установке открыты внутрь. Герметизация створок обеспечивается пористой резиновой прокладкой, а вокруг трубопровода — надувными резиновыми уплотнителями 7. В верхней части корпуса кессона предусмотрен П-образный выступ, в котором расположены крепление грузовых талей, редукторы выдоха и вводы телевизионных кабелей, освещения и шлангов впуска-выпуска газовой смеси. В верхней части кессона расположены опорные балки 6, центрирующие кессон относительно трубы, по которой он скользит вдоль рамы, а на передней и задней стенке кессона — упоры 8, удерживающие кессон от всплытия и центрирующие его. Кессон заполняют углекислым газом или аргоном для предотвращения взрыва в случае попадания газа из ремонтируемого трубопровода внутрь ра-

бочей зоны. Выдыхаемый водолазами-сварщиками воздух через специальную систему удаляется на поверхность, не попадая внутрь кессона. По углам расположены четыре видеокamеры с подсветкой для контроля состояния водолазов и последовательности выполнения ими операций. В комплект оборудования входят две тали грузоподъемностью 2 т каждая, используемые для монтажа трубной вставки. Напряжение для освещения

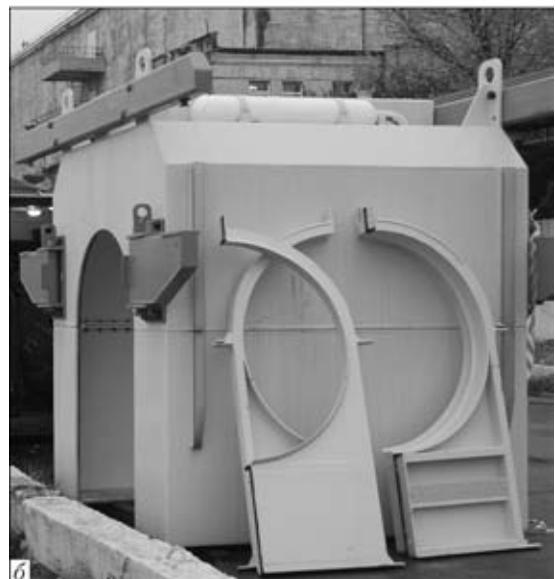
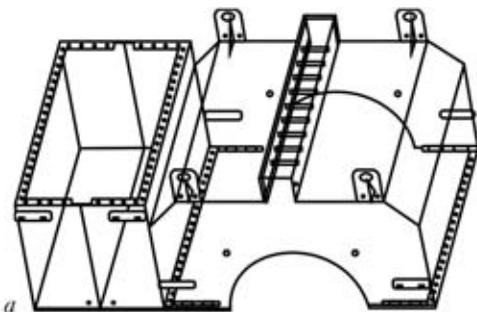


Рис. 3. Схема транспортной компоновки кессона (а) и его внешний вид (б)



и работы оборудования подается через электрический кабель длиной 70 м с соединительной муфтой. Электроды в зону работы транспортируются в специализированном герметичном контейнере.

Установочная рама 3 (см. рис. 2 и 4) предназначена для жесткой фиксации в исходном положении аварийного участка трубопровода 12, во время вырезки катушки, а также для удержания кессона от всплытия при его полной продувке. Она состоит из двух половинок длиной 9,8 м и массой 8,8 т каждая, трубных захватов 11 с полиуретановыми прокладками, гидравлических натяжителей 10, опор 2, шарниров 1 и грузовых проушин 4. Шарнирами рамы являются оси трубных захватов 11, расположенные по краям установочной рамы. Ширина рамы в сборе составляет 6,1 м, высота — 3,1 м. Для зажима трубы на установочной раме смонтированы два гидравлических натяжителя 10, обеспечивающих закрытие-открытие трубных захватов с усилием до 300 кН, работающих от насосной станции с пневматическим приводом. Фиксация установочной рамы на трубопроводе от продольного смещения осуществляется с обеих сторон через створки захвата болтами, которые затягиваются динамометрическим ключом. Усилие зажатия передается на трубопровод через полиуретановые вкладыши трубных захватов 11, смонтированных в торцевых частях установочной рамы 3. Внутренняя полость установочной рамы разделена на шесть балластных отсеков общим объемом 12,8 м³, которые могут заполняться водой или продуваться, при этом изменяется вертикальная нагрузка на трубопровод.

Установочная рама 3 опирается на грунт с помощью четырех регулируемых вертикальных опор 2, которые снимают весовую нагрузку комплекса на трубопровод. Они имеют гидравлические вставки с ручной подкачкой, развивающие усилие 200 кН каждая, ход поршня составляет 360 мм. Опоры могут использоваться для центровки МТ в плоскости верх-низ. Они соединены с рамой шарнирами 1, имеющими две степени свободы. Это позволяет всему комплексу перемещаться в горизонтальной плоскости, что помогает центрировать трубопровод при монтаже катушки.

Для очистки газовой среды кессона от задымления предусмотрена вентиляция. Сварочный дым из внутреннего пространства кессона по отдельному шлангу поступает в дымовой фильтр со сменным фильтрующим элементом и газоанализатором. Очищенный газ через компрессор низкого давления и осушитель с силикогелевым фильтром по шлангу возвращается во внутреннюю полость кессона. Утечки газа в системе пополняются от располагающихся на поверхности



Рис. 4. Внешний вид установочной рамы

транспортных баллонов с углекислым газом или аргоном.

Сварка и другие виды работ также осуществляются внутри кессона водолазы-сварщики, одетые в водолазное снаряжение. Воздух для дыхания водолаза подается по шлангу-кабелю через нижнюю часть кессона. Выдыхаемый водолазами воздух отводится от легочных автоматов-масок по соединенному с выходным штуцером редуктора шлангу в редукторы выдоха, расположенные в противоположных углах внутри верхней части корпуса кессона и за его пределы. Работу пневмоинструмента внутри кессона осуществляют путем подсоединения шлангов через штуцера к вентилям ресиверов, расположенным внутри в верхней его части.

Вырезку дефектного участка кессона производят механической фрезой, имеющей пневматический привод. Возможна вырезка дефекта с помощью газокислородной резки. Пневматический инструмент, используемый для подгонки ввариваемой катушки и зачистки швов, запитывается через компрессор, который отбирает инертный газ из кессона через осушитель и фильтр. Центровку и фиксацию трубной вставки осуществляют с помощью двух стандартных центраторов. В состав комплекса входят два инверторных источника питания дуги с падающими и жесткими внешними вольт-амперными характеристиками.

Все составляющие элементы комплекса можно транспортировать по частям различными видами транспорта, в том числе и автомобилем с кузовом длиной 12 м. Установку можно собирать на берегу в любом удобном месте, а затем буксировать

на плаву к месту проведения работ при минимальной глубине фарватера 2 м. Асимметричность установочной рамы позволяет использовать комплекс на мелководье, при этом для его установки требуется котлован минимального размера. Эти особенности чрезвычайно важны при выполнении работ на несудоходных и малых реках.

Описанные примеры применения технологии сухой сварки в камере, по всей вероятности, и в дальнейшем будут широко использоваться при сборке и ремонте под водой ответственных гидротехнических сооружений, а также низкой степени прозрачности воды.

1. *Bellamy G.* Hyperbaric welding comes of age on frigg gas line // Pipe Line Industry. — 1977. — № 1. — P. 41–43.
2. *Coriatt G.* Hyperbaric welding in the repair of offshore pipelines and structures // 2nd Intern. conf. «Pipe weld», London, 1979. — London, 1979. — P. 343–355.

The information is presented on repairs of underwater passages of main gas and oil pipelines across rivers, which have been performed in the last years in Russia by using dry underwater welding. A new specialised mobile diving complex that passed the full-scale tests in October 2009 is described in detail. The complex is intended for repair of 1020 and 1220 mm diameter main gas pipelines at a depth of 2 to 30 m by using dry underwater welding.

3. *Кононенко В. Я.* Гипербарическая сухая подводная сварка (Обзор) // Автомат. сварка. — 2008. — № 4. — С. 44–50.
4. *Ремонт* нефтепровода под водой с помощью сварки / В. Х. Галюк, К. А. Забела, В. Я. Кононенко и др. // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. — 1981. — № 12. — С. 22–24.
5. *Кононенко В. Я.* Технологии подводной сварки и резки. — Киев: Экотехнологія, 2004. — 135 с.
6. *Кононенко В. Я., Пасхин В. В., Беспалов В. И.* Технологии и оборудование для подводно-технических работ при ремонте сваркой дефектов труб и сварных соединений подводных переходов газопроводов // Материалы отрасл. совещ. «Состояние и направления развития сварочного производства ОАО «Газпром», п. Развилка Московской обл., 10–12 нояб. 2008 г. — М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2008. — С. 68–75.
7. *Пат. 2342492 РФ.* МПК У 02 Д 23/00. Кессон для ремонта подводных трубопроводов / А. Н. Вахаров. — Опулб. 27.12.2008.

Поступила в редакцию 13.11.2009

**10TH EUROPEAN CONFERENCE
ON NON-DESTRUCTIVE TESTING**



Moscow 2010. June 7 – 11
EXHIBITION
www.ecndt2010.ru

**ВПЕРВЫЕ В РОССИИ
крупнейшая в Европе Выставка
Средств Неразрушающего Контроля
2010, 7 – 11 июня, Москва,
Экспоцентр на Красной Пресне**

- 52 страны-участника со всего мира
- 150 ведущих компаний - производителей средств НК
- 36 Национальных обществ НК, EFNDT, ICNDT
- Демонстрация новейшего оборудования на площади 7500м²
- Научные, Учебные и Сертификационные Центры
- 5000 специалистов научных и промышленных предприятий
- Тематические семинары и круглые столы
- Посещение Выставки – БЕСПЛАТНО

Секретариат:
exhibition@ecndt2010.ru
Tel: +7 (495) 411 99 00
Fax: +7 (495) 933 06 56

Генеральный спонсор:



Приглашаем на Выставку Средств НК 10th ECNDT



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОРОДА В СОЕДИНЕНИЯХ СТАЛИ 10Г2ФБ, ВЫПОЛНЕННЫХ КОНТАКТНОЙ СТЫКОВОЙ СВАРКОЙ ОПЛАВЛЕНИЕМ

Академик НАН Украины С. И. КУЧУК-ЯЦЕНКО, Г. К. ХАРЧЕНКО, О. Д. СМЯЯН, доктора техн. наук,
Ю. В. ФАЛЬЧЕНКО, канд. техн. наук, В. Ф. ЗАГАДАРЧУК, Е. И. БУТКОВА, инженеры
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Исследованы особенности распределения водорода при контактной стыковой сварке оплавлением стали 10Г2ФБ. Установлено, что характер распределения водорода в зоне контакта определяется величиной осадки.

