

Производственно-технический журнал

# СВАРЩИК

№ **1** 2017

В РОССИИ

технологии — производство — ремонт

TECHNOLOGY FOR THE WELDER'S WORLD

MIG/MAG • TIG • Плазма • РОБО • Аксессуары



**ООО «АБИКОР БИНЦЕЛЬ  
Сварочная Техника»**

129343, г. Москва, ул. Уржумская, д. 4

Тел.: (495) 221-84-81, 221-84-82,

факс: (495) 510-64-70

E-mail: binzel-abicor@yandex.ru

www.binzel-abicor.ru

**ABICOR  
BINZEL®**



[www.binzel-abicor.com](http://www.binzel-abicor.com)

1 (65) 2017

Журнал выходит 6 раз в год.

Издается с мая 2006 г.

Подписной индекс **20994**  
в каталоге «Пресса России»

Подписной индекс **E20994**  
в каталоге Агентства «Книга-Сервис»

Подписной индекс **K0103** в каталоге  
российской прессы «Почта России» —  
персональная подписка

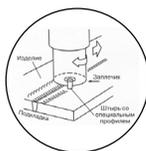
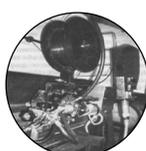
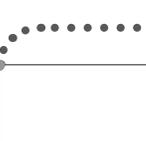
Производственно-технический журнал

# СВАРЩИК

№ 1 2017

## В РОССИИ

### СОДЕРЖАНИЕ

<b>Новости техники и технологий</b> .....	4	
<b>Выставки, конференции</b>		
Международная конференция «Сварка: стандартизация и оценка соответствия» .....	5	
<b>Технологии сварки трением</b>		
Сварка металлов и сплавов трением. Способы сварки. <i>Г. И. Лащенко</i> .....	6	
<b>Технологии ремонтной сварки</b>		
Технологические особенности процессов автоматизированной дуговой сварки при ремонте крупногабаритных резервуаров. <i>В. М. Илюшенко, В. А. Поляков, В. А. Лысенко</i> .....	11	
<b>Производственный опыт</b>		
Технико-экономическое обоснование выбора способа сварки. <i>С. Б. Черный</i> .....	16	
<b>Технологии сварки труб</b>		
Причины локальных повреждений сварных соединений трубопроводов АЭС. <i>О. Г. Касаткин, А. К. Царюк, В. Ю. Скульский, А. Р. Гаврик, С. И. Моравецкий</i> .....	22	
<b>Наши консультации</b> .....	26	
<b>Вклад ИЭС им. Е. О. Патона в научно-технический прогресс</b>		
Аппараты для реализации новых технологий. К 100-летию со дня рождения В. Е. Патона. <i>А. Н. Корниенко</i> .....	30	
<b>Страницы истории</b>		
Послевоенное восстановление экономики. <i>А. А. Мазур, В. И. Снежко</i> .....	34	

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-24185 от 25.04.2006, выдано Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия

**Издатель** ООО «Центр трансфера технологий Института электросварки им. Е. О. Патона», ООО «Специальные сварочные технологии»

**Тел. моб.** +7 903 795 18 49

**E-mail** ctt94@mail.ru

**Главный редактор** В. Д. Позняков

**Зам. главного редактора** В. Г. Абрамишвили

**Редакторы** Р. С. Сухомуд  
О. А. Трофимец

**Верстка и дизайн** А. В. Рябов

За достоверность информации и содержание рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели. Мнение авторов статей не всегда совпадает с позицией редакции.

Рукописи не рецензируются и не возвращаются. Редакция оставляет за собой право редактировать и сокращать статьи. Переписка с читателями — только на страницах журнала.

При использовании материалов в любой форме ссылка на «Сварщик в России» обязательна.

Подписано в печать 20.03.2017. Формат 60×84 1/8. Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура PetersburgC. Отпечатано в ЗАО «ТДДС-Столица-8». Заказ № П0000003052 от 17.03.2017. Тираж 1000 экз.

Издание выходит при содействии производственно-технического журнала «Сварщик»

**Учредители** Институт электросварки им. Е. О. Патона НАНУ, ООО «Технопарк ИЭС им. Е.О. Патона»

**Издатель** НТК «ИЭС им. Е. О. Патона» НАНУ

**Главный редактор** В. Д. Позняков

**Зам. главного редактора** В. Г. Абрамишвили  
**Редакционная коллегия** В. А. Белинский, Ю. К. Бондаренко, А. В. Вавилов, Ю. В. Демченко, В. М. Илюшенко, Г. И. Лашенко, О. Г. Левченко, В. М. Литвинов, Л. М. Лобанов, А. А. Мазур, В.И. Панов, П. П. Проценко, С. В. Пустовойт, И. А. Рябцев, А. А. Сливинский

**Адрес редакции** 03150, Киев, а/я 337

**Телефон** +380 44 200 53 61, 200 80 18

**Тел./факс** +380 44 200 80 14

**E-mail** welder.kiev@gmail.com  
trofimits.welder@gmail.com

**URL** <http://www.welder.stc-paton.com>

### Подписка-2017

Подписной индекс **20994**  
в каталоге «Пресса России»

Подписной индекс **E20994**  
в каталоге Агентства «Книга-Сервис»

Подписной индекс **KO103**  
в каталоге российской прессы  
«Почта России» — персональная подписка

## News of technique and technologies . . . . 4

### Exhibitions, conferences

International conference «Welding: standardization and conformity assessment» . . . . . 5

### Technologies of friction welding

Welding of metals and alloys by friction. The methods of welding.  
*G.I. Lashenko* . . . . . 6

### Technologies of repair welding

Technological features of the processes of automated arc welding in the repair of large storage tanks.  
*V.M. Ilyushenko, V.A. Polyakov, V.A. Lysenko* . . . . . 11

### Production experience

Technical-economic justification for the selection of the welding method.  
*S.B. Cherniy* . . . . . 16

### Technologies of pipes welding

Causes of local damages of welded joints of pipelines of NPP (nuclear power plants).  
*O.G. Kasatkin, A.K. Tsaryuk, V. Yu. Skul'skiy, A.R. Gavrik, S.I. Moravetskiy* . . . . . 22

### Our consultations . . . . . 26

### Contribution of the E.O. Paton EWI in the scientific and technical progress

Apparatus for the implementation of new technologies. On the 100-th anniversary of the birth of V.E. Paton.  
*A.N. Kornienko* . . . . . 30

### Page of history

The post-war recovery of economic.  
*A.A. Mazur, V.I. Snezhko* . . . . . 34

## Сварка металлов и сплавов трением. Способы сварки.

Г. И. Лашенко

Представлена классификация способов сварки металлов и сплавов трением. Отмечено, что наибольшее распространение получили способы конвенционной и инерционной сварки трением. Приведены схемы выполнения процессов, технологические циклы, основные достоинства и недостатки обоих видов сварки. Рассмотрены также другие способы сварки трением: комбинированная, радиальная, вибрационная, орбитальная, роликовая и трением с перемешиванием. Отмечены некоторые основные достоинства и недостатки упомянутых способов сварки трением.

## Технологические особенности процессов автоматизированной дуговой сварки при ремонте крупногабаритных резервуаров.

В. М. Илюшенко, **В. А. Поляков**, Лысенко В. А.

Проведен сравнительный анализ процессов автоматизированной дуговой сварки в защитных газах, самозащитной порошковой проволокой и под флюсом для ремонта металлоконструкций крупногабаритных резервуаров. Рассмотрены технологические особенности сварки разных типов швов, а также принципы разработки специализированных монтажных аппаратов. Описаны преимущества технологии автоматизированной дуговой сварки, которая будет иметь широкое применение, а также опыт и перспективы использования новых разработок.

## Технико-экономическое обоснование выбора способа сварки.

С. Б. Черный

Для определения наиболее эффективного способа и выбора сварочных материалов при сварке корпусных конструкций, проведены сравнительные испытания способа полуавтоматической сварки сплошной проволокой в среде  $CO_2$  и в смеси газов  $Ar + CO_2$ , а также тремя типами порошковой проволоки в  $CO_2$ . Приведены результаты анализа технических параметров сварки, характеристики полученных швов и прямых затрат на 1 метр шва. Рассмотрены возможности экономии затрат, снижения трудоемкости сварки, повышения производительности труда и сокращения срока завершения заказов.

## Причины локальных повреждений сварных соединений трубопроводов АЭС.

О. Г. Касаткин, А. К. Царюк, В. Ю. Скульский, А. Р. Гаврик, С. И. Моравецкий

Показано, что основными факторами, вызывающими коррозионное растрескивание и разрушение композитных сварных соединений трубопроводов, являются химическая и структурная неоднородности металла сварных соединений, образование мартенситных и обезуглероженных прослоек, напряженное состояние и водородное охрупчивание металла. Предложен способ повышения сопротивляемости сварных соединений локальным коррозионным повреждениям, состоящий в том, что в сварные соединения между аустенитной и углеродистой сталью вводится промежуточный слой из технического железа. Это позволяет исключить образование в сварных швах хрупкого легированного мартенсита и обезуглероженных прослоек в металле ЗТВ, поэтому сварное соединение с промежуточным слоем имеет более высокую коррозионную стойкость.



## Технология сварки в Арктике

Ученые из Алтайского ГУ разработали технологию хладостойкой сварки, которую можно применять при экстремально низких температурах. Например, в Арктике, где может похолодать до  $-70^{\circ}\text{C}$ , а  $-40^{\circ}\text{C}$  — это обычная температура воздуха.

Новую технологию будут использовать для создания металлоконструкций нефтегазодобывающей, горнодобывающей, нефтехимической индустрий. Технология хладостойкой сварки значительно увеличивает стойкость конструкций при низких температу-

рах. Самое главное — улучшение в 3–6 раз способности металла сопротивляться ударным нагрузкам. Конструкции, сваренные при помощи таких хладостойких соединений, будут максимально устойчивыми. Последние испытания, проведенные в зоне Заполярья в Красноярском крае на Ванкорском нефтегазовом месторождении, подтвердили эффективность новой технологии хладостойкой сварки.

[www.altapress.ru](http://www.altapress.ru)

● #994

## Климатические испытания сварочного оборудования «НПФ «ИТС» и НПП «ФЕБ»

Компании «НПФ «ИТС» и НПП «ФЕБ» идут в ногу со временем! Ими были проведены климатические испытания образцов сварочного оборудования.

В ходе испытаний под воздействием температуры  $-40^{\circ}\text{C}$  образцы сварочных аппаратов покрылись инеем.

Несмотря на воздействие низких температур, оборудование осталось полностью работоспособным. Такой результат можно считать победой в совместной работе этих двух компаний. Климатические испытания пройдены успешно!

[www.npfets.ru](http://www.npfets.ru)

● #995



## Ability 3D-принтер по металлу



Выставка Consumer Electronics Show (CES) прошла в Лас Вегасе, штат Невада, с 5 по 8 января 2017 г. На выставке производители представили технологические новинки — потенциальные бестселлеры ближайшего будущего, в т. ч. и 3D-печать.

Знакомство с посвященной 3D-технологиям площадкой на CES — отличный способ узнать о перспективных новинках в этой сфере. Среди экспонентов

было много компаний, которые показали свои разработки в печати трехмерных объектов.

Ability 3D обещает любителям доступный 3D-принтер по металлу.

Это не совсем обычный 3D-принтер. В стремлении сделать 3D-печать металлом доступнее, в своем устройстве Ability совместили сварочный аппарат и ЧПУ-фрезер. Каждый слой, в процессе печати, сначала наплавляется сваркой, а потом обрабатывается фрезой.

В марте 2017 г. стартовала кампания на Kick Starter, цель которой — сбор средств на запуск серийного производства ABILITY 3D-888, а в феврале Ability представила напечатанный их принтером цилиндр ДВС, который должен корректно работать в двигателе, без серьезной послепечатной доработки. Цену на свой принтер, в серийном выпуске, Ability видит где-то в районе \$3000.

[www.hi-news.ru](http://www.hi-news.ru)

● #996



## Международная конференция «Сварка: стандартизация и оценка соответствия»

В Москве, в отеле «Золотое кольцо» 19–20 апреля 2017 г. состоится Международная конференция «Сварка: стандартизация и оценка соответствия». Организаторами мероприятия выступают Комитет Российского Союза промышленников и предприятий по техническому регулированию, стандартизации и оценке соответствия и Российское научно-техническое сварочное общество (РНТСО). Конференцию поддерживают Минпромторг России, Росстандарт, НУЦ «Контроль и диагностика», информационная сеть «Техэксперт».

В конференции примут участие представители Международного института сварки (IIW), Европейской федерации по сварке (EWF), представители федеральных и региональных органов власти, руководители и технические специалисты ведущих международных и российских компаний.

Участникам конференции будет предложено ознакомиться с опытом ведущих российских и зарубежных компаний по разработке и применению международных, межгосударственных и национальных стандартов в области сварки и неразрушающего контроля.

О многоплановости мероприятия можно судить по перечню ключевых вопросов, которые будут обсуждаться участниками, а именно:

- вопросы технического регулирования и стандартизации в области сварки и смежных технологических процессов в России и странах УАЭС;
- практика применения технических регламен-

тов Таможенного союза, Федерального закона «О стандартизации» и норм промышленной безопасности в сварочном производстве;

- практическое проведение оценки соответствия (сертификации) составляющих элементов сварочного производства: системы качества, сварочного оборудования, материалов, технологии и персонала;
- международный опыт проведения оценки соответствия в сварочной отрасли: ISO, IIW, EWF, API, ASME, ICNDT;
- участие российских специалистов в разработке международных стандартов в области сварки и неразрушающего контроля;
- практика разработки и применения национальных и межгосударственных стандартов для решения вопросов импортозамещения.

Конференция может представлять интерес для технических директоров предприятий, руководителей служб управления качеством и стандартизации, главных сварщиков и поставщиков сварочного оборудования в машиностроительной отрасли, строительстве, нефтегазовом комплексе и сферах энергетики, транспорта, металлургии.

Комитет РСПП по техническому регулированию, стандартизации и оценке соответствия:

тел.: +7 (495) 663-04-50

e-mail: pr-rgtr@rspp.ru

www.RGTR.ru

• #997

## Выставка «Металлообработка и сварка»

С 1 по 3 февраля 2017 г. в красноярском МВДЦ «Сибирь» прошла XII специализированная выставка «Металлообработка и сварка». Свои новинки представили более 60 заводов-производителей и поставщиков инновационного промышленного оборудования из России, Германии и Республики Беларусь.

С приветственным словом к участникам и гостям мероприятия обратился директор Головного аттестационного центра Средне-Сибирского региона, председатель Красноярского краевого регионального отделения Российского сварочного профессионального сообщества Сергей Прокопьев. «Эта выставка уже 12-я, каждый год появляются новые участники и экспонаты. Выставка — это площадка для общения и обмена опытом».

В рамках выставки прошел конкурс сварщиков в новом формате — по профстандарту «сварщик».

Отметим, что конкурс профмастерства «Лучший сварщик — 2017» является одним из сильнейших в России. В этом году в нем участвовали около 30 профессионалов и студентов-сварщиков из Братска, Северо-Енисейска, Ачинска, Шарыпова, Зеленогорска, Красноярска и др. городов. Генеральным партнером конкурса вновь выступила компания «ИТС-Сибирь».

С приветственным словом к гостям обратился генеральный директор ВК «Красноярская ярмарка» Артем Мурадян: «Не может не радовать, что ежегодно на выставке наблюдается качественный рост. Об этом говорит обширная география экспонентов. Есть у нас и зарубежные гости — из Германии и Республики Беларусь. Всем участникам выставки желаю, чтобы выставка принесла вам коммерческие выгоды».

www.newslab.ru

• #998

# Сварка металлов и сплавов трением. Способы сварки\*

Г. И. Лашенко, канд. техн. наук, НТК «ИЭС им. Е. О. Патона» НАНУ (Киев)

Практическое использование теплоты, выделяемой при трении, реализуют в процессах сварки, наплавки, формоизменения и упрочнения [1, 2]. Среди этих процессов наиболее широко распространена сварка трением.

Сварка трением — особый вид сварки давлением, при котором местный нагрев материала заготовок происходит в результате сухого трения их сопряженных поверхностей друг с другом или путем использования специального инструмента.

Классификация способов сварки трением в виде схемы показана на рис. 1. Наибольшее распространение получили способы 1 и 2. Сварку трением по способу 1 называют сваркой с непрерывным приводом или конвенциональной сваркой [1]. **Конвенциональная сварка** — разновидность сварки трением, при которой механическая энергия, постоянно поступающая от источника, непосредственно преобразуется в тепловую в тонких приповерхностных слоях металла, сопряженных



Рис. 1. Классификация способов сварки трением

Практическому использованию сварки трением положили начало опыты токаря-новатора А. И. Чудикова (1956 г.), получившие развитие в работах ВНИИЭСО (Россия) под руководством В. И. Вилля [1]. Эти работы послужили толчком для начала исследований сварки трением в США, Японии, Великобритании, Германии и других странах.