Ключевые слова: контактная стыковая сварка оплавлением, низколегированная сталь, величина осадки, сварка трением, водород, аномальный массоперенос, деформация

Ранее в работах [1–4] было показано распределение газообразующих примесей внедрения (водорода, кислорода и углерода) в соединениях, выполненных разными способами сварки давлением. Для оценки содержания водорода в соединениях стали 10Г2ФБ [1] и никелевого сплава ЭИ-698ВД [2], выполненных сваркой трением (СТ), применяли методику и аппаратуру для локального масс-спектрального анализа с использованием лазерного луча. Показано, что при конвенционной СТ стали 10Г2ФБ [1] в зоне соединения наблюдается снижение водорода в 2 раза на участке шириной 4 мм. Общее снижение содержания водорода происходит на участке шириной около 8 мм, что соответствует ширине зоны пластической деформации. Установлено, что инерционная СТ обуславливает снижение содержания водорода по линии соединения (ЛС) примерно в 6 раз по сравнению с его содержанием в основном металле. На характер распределения и локальное содержание водорода в зоне соединения оказывают влияние температура металла и скорость его пластической деформации.

В работах [1, 2] также установлено, что при СТ содержание не только водорода, но и углерода в стыке снижается. Аналогичная картина наблюдается и в распределении углерода при контактной стыковой сварке оплавлением (КССО) стали 10Г2ФБ [4]. Однако нет публикаций, в которых бы рассматривались особенности распределения водорода в зоне соединений низколегированных сталей, в частности 10Г2ФБ, полученных КССО. В отличие от СТ при КССО в искровом промежутке создается газовая среда, содержащая пары металла и легирующих элементов сталей. Водород может присутствовать в газовой среде иск-

рового промежутка в атомарном состоянии, взаимодействуя с другими ее компонентами. При СТ газообразная среда подобного состава в месте контакта практически отсутствует. Сравнительные исследования распределения водорода в соединениях одинаковых сталей, выполненных различными способами сварки давлением на оптимальных режимах, позволяют получить информацию о доминирующих факторах, влияющих на распределение водорода в соединениях, полученных сваркой давлением.

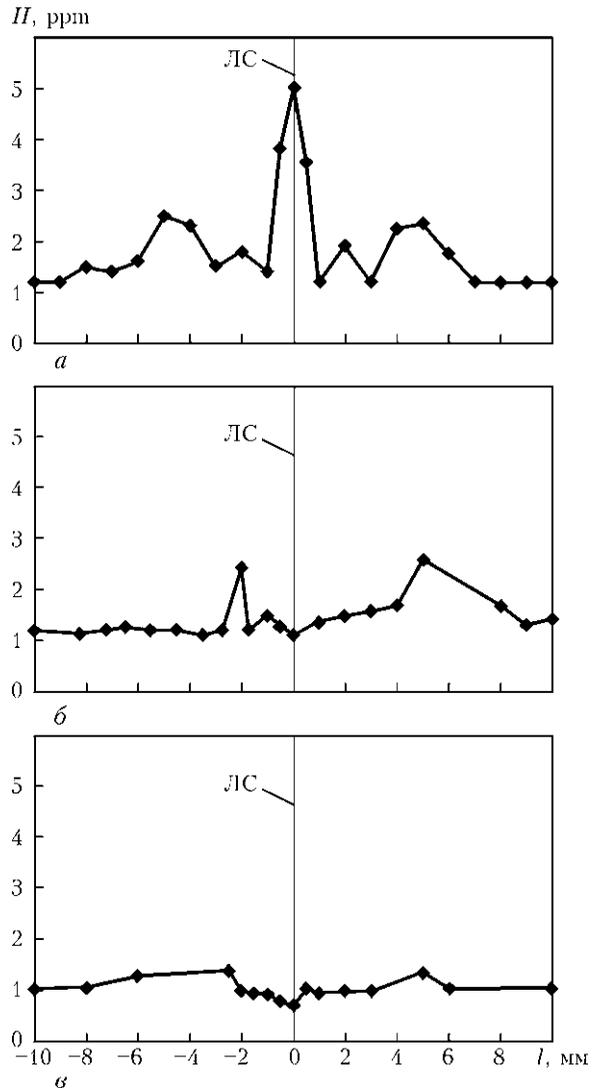
Цель данной работы состояла в изучении распределения водорода в соединениях, полученных КССО. Исследования проводили на образцах трубной стали 10Г2ФБ толщиной $\delta = 8$ мм. Образцы вырезали из пластин шириной 200 мм и сваривали на режимах, рекомендованных для данной категории стали [5]. Содержание водорода в основном металле в среднем составляло 1,2 ppm. В процессе сварки варьировали степень деформации металла ЗТВ соединений путем изменения величины осадки в пределах $(0,1 \dots 2)\delta$.

В сварных пластинах изучали характер распределения водорода в стыке методом локального масс-спектрального анализа с использованием лазерного луча по методике, описанной в работах [1, 2]. Следует пояснить, что авторы настоящей работы понимают под термином «линия соединения», которая служит точкой отсчета при оценке содержания водорода по обе стороны от нее. Визуально на микрошлифах в зоне соединений сталей, выполненных КССО, в зоне стыка выявляется так называемая светлая полоса шириной 0,4...1,2 мм, содержание углерода в которой составляет до 50 % его содержания в основном металле [4]. В средней части микрошлифов после соответствующих термообработок и травления выявляется ферритная полоса, по середине которой находится ЛС [6].



На рисунке приведена картина распределения водорода при различных величинах осадки. При малой величине осадки, соизмеримой с искровым зазором 0,18, на ЛС содержание водорода в 4...5 раз превышает его содержание в основном металле. По мере увеличения осадки и соответственно степени деформации всех участков нагретого металла ЗТВ содержание водорода по ЛС снижается до уровня показателей основного металла. При этом наблюдается увеличение концентрации водорода на расстоянии 3...6 мм по обе стороны от линии сварки. С увеличением осадки более 0,88 в грат уходят приконтактные объемы, имеющие повышенное содержание водорода. Участок металла по ЛС обедняется водородом. Например, в сварном соединении, выполненном при осадке 1,28, наиболее заметное снижение водорода наблюдается по обе стороны от ЛС на участке общей шириной около 8 мм. По ЛС содержание водорода снижается примерно в 2 раза по сравнению с его содержанием в основном металле. На расстоянии до 6 мм от ЛС наблюдаются пиковые значения на уровне содержания водорода в основном металле. При КССО наблюдается неравномерность распределения водорода по обе стороны от ЛС. Экспериментальные результаты свидетельствуют о том, что наиболее интенсивно водород уходит из участка, расположенного со стороны действия сжимающей силы. Сравнив приведенное на графике распределение водорода в металле ЗТВ с аналогичным для СТ такой же стали, следует отметить, что во многом они идентичны. В обоих случаях наблюдается снижение содержания водорода по ЛС, а также повышение по обе стороны от нее.

Можно предположить следующий механизм ухода водорода из стыка. Наиболее интенсивно идет перенос водорода от центра к грату в процессе деформации расплава. Одновременно с изложенным выше процессом идет перемещение водорода в направлении, нормальном к плоскости контакта, т. е. в приконтактные объемы металла. Характер распределения водорода в зоне объемного взаимодействия можно объяснить проявлением эффекта аномального массопереноса [7] и образованием при КССО зон сжатия и растяжения, которые располагаются последовательно одна за другой и параллельно ЛС. По ЛС находится основной участок сжатия, поэтому водород из зоны сжатия переходит в зону растяжения, прилегающую к этому материалу. Полученные экспериментальные данные в полной мере согласуются с эффектом Горского [8] о перемещении примесей внедрения в зоны растяжения при пластической деформации металла. Наряду с отмеченными закономерностями распределения водорода общими для СТ и КССО



Распределение водорода в зоне соединений стали 10Г2ФБ, полученных КССО, при осадке 0,18 (а); 0,38 (б) и 1,28 (в)

имеются отличия, неспецифичные для КССО. В соединениях сталей, сваренных на оптимальных режимах КССО, содержание водорода по отношению к основному металлу уменьшается в 1,5...1,7 раза, а при СТ — в 4...5 раз.

Таким образом, в соединениях стали 10Г2ФБ, полученных КССО, содержание водорода в зоне соединения зависит от величины осадки. С ее увеличением содержание водорода в стыке снижается, причем в меньшей степени, чем при СТ.

1. *Распределение примесей внедрения в зоне соединения при сварке трением* / О. Д. Смиян, С. И. Кучук-Яценко, Г. К. Харченко и др. // Автомат. сварка. — 2007. — № 9. — С. 5–9.
2. *Розподіл водню, кисню й вуглецю в зоні з'єднання жароміцного нікелевого сплаву при зварюванні тертям* / О. Д. Смиян, І. В. Зяхор, Г. К. Харченко, О. О. Новомлинець // Вісн. Чернігів. держ. технол. ун-ту. Сер. Техн. науки. — 2008. — № 34. — С. 138–143.
3. *Распределение водорода и кислорода в металле шва при ударной конденсаторной сварке шпилек из сплава АМгб* / Е. И. Буткова, О. Д. Смиян, Д. М. Калеко, Н. Я. Резниченко // Автомат. сварка. — 1988. — № 2. — С. 17–22.