В 1960–1990 гг. процесс сварки трением интенсивно исследовали и внедряли в промышленность как в СССР, так и в других странах мира. В последние десятилетия интерес к сварке трением не только не снизился, но даже возрос.

и подлежащих соединению поверхностей свариваемых заготовок.

Наиболее распространенная схема выполнения **конвенциональной сварки трением** (способ 1 А) показана на рис. 2. Технологический цикл этого способа состоит в следующем. Одной из заготовок сообщают вращательное движение, затем заготовки сближают и прикладывают к ним осевое усилие нагрева (в некоторых машинах для сварки трением предусмотрена предварительная притирка поверхностей). Стадию нагрева регламентируют в машинах временем нагрева или совместной деформацией заготовок. После торможения подвижной заготовки прикладывают усилие проковки.

\* Начало публикации серии статей «Сварка металлов и сплавов трением»

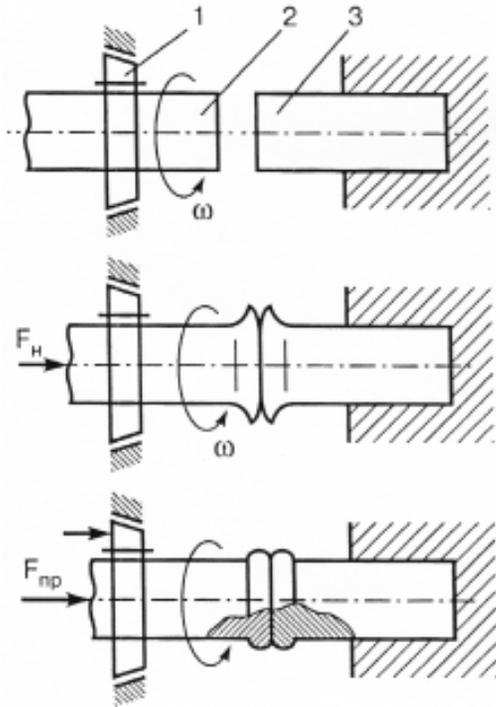


Рис. 2. Схема конвенциональной сварки трением с непрерывным приводом: 1 – тормоз; 2, 3 – свариваемые заготовки

К основным достоинствам конвенциональной сварки трением относят:

- высокую производительность (35–450 сварок в час) и небольшие потери металла;
- стабильность качества сварного соединения в широком диапазоне режимов сварки;
- простоту подготовки деталей к сварке;
- уменьшение припусков на сварку по сравнению с припусками при стыковой контактной сварке;
- уменьшение расхода электроэнергии в 5–10 раз и снижение мощности сварочного оборудования по сравнению с теми же показателями при стыковой контактной сварке;
- простоту автоматизации и контроля параметров режима сварки;
- отсутствие ультрафиолетового излучения, мощных магнитных полей, вредных газовых выделений и разбрызгивания расплавленного металла.

В качестве недостатков упомянутого способа сварки следует выделить:

- ограниченность вида соединения деталей (только стыковое и Т-образное соединение);
- ограниченность формы и размера сечения деталей. По экономическим соображениям наиболее

целесообразным считается диапазон сечений  $(5-10) \times 10^4 \text{ мм}^2$ .

Используют некоторые разновидности конвенциональной сварки трением (СТ), позволяющие в значительной мере преодолеть отмеченные выше недостатки (рис. 3).

Общим для этих способов является то, что свариваемые поверхности значительным усилием прижимают друг к другу и, вращая, перемещают. При этом в начальный момент разрушаются и вытесняются из стыков пленки различных загрязнений, стираются неровности на свариваемых поверхностях. В результате получается плотный контакт поверхностей и прекращается доступ воздуха к ним. В дальнейшем происходит быстрый нагрев тонких слоев металла свариваемых поверхностей. Часть нагретого металла с возможными остатками загрязнений вытесняется за пределы стыка.

После прекращения вращения деталей образование сварного соединения происходит при их совместной пластической деформации.

Отличительной особенностью способа 1 Г является выполнение сварки длинных труб с помощью вращения зажатого между ними относительно тонкого диска. По этому способу сварки в результате износа и нагрева диск 1 становится тоньше и при осадке срезается по диаметру, близкому к внутреннему диаметру свариваемых труб 2, а его периферийная часть в виде шайбы остается вваренной между торцами.

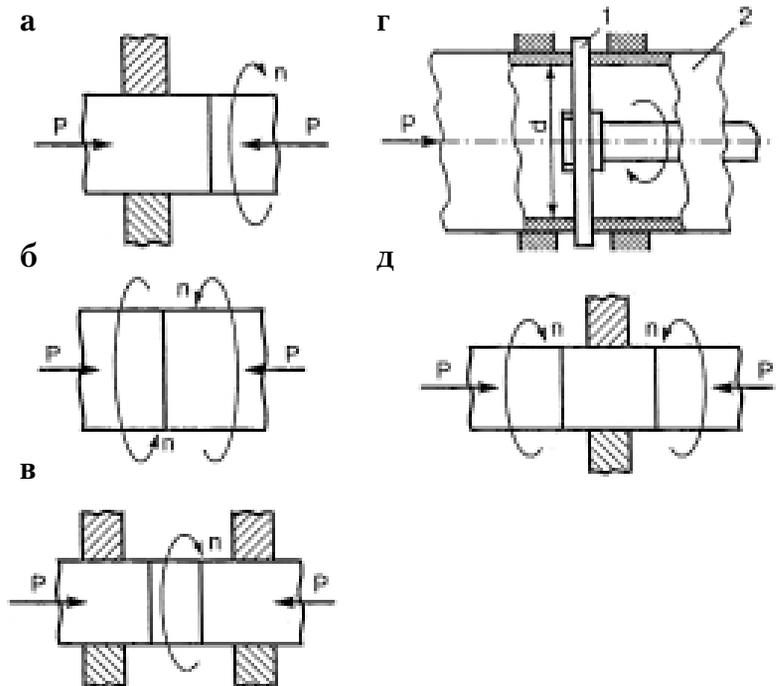


Рис. 3. Принципиальные схемы СТ с использованием: а – вращения одной детали; б – вращения обеих деталей; в – крайние заготовки неподвижны, средняя вращается; г – крайние заготовки неподвижны, вращается удаляемый после сварки диск; д – вращение концевых деталей

**Инерционная сварка трением** — этот способ запатентован фирмой Caterpillar Tractor Co (США) в 1962 г. Принцип инерционной сварки основан на использовании энергии, накопленной вращающимся маховиком, которая в процессе сварки преобразуется в теплоту. Шпиндель с насаженным на него маховиком заданной массы (рис. 4) разгоняют, затем привод отключают, а заготовки сжимают с заданным усилием. Сварка заготовок завершается в момент остановки шпинделя. В японском варианте инерционной сварки трением маховик устанавливают на шпинделе с закрепленной в нем неподвижной заготовкой, а вторую заготовку закрепляют в шпинделе оснащенном приводом и сообщают ей вращательное движение. При сжатии заготовок силы трения разгоняют шпиндель с маховиком. Момент выравнивания угловых скоростей заготовок соответствует завершению процесса сварки. Преимуществом этого способа является легкое удаление грата.

Среди достоинств инерционной сварки трением следует отметить:

- сокращение времени нагрева в несколько раз по сравнению с тем же временем при конвенциональной сварке трением;
- строгое дозирование энергии, расходуемой на сварку;
- расширение числа свариваемых сложных композиций материалов с резко отличающимися теплофизическими свойствами, а также улучшение свойств соединения при сварке сложных композиций материалов.

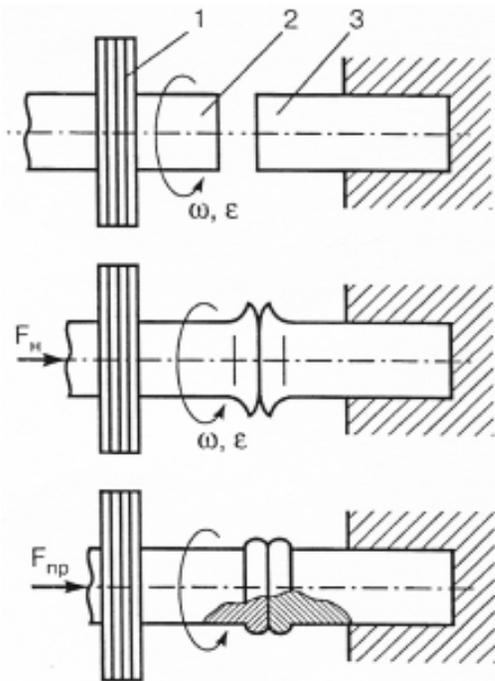


Рис. 4. Схема инерционной сварки трением: 1 – маховик; 2, 3 – свариваемые заготовки

К основным недостаткам инерционной сварки относятся:

- усложнение конструкции машин за счет использования дополнительных маховиков, вращающихся с большими скоростями;
- применение дополнительной операции смены маховиков при перестройке режима сварки;
- ужесточение условий работы упорных подшипников машин.

Способ **комбинированной сварки трением** сочетает преимущества способов конвенциональной и инерционной сварки. Вначале сварку выполняют с постоянной угловой скоростью, а затем привод отключают. Отрицательное угловое ускорение при этом должно быть таким, как и при инерционной сварке трением, для чего снижают скорость вращения шпинделя (рис. 1, способ 3 Б). Перспективным считают способ 3 В, при котором предварительный нагрев осуществляют по способу 1, затем привод отключают и в дальнейшем процесс протекает так же, как и при инерционной сварке трением. При достижении шпинделем частоты вращения  $6-5 \text{ с}^{-1}$  его «мгновенно останавливают».

В 1966 г. Британским институтом сварки был разработан способ **радиальной сварки трением**. Для выполнения радиальной сварки трением торцы труб со скошенными кромками прижимают друг к другу с определенным усилием, затем их нагревают с помощью внутреннего или наружного секционного разжимного кольца, вращающегося с заданной угловой скоростью. После торможения осуществляют проковку шва. Однако этот способ из-за сложности конструкции и технологии не нашел широкого промышленного применения.

Способ **вибрационной сварки трением** (схема показана на рис. 5) более известен в мировой литературе как линейная сварка трением. Сварку выполняют при колебательных движениях в области трения одной из свариваемых деталей относительно другой с небольшой амплитудой и частотой порядка десятков герц (а). Данный способ применяют преимущественно для сварки пластмасс. При варианте «б» выполняют сварку при возвратно-поступательном движении одной вращающейся заготовки.

Основным преимуществом способа вибрационной сварки трением является возможность соединения двух взаимно сориентированных деталей, деталей с произвольным профилем сечения, а также одновременной сварки на одной машине нескольких пар однотипных деталей. Основные недостатки указанного способа — сложность выполнения, невозможность выполнения сварки тонкостенных деталей, значительный шум при работе машины.

В 1971 г. фирмой Friction Welding Co был разработан способ **орбитальной сварки трением**

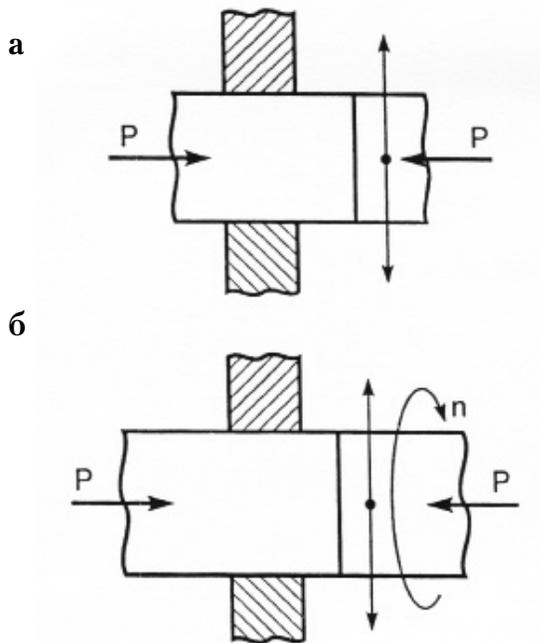


Рис. 5. Схема вибрационной (линейной) СТ: а – колебательные движения одной свариваемой детали относительно другой; б – колебательные движения одной свариваемой детали с вращением

(рис. 6). Суть способа заключается в том, что подвижную деталь без вращения перемещают по круговой орбите относительно неподвижной детали. После нагрева поверхностных слоев эксцентриситет  $e$  уменьшают до нулевого значения и выполняют проковку шва.

Орбитальная сварка трением позволяет сваривать заготовки, имеющие сечение произвольной формы, при одинаковом относительном перемещении всех точек контактных поверхностей, обеспечивая тем самым равномерный нагрев в зоне соединения. К недостаткам орбитальной сварки относят сложную конструкцию машин и ненадежность зажимных устройств вследствие действия на них значительных инерционных сил. Способ **роликовой сварки трением** разработан фирмой Gook Technologies (Великобритания). При выполнении сварки этим способом к сжатым заготовкам из листового материала подводят ролик, вращающийся с угловой скоростью 1600 рад/с. Скорость его перемещения относительно свариваемых заготовок составляет 0,1–2,0 мм/с. Удельное усилие на ролик 0,2–0,5 МПа. Вращающийся ролик за счет трения инициирует выделение тепловой энергии и генерирует ультразвуковые колебания, способствующие разрушению оксидных пленок.

Применение роликовой сварки перспективно для соединения тонколистовых материалов.

В последние годы появились новые предложения, развивающие описанный способ сварки [3].

Способ **сварки трением с перемешиванием** (СТП, английский эквивалент FSW) был запатентован Британским институтом сварки в 1991 г. Отличительной особенностью способа (рис. 7) является использование специального термостойкого нерасходуемого вращающегося инструмента с утолщенной частью – заплечиком (буртом) и выступающей частью – штырем (стержнем). Вращающийся штырь погружают в свариваемые детали, в результате трения выделяется теплота и металл переходит в тестообразное состояние. После этого инструмент, перемещаясь, образует непрерывный шов [2].

Сварку этим способом применяют в основном для создания материалов со сравнительно низкой температурой плавления, прежде всего алюминиевых и магниевых сплавов. В настоящее время известен ряд успешных промышленных решений по сварке указанным способом медных, никелевых и титановых сплавов, а также сталей различного состава.

Другой разновидностью сварки трением с перемешиванием является процесс с использованием в качестве рабочего инструмента расходуемого прутка, предложенный Х.А. Тягаром [4]. Сущность этого способа сварки (наплавки) заключается в том, что при трении торца прутка требуемого состава о поверхность заготовки происходит их разогрев до пластического состояния и образование металлических связей между ними.

К основным достоинствам способа сварки трением с перемешиванием нерасходуемым инструментом обычно относят следующие:

- свойства основного металла в зоне соединения сохраняются лучше, чем при сварке плавлением,

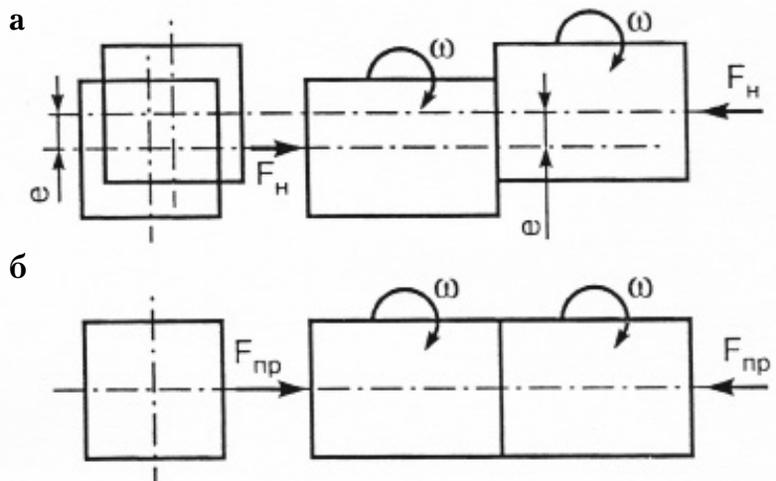


Рис. 6. Схема орбитальной СТ: а – стадия нагрева; б – стадия проковки

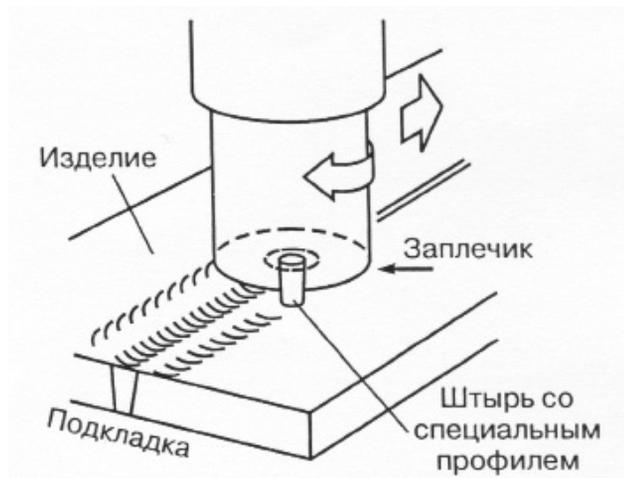


Рис. 7. Схема процесса сварки трением с перемешиванием

т.к. максимальная температура в зоне шва не превышает  $0,8 T_{пл}$ ;

- меньший уровень остаточных напряжений и деформаций сварных соединений;
- возможность получения соединений во всех пространственных положениях;
- возможность получения качественных швов на сплавах, трудно свариваемых плавлением;
- высокую эффективность использования электроэнергии и др.

Основные недостатки способа:

- необходимость применения громоздкого сварочного оборудования;
- необходимость конструирования и изготовления специального нерасходуемого инструмента под соответствующий тип соединений;
- необходимость применения вводных и выводных планок для получения качественных швов по всей длине заготовок;
- образование в конце кольцевого шва отверстия, равного диаметру штыря инструмента и др.

Литература

1. Сварка трением: Справочник / Под общ. ред. В. К. Лебедева, И. А. Черненко, В. И. Виля. — Л.: Машиностроение, 1987. — 236 с.

2. Лащенко Г. И. Современные технологии сварочного производства. — К.: «Экотехнология», 2012. — 720 с.

3. Штрикман М. М., Кашук Н. М. Комбинированная фрикционная сварка // Сварочное пр-во. — 2011. — № 2. — С. 25–28.

4. Тяяр Х. А. Сварка трением как способ восстановления изношенных деталей // Сварочное пр-во. — 1959. — № 10. — С. 23–24.

• #999



## СВАРКА и РЕЗКА

17-я международная специализированная выставка оборудования, приборов и инструментов для сварки и резки

4-7.04.2017



ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ

16-я международная специализированная выставка



ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ. ПОКРЫТИЯ  
Международный специализированный салон



МЕТАЛЛООБРАБОТКА  
13-я международная специализированная выставка

Беларусь, Минск,  
пр-т Победителей, 20/2  
Футбольный манеж

Организатор:



**МИНСКЭКСПО**

Тел.: +375 17 226 98 58

+375 17 226 90 83

Факс: + 375 17 226 98 58

+375 17 226 99 36

E-mail: e\_fedorova@solo.by

Генеральный  
информационный  
партнер:

**Сварщик**  
в Беларуси

# Технологические особенности процессов автоматизированной дуговой сварки при ремонте крупногабаритных резервуаров \*

В.М. Илюшенко, канд. техн. наук, **В.А. Поляков**, Лысенко В.А., Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ (Киев)

*Проведен сравнительный анализ процессов автоматизированной дуговой сварки в защитных газах, самозащитной порошковой проволокой и под флюсом для ремонта металлоконструкций крупногабаритных резервуаров. Рассмотрены технологические особенности сварки разных типов швов, а также принципы разработки специализированных монтажных аппаратов. Описаны опыт и перспективы использования новых разработок.*

Современные сварные металлоконструкции крупногабаритных резервуаров являются ответственными сооружениями с высокими техническими требованиями относительно их герметичности, безопасности и сроков эксплуатации. Анализ работоспособности таких конструкций показывает, что в монтажных соединениях с горизонтальными и вертикальными швами наиболее распространенными дефектами являются такие повреждения как трещины, коррозионный износ и потеря их геометрической формы. Отдельные участки резервуаров испытывают деформации в результате перекосов и неравномерной осадки, которая требует их восстановления или полной замены секций [1].

При поточном и капитальном ремонтах резервуаров обычно используют ручную дуговую сварку покрытыми электродами и механизированную в защитных газах, характеризующиеся невысокими производительностью и качеством сварных соединений. Испарение нефтепродуктов в дефектных местах резервуаров приводит к большим материальным расходам. В связи со значительно повышенной стоимостью сооружения новых резервуаров большое внимание необходимо уделить возобновлению работоспособности существующих.

Ремонт (или замене поврежденных участков) чаще всего подлежат днища и прилегающие к ним части вертикальной стенки. Для днища вместо традиционной подачи отдельных листов внутрь резер-

вуара предложено подавать непрерывную полосу, сваренную встык из отдельных листов [2]. Из этой полосы изготавливают отрезки нужной длины. Таким образом, все поперечные соединения получают стыковыми, а соединения внапуск располагают в одну линию. Такая технология создает условия для их автоматизированной сварки.

В данной статье рассмотрены технологические особенности высокоэффективных способов автоматизированной дуговой сварки стыковых и угловых швов в разных пространственных положениях при ремонте крупногабаритных резервуаров.

**Типы сварных швов и соединений резервуарных конструкций.** В отечественной и зарубежной практике применяют разнообразные емкости для хранения нефти и нефтепродуктов. Это, в первую очередь, вертикальные цилиндрические резервуары вместимостью до 50 000 м<sup>3</sup>. Для секций стенок и днищ резервуаров применяют низколегированные стали разных марок в зависимости от объемов и характера продуктов, условий эксплуатации и влияния климата. Для нефтерезервуаров емкостью до 20 000 м<sup>3</sup> в четырех нижних поясах стенки в качестве основного металла используют сталь 09Г2С [1]. Для нижних поясов стенок резервуаров на 30 000 и 50 000 м<sup>3</sup> – сталь марки 16Г2АФ. Диапазон толщин низкоуглеродистых низколегированных сталей составляет 10-40 мм.

На основе всестороннего анализа конструкций и эксплуатации типовых резервуаров можно отметить четыре разновидности сварных швов и соединений:

- стыковые горизонтальные швы на вертикальной поверхности стенки;
- стыковые вертикальные швы на вертикальной поверхности стенки;
- угловые швы в нижнем положении соединения заготовок днища внапуск;
- угловые швы, соединяющие горизонтальное днище с вертикальной стенкой (нижнее положение, тавровые соединения).

В зависимости от толщины листов основного

\* По материалам сборника: «Проблемы ресурса и безопасности эксплуатации конструкций, сооружений и машин», ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ

металла при сварке стыковых горизонтальных и вертикальных швов на стенках резервуара применяют одностороннее и двустороннее раскрытие кромок. Тавровые соединения угловых швов днища с вертикальной стенкой на металле толщиной до 16 мм сваривают без раскрытия кромок, а металл большей толщины – с двусторонним раскрытием.

**Выбор способов автоматизированной дуговой сварки.** Для выполнения горизонтальных и вертикальных стыковых швов на вертикальной поверхности стенок оценены технологические возможности процессов автоматизированной дуговой сварки в углекислом газе электродной сплошной проволокой Св-08Г2С и самозащитной порошковой проволокой ПП-АН19Н [3]. Наибольшую производительность при удовлетворительном формировании швов обеспечивает автоматизированная сварка самозащитной порошковой проволокой. При этом способе в монтажных условиях для предотвращения пористости металла швов в зону сварочной ванны необходимо подавать дополнительно углекислый газ. Самозащитная порошковая проволока ПП-АН19Н обеспечивает высокую стабильность горения дуги, среднекапельный перенос электродного металла и легкое отделение шлаковой корки.

Ориентировочный режим автоматизированной дуговой сварки самозащитной порошковой проволокой следующий: диаметр порошковой проволоки 3,0 мм, сварочный ток 320-380 А, напряжение дуги 24-28 В, скорость сварки горизонтальных швов 16, вертикальных – 3 м/час, расход углекислого газа 16-20 л/мин. Количество проходов горизонтальных швов в зависимости от толщины металла ( $\delta$ ) равнялось при односторонней сварке 2 (для  $\delta = 10$  мм) и 4 ( $\delta = 15$  мм). Для металла больших толщин целесообразна двусторонняя сварка, при которой количество проходов равняется 6-7 ( $\delta = 25$  мм) и 9-10 ( $\delta = 40$  мм). Такие режимы дают равномерное формирование многослойных швов без дефектов (поры, трещины, оксидные включения).

Изучены механические свойства сварных соединений низколегированной стали 09Г2С толщиной 10-40 мм при температурах от +20°C до -60°C (таблица). Сварные соединения с горизонтальными и вертикальными швами, выполненные самозащитной порошковой проволокой ПП-АН19Н на оптимальных режимах, отвечают существующим техническим требованиям для строительных металлокон-

струкций аналогичного назначения. Механические свойства сварных соединений с горизонтальными швами, как правило, лучше, чем соединений с вертикальными швами, выполненными за один проход. Увеличение толщины основного металла от 10 до 40 мм приводит к некоторому снижению механических свойств соединений при комнатной и минусовой температурах.

Необходимость автоматизации выполнения угловых швов в нижнем положении соединения внапуск достаточно актуальна, учитывая, что нередко нужна полная замена полотнища днища. Эти технологические операции, как показали исследования, целесообразно выполнять автоматизированной дуговой сваркой под флюсом АН-60СМ электродной проволокой Св-08ГА диаметром 3,0 мм [4].

Для выбора эффективных методов сварки угловых швов, которые соединяют горизонтальное днище резервуара с вертикальной стенкой, изучали технологические возможности трех процессов автоматизированной дуговой сварки: под флюсом, самозащитной порошковой проволокой и проволокой сплошного сечения в защитных газах. С учетом того, что самозащитная порошковая проволока в 4-5 раз дороже проволоки сплошного сечения, для последующих испытаний были выбраны автоматизированные дуговые процессы сварки под флюсом и в смеси защитных газов.

Исследования по сварке под флюсом низколегированной стали 09Г2С толщиной 10-30 мм выполняли с использованием флюса АН-66 и электродной проволоки Св-08Г2С диаметром 2,5 мм. Режимы сварки следующие:  $I_{св} = 380-420$  А;  $U_{д} = 28-30$  В;  $V_{св} = 30-38$  м/ч; вылет электродной проволоки 25 мм; положение сварки – нижнее.

Отработана техника сварки тавровых соедине-

**Таблица. Механические свойства сварных соединений из низколегированной стали 09Г2С толщиной 10-40 мм**

Толщина металла, мм	Тип шва	Количество проходов	КСУ при t°C, Дж/см <sup>2</sup> (не меньше)							
			центр шва				ЗТВ			
			+20	-20	-40	-60	+20	-20	-40	-60
10	Горизонтальный стыковой (односторонний)	2	160	130	120	60	130	100	90	50
15	-	4	150	120	110	50	120	105	80	45
25	Горизонтальный стыковой (двусторонний)	6 + 6	140	110	105	55	140	105	75	40
40	-	9 + 9	130	105	90	40	120	95	80	35
40	Вертикальный стыковой шов	2	130	100	80	35	120	90	70	35

ний на металле указанной толщины в двух вариантах: без раскрытия кромок (при толщине металла до 16 мм) и двустороннее несимметричное раскрытие кромок с углом  $45^\circ \pm 5^\circ$  (при толщине металла больше 16 мм). В зависимости от толщины основного металла и формы раскрытия кромок выбирали оптимальный угол наклона электродной проволоки к горизонтальной плоскости.

Для обеспечения нужного катета шва в пределах 6-12 мм сварку выполняли за 1-4 прохода с каждой стороны таврового соединения. В сравнении с ручной электродуговой сваркой покрытыми электродами разработанная технология автоматизированной дуговой сварки под флюсом позволила повысить производительность процесса в 3-4 раза.

Полученные результаты механических испытаний сварных соединений низколегированной стали 09Г2С отвечают требованиям СНиП 3.03.01-87 «Несущие и ограждающие конструкции». Результаты механических испытаний ударной вязкости сварных соединений стали 09Г2С толщиной 20 мм при разных температурах следующие: при температуре  $-20^\circ\text{C} - 90-110$ ;  $-40^\circ\text{C} - 75-90$ ;  $-60^\circ\text{C} - 65-100$  Дж/см<sup>2</sup>. Учитывая возможные трудности использования сварки под флюсом в монтажных условиях, связанные в основном с подачей и уборкой флюса, отработана технология сварки таких швов проволокой сплошного сечения диаметром 2,0 мм в смеси газов  $\text{Ar} + 20\% \text{CO}_2$ .

**Разработка монтажных аппаратов для ремонта резервуарных конструкций.** Учитывая специфические требования к монтажной аппаратуре – небольшие масса и габариты, возможность базироваться непосредственно на свариваемом изделии, иметь оптимальный уровень автоматизации, при ремонте металлоконструкций испытали разнообразные узлы (ходовая тележка, механизм подачи электродной проволоки, схема управления процессом и источник питания дуги) легких аппаратов, которые используются в специальном оборудовании для автоматизированной дуговой сварки. Для стыковых горизонтальных швов предложена техника автоматизированной сварки с принудительным подформированием металла. Суть этого приема заключается в том, что сварочная дуга горит в зоне, ограниченной с одной стороны основным металлом (или формирующим устройством), а с другой – медным водоохлаждающим ползуном. При этой технике ванна открыта с двух сторон – сверху и спереди, а угол наклона мундштука механизма подачи электродной проволоки может изменяться в диапазоне  $\pm 30^\circ$ .

Для реализации описанной техники автоматизи-

рованной дуговой сварки стыковых горизонтальных швов был разработан специализированный монтажный рельсовый аппарат типа АД-ЗЗ0М. Ходовым механизмом аппарата является компактная трехколесная тележка, которая позволяет выполнять криволинейные швы с минимальным радиусом кривизны (до 1 000 мм). Механизм подачи электродной проволоки и электрическая схема аппарата позволяют дистанционно управлять параметрами режимов. Аппарат перемещается по стенке резервуара по рельсовому пути. Технологические возможности испытанных источников питания сварочной дуги (ВДУ-504, 506, 601 и ВС-600М) практически равноценны при сварке электродной проволокой сплошного сечения и порошковой проволокой.

Для стыковых вертикальных швов, выполняемых автоматизированной дуговой сваркой самозащитной порошковой проволокой с принудительным формированием, в зависимости от толщины листов могут использоваться рельсовые аппараты как существующие (типа А-1381), так и модернизированный нами аппарат типа АД-ЗЗЗМ.

Для автоматизированной сварки угловых швов соединения внапуск (днище) и швов, соединяющих днище с вертикальной стенкой, выполнены опытно-конструкторские работы по созданию специализированных аппаратов тракторного типа на базе унифицированных узлов, что успешно использовались в аппаратах типа АД-ЗЗ0М и АД-ЗЗЗМ. Особенностью этих аппаратов является их компактность, небольшие размеры и вес, а также возможность двигаться по поверхности сварочных листов и надежно копировать линию сварного соединения. В частности, в аппарате для сварки соединений внапуск особое внимание уделено обеспечению надежного соблюдения расположения электродной проволоки относительно линии соединения. В аппарате для сварки уторных швов выбор ходового устройства магнитороликового типа обусловлен необходимостью расположения аппарата непосредственно на вертикальной стенке, поскольку край днища, который выступает извне, не превышает 40-50 мм и не может быть базой для перемещения аппарата.

На рис. 1 показан образец аппарата для сварки уторных швов, соединяющих край днища с вертикальной стенкой резервуара.

#### **Опыт использования новых разработок.**

По технологии, разработанной Институтом электросварки им. Е.О. Патона НАНУ совместно с фирмой «Экорембуд» (Ровно) отремонтирован цилиндрический резервуар емкостью 20 000 м<sup>3</sup> в г. Лисичанск Луганской области. Подлежащий замене уча-

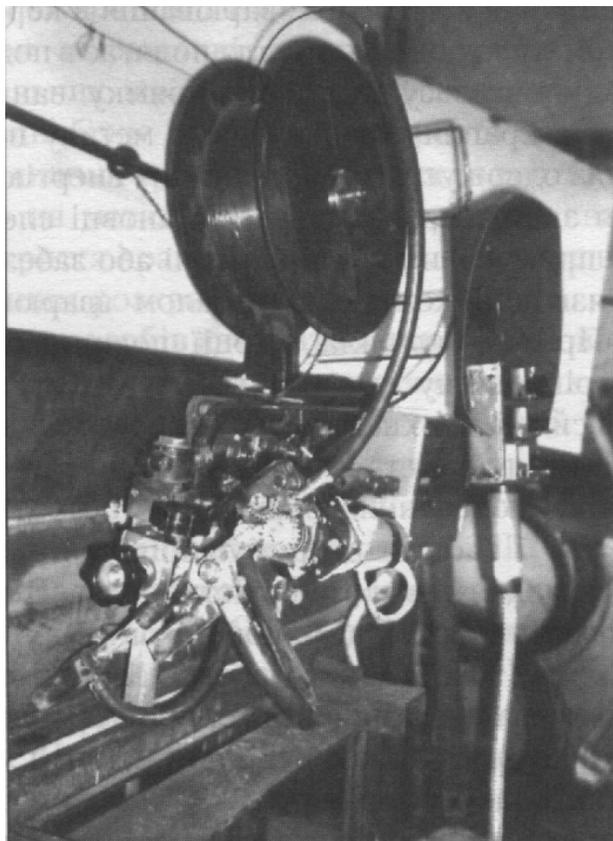


Рис. 1. Образец монтажного аппарата для сварки уторных швов сток вертикальной стены (практически на всю высоту резервуара) по периметру корпуса равнялся почти 25 %. В условиях ремонта резервуара использовали два процесса автоматизированной дуговой сварки: под флюсом – для соединения отдельных листов в монтажные блоки и самозащитной порошковой проволокой – для стыковых горизонтальных швов на вертикальной плоскости при монтаже блоков на вертикальной стенке. При сварке под флюсом в нижнем положении швов для толщины металла 9,0-12 мм применяли электродную проволоку Св-08ГА диаметром 5 мм и флюс АН-60СМ. Сварку выполняли трактором АДФ-1002 с источником питания ВДУ-1201 на режиме:  $I_{св} = 720-850$  А,  $U_{д} = 30-38$  В,  $V_{св} = 20-28$  м/ч. Качественного формирования обратной стороны швов достигали с помощью флюсомедной подкладки. Для замены стенки резервуара необходимо было сварить шесть отдельных блоков в специальном кондукторе (рис. 2).