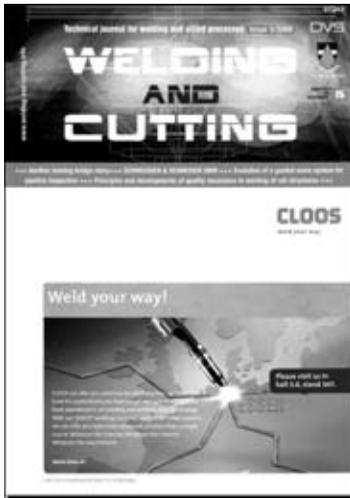


4. Зневуглевоження сталі при контактному стиковому зварюванні оплавленням / Г. К. Харченко, О. Д. Сміян, С. І. Кучук-Яценко та ін. // Вісн. Чернігів. держ. технол. ун-ту. Сер. Техн. науки. — 2008. — № 37. — С. 120–131.
5. Кучук-Яценко С. И. Контактная стыковая сварка оплавлением. — Киев: Наук. думка, 1992. — 236 с.
6. Неоднородность соединений трубных сталей, выполненных контактной стыковой сваркой оплавлением / С. И. Ку-

- чук-Яценко, Г. К. Харченко, Ю. В. Фальченко и др. // Автомат. сварка. — 2002. — № 2. — С. 3–6.
7. Герцикен Д. С., Мазанко В. Ф., Фальченко В. М. Импульсная обработка металлов и массоперенос при низких температурах. — Киев: Наук. думка, 1991. — 208 с.
8. Физика твердого тела. Энциклопедический словарь / Под ред. В. Г. Барьяхтара. — Киев: Наук. думка, 1996. — Т.1. — 656 с.

The peculiarities of hydrogen distribution in flash-butt welding of steel 10G2F13 were studied. It was found that the nature of hydrogen distribution in contact zone is defined by the upsetting value.

Поступила в редакцию 18.11.2009



ПО СТРАНИЦАМ ЖУРНАЛА «WELDING and CUTTING», 2009, № 5

КОНФЕРЕНЦИИ XING ОБЩЕСТВА «СВАРКА, РОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Первое заседание этого общества состоялось в декабре 2008 г. в связи с учреждением независимого и объективного сайта <https://www.xing.com/net-/schweisstechnik>. Начиная с января 2009 г. обществом было проведено около 30 конференций, посвященных обсуждению общих вопросов сварки и других способов соединения, включающих использование клеевых соединений, пайку, а также альтернативные варианты типа механического соединения и соединений путем импульсного электромагнитного воздействия. Вначале эти конференции проводили на немецком языке и на них обсуждали проблемы сварки новых материалов, стандартизации и сертификации, разработки и изготовления конструкций, контроля качества соединений, моделирования процессов соединения, металлографии, напыления материалов, испытания соединений, обучения и переподготовки сварщиков и другие вопросы. В мае 2009 г. было проведено около 35 конференций на английском языке, с июля 2009 г. появилась возможность принимать доклады на русском языке, в дальнейшем планируется включение докладов на испанском и французском языках.

В настоящее время это общество насчитывает около 1500 членов из 75 стран, проводится около 35 конференций на английском и немецком языках и три конференции на русском, имеется 7 отделений из 7 различных компаний, принимающих доклады на трех языках. Общее представление о работе общества можно получить через различные поисковые программы типа Google при использовании около 300 ключевых слов, однако более полная информация доступна только членам этого общества.

Учитывая наличие более 26 тысяч экспертных групп и сетевых сайтов XING предоставляет возможность общения через Интернет бизнесменам всего мира. Свыше 7 миллионов профессионалов, студентов, людей, занятых поисками работы, пользуются сайтами этого общества в Интернете, общаясь на 16 языках по вопросам бизнеса, образования, работы и профессионального роста.

Более полную информацию о деятельности XING общества вы можете получить у зав. отделения Ursula Buech (тел. +49(0)8931812585, E-mail: buech@world-wide-welding.com).

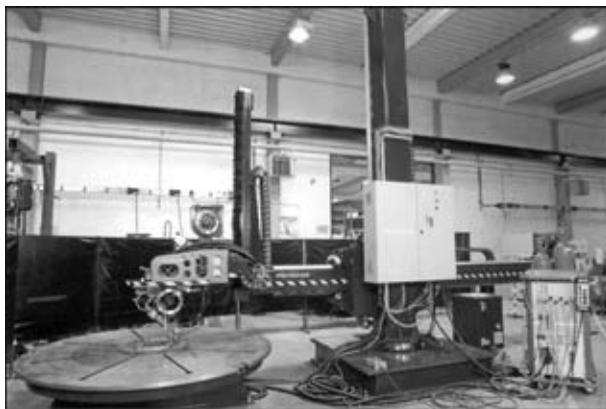


D. Schnee. ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННАЯ СВАРКА ТИГ ТРУБ МЕТОДОМ «ГОРЯЧЕЙ ПРОВОЛОКИ»

При изготовлении трубопроводов для транспортировки сырой нефти и природного газа с высокой скоростью и при высоком давлении необходимы материалы самого высокого качества, выдерживающие абразивное и коррозионное воздействия минеральных примесей. Увеличение ресурса трубопроводов, изготавливаемых из дешевых углеродистых сталей, возможно с использованием дуговой наплавки на внутреннюю поверхность труб покрытий из высокопрочных и износостойких сплавов на никелевой основе.

Компания «Sub Sea Service AS», основанная в 1990 г. в Норвегии и состоящая из 50 сотрудников, сумела добиться мировой известности благодаря четкому выполнению сроков изготовления и высокому качеству своей продукции. Были вложены немалые средства для приобретения у фирмы «Polysoude» (Франция) новейших технологий и аппаратуры для сварки и наплавки эффективным методом автоматизированной сварки ТИГ труб методом «горячей проволоки» (hot wire technology).

Используя перенастраиваемую и дистанционно управляемую систему сварки и наплавки труб ди-



Координаты сварочной горелки для сварки и наплавки с высокой степенью надежности и эффективности определяются по шести осям шестью компьютерами

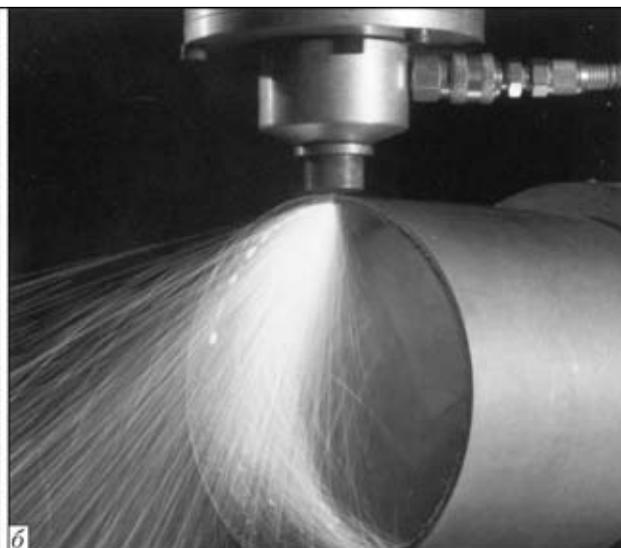
аметром 150...1000 мм для буровых платформ эта компания обеспечивает изготовление в соответствии с международными стандартами и нормами ASME (American Society of Mechanical Engineers) и ISO 9000 конструкций из сталей X60, X65, X70, AISI 4150, 4140, 8630, включая низкоуглеродистую сталь F22.

ЛАЗЕРЫ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ЯДЕРНЫХ ОТХОДОВ ПУТЕМ РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ И СКАЛЫВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕННОГО СЛОЯ С БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Управление по утилизации ядерных отходов Великобритании (UK Nuclear Decommissioning Authority) выделило 1 млн фунтов стерлингов TWI (Институту сварки) на проект по разработке мощных лазерных устройств и демонстрации технологических процессов дистанционного управления удалением загрязнений с бетонных поверхностей, а также резки металлических трубопро-

водов и технологических емкостей на более мелкие отрезки, пригодные для транспортировки.

Современный уровень развития сверхмощных твердотельных лазеров и системы оптоволоконных кабелей облегчает дистанционное управление при их использовании в процессах дезактивации окружающей среды.



Поверхность бетонной плиты после удаления загрязненного слоя путем ее обработки лазерным лучом (а) и процесс лазерной резки трубы на отдельные фрагменты (б)



Руководитель проекта Paul Hilton считает, что этот проект позволит выявить технологические возможности этих процессов, оценить капитальные и технологические затраты на их реализацию. Проект предусматривает использование серийно выпускаемых лазеров совместно с системами управления их работой, а также с системами управ-

ления и обработки отходов при скалывании поверхностного слоя с бетонных конструкций. За 12 месяцев выполнения проекта будет проведена оценка требуемой квалификации персонала, привлекаемого на решение этой проблемы, создана база для подготовки операторов.

РАЗВОДНЫЕ МОСТЫ БРИТАНИИ

За последнее десятилетие фирма «DavyMarkham» принимала участие в проектировании нескольких новых примечательных своей конструкцией мостов, например, мост Тысячелетия (Millenium Bridge) и Глочестерский мост (Gloucestre's High Orchard Bridge). Однопролетный Глочестерский разводной мост с электрогидравлическим приводом 300-тонного пролета стоимостью 10 млн фунтов был недавно введен в эксплуатацию благодаря усилиям совместного предприятия, включающего фирмы: «English Partnerships», «British Waterways» и проектную контору «Peel Holdings».

Особенностью этого моста является пролет шириной 16 м и длиной 28 м (изготовленный на заводе металлоконструкций «Rovecord») массой 200 т с отдельным железобетонным противовесом



Вид моста с поднятым пролетом

сом массой 100 т, который при повороте на 60° вокруг горизонтальной оси открывает навигационный проход шириной 12,5 м.

T. Gan, P. Jackson, A. France. СВАРКА ОБЕСПЕЧИВАЕТ НАДЕЖНОСТЬ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ

При изготовлении башенных кранов в основном используют высокопрочную мелкозернистую конструкционную сталь (обычно S690) толщиной от 6 до 130 мм. Сварка является ключевым процессом изготовления, поэтому очень важно исключить возможность появления любого дефекта, который может стать причиной выхода из строя всей конструкции. Сварные швы предназначены для эксплуатации в условиях высоких динамических нагрузок, в суровых климатических условиях, в связи с чем подлежат всестороннему контролю качества, включая визуальный, ультразвуковой и рентгеновский контроль.