Автоматизированную дуговую сварку стыковых горизонтальных швов самозащитной порошковой проволокой с полупринудительным формированием наплавленного металла проводили монтажным аппаратом АД-330М, имеющим дистанционное управление источником питания ВДУ-506. Обратную сторону горизонтальных швов формировали медной подкладкой, которая имела ка-

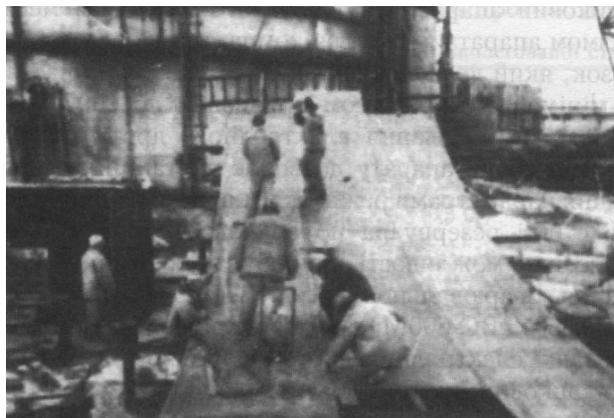


Рис. 2. Автоматизированная сварка под флюсом монтажных блоков при ремонте резервуара для ЗАО «ЛИНОС» (Лисичанск)

навку соответствующей геометрии. Параметры режима сварки основных швов были следующими:  $I_{св} = 360-380$  А,  $U_{д} = 24-26$  В,  $V_{св} = 12-20$  м/ч. При толщинах металла 9 и 12 мм сварку выполняли соответственно за два и три прохода (рис. 3).

Успешное выполнение этих ремонтных работ на резервуаре емкостью 20 000 м<sup>3</sup> позволило использовать технологию и оборудование автоматизированной дуговой сварки также и при строительстве новых резервуаров, в частности в г. Смыга Ровенской области и в г. Надворная Ивано-Франковской области [5]. На первом этапе работ в основном использовался блочный метод монтажа. Стенка резервуара была разбита на 3 яруса блоков по высоте и 5-10 блоков по ширине каждого яруса. Сборка листов в блоки и их автоматизированная сварка выполнялись в поворотном кондукторе аппаратом АДФ-1002 под флюсом. Для стыковых горизонтальных швов на вертикальной плоскости стенки использовалась технология автоматизированной многослойной дуговой сварки аппаратом АД-330М самозащитной порошковой проволокой ПП-АН19Н с дополнительной защитой ванны СО<sub>2</sub>



Рис. 3. Автоматизированная сварка горизонтального шва стенки резервуара аппаратом АД-330М

и принудительным подформированием швов. Для стыковых вертикальных швов была рекомендована технология сварки самозащитной проволокой ПП-АН19Н с принудительным формированием металла. В зависимости от толщины листов и формы обработки кромок сварка выполняется рельсовым аппаратом типа АД-333М или с использованием безрельсового аппарата типа А-1150.

Преимущества описанных технологий автоматизированной дуговой сварки следующие:

- возможность непосредственного обзора зоны горения дуги;
- улучшение условий защиты сварочной ванны, что важно на монтаже;
- уменьшение количества проходов при сварке металла больших толщин;
- обеспечение правильной геометрии формирования швов;
- увеличение продуктивности сварки в 1,5-2 раза по сравнению со сваркой в условиях свободного формирования швов.

Для строительства нефтерезервуаров большой емкости (50-70-100 тыс. м<sup>3</sup>) перспективным является метод листового монтажа таких металлоконструкций, с использованием технологии автоматизированной дуговой сварки, которая бесспорно будет иметь широкое применение.

### Литература

1. Сварные строительные конструкции. Типы конструкций / Под ред. Л.М.Лобанова. – Киев: ИЭС им. Е.О. Патона. – Т. 2. – 1997. – 680 с.
2. Барвинко Ю.П., Голинько В.М., Барвинко А.Ю. Новые технологии восстановления работоспособности вертикальных цилиндрических резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов // Сварщик. – 1999. – № 4. – С. 6-8.
3. Порошковые проволоки для электродуговой сварки. Каталог-справочник / И.К. Походня, А.М. Суптель, В.Н. Шлепаков и др. – Киев: Наук. думка, 1980. – 180 с.
4. Опыт применения флюса АН-60СМ при сварке резервуаров / В.А. Поляков, В.С. Токарев, И.А. Гончаров и др.: Сб. материалов научно-техн. семинара «Прогрессивные технологии сварки в промышленности», 20-22 мая 2003 г. – Киев, 2003. – С. 105-106.
5. Автоматизированная дуговая сварка стыковых соединений при листовом способе монтажа резервуаров / В.М. Илюшенко, В.А. Поляков, В.Р. Лашкевич и др.: Сб. докладов междунар. конф. «Современные проблемы сварки и ресурса конструкций» 24-27.11.2003 г., Киев, 2003. – 28-29 с.

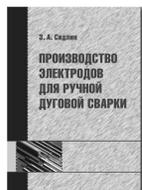
● #1000

### Техническая литература

Тел.: +38 (044) 200-80-14, 200-80-18

**Г. И. Лазенко. Способы дуговой сварки стали плавящимся электродом.** 2006. — 384 с.

Рассмотрены структурные схемы способов дуговой сварки сталей плавящимся электродом (ДСПЭ) и общие вопросы свариваемости сталей. Изложены современные представления об энергетической эффективности процесса, формировании швов, производительности и экологических показателях ДСПЭ. Приведены современные способы сварки с применением различных защитных сред, позволяющие регулировать тепловложение в свариваемое изделие, улучшающие формирование металла шва и повышающие производительность сварки. Приведены сведения о гибридных и комбинированных способах дуговой сварки плавящимся электродом.



**З. А. Сидлин. Производство электродов для ручной дуговой сварки.** 2009. — 464 с.

Детально описаны все стадии технологического процесса производства металлических покрытых электродов для ручной дуговой сварки, применяемые материалы и оборудование. Даны теоретические основы процессов, протекающих как при изготовлении, так и при применении электродов. Особое внимание уделено вопросам обеспечения качества продукции.

Для инженерно-технического персонала, сварщиков и рабочих электродных производств.

**С. Н. Жизняков, З. А. Сидлин. Ручная дуговая сварка. Материалы. Оборудование. Технология.** 2006. — 360 с.

Рассмотрены физико-металлургические процессы при ручной дуговой сварке покрытыми электродами. Даны характеристики и классификация электродов, представлена номенклатура промышленных марок, источники питания и другое оборудование. Изложены рекомендуемые технологии сварки сталей, чугуна и цветных металлов и их особенности. Рассмотрены дефекты сварных соединений и причины их образования, а также вопросы ремонтной сварки.



**«Сварка в защитных газах плавящимся электродом», Часть 1. Сварка в активных газах А.Г.Потапьевский.**

Описаны современные способы сварки в защитных газах плавящимся электродом, особенности горения дуги в защитных газах, виды переноса электродного металла и управление процессами сварки. Рассмотрены особенности металлургических реакций. Даны рекомендации по выбору электродной проволоки для сварки сталей, технике и технологии сварки, повышению производительности. Приведены сведения об аппаратах, источниках тока и системах обеспечения защитными газами.

E-mail: welder.kiev@gmail.com trofimets.welder@gmail.com URL: http://www.welder.stc-paton.com/

# Технико-экономическое обоснование выбора способа сварки\*

С. Б. Черный (Киев)

*В производственной практике технико-экономическое обоснование применения того или иного технологического процесса сварки проводится не экономистами, а технологами сварочного производства. На каждом предприятии, где сборка и сварка металлоконструкций является ведущим технологическим процессом, вырабатываются свои собственные методики укрупненных расчетов технико-экономических показателей. Например, расход электродной проволоки рассчитывается в количестве 1–3% от веса сваренной металлоконструкции, расход защитного газа — в 1,2 раза, а флюса в 1,1 раза больше, чем расход электродной проволоки.*

*Трудоемкость изготовления металлоконструкции складывается из трудоемкостей сварки и сопутствующих процессов (сборки, зачистки, правки, покраски), которые рассчитываются в процентном отношении от трудоемкости сварки. Трудоемкость сварки определяется на основании массы наплавленного металла, коэффициента наплавки, режимов сварки и интенсивности труда сварщиков.*

Для установления показателя интенсивности работы сварщиков, отделом главного сварщика завода «Ленинская Кузница» совместно с ИЭС им. Е. О. Патона, была получена диаграмма продолжительности горения дуги полуавтомата в корпусном цехе при поточно-позиционной организации работы в течение месяца. Расшифровка записи показала, что среднее время горения дуги в течение смены составляет два часа или 25% рабочего времени. Для сравнения, в информационном проспекте фирмы «Plimoth» указано, что время горения дуги, как правило, составляет 5–20% всего рабочего времени.

При автоматической сварке интенсивность труда значительно выше. При сварке под флюсом сварочным трактором интенсивность труда возрастает до 50%, а на автоматизированных линиях или роботизированных комплексах — более 70% рабочего времени.

\* Из опыта работы судостроительного судоремонтного завода «Ленинская кузница» при строительстве судокорпусных конструкций

С целью определения наиболее эффективно-го способа полуавтоматической сварки и выбора сварочных материалов при сварке корпусных конструкций в условиях заводской лаборатории Киевского судостроительного судоремонтного завода (КССРЗ) были проведены сравнительные испытания способов сварки: сплошной стальной проволокой в среде  $\text{CO}_2$  и в смеси  $\text{Ar} + \text{CO}_2$ , по международной классификации ISO 4063 135 (MAG), а также полуавтоматической сварки тремя типами порошковой проволоки в среде активного газа 136 (MAG).

Сплошная проволока соответствовала G463MG3Si1 по EN440, EN ISO 14341, что означает: G — для электродуговой сварки в защитных газах; 46 — минимальный предел текучести наплавленного металла 460 Н/мм<sup>2</sup>; 3 — (–30)°С — температура испытаний на определение работы удара не менее 47 Дж; M — защитный газ из группы M2 по EN439, EN ISO, G3Si1 — символ для обозначения химического состава проволочного электрода.

Три типа прошедших испытания порошковых проволок №№ 1, 2, 3 соответствовали: T462RCM1H5, T422RC3H10, T464PC1H5 по EN758, что означает:

T — порошковая проволока; 46 и 42 — минимальные пределы текучести наплавленного металла 460 и 420 Н/мм<sup>2</sup>; 2 — (–20 °С) и 4 — (–40 °С) — температуры испытаний на определение работы удара не менее 47 Дж; R — рутиловая проволока с медленно (№ 1, 2) и быстро (№ 3) застывающим шлаком; C и M — защитные газы соответственно группам C1 и M2 по EN439, EN ISO; 1 (№ 1, 3) — во всех пространственных положениях; 3 (№ 2) — стыковое соединение в нижнем положении; тавровое — горизонтальное в нижнем; H5 (№ 1, 3) — минимальное и H10 (№ 2) — максимальное содержание водорода в наплавленном металле 5 мл/100 г и 10 мл/100 г.

Сплошная и порошковые проволоки имели положительные отзывы ряда классификационных обществ в области судоходства: ABS, BV, DNV GL, LRS, GL. По правилам GL сплошная и порошковая № 2 проволоки соответствовали категории прочности 3YS, а порошковая № 3 — категории 3Y40SH5.

В качестве контрольного соединения было выбрано тавровое Т1 по ГОСТ 14771–76. Тавровые соединения без разделки кромок по суммарной протяженности составляют до 90% всех соединений в секциях корпуса судна. По правилам классификационных обществ, для сварки корпусных конструкций минимальная высота шва таврового соединения без разделки кромок должна соответствовать:

$a_{\min} = \sqrt{(t_1 + t_2)} / 3$  мм, но не менее 3 мм, и не более  $0,7 \times t_{\min}$ .

Учитывая, что катет шва (длина катета «z») составляет:  $1,4 \times a$  (a – высота шва), размер катета шва равный 5 мм является наиболее распространенным, поскольку охватывает диапазон наименьших толщин привариваемых деталей до 14 мм.

Режимы сварки и размеры полученных швов приведены в табл. 1, 2, 3.

Сварка проб выполнялась на режимах, соответствующих процедурам сварки WPS, одобренными классификационными обществами GL, LRS, MPC, PCY. Катеты и высоты всех полученных швов соответствуют требованиям ГОСТ 14771–76 и ISO 6520 N503 для заданного катета 5 мм. Незначительное превышение размеров некоторых швов не является критичным, учитывая то, что допускается зазор при сборке судокорпусных конструкций до 2 мм с соответствующей компенсацией за счет увеличения высоты шва. Необходимо отметить, что текучесть металла сварочной ванны связана с особенностями сочетаний сварочных материалов. Сварка сплошной проволокой в смеси М21 дает незначительное повышение текучести сварочной ванны, возрастающей с повышением сварочного тока. Сварочная ванна при

Таблица 1. Параметры сварки проб в нижнем положении (РВ)

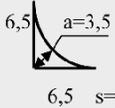
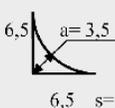
Сочетание сварочных материалов	Напряжение хол. хода / дуги, В / В		Сварочный ток, А	Длина шва, мм	Время сварки, сек	Форма и размеры шва, мм / мм <sup>2</sup>
сплошная проволока G463MG3Si1 в среде CO <sub>2</sub> (C1)	38	32	300	207	31	 6 6 s=22,6
G463MG3Si1 в среде Ar+CO <sub>2</sub> (M21)	37	30	300	208	31	 6 6 s=22,6
порошковая проволока T462RCM1H5 в среде CO <sub>2</sub> (C1)	40	32	280	161	17	 6,5 a=3,5 6,5 s=14,9
T422RC3N10 в среде CO <sub>2</sub> (C1)	40	34	260	194	19	 7 a=4,5 7 s=20,8
T464PC1H5 в среде CO <sub>2</sub> (C1)	40	32	280	209	17	 6,5 a=3,5 6,5 s=14,9

Таблица 2. Параметры сварки проб в вертикальном положении снизу-вверх (РФ)

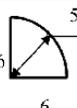
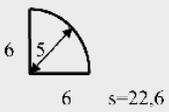
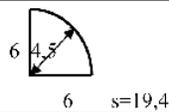
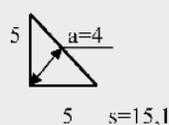
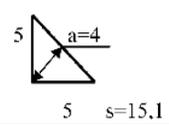
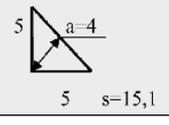
Сочетание сварочных материалов	Напряжение хол. хода / дуги, В / В		Сварочный ток, А	Длина шва, мм	Время сварки, сек	Форма и размеры шва, мм / мм <sup>2</sup>
сплошная проволока G463MG3Si1 в среде CO <sub>2</sub> (C1)	23	20	160	206	110	 5,5 5,5 s=21,6
G463MG3Si1 в среде CO <sub>2</sub> (C1)	29	23	220	204	84	 5,5 5,5 s=21,6
G463MG3Si1 в среде Ar+CO <sub>2</sub> (M21)	23	20	155	206	100	 5,5 5,5 s=21,6
G463MG3Si1 в среде Ar+CO <sub>2</sub> (M21)	29	24	240	210	72	 6 6 s=22,6
порошковая проволока T462RCM1H5 в среде CO <sub>2</sub> (C1)	24	20	150	212	88	 6,5 6,5 s=24,6
T422RC3N10 в среде CO <sub>2</sub> (C1)	24	20	130	213	75	 6 a=5,5 6 s=25,7
T464PC1H5 в среде CO <sub>2</sub> (C1)	24	20	140	203	85	 6,5 6,5 s=24,6

Таблица 3. Параметры сварки проб в вертикальном положении сверху-вниз (PG)

Сочетание сварочных материалов	Напряжение хол. хода / дуги, В / В		Сварочный ток, А	Длина шва, мм	Время сварки, сек	Форма и размеры шва, мм / мм <sup>2</sup>
сплошная проволока G463MG3Si1 в среде CO <sub>2</sub> (C1)	25	21	170	209	60	 s=22,6
G463MG3Si1 в среде Ar+CO <sub>2</sub> (M21)	25	20	200	203	59	 s=19,4
порошковая проволока T462RCM1H5 в среде CO <sub>2</sub> (C1)	26	21	210	215	46	 s=15,1
T422RC3H10 в среде CO <sub>2</sub> (C1)	26	21	220	226	45	 s=15,1
T464PC1H5 в среде CO <sub>2</sub> (C1)	26	21	200	210	46	 s=15,1

сварке всеми видами порошковой проволоки обладает повышенной текучестью, что способствует получению более рациональной формы шва при сварке в нижнем положении и вертикальном сверху-вниз, однако, при сварке в положении снизу-вверх

повышенная растекаемость сварочной ванны не дает положительного эффекта, а наоборот, несколько увеличивает сечение шва. Наибольшая площадь сечения шва 25,7 мм<sup>2</sup> получена при сварке порошковой проволокой T422RC3H10 (№ 2) с медленно застывающим шлаком в вертикальном положении снизу-вверх. При сварке этой же проволокой сверху-вниз получено сечение 15,1 мм<sup>2</sup>, что не отличается от швов, полученных двумя другими типами порошковых проволок. Расход сварочных материалов и, соответственно затраты, напрямую связаны с площадью сечения шва.

Результаты взвешиваний проб и сварочной проволоки до и после сварки, а также параметры производительности сварки приведены в табл. 4, 5, 6.

Условно переменные затраты приводятся к 1 метру сварочного шва и приведены в табл. 7. Условно постоянные затраты (ремонт и обновление сварочного оборудования, проведение

Таблица 4. Результаты взвешиваний проб и параметры наплавленного металла при сварке в нижнем положении (PB)

Сварочные материалы	Масса пробы до сварки	Масса проволоки до сварки	Масса расплавленной проволоки	Потери на разбрызгивание и образование шлака	Длина шва	Время сварки	Скорость сварки	Коэффициент наплавки
	Масса пробы после сварки	Масса проволоки после сварки	Масса наплавленного металла					
	г	г	г	%	мм	сек	м/час	г/А*час
G463MG3Si1 (C1)	$\frac{571}{611}$	$\frac{100,9}{60}$	$\frac{40,9}{40}$	2,2	207	31	24	15,5
G463MG3Si1 (M21)	$\frac{566}{607}$	$\frac{97,5}{55}$	$\frac{42,5}{41}$	3,7	208	31	24	15,9
T462RCM1 (C1)	$\frac{573}{601}$	$\frac{91,5}{57,5}$	$\frac{34}{28}$	21,4	161	17	34	21,2
T422RC3H10 (C1)	$\frac{570}{606}$	$\frac{84}{39,4}$	$\frac{44,6}{36}$	23,9	194	19	36,8	26,2
T464PC1H5 (C1)	$\frac{565}{599}$	$\frac{90,8}{54,5}$	$\frac{36,3}{34}$	6,8	209	17	44,3	25,7

**Таблица 5. Результаты взвешиваний проб и параметры наплавленного металла при сварке в вертикальном положении снизу-вверх (PF)**

Сварочные материалы	$\frac{\text{Масса пробы до сварки}}{\text{Масса пробы после сварки}}$	$\frac{\text{Масса проволоки до сварки}}{\text{Масса проволоки после сварки}}$	$\frac{\text{Масса расплавленной проволоки}}{\text{Масса наплавленного металла}}$	Потери на разбрызгивание и образование шлака	Длина шва	Время сварки	Скорость сварки	Коэффициент наплавки
	г	г	г					
G463MG3Si1 (C1)	$\frac{563}{601}$	$\frac{101}{62,5}$	$\frac{38,5}{38}$	1,3	206	110	6,7	7,8
G463MG3Si1 (C1)	$\frac{566}{604}$	$\frac{100,5}{61,4}$	$\frac{39,1}{38}$	2,8	204	84	8,7	7,4
G463MG3Si1 (M21)	$\frac{568}{606}$	$\frac{100}{56}$	$\frac{44}{38}$	13,6	206	100	7,4	8,8
G463MG3Si1 (M21)	$\frac{563}{611}$	$\frac{100,5}{50}$	$\frac{50,5}{48}$	4,9	210	72	10,5	10
T462RCM1 (C1)	$\frac{576}{621}$	$\frac{93,1}{38,4}$	$\frac{58,3}{45}$	22,8	212	88	8,7	12,3
T422RC3H10 (C1)	$\frac{570}{613}$	$\frac{84,3}{35,3}$	$\frac{49}{43}$	12,2	213	75	10,2	15,9
T464PC1H5 (C1)	$\frac{570}{616}$	$\frac{90,7}{35,1}$	$\frac{55,6}{46}$	17,2	203	85	8,6	13,9

**Таблица 6. Результаты взвешиваний проб и параметры наплавленного металла при сварке в вертикальном положении сверху-вниз (PG)**

Сварочные материалы	$\frac{\text{Масса пробы до сварки}}{\text{Масса пробы после сварки}}$	$\frac{\text{Масса проволоки до сварки}}{\text{Масса проволоки после сварки}}$	$\frac{\text{Масса расплавленной проволоки}}{\text{Масса наплавленного металла}}$	Потери на разбрызгивание и образование шлака	Длина шва	Время сварки	Скорость сварки	Коэффициент наплавки
	г	г	г					
G463MG3Si1 (C1)	$\frac{551}{589}$	$\frac{100,7}{62,2}$	$\frac{38,5}{38}$	1,3	209	60	12,5	13,4
G463MG3Si1 (M21)	$\frac{566}{603}$	$\frac{99}{55}$	$\frac{44}{37}$	15,9	203	59	12,4	11,3
T462RCM1 (C1)	$\frac{530}{557}$	$\frac{88}{51}$	$\frac{37}{27}$	27	215	46	16,8	10,3
T422RC3H10 (C1)	$\frac{500}{525}$	$\frac{84,5}{43,7}$	$\frac{40,8}{25}$	39	226	45	18,1	9,1
T464PC1H5 (C1)	$\frac{556}{590}$	$\frac{91}{60,4}$	$\frac{30,6}{24}$	21,5	210	46	16,4	9,4

Таблица 7. Расчет прямых затрат на сварку 1 погонного метра шва

Сварочные материалы / Пространственное положение	Расход проволоки на 1 м	Цена проволоки	Стоимость проволоки на 1 м	Расход газа на 1 м	Стоимость газа на 1 м	Время горения дуги на 1 м	Трудо-емкость сварки на 1 м	З.п. сварщика	Затраты эл.энергии	Стоимость эл.энергии	Прямые затраты на сварку 1 м шва
	г	грн/кг	грн/м	кг/м	грн/м	час	час	грн/час	кВт/час	грн	грн
G463MG3Si1 (C1)/PB	198	73	<b>14,45</b>	0,24	<b>2,6</b>	0,041	0,164	<b>8,2</b>	0,437	<b>1,03</b>	<b>26,28</b>
G463MG3Si1 (M21)/PB	204	73	<b>14,89</b>	0,24	<b>5,6</b>	0,041	0,164	<b>8,2</b>	0,41	<b>0,96</b>	<b>29,65</b>
T462RCM1 (C1)/PB	211	90	<b>18,99</b>	0,23	<b>2,5</b>	0,029	0,116	<b>5,8</b>	0,289	<b>0,68</b>	<b>27,97</b>
T422RC3H10 (C1)/PB	230	117	<b>26,9</b>	0,28	<b>3,1</b>	0,027	0,108	<b>5,5</b>	0,265	<b>0,62</b>	<b>36,12</b>
T464PC1H5 (C1)/PB	174	100	<b>17,4</b>	0,21	<b>2,3</b>	0,022	0,088	<b>4,4</b>	0,219	<b>0,51</b>	<b>24,61</b>
G463MG3Si1 (C1)/PF	187	73	<b>13,65</b>	0,22	<b>2,4</b>	0,148	0,59	<b>29,5</b>	0,526	<b>1,24</b>	<b>46,79</b>
G463MG3Si1 (C1)/PF	192	73	<b>14,02</b>	0,23	<b>2,5</b>	0,114	0,46	<b>23</b>	0,640	<b>1,50</b>	<b>41,02</b>
G463MG3Si1 (M21)/PF	214	73	<b>15,62</b>	0,26	<b>6,1</b>	0,135	0,54	<b>27</b>	0,465	<b>1,09</b>	<b>49,81</b>
G463MG3Si1 (M21)/PF	240	73	<b>17,52</b>	0,29	<b>6,8</b>	0,095	0,38	<b>19</b>	0,608	<b>1,43</b>	<b>44,75</b>
T462RCM1 (C1)/PF	275	90	<b>26,91</b>	0,33	<b>3,6</b>	0,115	0,46	<b>23</b>	0,383	<b>0,90</b>	<b>54,41</b>
T422RC3H10 (C1)/PF	230	117	<b>24,75</b>	0,28	<b>3,1</b>	0,098	0,39	<b>19,5</b>	0,283	<b>0,67</b>	<b>47,35</b>
T464PC1H5 (C1)/PF	274	110	<b>30,14</b>	0,33	<b>3,6</b>	0,116	0,46	<b>23</b>	0,360	<b>0,85</b>	<b>57,59</b>
G463MG3Si1 (C1)/PG	184	73	<b>13,43</b>	0,22	<b>2,4</b>	0,08	0,32	<b>16</b>	0,317	<b>0,74</b>	<b>32,57</b>
G463MG3Si1 (M21)/PG	217	73	<b>15,84</b>	0,26	<b>6,1</b>	0,08	0,32	<b>16</b>	0,355	<b>0,83</b>	<b>38,77</b>
T462RCM1 (C1)/PG	172	90	<b>15,48</b>	0,21	<b>2,3</b>	0,059	0,24	<b>12</b>	0,289	<b>0,68</b>	<b>30,43</b>
T422RC3H10 (C1)/PG	181	117	<b>21,18</b>	0,22	<b>2,4</b>	0,055	0,22	<b>11</b>	0,282	<b>0,66</b>	<b>35,24</b>
T464PC1H5 (C1)PG	146	110	<b>16,06</b>	0,18	<b>2,0</b>	0,061	0,24	<b>12</b>	0,285	<b>0,67</b>	<b>30,73</b>

лабораторных испытаний швов, аттестация сварщиков и одобрение технологических процессов, затраты на освещение, вентиляцию и работу сварочного оборудования в режиме холостого хода) остаются постоянными при замене одного способа сварки на другой. В результате анализа технических параметров сварки, характеристик полученных швов и денежных затрат, приведенных к 1 метру шва, можно сделать следующие выводы:

1. Сварка сплошной проволокой в среде  $\text{CO}_2$  во всех пространственных положениях обеспечивает наименьшую скорость процесса, наибольшее прилипание брызг из-за крупнокапельного переноса электродного металла. Потери на разбрызгивание, шлакообразование и угар оказались самыми низкими (1,3–2,2%), хотя визуально разлет крупных капель создает впечатление повышенного разбрызгивания. Сварочный шов, выполненный проволокой соответствующей G463MG3Si1 в среде  $\text{CO}_2$ , имеет категорию прочности 3YS по правилам классификационных обществ, хотя по механическим свойствам несколько уступает швам (особенно по влиянию отрицательных температур на величину ударной вязкости), выполненным другими сочетаниями сварочных материалов. Затраты на 1 метр сварочного шва, в среднем, приравниваются к затратам при выполнении сварки другими сочетаниями сварочных материалов при самой низкой цене на сплошную проволоку и двуокись углерода.

2. Сварка сплошной проволокой в смеси  $\text{Ar} + \text{CO}_2$  обеспечивает мелкокапельный перенос электродного металла, существенно уменьшает налипание брызг, хотя взвешивание показало, что потери на разбрызгивание, шлакообразование и угар (4–16%) выше, чем в первом сочетании. Ударная вязкость металла шва при низких температурах (согласно сертификата качества и испытаний, проведенных при одобрении сварочных процедур) выше, чем при сварке в среде двуокиси углерода. Сварка на вертикальной плоскости снизу-вверх дает выигрыш в скорости по сравнению со сваркой в среде  $\text{CO}_2$  и близка к скорости сварки порошковыми проволоками, в связи с чем, затраты на 1 метр сварочного шва в данном положении наименьшие по сравнению с другими сочетаниями сварочных материалов.

3. Сравнение двух способов сварки сплошной проволокой в среде  $\text{CO}_2$  на вертикальной плоскости снизу-вверх с непрерывным горением дуги (применяемого сварщиками южных судостроительных заводов Украины) и прерывистым горе-

нием дуги на повышенных токах (применяемого сварщиками судостроительных заводов г. Киева) показало, что сечение полученных швов практически одинаковое, но скорость выше при сварке на повышенных режимах и соответственно затраты ниже на 10–15%.

4. Порошковые проволоки были взяты от различных производителей, которые не назывались (из соображения конкуренции между ними). Сварка порошковыми проволоками сопровождается повышенными потерями (в среднем 22%) на шлакообразование и угар при практическом отсутствии налипания брызг. Гладкое формирование поверхности шва и отсутствие прилипших брызг существенно (до 50%) снижают трудоемкость зачистки сварочных швов. При сварке порошковыми проволоками в нижнем положении за счет высокой (до 44,3 м/час) скорости сварки трудоемкость сварки снижается на 46% по сравнению со сваркой сплошной проволокой, а на вертикальной плоскости в положении сверху-вниз – на 25%. Применение порошковой проволоки при сварке на вертикальной плоскости снизу-вверх не дает ощутимого выигрыша в скорости сварки. Высокая стоимость порошковой проволоки по сравнению со сплошной, несмотря на высокую производительность, приводит к тому, что прямые затраты на 1 метр шва близки по значению к затратам при сварке сплошной проволокой.

Отсутствие экономии прямых затрат на сварку 1 метра шва может привести к выводу о нецелесообразности замены классического способа полуавтоматической сварки сплошной проволокой в  $\text{CO}_2$  на сварку в смеси газов или порошковой проволокой. Ошибочность такого подхода заключается в том, что снижение трудоемкости сварки рассматривается, как сокращение численности сварщиков и соответственно затрат на оплату их труда. Повышение производительности труда можно рассматривать как возможность при той же численности сварщиков сократить время сварки отдельных элементов изделия и изделия в целом, следовательно, сократить срок сдачи заказа. Например, если при постройке корпуса танкера общим весом 1009 т, сократить время сварки секций на 25–28% и время сварки блоков и монтажных стыков на 20%, то согласно план-графика выполнения заказа сроки передвижки, спуска танкера на воду и сдачи заказчику сокращаются на 10 календарных дней или на 8% от общей продолжительности постройки корпуса.

● #1001

# Причины локальных повреждений сварных соединений трубопроводов АЭС\*

О.Г. Касаткин, д.т.н., А.К. Царюк, к.т.н., В.Ю. Скульский, д.т.н., А.Р. Гаврик, С.И. Моравецкий, ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ (Киев)

*Показано, что основными факторами, вызывающими коррозионное растрескивание и разрушение композитных сварных соединений трубопроводов, являются химическая и структурная неоднородности металла сварных соединений, образование мартенситных и обезуглероженных прослоек, напряженное состояние и водородное охрупчивание металла. Предложен способ повышения сопротивляемости сварных соединений локальным коррозионным повреждениям.*

Опыт эксплуатации энергоблоков атомных станций показывает, что существует ряд узлов оборудования, к которым относятся различные трубопроводы и их сварные соединения, наиболее подверженных повреждениям. В частности, в трубопроводах второго контура коррозией часто повреждаются сварные соединения труб из разнородных сталей – низколегированных и аустенитных. При ремонте обычно удаляют дефектные сварные соединения и приваривают сварные вставки, изготовленные на специальном производстве, однако и они имеют ограниченный срок службы. В процессе эксплуатации энергоблока возникает необходимость их замены.

Согласно существующей технологии сварка труб из разнородных сталей производится аустенитным швом, причем при сварке труб с толщиной стенки более 5 мм – с предварительной наплавкой кромки трубы из низколегированной стали аустенитным металлом.

Коррозионные повреждения в разнородных соединениях развиваются как межкристаллитная коррозия и локализуются в узкой зоне на границе между аустенитным швом и ферритной сталью (рис. 1).

Характерной особенностью сварных соединений разнородных сталей является развитая химическая, структурная и механическая неоднородности [1]. В композитных сварных соединениях имеется поле собственных напряжений, которые не могут сниматься проведением термической обработки. В процессе

сварки необходимо учитывать также разную свариваемость каждой стали.

При оценке работоспособности рассматриваемых сварных соединений важно учитывать структуру и свойства зоны сплавления разнородных материалов. В соединениях, выполненных сваркой плавлением, вблизи границы сплавления обнаруживаются кристаллизационные прослойки промежуточного состава между основным металлом и швом.