Исходя из повышенного спроса на башенные краны для шельфовых платформ, необходимости роста экономических показателей предприятия путем увеличения скорости сварки и нанесения покрытий при сохранении высокого качества готовой продукции, на одном из четырех приморских заводов фирмы «Liebherr» в Сандерленде (Англия) было принято решение об обновлении сварочного оборудования. Двухлетний опыт эксплуатации вновь приобретенного оборудования у австрийской фирмы «Fronius» доказал возможность достижения этой цели.

Наряду с процессом сварки штучными электродами на заводе в Сандерленде используют дуговую сварку под флюсом и сварку металлическим электродом в инертном газе (MIG arc welding). В связи с этим было закуплено сварочное оборудование универсального типа с использованием импульсно-дугового процесса (pulsed-arc welding method), которое обеспечило получение намного лучшего качества сварных швов, снизило разбрызгивание и затраты на исправление брака.

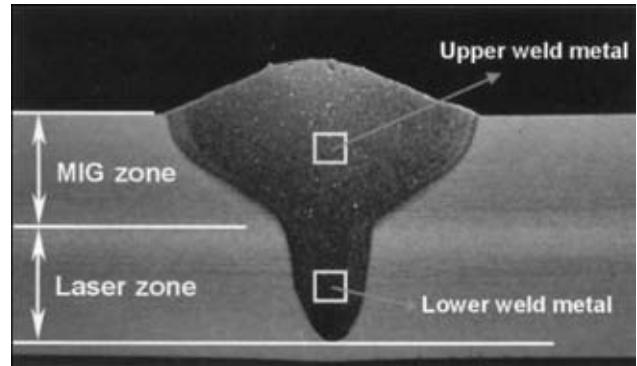
Одним из образцов современного многофункционального сварочного источника является TransPuls Synergic 5000 — инвертор с микропроцессорным управлением и системой подстройки сварочных параметров по сигналам обратной связи, предназначенный для выполнения сварочных работ в суровых условиях эксплуатации (на судостроительных верфях, строительстве химических комплексов, в автомобиле- и вагоностроении) в режимах: MIG/MAG, штучным электродом и методом TIG. Краткая характеристика TransPuls Synergic 5000: потребляемая мощность от сети трехфазного тока — 13 кВ·А; сварочный ток при ПВ = 40 % — 500 А, при ПВ = 100 % — 360 А; размеры 626×287×477; масса 35,6 кг.



Jianchun Ji. ЛАЗЕРНО-ДУГОВАЯ СВАРКА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

В данной работе проведены исследования сварного шва сплавов системы AlMg(Mn) толщиной 8...15 мм, формируемого дугowym нагревом плавящимся электродом (EN AW 5XXX диаметром 1,2 мм системы SG-AlMg5) в среде инертного газа в комбинации с нагревом лазерным лучом, генерируемым иттрий-алюминиевым гранатом, легированным неодимом при различном соотношении мощности дугowego и лазерного нагрева.

На приведенных микрошлифах зоны сварки показано, что при постоянной мощности дугowego нагрева 4,4 кВт, скорости сварки 12 м/мин и скорости подачи проволоки 1,5 м/мин при возрастании мощности лазерного нагрева (от 2,4 до 4 кВт) изменяется форма сварочного шва от капле- до грибовидной, структура металла от крупнодендритной до очень крупнодендритной в зоне преимущественного дугowego нагрева и кристаллическая структура металла в зоне лазерного нагрева от мелкозернистой к мелкоячейстой.



Влияние изменения мощности лазера на микроструктуру металла зоны сварки

Формирование в зоне сварочного шва микроструктур, обеспечивающих повышение прочностных характеристик сварочного соединения, достигается при уменьшении мощности дугowego нагрева, однако при ее снижении до определенного предела в металле сварочного шва возможно появление пористости.

T. Gan, P. Jacrson, A. France. СИСТЕМА УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ НАДЕЖНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ

Институт сварки (TWI) является разработчиком системы дистанционного и всестороннего ультразвукового контроля (LRUT — Long range ultrasonics for global inspection) для обнаружения и мониторинга возникновения дефектов (коррозионного, эрозионного типа или других причин утонения толщины металла) в действующих магистральных трубопроводах и позволяет проводить обследование металла по всей длине трубопровода, начиная с одной единственно доступной точки, а также полное обследование трубопровода в отличие от вариантов с исполь-

зованием скребков или другой аппаратуры для осмотра и очистки внутренней полости трубы.

К преимуществам новой системы мониторинга относится возможность своевременного выявления зон изменения свойств металла, возможность использования в труднодоступных участках трубопровода (наличие крепежа, ответвлений, заглубления трубопровода), исключение необходимости удаления изоляционных или других покрытий с поверхности трубы, надежность и реализация процесса при минимальном нарушении целостности магистрали, снижение затрат на проведение мониторинга.

СОВРЕМЕННОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ

Дефекты лазерной резки особенно проявляются при наличии острых углов реза, при прохождении которых возможность скачкообразного изменения скорости перемещения лазерного луча ограничивается инерционностью координатного стола.

Изготовитель оборудования для лазерной резки Spartanic, Rolling Meadows/USA использует программное обеспечение для управления как мощностью лазерного луча, так и его направлением. Сканирующие головки для изменения направления лазерного луча с помощью зеркал позволяют достичь более высокой скорости резки по сравнению со скоростью перемещения координат-

ного манипулятора вдоль X/Y осей с закрепленной на нем лазерной головкой. Высокая скорость резки достигается благодаря минимальной массе зеркал, поворот которых осуществляется электромагнитными устройствами. Таким образом высокая скорость резки обеспечивается повышением мощности лазерного луча.

Современные системы лазерной резки комплектуются видеокамерами, сигнал которых после обработки компьютерной программой поступает на исполнительные устройства привода лазерного луча, обеспечивая выполнение бездефектного реза с острыми углами при диаметре лазерного луча порядка 210 мкм.



ПЕРЕНОСНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕЗКИ СТРУЕЙ ВОДЫ

Устройство для резки листового металла, труб, железобетонных конструкций, котлов реакторов и других металлоконструкций перемещается по жестким или гибким направляющим с помощью гидропривода и обеспечивает резку струей воды с абразивной крошкой под давлением 4100 атм.

Одним из преимуществ этого метода является отсутствие зоны термического влияния. Привод насоса высокого давления осуществляется от электросети или дизельного мотор-генератора мощностью до 280 л.с.

ВОДООХЛАЖДАЕМАЯ СВАРОЧНАЯ ГОРЕЛКА ДЛЯ СВАРКИ MIG

Компания «Bernard» предлагает усовершенствованную конструкцию водоохлаждаемой сварочной горелки, обеспечивающей непревзойденную точность регулирования защитного газа, легкую смену сварочного наконечника и защитного

колпачка, удобство выполнения сварки в труднодоступных местах, а также высокий срок службы горелки, позволяющий потребителю обеспечивать высокое качество и производительность сварки.

В. М. Кислицын, канд. техн. наук

ОАО «МЕЖГОСМЕТИЗ-МЦЕНСК» — НА ПУТИ ОСВОЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ВСЕХ ВОСТРЕБОВАННЫХ НА РЫНКЕ СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

ОАО «Межгосметиз-Мценск» — российский производитель высококачественных сварочных материалов, работающий в течение 10 лет и занимающий лидирующие позиции на российском рынке.

Секрет успеха заложен в девизе — **стабильная прибыль компании через высокое качество продукции**. Приоритет в области качества является основой нашей работы. Солидный опыт работы, уникальные технологии производства, контроль качества и тщательное изучение потребностей заказчиков делают нашу продукцию оптимальным выбором для проведения сварочных работ любой сложности. Производимые нами сварочные материалы используют в машиностроении, судостроении, энергетике, химической промышленности, а также в мостостроении, вагоностроении, производстве труб и металлоконструкций.

В январе 2008 г. для большего удовлетворения потребностей наших заказчиков была приобретена итальянская линия «Subarc» для производства проволоки больших диаметров, в том числе и диаметром 5,0 мм. Это позволило нам поставлять данный вид проволоки на крупнейшие трубные заводы России. Линия «Subarc» позволила расширить марочный ассортимент выпускаемых проволок: Св-08Г2С-О, Св-08Г1С-О, Св-08А-О, Св-08ГА-О, Св-10ГАА-О, Св-08ГМ-О, Св-08ГНМ-О, Св-08Г1НМА, Св-08ГСМТ-О, Св-08ГСМТ-О,

Св-10НМА-О, Св-08ХМ-О, что позволило удовлетворить запросы потребителей, работающих в различных отраслях народного хозяйства. Те заказчики, которые уже имеют опыт работы с нашей проволокой, с облегчением вздохнули: вложенные деньги в перевооружение своих предприятий стали эффективно работать. Также необходимо отметить и поблагодарить наших партнеров металлургов, которые оперативно отреагировали на нашу просьбу и изготовили сырье необходимого качества.

Сегодня ОАО «Межгосметиз-Мценск» может предложить своим заказчикам высококачественную сварочную омедненную проволоку диаметрами от 2,0 до 5,0 мм в различных вариантах упаковки, а именно:

Упаковка на кассетах К-415 массой до 28 кг с послышной рядной укладкой. Кассета К-415 обеспечивает

- стабильность работы подающего механизма;
- стабильность горения дуги;
- повышение производительности сварочного оборудования.

Большегрузный моток Б-500 массой 300...700 кг. Намотка проволоки послышная, с крестообразной укладкой проволоки, по ширине мотка. Надежное крепление проволоки в четырех местах, специальное приспособление для подъема и установки на разматывающее устройство гарантируют безотходную переработку.



Упаковка в большегрузные бухты массой до 700 кг с крестовидной послойной укладкой, для размотки которых разработано разматывающее устройство, производимое нашим предприятием.

Упаковка «Ариадна» Б-500 массой 250 кг и Б-600 массой 300 кг — новый вид упаковки сварочной проволоки, разработанный с учетом европейского опыта поставки проволоки.