Со стороны трубы из ферритной стали основной металл имеет ферритно-мартенситную структуру. Соотношение фаз (доля мартенсита в структуре) может изменяться в зависимости от термического цикла сварки. Фазовые составы отдельных зон сварных соединений можно оценить по диаграмме Шеффлера, из которой следует, что во всех случаях в швах будут образовываться прослойки с мартенситной структурой. Это связано с тем, что вблизи границы плавления даже при небольшой доле наплавленного металла расплавленная углеродистая сталь легируется за счет аустенитного металла. При увеличении доли наплавленного металла твердость этой зоны резко возрастает по мере роста количества мартенсита и далее снижается, в основном, из-за уменьшения концентрации углерода.



Рис. 1. Микроструктура коррозионного повреждения металла ЗТВ сварного соединения стали 20 и 08X18H10T (x 25)

\* По материалам сборника: «Проблемы ресурса и безопасности эксплуатации конструкций, сооружений и машин», ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ

Таким образом, в сварных композитных соединениях низколегированных сталей практически всегда образуются мартенситные прослойки независимо от типа аустенитного присадочного металла.

При сварке и термической обработке в зоне сплавления могут образовываться диффузионные прослойки, главным образом обусловленные перераспределением углерода. Вместе с тем в процессе эксплуатации температура трубопроводов второго контура невысокая и диффузионные прослойки практически не развиваются.

В композитных сварных соединениях наблюдаются диффузионные прослойки, образующиеся при сварке в момент взаимодействия жидкой сварочной ванны с основным металлом, а также в области контакта твердых фаз во время охлаждения после сварки. Причиной перераспределения углерода является, в частности, наличие карбидообразующих элементов в аустените. Эти прослойки находятся вблизи границы сплавления, причем со стороны аустенитного шва – зона с повышенным содержанием углерода, а со стороны ферритной стали образуется обезуглероженный слой металла с крупными столбчатыми зёрнами феррита (рис. 2). Отметим, что из-за малого содержания углерода эта прослойка имеет низкий предел текучести, а в процессе роста зёрен на границах концентрация примесей повышается.

Остаточные напряжения в композитных сварных соединениях в значительной мере зависят от теплофизических и механических характеристик свариваемых материалов, в частности, коэффициентов линейного расширения и теплопроводности, а также модуля упругости и предела текучести. Наибольшая разница в коэффициентах линейного расширения (25-35 %)

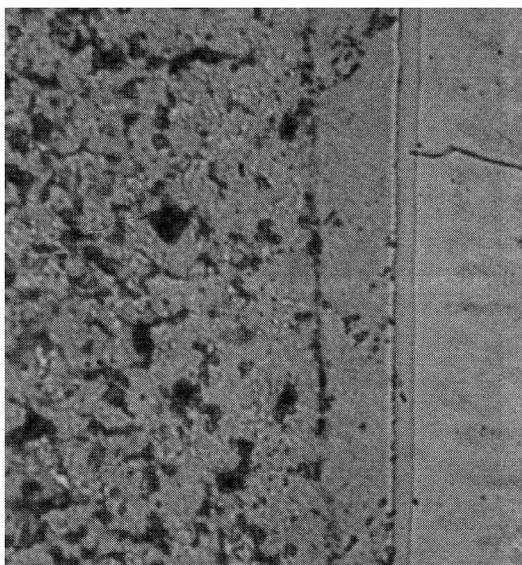


Рис. 2. Микроструктура зоны сплавления стали 20 и 08X18H10T (x 1000)

наблюдается между сталями перлитного и аустенитного классов. Она особенно заметна, если в композитном соединении используется аустенитная сталь 08X18H10T.

Остаточные напряжения в однородных и композитных сварных соединениях существенно изменяются после проведения термической обработки (отпуска), приводящей к увеличению этих напряжений.

Важным фактором, оказывающим влияние на работоспособность композитных сварных соединений, является наличие водорода, который при определенных условиях может вызывать «статическую» усталость металла. Водород, ослабляя силы связи кристаллической решетки в местах нарушения ее когерентности, способствует образованию очагов микроразрушений на границах с высокой плотностью энергии. В процессе сварки водород в металл шва поступает преимущественно из атмосферы дуги при ее взаимодействии с расплавленным металлом [2].

Энергия границ может значительно увеличиваться при мартенситном превращении аустенита. В процессе роста мартенситных кристаллов возникают структурные напряжения, микродеформации и скопления дислокаций, которые наиболее ярко выражены у границ аустенитных зёрен, куда попадают самые крупные кристаллы мартенсита. Под действием растущих кристаллов мартенсита на границе образуется случайное поле напряжений. Чем крупнее исходные аустенитные зёрна, тем больше размеры кристаллов мартенсита и соответственно выше локальные напряжения и микродеформации, возникающие около их вершин.

На отдельных, наиболее ослабленных участках границ, имеющих значительный уровень свободной энергии, при совместном действии структурных и сварочных напряжений могут образовываться зародыши микротрещин. Основную роль в этом процессе играют структурные напряжения. В зависимости от напряженного состояния развитие зародышей трещин может приводить к замедленному (периодический скачкообразный рост трещины, чередующийся в паузах с процессами микроползучести и сегрегации водорода на границах у вершины трещины) или хрупкому разрушению. Наиболее интенсивно эти процессы развиваются около границы сплавления разнородных сталей.

Возникающие микроразрушения по границам зёрен в случае агрессивной окружающей среды могут развиваться в межзёренное коррозионное растрескивание металла под напряжением и привести к разрушению композитного сварного соединения. Скорость этого процесса возрастает при увеличении количества

и толщины мартенситных прослоек, размеров аустенитных зерен, а также загрязнении металла шва примесями, повышающими свободную энергию границ зерен.

Для повышения работоспособности композитного сварного соединения необходимо использовать технологию сварки, обеспечивающую уменьшение химической и структурной неоднородности, исключение образования хрупких и обезуглероженных прослоек. Достаточно эффективным способом решения этой задачи является введение в сварное соединение между аустенитным и ферритным металлами промежуточного слоя с низким содержанием углерода, например, из армо-железа (технически чистого железа). При этом не только исключается возможность образования легированного мартенсита с достаточно высоким содержанием углерода, но и существенно уменьшается диффузионное перераспределение самого углерода.

Наплавку промежуточного слоя можно производить на кромку ферритной или аустенитной трубы, при этом металл шва должен быть соответственно аустенитным или низколегированным. Заварку шва можно осуществить также металлом с низким содержанием углерода без предварительной наплавки промежуточного слоя, однако при этом могут возникнуть трудности с обеспечением хорошего формирования шва.

Экспериментальные исследования проводились на сварных соединениях стали 20 с аустенитной сталью 08X18H10T. При наплавке низкоуглеродистого металла на сталь 20 образуется несколько участков:

- неполной перекристаллизации, в котором металл нагревается до температур начала фазового  $\alpha \rightarrow \gamma$  - превращения; здесь структура характеризуется разнотернистостью – крупные ферритные зерна чередуются с более мелкими зернами феррита и перлита, сформировавшимися при частичном превращении при нагреве перлитных участков;
- полной перекристаллизации или нормализации, где после фазовой перекристаллизации металл приобретает мелкозернистую структуру (верхняя температурная граница этого участка около 1100 °С);
- на участке перегрева около наплавленного слоя в стали 20 образуется грубая структура из крупных участков феррита и перлита, называемая видманштеттовой структурой;
- наплавленный металл вблизи стали 20 имеет мелкозернистую структуру, а из-за перемешивания со сталью 20 в нем присутствуют отдельные перлитные участки (рис.3, а);

- наплавленный металл имеет чисто ферритную структуру с относительно крупным зерном (рис. 3, б).

В зависимости от условий конвективного перемешивания металла в сварочной ванне переход от наплавленного металла к шву типа Св-10Х16Н25АМ6 может быть резким или иметь слой с мелкодисперсной структурой (рис. 3, в). Указанный слой представляет собой металл, сформировавшийся в результате неполного расплавления фрагментов наплавленного слоя и неполного перемешивания его с аустенитным металлом шва. Очевидно, в этом случае на формирование таких прослоек оказывает влияние более высокая температура плавления низкоуглеродистого наплавленного металла (около 1530 °С по сравнению с 1380 °С у аустенитного металла) и узкий интервал кристаллизации. Не обнаружено также миграции

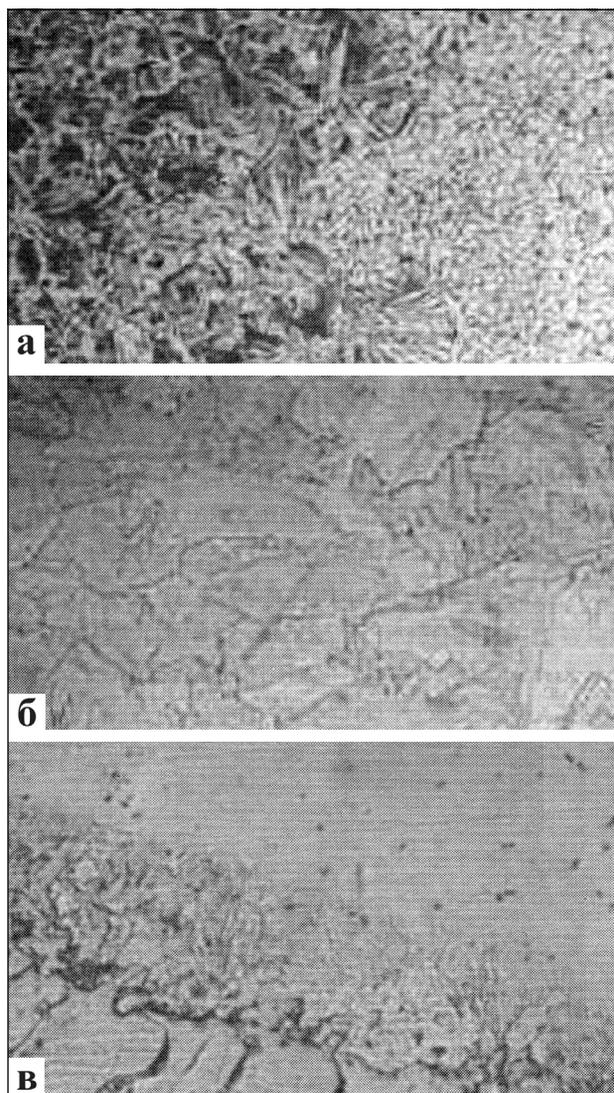


Рис. 3. Микроструктуры зон сплавления: стали 20 и наплавленного металла – а (х 200), наплавленного металла – б (х 200), наплавленного металла и аустенитного шва типа Св-10Х16Н25АМ6 – в (х 1000)

углерода и формирования обезуглероженной прослойки в стали 20.

Результаты измерений твердости показали, что в аустенитном металле шва и наплавки из-за различного долевого участия расплавленного нелегированного и наплавляемого высоколегированного металлов образуются микроучастки с твердостью, близкой к твердости мартенситной структуры, а также наблюдаются микроучастки с твердостью, характерной для аустенита.

Пример композитного сварного соединения с наплавкой низкоуглеродистого металла на кромку аустенитной стали и заваркой шва низколегированным присадочным металлом приведен на *рис. 4*. По мере наложения валиков травимость наплавленного металла повышается в результате снижения концентрации легирующих элементов, поступающих из аустенитной стали.

Следует отметить, что в данном сочетании сталь - наплавленный металл не образовывались зоны с высокой твердостью, характерные для закалочных структур. Наблюдаемые колебания микротвердости переходного слоя между аустениной сталью и наплавленным металлом связаны с неравномерным перемешиванием сплавляемых материалов и находятся в пределах от 150 до 340  $HV_{0,2}$ . На границе зоны сплавления аустенитной стали с наплавленным металлом не выявлено существенной неоднородности или дефектов (*рис. 5*). Аналогичная ситуация наблюдается и на границе сплавления низколегированного шва с наплавленным металлом и сталью 20.

Результаты механических испытаний по ГОСТ 6996-66 сварных соединений разнородных ста-

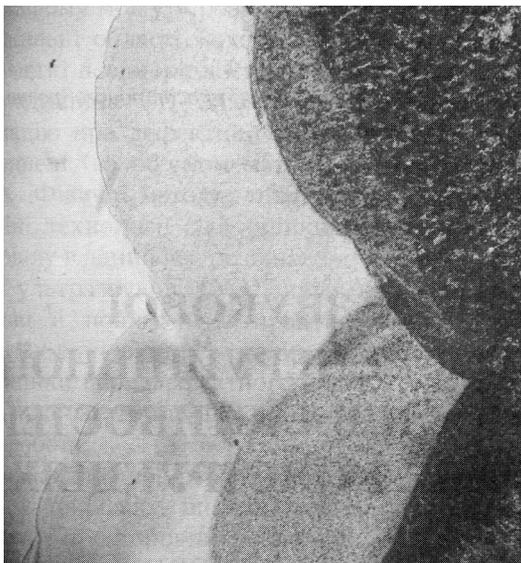


Рис. 4. Слои наплавки технически чистого железа на аустенитную сталь (x 25)

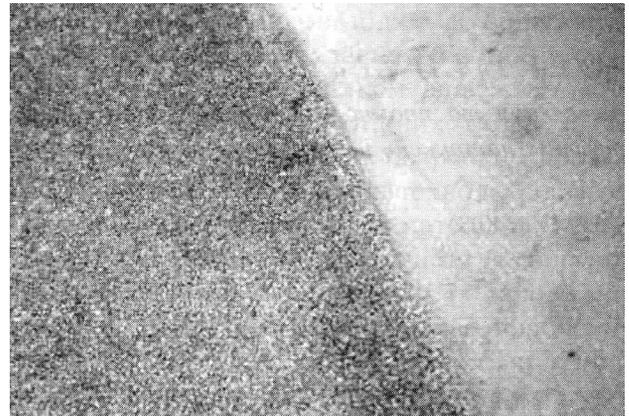


Рис. 5. Микроструктура зоны сплавления наплавленного металла и аустенитной стали (x 200)

лей 20 и 08X18H10T показали, что предел прочности на растяжение образцов типа XIII (ГОСТ 6996-66) находится в пределах 530-560 МПа, ударная вязкость  $KCU$  в пределах 106-143 Дж/см<sup>2</sup>, угол загиба образцов типа XXVI (ГОСТ 6996-66) – от 160 до 180°. Разрушение образцов при растяжении во всех случаях происходило по стали 20 на расстоянии около 15 мм от границы сплавления. Эти показатели удовлетворяют требованиям, предъявляемым к композитным сварным соединениям трубопроводов АЭС.

Оценка коррозионной стойкости предложенных композитных сварных соединений в эксплуатационных условиях требует больших затрат времени. Ускоренные испытания образцов в среде хлоридов не выявили явного межзеренного разрушения в области сварного соединения. Коррозия в металле шва развивается интенсивнее, чем в аустенитной стали, но не быстрее, чем в ферритном основном металле.

Таким образом, введение в сварные соединения между аустенитной и углеродистой сталью промежуточного слоя из низкоуглеродистого металла (технического железа) позволяет исключить образование в сварных швах хрупкого легированного мартенсита и обезуглероженных прослоек в металле ЗТВ. Сварное соединение с указанным промежуточным слоем имеет более высокую коррозионную стойкость по сравнению с соединением, выполненным согласно штатной технологии.

#### Литература

1. Земзин В.Н. Сварные соединения разнородных сталей. – М.: Машиностроение, 1966. – 232 с.
2. Касаткин О.Г. Особенности водородного охрупчивания высокопрочных сталей при сварке (обзор) // Автомат. сварка. – 1994. – № 1. – С. 3-7.



Если у Вас возникли вопросы по технологии сварки, организации рабочих мест сварщиков, правильному выбору сварочных материалов и оборудования, Вы можете отправить письмо в редакцию журнала по адресу: 03150, Киев, а/я 337 или e-mail: demuv@ukr.net, позвонить по тел. +38 044 205 26 07, м. +38 050 331 56 65. На Ваши вопросы ответит кандидат технических наук, Международный инженер-сварщик (IWE) Юрий Владимирович ДЕМЧЕНКО.

**Расскажите, пожалуйста, об особенностях и способах сварки меди и ее сплавов.**

*А. Евдокимов, г. Кривой Рог*

Медь обладает хорошими пластичностью и прочностью, высокими показателями коррозионной стойкости, электро- и теплопроводности и вакуумной плотности. Благодаря этим свойствам медь применяется во многих отраслях промышленности: химической, электротехнической, судостроении и др. В технике используют техническую медь разной степени чистоты: М0, М1, М2, М3, М4 и ее сплавы. Все сплавы на основе меди можно разделить на два типа: латуни (Л) и бронзы (Бр). Латунь — сплав меди с цинком при содержании цинка более 4%. Применяют латуни простые, легированные только цинком, и специальные латуни, содержащие помимо цинка ряд других легирующих компонентов. Бронзы представляют собой сплавы меди с различными элементами, в которых содержание цинка ограничивается 4%.

**Свариваемость меди.** Медь плохо сваривается ввиду ее высокой теплопроводности, жидкотекучести и повышенной склонности к образованию трещин при сварке. Теплопроводность меди при комнатной температуре в 6 раз больше чем у технического железа, поэтому сварка меди и ее сплавов производится с увеличенной погонной тепловой энергией, а во многих случаях с предварительным и сопутствующим подогревом основного металла. При переходе из твердого состояния в жидкое медь выделяет большое количество тепла (скрытая теплота плавления), поэтому сварочная ванна поддерживается в жидком состоянии более длительное время, чем при сварке стали. Повышенная жидкотекучесть меди затрудняет ее сварку в вертикальном, горизонтальном и особенно в потолочном положениях.

Водород в присутствии кислорода оказывает отрицательное действие на свойства меди. Водород, проникающий в медь при повышенных температурах сварки, реагирует с кислородом закиси меди, образуя водяной пар, который, стремясь расши-

риться, приводит к появлению мелких трещин. Это явление при сварке меди называют «водородной болезнью». Например, если сваривать медь покрытыми электродами без подогрева свариваемого изделия (с быстрым охлаждением), то возникнут горячие трещины.

При сварке с подогревом, создающим условия медленного охлаждения, в большинстве случаев водяной пар до затвердевания металла выходит наружу. Однако небольшая часть его остается между слоем сварочного шлака и поверхностью металла шва. В результате чего поверхность металла шва после удаления шлака покрывается мелкими углублениями («рябью»). Этого можно избежать при очень медленном охлаждении шва.

Чем больше кислорода содержится в свариваемой меди, тем значительно проявляется «водородная болезнь».

Затрудняют сварку имеющиеся в меди примеси: мышьяк, свинец, сурьма, висмут и сера. Они практически не растворяются в меди, но образуют с ней легкоплавкие химические соединения, которые, находясь в свободном состоянии, располагаются по границам зерен. В результате чего при усадке в процессе охлаждения сварного соединения образуются горячие трещины. Потому содержание каждой из вредных примесей — кислорода, висмута, свинца в меди и в сварочных материалах — не должно быть более 0,03%, а для особо ответственных сварных изделий — более 0,01%.

Следует помнить, что коэффициент линейного расширения меди гораздо больше чем у железа, вследствие чего сварочные деформации при сварке конструкций из меди и ее сплавов несколько больше, чем при сварке сталей.

#### **Способы сварки меди.**

Медь — как металл высокой пластичности, сваривается всеми видами сварки термомеханического класса, за исключением контактной. Контактная сварка затруднена в связи с высокой электропроводностью меди и малым переходным электрическим сопротивлением.

Наиболее прогрессивными видами сварки меди

считают сварку в защитных газах неплавящимся (для толщин до 2–5 мм) и плавящимся (для больших толщин) электродами. При сварке плавящимся электродом применяют аргон, гелий, азот и их смеси с небольшими добавками кислорода. Например, He + (1–2)% O<sub>2</sub>, Ar + (2–4)% O<sub>2</sub> и N<sub>2</sub> + (4–6)% O<sub>2</sub> или N<sub>2</sub> (25–32)% + O<sub>2</sub> (4–6)% + Ar (72–68)%.

При изготовлении сварных конструкций из меди наибольшее распространение получили следующие виды сварки плавлением: дуговая сварка угольным и плавящимся электродами, под флюсом и в защитных газах, газовая сварка.

Дуговая сварка меди угольным электродом производится при повышенной силе сварочного тока, что обусловлено значительной теплопроводностью меди. Кромки свариваемых деталей соединяются с минимальным зазором из-за высокой жидкотекучести меди. Иногда применяют сварку на стальной подкладке.

Медные листы толщиной более 6 мм следует сваривать с предварительным подогревом до 150–250 °С. Тонкие листы (менее 5 мм) после сварки проковывают в холодном состоянии, а толстые (5–20 мм) — при температуре 200–400 °С. Нагревать медь для проковки выше 400 °С не рекомендуется, т.к. при высоких температурах она становится хрупкой. Проковка выполняется молотком со сферическим бойком и производится с двух сторон сварного соединения нанесением ударов перпендикулярно шву сначала по зонам сплавления, затем по средней части шва и в конце по зоне термического влияния. Во избежание образования трещин от наклепа повторять удары по одному месту запрещено.

Для придания металлу сварного соединения вязкости и пластичности после проковки рекомендуется нагреть его до температуры 550–600 °С и быстро охладить в воде. Эта термообработка гарантирует мелкозернистое строение металла.

Листы большей толщины нужно подготовить со скосом кромок под углом 60–90°.

Сварку ведут длинной дугой (10–15 мм), это позволяет удобнее манипулировать электродом и присадочной проволокой. Конец присадочной проволоки должен находиться между концом электрода и расплавленной ванной, не погружаясь в нее. Расстояние между присадочным металлом и изделием должно быть постоянным и минимальным по величине. При увеличении этого расстояния происходит усиленное разбрызгивание металла и ухудшается формирование шва.

Для сварки применяют постоянный ток прямой полярности при напряжении дуги 40–50 В. На обратной полярности дуга между угольным (графито-

вым) электродом и изделием неустойчива и может поддерживаться только при малой ее длине.

При сварке прутками из фосфористой бронзы можно в качестве флюса применять смесь состава: 94–96% буры, 6–4% магнезия металлического в порошке.

Флюс наносится в разделку и на присадочный прутки. Сварку ведут быстро и по возможности в один проход, чтобы избежать окисления и большого роста зерна.

Сварка меди покрытыми металлическими электродами дает удовлетворительное качество в тех случаях, когда свариваемая медь содержит кислорода не более 0,01%. При содержании в меди более 0,03% кислорода сварные соединения имеют низкие механические свойства.

Для сварки меди применяют электроды марки «Комсомолец-100». Состав их покрытия следующий: плавиковый шпат — 12,5%, полевого шпат — 15%, ферромарганец Mn1, Mn2 — 47,5%, кремнистая медь (73–75% меди, 23–25% кремния, не более 1,5% примесей) — 25%.

Сварку ведут в нижнем положении на постоянном токе обратной полярности. При сварке листов толщиной более 6 мм требуется предварительный подогрев основного металла до 300–400 °С.

Аргондуговая сварка меди вольфрамовым электродом выполняется на постоянном токе прямой полярности в аргоне высокой чистоты. Для металла толщиной более 4 мм необходим предварительный подогрев до температуры 800 °С. В качестве присадочного материала применяют прутки из меди, медно-никелевого сплава МНЖКТ-5-1-0,2-0,02, бронзы БрКМц 3-1, Бр0Ц 4-3. Если толщина металла превышает 6 мм, рекомендуется применять V-образную разделку кромок с суммарным углом раскрытия 60–70°. Сварку обычно выполняют справа налево, «углом вперед», угол наклона электрода 80–90° от вертикали. Угол наклона присадочного прутка 10–15°. Величина вылета электрода 5–7 мм.

Автоматическая сварка под флюсом используется в промышленности для повышения качества шва и производительности. Для этого применяют проволоку из меди марок М1, М2 и М3. Проволоку имеющую диаметр менее 3 мм, предварительно нагартовывают. Если невозможно получить нагартованную тонкую медную проволоку, то применяют более упругую проволоку из бронзы марок БрОФ 4-0,3, БрХ-1 или БрКМц 3-1. При этом следует учесть, что применение медной проволоки снижает риск образования трещин в сварном шве.

Из плавящихся флюсов наибольшее распространение для автоматической сварки получили

флюсы следующих марок: АН-348-А, ОСЦ-45, АН-348, АН-51, АН-10, АН-20 и АН-26. Наряду с плавными флюсами широко применяются керамические флюсы К-13 и ЖМ-1.

Техника сварки меди мало чем отличается от техники сварки стали. Стыковые соединения, толщиной 6–8 мм сваривают за один проход, а при больших толщинах за 2–3 прохода, тщательно очищая каждый предыдущий валик от шлака, прежде чем наплавить последующий. Режимы сварки для последующих слоев выбираются жестче, чем для первого слоя. При сварке меди на полуавтоматах и автоматах используют тонкую сварочную проволоку. В случае сварки стыковых соединений, если толщина свариваемого металла превышает 6 мм, выполняют V-образную разделку с суммарным углом раскрытия до 90° и притуплением 3–4 мм. Сварку выполняют без поперечных колебаний, иначе шов получается пористый. Для сварки меди толщиной 10 мм полуавтоматом проволокой марки М2 Ø 2 мм, рекомендуется однопроходная сварка на режиме: сила тока 300 А, напряжение 30 В, скорость сварки 10 м/ч. Сварку выполняют с поперечными колебаниями держателя. При многопроходной сварке меди больших толщин, во избежание шлаковых включений, нужно придерживаться определенного порядка наплавки валиков. После наплавки первого валика и провара корня шва, необходимо наплавлять валики на сторонах разделки.

Газовая сварка медных листов толщиной до 10 мм выполняется пламенем мощностью 150 дм<sup>3</sup> ацетилена/ч на 1 мм толщины металла. Листы большей толщины сваривают пламенем из расчета 200 дм<sup>3</sup>/ч на 1 мм. Сварку лучше производить одновременно двумя горелками восстановительным пламенем с двух сторон, чтобы не допускать образования в сварочной ванне окислов меди. Сварка меди науглероживающим пламенем не допускается, т.к. вследствие образования газов СО<sub>2</sub> и Н<sub>2</sub>О в шве образуются поры и трещины.

Шов заполняется за один слой. Многослойная газовая сварка вызывает перегрев металла и трещины в швах. Чтобы избежать перегрева меди, сварку следует вести с высокими скоростями нагрева и охлаждения сварных соединений.

Металл толщиной до 2 мм сваривают встык без присадочного материала, при толщине 3 мм и более применяют V-образный скос кромок с углом раскрытия 90° и притуплением 1,5–2 мм. Толстые медные листы сваривают встык с X-образной разделкой кромок в вертикальном положении одновременно с двух сторон двумя горелками. Присадочной проволокой служит чистая медь или медь с содержанием раскислителей: фосфора до 0,2%

и кремния до 0,15–0,30%. Проволоку подбирают диаметрами от 1,5 до 8 мм в зависимости от толщины свариваемых листов; проволока 8 мм употребляется для листов толщиной 15 мм и более.

При газовой сварке меди применяют флюсы, используемые при дуговой сварке угольным электродом.

Высокое качество сварного соединения получают, применяя газофлюсовую сварку, при которой порошкообразный флюс засасывается ацетиленом и подается непосредственно в пламя горелки от специальной установки КГФ-2–66, разработанной ВНИИАВТОГЕНМАШем.

Применение проковки также улучшает механические свойства сварных соединений.

**Сварка латуни.** Температура плавления латуни 800–950 °С.

При дуговой сварке из латуни интенсивно испаряется цинк, расплавленный металл поглощает водород, который не успевает выделиться при затвердевании жидкого металла в сварочной ванне, в результате чего в шве образуются газовые поры. Водород попадает в сварочную ванну из покрытия, флюса или воздуха.

Сварка латуней покрытыми электродами находит ограниченное применение, в основном для исправления брака литья. Это объясняется сильным испарением цинка при дуговой сварке по сравнению с газовой сваркой, дуговой под флюсом или в защитном газе.

Для дуговой сварки латуни применяют электроды марки ЗТ разработки Балтийского завода. Состав электрода следующий: стержень из кремнемарганцовистой бронзы БрКМц 3–1, содержащей 3% кремния и 1% марганца; покрытие из 17,5% марганцовой руды, 13% плавикового шпата, 16% серебристого графита, 32% ферросилиция 75%-го, 2,5% алюминия в порошке. Для снижения выгорания цинка сварка ведется постоянным током при обратной полярности короткой дугой. От вытекания металла стык с обратной стороны защищают прокаленной асбестовой подкладкой. При толщине листов до 4 мм сварку ведут без разделки кромок. При толщине листов более 4 мм разделка кромок такая же, как и для стали. После сварки шов проковывают, а затем отжигают при температуре 600–650 °С для придания металлу мелкозернистой структуры.

Сварку латуни можно выполнять угольным электродом на постоянном токе прямой полярности с применением разных флюсов. Наибольшее распространение получил флюс БЛ-3 следующего состава: 35% — криолита, 12,5% — хлористого натрия, 50% — хлористого калия, 2,5% — древесного угля.

Латунь толщиной до 10 мм сваривают без подогрева, более 10 мм — с подогревом до 300–350 °С.

Газовая сварка латуней обеспечивает лучшее качество сварных соединений, чем дуговая покрытыми электродами. Для уменьшения испарения цинка сварку латуни ведут окислительным пламенем, при этом на поверхности сварочной ванны образуется жидкая пленка окиси цинка, препятствующая его испарению. Избыточный кислород окисляет часть водорода пламени и поглощение жидким металлом водорода уменьшается.

Окислы меди и цинка при газовой сварке удаляют, используя флюсы того же состава, что и при дуговой сварке меди угольным электродом.

Чтобы уменьшить испарения цинка и поглощение сварочной ванной водорода конец ядра пламени должен находиться от свариваемого металла на расстоянии в 2–3 раза большем, чем при сварке стали.

Для газовой сварки латуней разработана присадочная проволока марки ЛК 62–05 (ГОСТ 16130–72), содержащая 60,5–63,5% меди, 0,3–0,7% кремния, остальное — цинк. В качестве флюса при сварке такой проволокой применяют прокаленную буру. Используются также самофлюсующиеся присадочные проволоки, например ЛКБО 62–02–004–05 (ГОСТ 16130–72), содержащая 60,5–63,5% меди, 0,1–0,3% кремния, 0,03–0,1% бора, 0,3–0,7% олова, остальное — цинк. Бор, входящий в состав проволоки, выполняет функции флюса. Применение другого флюса при сварке этой проволокой не требуется.

Хорошее качество газовой сварки латуней достигается с применением флюса БМ-1, состоящего из 25% метилового спирта и 75% метилбората, или флюса БМ-2, состоящего из одного метилбората. Эти флюсы вводятся в сварочную ванну в виде паров. Ацетилен пропускается через жидкий флюс, находящийся в особом сосуде (флюсопитателе), насыщается парами флюса и подается в горелку. Борный ангидрид  $B_2O_3$  является флюсующим веществом. Применение флюса БМ-1 повышает производительность сварки, позволяет получать металл шва с высокими механическими свойствами и уменьшает вредность процесса для сварщика.

**Сварка бронзы.** Бронза — это сплавы меди с оловом, кремнием, марганцем, фосфором, бериллием и др. Например, при содержании 3–14% олова — оловянистые бронзы, до 1% кремния — кремнистые бронзы. Обычно бронзы применяются для изготовления литых деталей.

Сварные соединения марганцовистой бронзы (0,2–1% марганца) отличаются высокой пластичностью и прочностью, несколько превышающей проч-

ность сварных соединений меди. Бериллиевые бронзы, содержащие до 0,05% бериллия, образуют сварные соединения с достаточной прочностью. Содержание более 0,5% бериллия в медном сплаве приводит к окислению бериллия, образовавшиеся окислы с трудом удаляются из сварочной ванны. Качество сварных соединений из таких бронз невысокое.

Существует широкий спектр марок бронз, по свариваемости значительно отличающихся друг от друга, поэтому и технология сварки бронз разнообразна.

Сварку бронзы можно выполнять угольным электродом с присадочным металлом, покрытыми электродами и неплавящимся (вольфрамовым) электродом в защитной среде аргона. При сварке угольным электродом устанавливается прямая полярность, напряжение дуги — 40–45 В, сварочный ток — 25–35 А на 1 мм диаметра электрода. В большинстве случаев требуется предварительный подогрев до температуры 300–400 °С.

При сварке металлическими покрытыми электродами применяется обратная полярность, сварка на переменном токе производится с осциллятором при повышенном токе. Обычно присадочный материал подбирают так, чтобы его химический состав был идентичен химическому составу свариваемого металла. При сварке угольным электродом оловянистой бронзы применяют присадочный металл в виде прутков с химсоставом: 8% цинка, 3% олова, 6% свинца; фосфора, железа и никеля — 0,2–0,3% каждого, остальное — медь.

Сварку марганцовистой бронзы (например БрМцб) выполняют электродами «Комсомолец-100» (или др.), обязательно с предварительным подогревом до 400–500 °С. Для сварки алюминиевых и алюминиево-никелевых бронз (исправление дефектов литья) с предварительным подогревом до 150–300 °С можно применять электроды АНМц/ЛКЗ-АБ. Сварка выполняется на постоянном токе при обратной полярности короткими участками.

Бронзы, как правило, сваривают в нижнем или наклонном (до 15°) положении.

Газовая сварка бронзы ведется восстановительным пламенем, т.к. при окислительном пламени происходит выгорание легирующих элементов (олова, алюминия, кремния). Мощность пламени устанавливают 100–150  $дм^3$  ацетилена/ч на 1 мм толщины свариваемого металла. При сварке используются те же флюсы, что и для сварки меди и латуни.

Газовая сварка бронзы дает прочность сварных соединений равную 80–100% прочности свариваемого металла.