При укладке проволока скручивается по специальной методике, которая выпрямляет ее при выходе из упаковки. Прямая сварочная проволока легко подается без усилия к подающему механизму сварочного аппарата. Упаковка компактна и изготовлена из экологически чистого сырья.

Как показывает практика, этот вид упаковки является наиболее перспективным. «Ариадна» занимает мало места на производственной площадке, обеспечивает легкое разматывание проволоки, позволяет увеличить производительность сварочного оборудования за счет обеспечения непрерывного процесса сварки, снижения количества дефектов сварных швов за счет предохранения сварочной проволоки от пыли и других загрязнений, снижения износа деталей подающего устройства сварочного оборудования.

В сентябре 2009 г. ОАО «Межгосметиз-Мценск» начато производство сварочной омедненной проволоки диаметром 2,0...5,0 мм в **мотках прямоугольного сечения массой 80...100 кг**. Такая упаковка проволок марок Св-08Г2С, Св-08ГСМТ, Св-08ГА, Св-08ГМ, Св-08ХМ, Св-10НМА, Св-08ГНМ, Св-08ХГСМФА, Св-08ХГСМА применяется в технологиях сварки, направленных на уменьшение количества отходов проволоки из-за запутывания, обеспечение непрерывного процес-

са сварки, уменьшение дополнительных затрат на перемотку проволоки.

Проволока обеспечивает устойчивое непрерывное горение дуги, качественные сварные швы. Кроме этого, при использовании сварочной омедненной проволоки в мотках прямоугольного сечения достигается ликвидация технологической операции перемотки проволоки на технологические катушки.

Моток прямоугольного сечения МП-100

Внешний диаметр, мм	736
Внутренний диаметр, мм	588
Ширина, мм	100
Масса, кг	50...100
Диаметр проволоки, мм	2,0; 3,0; 4,0; 5,0

Рядная укладка проволоки в каждом слое осуществляется на картонном сердечнике. Каждый моток герметично запаивается в термоусадочную пленку.

Мы участвуем в специализированных выставках, тестируем и сертифицируем нашу продукцию, расширяем товарную линейку продукции, постоянно расширяем ассортимент в соответствии с требованиями рынка. Постоянный и непрерывный контроль качества сварочных материалов, постоянное внедрение инноваций и стремление соответствовать требованиям меняющегося рынка, индивидуальный подход в работе с клиентами, стабильность и репутация одного из лучших производителей сварочных материалов в России — все это мы делаем для Вас!

ЗА НАМИ КАЧЕСТВО — ЗА ВАМИ ВЫБОР!

Генеральный директор
ОАО «Межгосметиз-Мценск»
Костюченко Владимир Петрович

10-я МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА «СВАРКА И РЕЗКА»

23–26 марта в Минске в Выставочном комплексе «БелЭкспо» прошла 10-я Международная выставка «Сварка и Резка», организованная ЗАО «МинскЭкспо» при информационной поддержке журналов «Автоматическая сварка», «Сварщик в Белоруссии», «Альянс сварщиков», «Мир металла» и др. Параллельно с выставкой в этом же павильоне работала Международная выставка «Защита от коррозии. Покрытия».

На современном этапе для экономики Республики Беларусь (РБ) характерно исторически сложившееся широкое межотраслевое применение сварки и родственных процессов. Сегодня ее предприятия остро нуждаются в замене устаревшего оборудования на более новые аналоги. В условиях мирового финансового кризиса, возрастания конкуренции и требований к качеству выпускаемой продукции, усиливается необходимость освоения автоматизированных сварочных комплексов, современного энергосберегающего технологического сварочного оборудования и качественных сварочных материалов. В этом контексте выставка «Сварка и резка» предоставила потенциальным потребителям большие возможности не только для ознакомления с новинками в области сварки, но и для поиска путей наиболее эффективного и рационального совершенствования сварочных производств.

Выставка собрала 55 фирм из 4 стран ближнего и дальнего зарубежья — России, Украины, Беларуси и Франции. Тематика выставки традиционно включала следующие разделы: сварочные материалы; оборудование для сварки, резки, наплавки, пайки и термообработки; оборудование для орбитальной сварки и обработки труб; электронно-лучевую, лазерную, плазменную сварку и резку; автоматизацию сварочных процессов и технологическую оснастку; современные технологии сварки, резки, наплавки, пайки и термообработки; охрану труда и экологическую безопасность в сварочном производстве.

Сварочное оборудование и установки для дуговых и плазменных процессов сварки, плазменной и газокислородной резки представляли как предприятия (фирмы)-производители (S.A.S.Polysoude, Франция; Государственный Рязанский приборный завод, Россия; ЧНПУП Завод «Электротеплоприбор», ООО «Бел-ЭЛСО», Беларусь; ОАО «Зонт», Украина), так и многочисленные торгующие организации из Беларуси «ООО «Белевротех», УП «Белгазпромдиагностика», «БелСваМо», ЧПУП «ВнешИТС», ОДО «Кемфин», ООО «Оливер» и др.



Характерным для юбилейной выставки в Минске является то, что ведущих в СНГ и в дальнем зарубежье «игроков» на рынке сварочного оборудования и материалов широко представили их белорусские партнеры: ООО «БелСваМо» — крупнейший в Беларуси поставщик профессионального оборудования, материалов и инструмента таких фирм, как «Lincoln Electric» (США), «Dalex» (Германия), «Теспа» (Италия), «Multimet» (Польша), «Eckert» (Германия–Польша); ООО «Оливер» — производитель (первый в Беларуси) омедненной сварочной проволоки Св-08Г2С и поставщик собираемых по лицензиям промышленных инверторов, полуавтоматов, машин для контактной сварки; ОДО «Кемфин» «дистрибьютор в РБ финских фирм «Kemppi», «Ketnecweld», «Heatmasters»); ИООО «Ривал Сварка» — дистрибьютор и оптовый поставщик в РБ сварочного оборудования и расходных материалов, предлагаемых польской компанией «Rywal-RHC», а также «Lorch» (Германия), «Thermal Dynamics» (США) и др.; УП «Белгазпромдиагностика» и ЗАО





«Объединенная сварочная компания», предлагающих сварочное оборудование, расходные материалы, средства защиты сварщиков таких известных в мире фирм, как «Fronius» (Австрия), «Boehler-Thyssen welding group», «УТР» и «Weldotherm» (Германия); ЧТУП «Алви-Торг» — продавец оборудования и материалов ведущих производителей России, Франции, Италии, Испании, Германии, Украины, а также резаки и горелки для газопламенной обработки собственного производства; ОДО «Промсварка» — дистрибьютор компании ESAB (Швеция); ООО «Белевротех» — быстрорастущая компания, которая специализируется на поставках сварочного оборудования, материалов и комплектующих от производителей из СНГ и дальнего зарубежья; «ВнешИТС» — поставщик оборудования компании «ИТС» и фирм «СЭЛМА», «ЭСВА». Впервые на выставке в Минске позиционировалась ИООО «Абикор Бинцель Техникс» — поставщик сварочных горелок, электрододержателей и плазменных резаков от «Abikor Binzel» (Германия).

Производители сварочных материалов в СНГ на выставке были представлены Торговым домом «Межгосметиз» (Россия), Гомельским заводом пусковых двигателей, Светлогорским заводом сварочных электродов (Беларусь), Артемовским машиностроительным заводом «Вистек», ОАО «Плазматек» (Украина), а также дистрибьюторами Зеленоградского электродного завода (ООО «Амиос-строй») и Лосиноостровского электродного завода (ОДО «Бриз»).

На выставке было представлено также вспомогательное оборудование для дуговых способов сварки и наплавки, щитки и современные маски, профессиональная одежда для сварщиков, системы местных вытяжных устройств, фильтров, агрегатов для удаления и очистки воздуха в производственных помещениях.

24 марта в рамках выставки в пленарном режиме прошел однодневный международный симпозиум «Сварка и родственные технологии». Его открыл генеральный директор ГНПО ПМ, чл.-кор. НАН Беларуси А. Ф. Ильющенко. Затем были заслушаны 15 докладов, представленных учеными и специалистами Белорусского института сварки и защитных покрытий, Белорусско-российского университета (г. Могилев), Белорусского национального технического университета (г. Минск), Объединенного института энергетических и ядерных исследований Сосны, «Альянса сварщиков» (г. Санкт-Петербург) и других организаций. Тематика выступлений включала информацию о состоянии производства электродов для дуговой сварки в РБ, новом многопостовом сварочном оборудовании, современных машинах для термической резки и роботах и др.

Следует отметить хорошую организацию работы выставки, ее высокую посещаемость. Несомненно, она придаст новый импульс развитию деловых связей между производителями и потребителями продукции сварочного производства.

В. Н. Липодаев, д-р техн. наук

ПОДПИСКА — 2010 на журнал «Автоматическая сварка»

Стоимость подписки через редакцию*	Украина		Россия		Страны дальнего зарубежья	
	на полугодие	на год	на полугодие	на год	на полугодие	на год
	480 грн.	960 грн.	2100 руб.	4200 руб.	78 дол. США	156 дол. США

*В стоимость подписки включена доставка заказной бандеролью.

Если Вас заинтересовало наше предложение по оформлению подписки непосредственно через редакцию, заполните, пожалуйста, купон и отправьте заявку по факсу или электронной почте.

Контактные телефоны: (38044) 287-63-02, 271-26-23; факс: (38044) 528-34-84, 529-26-23.

Подписку на журнал «Автоматическая сварка» можно также оформить по каталогам подписных агентств «Пресса», «Идея», «Саммит», «Прессцентр», KSS, «Блицинформ», «Меркурий» (Украина) и «Роспечать», «Пресса России» (Россия).

ПОДПИСНОЙ КУПОН

Адрес для доставки журнала _____

Срок подписки с _____ **200** г. по _____ **200** г. включительно

Ф. И. О. _____

Компания _____

Должность _____

Тел., факс, E-mail _____



РЕКЛАМА в журнале «Автоматическая сварка»

Обложка наружная, полноцветная

Первая страница обложки (190×190мм) — 700\$

Вторая страница обложки (200×290мм) — 550\$

Третья страница обложки (200×290мм) — 500\$

Четвертая страница обложки (200×290мм) — 600\$

Обложка внутренняя, полноцветная

Первая страница обложки (200×290мм) — 400\$

Вторая страница обложки (200×290мм) — 400\$

Третья страница обложки (200×290мм) — 400\$

Четвертая страница обложки (200×290мм) — 400\$

Внутренняя вставка

Полноцветная (разворот А3) (400×290мм) — 570\$

Полноцветная (200×290мм) — 340\$

Полноцветная (200×142мм) — 170\$

Реклама в разделе информации

Полноцветная (165×245мм) — 300\$

Полноцветная (165×120мм) — 170\$

Полноцветная (82×120мм) — 80\$

• Оплата в гривнях или рублях РФ по официальному курсу

• Для организаций-резидентов Украины цена с НДС и налогом на рекламу

• Статья на правах рекламы (страница А4, 170×240мм) — 170\$

• При заключении рекламных контрактов на сумму, превышающую 1000\$, предусмотрена гибкая система скидок

Технические требования к рекламным материалам

• Размер журнала после обрезки 200×290мм

• В рекламных макетах, для текста, логотипов и других элементов необходимо отступать от края модуля на 5мм с целью избежания потери части информации

Все файлы в формате IBM PC

• Corell Draw, версия до 10.0

• Adobe Photoshop, версия до 7.0

• QuarkXPress, версия до 7.0

• Изображения в формате TIFF, цветовая модель CMYK, разрешение 300 dpi

• К файлам должна прилагаться распечатка (макеты в формате Word не принимаются)

Подписано к печати 08.04.2010. Формат 60×84/8. Офсетная печать. Усл. печ. л. 9,13. Усл.-отт. 9,97. Уч.-изд. л. 10,42 + 8 цв. вклеек. Цена договорная.

Печать ООО «Фирма «Эссе». 03142, г. Киев, просп. Акад. Вернадского, 34/1.



ОТЛИЧНАЯ СВАРКА

ООО «ФРОНИУС УКРАИНА» СОДЕЙСТВУЕТ ПРОФЕССИОНАЛЬНОМУ РОСТУ СВАРЩИКОВ

4 марта 2010 г. на ООО «Завод энергетического машиностроения» (г. Харьков) состоялся конкурс сварщиков завода, организаторами которого выступили: инициативная группа завода, включающая директора В. Н. Бузинова, заместителя директора Н. Н. Номеровченко и главного сварщика А. А. Кравченко, а также группа поддержки, состоящая из специалистов ООО «Фрониус Украина».

Цель конкурса — придать импульс усилиям технических руководителей служб завода к повышению квалификации рабочих сварщиков, улучшению культуры производства на предприятии, что в итоге будет способствовать повышению качества выпускаемой продукции.

Для понимания важности этих усилий следует отметить некоторые особенности производства на заводе. В настоящее время предприятие специализируется на разработке и реализации комплексных проектов и их составных частей в области энергетики:

- ✦ модернизация котла ТП-100-1 блока 7 Славянской ТЭС с заменой змеевиков водяного экономайзера 2-й и 3-й ступени;

- ✦ изготовление электрофильтров по дизайну «Альстом Пауэр Ставан», который сертифицирован международным стандартом качества ISO-9001:2000 Регистром Ллойда (LRQA, Великобритания, номер сертификата 020014);

- ✦ реконструкция энергоблока №1 Зуевской ТЭС с увеличением установленной мощности на 15 МВт. Работы «под ключ» по модернизации поверхностей нагрева НРЧ существующего котлоагрегата типа ТПП-312А;

- ✦ переоснащение энергоблока №7 Бурштынской ТЭС с агрегатной поставкой дымососов ДН 26х2-0,62.

ООО «Завод энергетического машиностроения» выполняет комплексное строительство электростанций «под ключ». Перечень изготавливаемого энергетического оборудования включает производство паровых и водогрейных котлов, котлов-утилизаторов (котлов на сбросном тепле). Отличительной особенностью котлов-утилизаторов производства ООО «Завод энергетического машиностроения» является применение оребренных труб для интенсификации процесса теплообмена.

На данный момент на предприятии запущены в эксплуатацию инверторные источники для аргонодуговой сварки на постоянном и постоянном/переменном токах, а также более 12 единиц аппаратов для МИГ/МАГ сварки серии ВариоСинержик с синергетическим управлением производства фирмы «Фрониус».

Предприятие оснащено необходимым основным и вспомогательным оборудованием, специальной оснасткой и инструментом. В его составе также имеется сертифицированная лаборатория испытаний и сварки.

ООО «Завод энергетического машиностроения», учитывая ответственное назначение своей продукции, постоянно уделяет большое внимание профессиональному росту рабочих-сварщиков. Этому послужил и проводимый совместно с ООО «Фрониус Украина» конкурс.



* Статья на правах рекламы.



В нем приняли участие девять сварщиков завода. Конкурс проводился по двум процессам сварки:

- TIG DC (аргодуговая сварка на постоянном токе) при выполнении сварки неповоротного стыка трубы с наклонным расположением оси трубы;
- MAG (механизированная сварка в защитном газе) при выполнении сварки неповоротного стыка соединений: труба–труба и труба–фланец (ось трубы вертикальная).

Все участники конкурса показали высокое мастерство в своей профессии. Представителям ООО «Фрониус Украина» осталось только с удовольствием вручить победителям ценные призы (сварочные маски с автоматическим затемнением серии Vizor 3000 Standart, Vizor 3000 Plus и Vizor 3000 Professional).

Защитные маски, выпускаемые компанией «Фрониус» (Австрия), имеют следующие отличия:

- ✦ наличие фильтра автозатемнения (не требуют ухода), питание фильтра от света дуги, LCD-Technology, возможность замены батарей для Vizor 3000;

- ✦ высокую жаро- и радиозащиту (высококачественные материалы, жароотражающая окраска);

- ✦ постоянную UV-IR-радиационную защиту (интегрируется в фильтр ADF);

- ✦ улучшенный комфорт в ношении (эргономически сконструированный шлем с комфортным фиксатором для головы с многочисленными возможностями для настройки);

- ✦ датчик срабатывания: открытый угол срабатывания 60 или 120°;

- ✦ длительный срок службы защитного стекла (сферического), которое плотно прилегает к шлему (не попадает дым и брызги, высокая степень устойчивости стекла к ударам);

- ✦ возможность фиксации в положении «над головой» (эксцентрик);

- ✦ способность сохранения заряженной энергии (нет кнопки вкл/выкл, положение «sleep mode»).

В будущем «Завод энергетического машиностроения» надеется укомплектовать все сварочные посты качественными масками типа «хамелеон» для улучшения условий работы всех сварщиков предприятия.

Специалисты ООО «Фрониус Украина» надеются, что подобные совместные мероприятия помогут улучшить культуру производства, повысить профессиональные навыки рабочих и качество выполняемой ими работы. А это и есть залог успеха в обеспечении выпуска конкурентоспособной продукции.



**ООО «Фрониус Украина» 07455, Киевская обл.,
Броварской р-н, с. Княжици, ул. Славы, 24
Тел.: +38 044 277 21 41; факс: +38 044 277 21 44
E-mail: sales.ukraine@fronius.com; www.fronius.ua**

ГОРЮЧИЙ ГАЗ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ. ЭФФЕКТИВНЫЙ ВЫБОР

Правильный подбор газов и оборудования — процесс довольно непростой и обуславливает необходимость комплексно и внимательно подходить к выбору поставщика продукта. Самое эффективное решение — найти единого поставщика газов и оборудования.

Существуют семь основных правил, которыми при этом необходимо руководствоваться: 1. Независимо от выбранного газа поставщик должен иметь возможность предложить альтернативу. 2. Поставщик должен дать рекомендации по выбору специального оборудования. 3. Поставщик при необходимости должен обеспечивать другими газами, используемыми потребителями (кислородом или специальными газами), для облегчения процедуры закупок. 4. Для оптимизации использования газов и оборудования поставщик должен обеспечивать профессиональные тренинги для операторов процессов. 5. Для того чтобы ваша продукция была конкурентоспособной, поставщик должен предоставить вам современные решения и постоянно поддерживать высокий уровень технологий. 6. Для оптимизации временных затрат поставщик должен иметь эффективную организацию сервиса. 7. Поставщик должен располагать широкой сетью международных связей, чтобы вы были осведомлены о развитии отрасли в других странах.

Выбор горючего газа

Ацетилен, пропан и природный газ — три основных газа, пользующихся спросом на сегодняшнем рынке горючих газов для термических процессов. Позиция ацетилена на рынке постоянно изменяется. Позиция пропана отличается большей стабильностью. Низкая цена на природный газ, имевшая место на протяжении последних лет, не только стабилизировала его применение, но и обеспечила постоянный рост спроса на него у производителей.

Как правильно подойти к вопросу выбора горючего газа? Ответ довольно прост. Выбор должен быть в пользу максимального удовлетворения потребностей в условиях вашего производства.

Для различных технологических процессов необходимы горючие газы с различными свойствами. Поэтому всегда нужно принимать во внимание следующие основные характеристики.

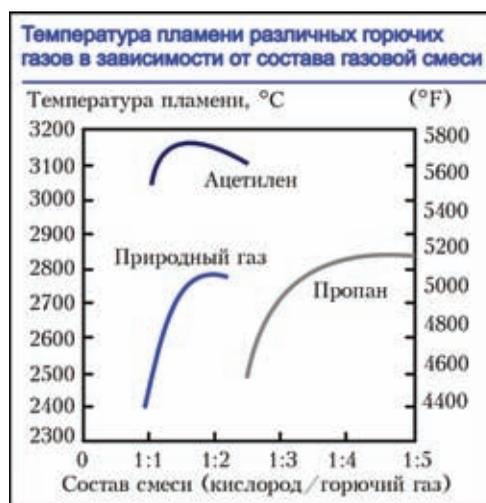
Мощность пламени. Для резки, сварки и родственных технологий мощность пламени и его способность к передаче энергии в материал имеют большое значение. Первичное ацетиленовое пламя нагревает поверхность материала до температуры плавления значительно быстрее, чем другие горючие газы.

Температура пламени. Время подогрева, скорость резания и, следовательно, общее операционное время во многом зависят от температуры пламени. Именно температура пламени является наиболее важной характеристикой подогрева.

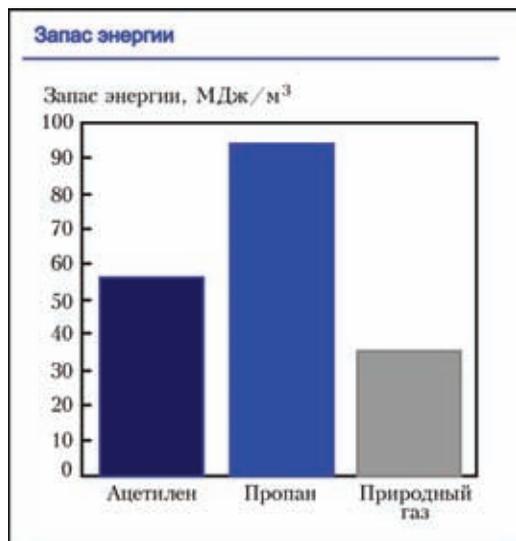
Потребление кислорода. При использовании различных горючих газов необходимо разное количество кислорода. В таблице приведено соотношение расхода кислорода и трех горючих газов (так называемый состав горючей смеси), необходимое для образования нормального пламени для резки.

Область применения. Лишь при использовании ацетилена возможно изменение состава горючей смеси для получения нейтрального или восстановительного пламени. При температурах, используемых в промышленности, все остальные горючие газы дают только окислительное пламя. По этой причине природный газ и пропан не используют для сварки.

Для общего нагрева необходим газ с большим запасом энергии на кубический метр. Для таких целей пропан — наиболее подходящий газ.



* Статья на правах рекламы.



Внешний вид кромки при резке толстолистовой углеродистой стали под углом 45° с использованием ацетилена



Соотношение расхода кислорода и горючего газа

Горючий газ	Расход кислорода/горючего газа
Ацетилен	1,1
Пропан	4,0
Природный газ	1,8

На что следует обратить внимание при выборе газа?

Преимущества использования ацетилена:

- гибкость использования в различных процессах (окислительных, нейтральных, восстановительных);
- идеальные свойства для сварки, резки, закалки;
- легкая регулировка пламени;
- высокая эффективность при прерывистых процессах;
- низкая чувствительность к загрязнениям и образованиям на поверхности металла;
- уникальные свойства для угловых резов.

Дополнительные условия:

- для пробивки отверстий в толстом металле требуется опытный оператор;
- скорость распространения пламени велика, что увеличивает риск обратных ударов;
- масса измеряется в килограммах и проверяется по массе баллона.

Преимущества использования пропана:

- широкая доступность и возможность поставки как в емкостях, так и в баллонах;
- эффективность в операциях, связанных с общим нагревом;
- относительно небольшой риск обратного удара.

Дополнительные условия:

- при обработке фасок используют лишь для малых углов;
- тяжелее воздуха, что создает риск концентрации в низких областях и взрыва;
- низкая концентрация энергии пламени вызывает деформирование тонких листов при резке;
- самый высокий расход кислорода на 1 м³;
- пламя всегда только окислительное.

Преимущества использования природного газа:

- минимизация дополнительных затрат по причине широкого использования природного газа для обогрева предприятий;
- меньшая потребность в кислороде по сравнению с пропаном;
- минимальная вероятность обратного удара.

Дополнительные условия:

- концентрация пламени самая низкая;
- самое большое время подогрева при пробивке отверстия;
- давление в газопроводе обычно низкое для многих процессов;
- пламя всегда окислительное.

Д. А. Пятница, ОАО «Линде Газ Украина»

ВЫСТАВКИ

MVK

www.mvk.ru

РОССИЯ, МОСКВА, ЭЦ «СОКОЛЬНИКИ»

12-15 октября
2010СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ,
ОБОРУДОВАНИЕ,
ТЕХНОЛОГИИweldex
РОССВАРКА

www.weldex.ru

10-я юбилейная Международная выставка

WELDEX
РОССВАРКА

на правах рекламы

Дирекция выставки: тел./факс: (495) 925-34-82; e-mail: mns@mvk.ru

Организатор:ЗАО «Международная
Выставочная Компания»**При поддержке:**Московской
Межотраслевой
Ассоциации
Главных Сварщиков
Московской
Торгово-промышленной
палаты**Под патронатом:**Правительства Москвы
Торгово-промышленной
палаты РФ
Правительства Московской
области**При содействии:****Генеральный
информационный спонсор:****Информационные спонсоры:**

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВА ЗАО «МVK»: МVK УРАЛ: (343) 371-24-76, МVK ВОЛГА: (843) 291-75-89

СВІТ АВТОМАТИЗАЦІЇ, ВИМІРЮВАННЯ, СТАНДАРТІВ ТА ЯКОСТІ

23-26 Листопада 2010 р.

**IX МІЖНАРОДНИЙ
ПРОМИСЛОВИЙ
ФОРУМ – 2010**

**УКРАЇНА, КИЇВ
МІЖНАРОДНИЙ ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР**



**УКРПРОМ
АВТОМАТИЗАЦІЯ**

- АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА
- КОМП'ЮТЕРИ І МЕРЕЖІ
- ВБУДОВАНІ СИСТЕМИ
- ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ
- ПРИЛАДИ І КОМПОНЕНТИ
- SCADA-СИСТЕМИ
- СИСТЕМИ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ
- УПРАВЛІННЯ ПІДПРИЄМСТВОМ
- ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
- СИСТЕМНА ІНТЕГРАЦІЯ І НАВЧАННЯ



**ЗРАЗКИ, СТАНДАРТИ,
ЕТАЛОНИ, ПРИЛАДИ**

- СТАНДАРТИЗАЦІЯ
- СЕРТИФІКАЦІЯ
- МЕТРОЛОГІЯ
- НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ І ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА
- КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ І АПАРАТУРА
- ВАГОВЕ І ВАГОДОЗУЮЧЕ ОБЛАДНАННЯ
- ЛАБОРАТОРНЕ ОБЛАДНАННЯ

**НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ:
"ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА"**



ОФІЦІЙНА ПІДТРИМКА: МІНПРОМПОЛІТИКИ УКРАЇНИ, ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ УКРАЇНИ

УКРАЇНА, 02660, КИЇВ
БРОВАРСЬКИЙ ПРОСПЕКТ, 15
☎: +380 44 201-11-78, 206-87-96
www.tech-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua



**ОРГАНІЗАТОР
ТОВ "МІЖНАРОДНИЙ
ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР"**

ПАРТНЕРИ



ІНФОРМАЦІЙНИЙ СПОНСОР



ІНФОРМАЦІЙНА ПІДТРИМКА





ГП «Опытный завод
сварочных материалов
ИЭС им. Е.О. Патона
НАН Украины»

**Производство материалов для
дуговой сварки, наплавки и резки:**

Электроды — АНО-4, АНО-4И, АНО-6, АНО-6У, АНО-12, АНО-21, АНО-21М, АНО-21У, АНО-27, АНО-36, АНО-37, МР-3, УОНИ 13/45, УОНИ 13/55, ВН-48, АНО-ТМ, АНО-ТМ/СХ, АНО-ТМ60, АНО-ТМ70, ТМА-1У, ТМА-3У, ЦУ-5, ТМУ-21У, ОЗЛ-6, ОЗЛ-8, ЦЛ-11, ЭА-395/9, ЭА-400/10У, ЦЧ-4, Комсомолец-100, Т-590, АНР-2

Порошковые проволоки — ПП-АН1, ПП-АН3, ПП-АН7, ПП-АН19, ПП-АН19Н, ПП-АН24С, ПП-АН30, ПП-АН59, ПП-АН61, ПП-АН63, ПП-АН67, ПП-АН68М, ПП-АН69, ПП-АН70М, ПП-АНВ2У, ПП-НnX25П4Н3Т, ППС-ЭК1, ППС-ЭК2, ППР-ЭК3, ППР-ЭК4

Флюсы плавные — по ГОСТ 9087-81, а также АН-М13, АН-25, АН-72

Флюсы керамические — АНК-40, АНК-47А, АНК-57, АНК-565

Возможно изготовление других марок материалов

04112, Украина	Тел.:	(044)	456-64-95
г. Киев-112			456-63-69
ул. О. Телиги, 2	Факс:	(044)	456-64-95
			456-63-08

С 1992 г. на рынке сварочного оборудования Украины



предприятие
«Триада-Сварка»
г. Запорожье

- > Разработка и поставка автоматизированных сварочных комплексов
- > Технологическое обеспечение и полная комплектация сварочных производств
- > Ремонт сварочного оборудования, в т. ч. сложного
- > Пуско-наладочные работы
- > Широкий выбор сварочного оборудования



тел. (061) 233 1058, (0612) 34 3623,
(061) 213 2269, 220 0079 e-mail: weld@triada.zp.ua
Сервисный центр: (061) 270 2939. www.triada-weld.com.ua

ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

СпецСплав

ПРОИЗВОДСТВО:

Флюсы сварочные

Проволоки порошковые для внепечной
обработки металлургических расплавов

Проволоки порошковые для сварки, наплавки,
напыления и металлизации

Электроды наплавочные, специального назначения,
для сварки чугуна и резки

Ферросплавы и легатуры

Хром металлический

Комплексные раскислители и модификаторы

ул. Курсантская, 1
г. Днепропетровск
49051, Украина

Тел. (380562) 35-50-25
Тел./факс (38056) 37-41-912
E-mail sp@spetsplav.dp.ua

НАВКО-ТЕХ

Automatic machines and robots for arc welding

**Автоматические установки и роботы
для дуговой сварки и наплавки**



УСТАНОВКИ ДЛЯ СВАРКИ
ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ ШВОВ

УСТАНОВКИ ДЛЯ СВАРКИ
КОЛЬЦЕВЫХ ШВОВ

РОБОТотехнологические
КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ СВАРКИ

СВАРОЧНАЯ АППАРАТУРА



Украина, Киев
Тел.: +38 044 456-40-20
Факс: +38 044 456-83-53

<http://www.navko-teh.kiev.ua> E-mail: info@navko-teh.kiev.ua

SELMA ОАО «Электромашиностроительный завод «Фирма СЭЛМА»

Производство электросварочного оборудования

Номенклатура выпускаемого оборудования составляет более 100 наименований сварочной техники для всех видов электродуговой сварки.

- трансформаторы и выпрямители для ручной дуговой сварки
- полуавтоматы для сварки в среде защитных газов
- установки для аргодуговой сварки неплавящимся электродом
- установки воздушно-плазменной резки металла
- сварочные автоматы. Сварочные головки
- машины для контактной точечной сварки
- оборудование для механизации процесса сварки и резки
- оборудование для управления контактными сварочными машинами
- машины для автоматической плазменной резки портального типа
- машины для автоматической резки и разделки кромок под сварку труб
- дизельные сварочные агрегаты типа АДД
- машины для механической подготовки кромок под сварку

Вся продукция фирмы сертифицирована Госстандартами Украины и России. На предприятии внедрена и сертифицирована система обеспечения качества выпускаемой продукции ISO 9001-2001, TUV (Германия).

«Фирма СЭЛМА» проводит гарантийное и сервисное обслуживание оборудования, пусконаладочные работы, обучение и консультации по эксплуатации сварочного оборудования.



95000, г. Симферополь, Украина,
ул. Генерала Васильева, 32А
Отдел маркетинга и сбыта: +38 (0652) 66-85-37, 58-30-55
Факс: +38 (0652) 58-30-53
E-mail: sales@selma.crimea.ua http://www.selma.ua

ОАО «ЗАПОРОЖСТЕКЛОФЛЮС»

69035, Украина г. Запорожье, ул. Диагональная, 2
Тел.: +380 (61) 289-03-53; факс: +380 (61) 289-03-50
E-mail: market@steklo.zp.ua

ОАО «Запорожский завод сварочных флюсов и стеклоизделий» на протяжении многих лет является одним из крупнейших в Европе производителей сварочных флюсов и силикатов натрия растворимого. На сегодня мы предлагаем более 20 марок сварочных флюсов.

На заводе разработана и внедрена Система управления качеством с получением сертификатов TUV NORD SERT на соответствие требованиям стандарта DIN EN ISO 9001-2000 и научно-технического центра «СЕПРОЗ» ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины на соответствие требованиям ДСТУ ISO 9001-2001.

Благодаря тесному сотрудничеству с Институтом электросварки им. Е. О. Патона ОАО «Запорожстеклофлюс» освоил производство сварочных флюсов новым методом – двойным рафинированием сплава.

Сварочные флюсы для автоматической, полуавтоматической сварки и наплавки углеродистых и низколегированных сталей: АН-348-А, АН-348-АМ, АН-348-АД, АН-348-АП, АН-47, АН-47Д, АН-47П, АН-60, ОСЦ-45, АНЦ-1А, ОСЦ-45 мелкой фракции (ГОСТ 9087-81, ТУ У 05416923.049-99, ГОСТ Р 52222-2004).

Силикат натрия растворимый (модуль от 2,0 до 3,5). Широко применяется для изготовления жидкого стекла и сварочных электродов.

МЫ ВСЕГДА ГАРАНТИРУЕМ СТАБИЛЬНОСТЬ ПСТАВОК И САМЫЕ НИЗКИЕ ЦЕНЫ В СНГ
Наша цель — более полное удовлетворение Ваших потребностей в качественных и современных сварочных материалах.



ЗАВОД АВТОГЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ®

ДОНМЕТ®

Украина, г. Краматорск, тел./факс: (06264) 5-77-13
svarka@donmet.com.ua www.donmet.com.ua

Все для газовой резки и сварки. Электросварка.

100% гарантия от производителя

GYS **ТБ**

ДОНМЕТ®

ФИРМЕННАЯ ТОРГОВАЯ СЕТЬ

КИЕВ • ДОНЕЦК
Тел./факс (044) 404-38-72 Тел./факс (062) 381-88-93

ЗАПОРОЖЬЕ
Тел./факс (061) 224-11-56

ПУГАНСК • ОДЕССА
Тел./факс (0642) 71-51-65 Тел./факс (048) 785-19-65



Plasma Master Научно-производственная фирма

ПЛАЗМА-МАСТЕР ЛТД.

Лидер в Украине в области плазменно-порошковой наплавки

- Оборудование для плазменно-порошковой наплавки
- Плазмотроны для наплавки различных модификаций
- Технологические разработки в области плазменной наплавки
- Услуги по наплавке деталей машин

Ручная плазменно-порошковая наплавка - прекрасный инструмент в ремонте!

Украина, 03680, Киев
ул. Кржижановского, 3
тел./факс: +38 044 537-31-44
office@plasma-master.com.ua
www.plasma-master.com.ua



ОАО "ЗОНТ"

ПРОИЗВОДСТВО:
 МАШИН ФИГУРНОЙ ГАЗОКИСЛОРОДНОЙ РЕЗКИ "АСШ-70М";
 МАШИН ДЛЯ МИКРОПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ "МЕТЕОР";
 МАШИН ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ "КОМЕТА М";
 МАШИН ДЛЯ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ РЕЗКИ "МАРИНА";
 МАШИН ПЛАЗМЕННОЙ И ГАЗОКИСЛОРОДНОЙ РЕЗКИ С
 ЧПУ ДЛЯ ФИГУРНОЙ РЕЗКИ ТРУБ;
 ПЕРЕНОСНЫХ ГАЗОРЕЗУЩИХ МАШИН "РАДУГА";
 НАСОСОВ, ТЕПЛООБМЕННИКОВ И ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ ДЛЯ
 КРИОГЕННОЙ ТЕХНИКИ.

ПОСТАВКА
 ИСТОЧНИКОВ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ.
**КАПИТАЛЬНЫЙ РЕМОНТ И
 МОДЕРНИЗАЦИЯ**
 МАШИН ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКИ МЕТАЛЛА.





ОАО "ЗОНТ" (ТОРГОВАЯ МАРКА «АВТОГЕНМАШ»)
 65104, УКРАИНА, Г. ОДЕССА, ПР-Т. МАРШАЛА ЖУКОВА 103.

Т. + 38 (048) 717-00-50, E-MAIL: OAOZONT@ZONT.COM.UA
 715-69-40, WWW.ZONT.COM.UA
 Ф. +38 (048) 715-69-50 WWW.AUTOGENMASH.COM

Днепрометиз
 Группа предприятий «Северсталь-метиз»

**ОАО "Днепрометиз" - крупнейшее предприятие
 Украины в своей отрасли, входит в международную
 группу производителей "Северсталь-метиз"**

e-mail: sale@dm.severstalmetiz.com

т/ф: (0562) 34-82-24, 35-83-69, 35-15-97
 Украина, 49081, г. Днепропетровск, пр. им. газеты „Правда“, 20

ПРОВОЛОКА:
 сварочная Св-08 (А), Св-08Г2С
 Вр-1 для армирования ЖБК
 общего назначения без покрытия
 термообработанная черная
 оцинкованная
 колючая

СЕТКИ:
 плетеные
 сварные
 рифленые

ЭЛЕКТРОДЫ:
 МР-3
 АНО-4
 АНО-6
 АНО-21
 УОНИ

**ГВОЗДИ
 БОЛТЫ
 ГАЙКИ
 ШАЙБЫ**



www.dneprometiz.com.ua

Каховский завод
 электросварочного оборудования

74800 Украина, г. Каховка. Тел./факс: +38 (05053) 2-99-82, 2-19-72
market@kzeso.com www.kzeso.com



СИЛА ПРОТИВОПОЛОЖНОСТЕЙ,,,



КЗЭСО

Специальные Научные Разработки **СНР**
 Научно-производственная фирма

**ДИАГНОСТИКА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ
 И ОСНОВНОГО МЕТАЛЛА**

**Магнитный
 структуроскоп КРМ-Ц-К2М**

- остаточные напряжения
- конструкционные напряжения
- результаты термообработки
- усталостные изменения
- развитие опасных зон
- оценка ресурса
- предупреждение разрушений



- ✓ без зачистки
- ✓ через защитное покрытие **до 6 мм**
- ✓ без контактной жидкости

Украина, 61121, г. Харьков, ул. Светлая, 10/16; тел./факс +38 (057) 771-65-91, 738-32-06
www.krm-ndt.com | e-mail: mail@krm-ndt.com
 в Москве – ООО "Магнитометрическая диагностика", +7 (499) 502-93-91, mail@mdiag.ru

Разработка, производство, внедрение

СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Проволоки
порошковые для
сварки и наплавки,
проволоки сплошные,
электроды, флюс,
наплавочные установки



ООО «НПФ «Элна» является разработчиком и производителем порошковых проволок для сварки и наплавки, а также представителем компаний WELDING ALLOYS GROUP (Англия) и HYUNDAI WELDING Co. Ltd (Южная Корея) в Украине



ООО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА «Элна»
ул. Антоновича, 69, г. Киев, 03150, Украина
тел. (044) 200-80-25, 200-85-17, факс (044) 200-85-17
e-mail: mfo@elna.com.ua www.elna.com.ua



STEIN-MEGAFIL®

МЫ НЕ ИЗОБРЕЛИ КОЛЕСО,
НО МЫ ИЗОБРЕЛИ
ПРОВОЛОКУ.

STEIN-MEGAFIL® - для решения Ваших задач в области сварки. Эта полностью бесшовная порошковая проволока с уникальными сварочными свойствами создана для удовлетворения Ваших требований к сварке. Она отличается высокой конструктивной размерной стабильностью, не скручивается, не деформируется, благодаря чему идеально подходит для прецизионной сварки. Проволока влагостойка и, следовательно, не требует повторной сушки. Кроме того, она обладает прекрасной электропроводностью и обеспечивает стабильность горения дуги и формирования жидкой ванны.

DRAHTZUG STEIN
wire & welding

Tel: +49(0)6356 966-0 info@drahtzug.com
Fax: +49(0)6356 966-114 www.drahtzug.com

Официальный представитель в Украине
АРКСЭЛ
83017, г. Донецк, пер. Вятский, 2а

тел.: (062) 332-2650(52) info@arcsel.dn.ua
тел./факс: 382-9449, 332-2651 www.arcsel.dn.ua