# Аппараты для реализации новых технологий.

## К 100 - летию со дня рождения В.Е. Патона

А.Н. Корниенко, док. ист. наук, ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ (Киев)



С именем крупнейшего конструктора сварочного оборудования Владимира Евгеньевича Патона связаны успехи развития автоматической и полуавтоматической сварки под флюсом, в углекислом и инертных газах, плазменной, микроплазменной и электрошлаковой сварки. Многие образцы сварочной техники, спроектированные им лично или под его руководством, явились весомым вкладом в научно-технический прогресс, опередили и превзошли мировой уровень.

Владимир Евгеньевич Патон родился 18 марта 1917 г. в семье профессора Киевского политехнического института (КПИ), выдающегося ученого Евгения Оскаровича Патона и Натальи Викторовны Будде. Еще с детства Владимир увлекался техникой. Заканчивать высшее образование ему пришлось в первый год Великой Отечественной войны в Уральском индустриальном институте им. С.М. Кирова по специальности «Технология машиностроения» (Свердловск – Екатеринбург), а затем работать инженером-технологом на Ново-тагильском металлургическом заводе.

На Урал, в Нижний Тагил в сентябре 1941 г. был эвакуирован и размещен на территории «Уралвагонзавода» Институт электросварки. Под руководством Е.О. Патона развернулись работы по созданию автоматической сварки танков и др. вооружений.

Вскоре сюда же прибыли из Харькова создатели Т-34 – лучшего среднего танка Второй мировой войны. Вагоностроительный завод перевели в г. Барнаул, а 618 вагонов с оборудованием «Харьковского паровозостроительного завода № 183 им. Коминтерна» и заготовками танков разместили на его территории. Харьковский завод в Нижнем Тагиле под названием «Уральский танковый завод им. Коминтерна» положил начало танкостроению на Урале.

Основной проблемой в работе завода была авто-

матическая сварка бронекорпусов танков. К концу 1941 г. начальник технологического отдела Института электросварки В.И. Дятлов и инженер харьковского завода А.Б. Иванов впервые в мире разработали технологию автоматической сварки высокопрочных закаленных броневых сталей, а в конструкторском отделе П.И. Севбо началось проектирование специальных аппаратов для автоматической сварки узлов танков. В 1943 г. к конструированию этой аппаратуры приступил и младший научный сотрудник В.Е. Патон. Замена ручной сварки на автоматическую в десять раз ускорила производство бронеконструкций.

Уже в 1943 г. Евгений Оскарович Патон поставил задачу конверсии военной технологии на «гражданскую» – создать высокоэффективную аппаратуру и технологии для механизации сварочных работ в народном хозяйстве страны. 9 июня 1947 г. Совет Министров СССР по проекту, разработанному Е.О. Патоном, принял постановление «О расширении применения в промышленности автоматической электросварки под слоем флюса», согласно которому в ближайшие полтора года необходимо было ввести в эксплуатацию 670 сварочных автоматов на 111 заводах страны. В.Е. Патон руководил конструкторскими работами по созданию как универсальных сварочных аппаратов (тракторов и шланговых полуавтоматов), так и специализированных установок для поточного производства однотипных изделий. Ему поручалось выполнение самых трудных задач, без которых невозможно было бы реализовать новые технологии. Среди них – проблема автоматической сварки под флюсом швов, расположенных на вертикальной и наклонной плоскостях. В 1948 г. Г.З. Волошкевичем впервые в мире была создана технология, а В.Е. Патоном разработаны устройства для принудительного формирования металла сварочной ванны и системы перемещения последних по изделию. Один из его аппаратов получил название магнитошагающего. Эта работа ИЭС им. Е.О. Патона позволила решить проблему автоматической сварки монтажных швов при сооружении доменных печей, резервуаров и др.

объемных конструкций. В 1951-1953 гг. данная технология была применена при сооружении крупнейшего в Европе моста через р. Днепр в г. Киеве. Мост признан уникальной конструкцией века.

В те же годы В.Е. Патон участвовал в создании поточных линий для производства труб, вагонеток, цистерн и др. Для скоростной сварки он разработал конструкцию головок с подачей двух и более электродов, головок для сварки расщепленной дугой.

Особую известность принесла Владимиру Евгеньевичу серия универсальных сварочных аппаратов нового класса, способных свободно перемещаться по изделию без направляющих. В 1948 г. В.Е. Патон разработал для дуговой автоматической сварки под слоем флюса одномоторный универсальный сварочный автомат-трактор ТС-17, который не имел аналогов в отечественной и зарубежной технике. Тысячи экземпляров ТС-17 выпускали несколько десятилетий, его модифицированные конструкции применяют до настоящего времени для сварки конструкций из стали, алюминия, меди, титана и их сплавов. Применение аппарата ТС-17 для сварки кольцевых швов при строительстве газопровода Дашава-Киев-Брянск-Москва значительно ускорило подачу газа в ряд областей РСФСР. В 1949 г. за участие в работах по коренному усовершенствованию методов строительства магистральных трубопроводов конструктор сварочного оборудования В.Е. Патон был удостоен Сталинской премии 1-ой степени.

Двухмоторные трактора типа ТС-35 для сварки и наплавки серийно изготавливались более 20 лет. В судостроении для односторонней автоматиче-

ской сварки под слоем флюса полотниц толщиной 6-20 мм с формированием корня шва на движущемся водоохлаждаемом медном ползуне применялись трактора ТС-32 и ТС-44. Для сварки полотниц толщиной до 100 мм были разработаны двухдуговые трактора ТС-38 и ТС-58. При изготовлении алюминиевых цистерн для перевозки и хранения ракетного топлива использовались созданные в ИЭС им. Е.О. Патона впервые в мире способ сварки по фтористому флюсу (Д.М. Рабкин) и трактор ТС-56 (В.Е. Патон).

В 1948 г. в ИЭС им. Е.О. Патона создана технология дуговой сварки под флюсом тонкой электродной проволокой диаметром 1-3 мм (Б.Е. Патон, Д.А. Дудко, П.Г. Гребельник), для реализации которой В.Е. Патон спроектировал шланговый полуавтомат. Производительность сварки коротких, в т. ч. и криволинейных швов, увеличилась в несколько раз.

В 1949 г впервые в мире был создан новый вид сварки – электрошлаковая сварка (ЭШС) (Г.З. Волошкевич, Б.Е. Патон). Под руководством В.Е. Патона в течение нескольких лет создавались новые аппараты – для сварки плавящимся мундштуком, пластинчатым электродом, несколькими электродами, дубли аппараты (В.Г. Пичак, М.Г. Бельфор и др.). В содружестве с рядом заводов была разработана технология сварки за один проход изделий из заготовок теоретически неограниченной толщины. Создание ЭШС коренным образом изменило стратегию мирового развития тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения. Уже в 1950 г. ЭШС внедрили на 16 крупных машиностроительных заводах страны. За короткое время было организовано производство мощных прессов и гидротурбин, атомных реакторов, кораблей, прокатных станов, котлов из специальных сталей, алюминия, титана, меди и их сплавов.

Внедрение разработок Института в 1944-1950-х гг. в несколько раз снизило себестоимость, трудоемкость и энергоемкость сварочного производства. В значительной степени благодаря работам ИЭС им. Е.О. Патона СССР по темпам возрождения промышленного потенциала опередил все страны. Объем производства сварных конструкций в СССР в 1958 г. составлял 5,9 млн т, внедрение сварки под флюсом позволило высвободить для других отраслей производства свыше 30 тыс. квалифицированных рабочих.



У нового аппарата, созданного специально для установки на робот. Слева направо: Ф.Н. Киселевский, Б.Е. Патон, В.Е. Патон.

В 1951 г. В.Е. Патон защитил кандидатскую диссертацию.

Во второй половине XX века сварка безальтернативно стала ведущей технологией соединения. В решении проблем научно-технического прогресса ИЭС им. Е.О. Патона не имел равных. От удачных конструкторских работ зависела судьба фундаментальных исследований и технологических разработок.

Сформированный В.Е. Патоном коллектив: М.Г. Бельфор, В.Ф. Всеволодский, М.Ф. Зевакин, В.Д. Ковалев, В.А. Котов, В.Г. Пичак, С.И. Притула, Ю.И. Сапрыкин, К.А. Сидоренко, В.Б. Смолярко, В.В. Стесин, А.Н. Шаровольский, И.В. Юценко - был способен решать любые технологические и конструкторские задачи. Его ученики возглавляли вновь создаваемые отделы. Творческие контакты с учеными и технологами Д.А. Дудко, Г.З. Волошкевичем, Н.М. Воропаем, В.С. Гвоздецким, В.А. Ковтуненко, А.И. Коренным, Б.Ф. Лебедевым, И.И. Сущук-Слюсаренко, А.Г. Потапьевским, И.К. Походней, Б.А. Стебловским, В.И. Терещенко, Б.И. Шнайдером, Ю.А. Юзвенко, Г.С. Якимишиным и др., по заказу которых разрабатывалось и внедрялось оборудование, способствовали усовершенствованию и успешному продвижению новой техники.

В 1949 г. благодаря исследованиям Б.Е. Патона было установлено, что металл шва при ЭШС превосходит по свойствам основной металл. Впервые в мире были выплавлены слитки металла особой чистоты и развернулись работы по использованию сварочных источников нагрева для металлургиче-

ских технологий (под руководством Б.Е. Патона). Авторами первой статьи, в которой сообщалось о принципиально новом виде металлургического процесса – электрошлаковом переплаве, были Б.Е. Патон, Б.И. Медовар, В.Е. Патон. На протяжении многих лет В.Е. Патоном и его сотрудниками усовершенствовалась и внедрялась новая металлургическая техника. Были сконструированы промышленные установки для получения слитков неограниченной массы. Возник принципиально новый вид металлургии – электрошлаковый переплав – первый из Специальной электрометаллургии.

С 1950 г. в отделе В.Е. Патона и др. подразделениях ИЭС, начали разрабатывать сварочное оборудование для дуговых видов сварки в углекислом и инертных газах, в т.ч. для аргонодуговой плавящимся и вольфрамовым электродами, плазменной на переменном токе, микроплазменной. Новые конструктивные решения потребовались и при создании оборудования для сварки и наплавки легированных сталей и цветных металлов в защитных газах. В конструкторских и технологических отделах, которые В.Е. Патон курировал как заместитель директора ОКТБ ИЭС, В.Я. Дубовецким, А.А. Можухиным, В.Ф. Мошкиным и др. разрабатывалось новейшее оборудование. Аппаратами, созданными под руководством В.Е. Патона удавалось сваривать любые конструкционные металлы, выполнять различные виды соединений толщиной от долей до сотен миллиметров. Были созданы накладные защитные камеры для сварки изделий из титана, установки для изготовления криогенной техники и минитрактора для сварки сложных узлов кора-



Директор Института электросварки академик Е.О. Патон и ведущий конструктор электросварочного оборудования В.Е. Патон, 1951 г.



Производство сварочных тракторов ТС-17, 1949 г.

блей и мостов, разъемные головки для орбитальной сварки телевизионных башен. Московский мост через р. Днепр и телевизионная вышка в Киеве – конструкции из высокопрочной стали, атомные реакторы, плакированные коррозионностойкой сталью и многие др. уникальные конструкции, выполнены с применением аппаратов В.Е. Патона, часто при его непосредственном участии.

В 1950-60-е гг. впервые в мире в ИЭС совместно с НИИ, КБ и предприятиями ракетно-космической отрасли созданы комплексы оборудования и технологии изготовления конструкций из алюминиевых и титановых сплавов с применением: дуговой и плазменной сварки в инертных газах (С.М. Гуревич, Д.М. Рабкин, Б.А. Стебловский, А.Н. Корниенко, В.П. Будник и др.); двигателей из жаропрочных сплавов. ИЭС им. Е.О. Патона обеспечил ампулизацию ракет – время нахождения на боевом дежурстве превысило заданное в несколько раз. Патоновские аппараты внедрены в производство ракет и космических аппаратов С.П. Королева, М.К. Ягеля, В.Н. Челомея и др. Вершиной ракетно-космической техники является серийное производство созданных в КБ «Южное» межконтинентальной ракеты с ядерными боеголовками РС-20 «Сатана» и, в комплексе с ней, боевого ракетного железнодорожного поезда «Скальпель», до настоящего времени непрезойденных по боевым качествам. В 1975 г. В.Е. Патон разработана уникальная горелка с подвижным неплавящимся электродом для гелие-дуговой сварки конструкций орбитального самолета «Буран». Плазматроны для сварки на переменном токе, созданные впервые в мире, были внедрены при производстве топливных баков ракет-носителей; оригинальный «пистолет» для сварки дугой, вращающейся в магнитном поле – при изготовлении теплообменных аппаратов. Под руководством Владимира Евгеньевича были созданы аппараты для микроплазменной сварки систем противоракетной обороны. В 1972 г. В.Е. Патону, В.С. Гвоздецкому, Н.М. Воропаю была присуждена Государственная премия УССР.

В 1979-1988 гг. под руководством В.Е. Патона (М.Г. Бельфор, В.Г. Пичак и др.) были созданы дубль аппараты для ЭШС прочных корпусов, центрального поста и торпедных отсеков из титанового сплава тяжелых ракетных подводных крейсеров «Акула» на заводе «Севмаш» (Северодвинск, РФ). Специальные сварочные аппараты применены на заводах «Море» (Феодосия) и Приморском (С.-Петербург) для строительства самых больших в мире кораблей на воздушной подушке «Зубр».

В.Е. Патон стоял у истоков работ по ракетно-космической тематике. В начале 1964 г. В.Е. Патон организовал группу конструкторов (Г.П. Дубенко, В.Г. Пичак, Ю.И. Сапрыкин, В.В. Стесин и др.), которые впервые в мире приступили к разработке экспериментальных аппаратов для исследования процессов сварки в космосе. Совместно со специальным отделом (В.Ф. Лапчинский, А.А. Загребельный) и др. подразделениями Института был создан аппарат «Вулкан» (1965-1969); аппараты для астрофизических экспериментов «Зарница» и «Аракс» (1972-1975); нанесения покрытий и материаловедческих экспериментов – «Испаритель-80» и «Испаритель М» (1978-1983). На этих аппаратах советскими космонавтами, астронавтами США, Индии и ряда др. стран были выполнены уникальные эксперименты.

В 1967 г. впервые в мире созданы подводные мокрая механизированная сварка и резка, не требующие для проведения работ водолазных камер. А.Е. Аснисом и И.М. Савичем разработана герметичная самозащитная порошковая проволока, а В.Е. Патон и его сотрудниками сконструированы полуавтоматы, которые надежно работают под водой. Полуавтоматы, установки для орбитальной сварки, приварки проушин и др. узлов применяются при строительстве морских трубопроводов разного назначения и стационарных платформ на глубинах континентального шельфа.

В 1983 г. В.Е. Патону (совместно с др. авторами) за работу «Комплекс исследований, проектно-конструкторских и технологических работ по созданию и внедрению прогрессивной технологии дуговой сварки и оборудования (комплекс «Стык») для технического перевооружения сварочного производства при сооружении магистральных трубопроводов» присуждена Премия Совета Министров СССР.

В.Е. Патон заслуженный изобретатель УССР (1982), автор 90 изобретений и 50 научных работ.

В.Е. Патон вел организационную работу в Координационном совете по сварке в СССР, а также в Научном совете ГКНТ СССР по проблеме «Новые процессы сварки и сварные конструкции». Много лет возглавлял Государственную экзаменационную комиссию сварочного факультета КПИ, уделяя огромное внимание уровню профессионального обучения новых поколений инженеров-сварщиков. Он награжден орденами Трудового Красного Знамени, «Знаком Почета», медалями.

# Послевоенное восстановление экономики \*

А. А. Мазур, канд. экон. наук, В. И. Снежко, ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ (Киев)

Продолжая работать над проблемами, связанными с танковой и др. видами оборонной техники, Институт начал подготовительные работы по применению автоматической сварки в различных отраслях производства послевоенного времени, в т.ч. судостроении и машиностроении.

Уже в 1943 г. в Институте работала группа, которая изучала возможности использования автоматической сварки при восстановлении послевоенной экономики.

В апреле 1943 г. Народный комиссариат судостроительной промышленности СССР обратился в Институт электросварки с просьбой помочь внедрить автоматическую сварку под флюсом в судостроении. Несмотря на напряженную работу коллектива Института на оборонных заводах и нехватку кадров, Е. О. Патон согласился оказать судостроителям необходимую помощь. Институт обязался изготовить в своих мастерских необходимую аппаратуру, помочь судостроительным заводам в наладке, пуске и освоении автосварочных установок. Е. О. Патон написал и издал специальный труд «Автоматическая сварка в судостроении», в котором были намечены элементы судокорпусных конструкций, пригодные для перевода на автоматическую сварку и определены рациональные типы установок для автоматической сварки и технические условия для их проектирования.

6 ноября 1943 г. Киев был очищен от немецко-фашистских захватчиков, шло освобождение территории Украины. К этому времени автоматическая сварка на оборонных заводах страны твердо «стала на ноги». Были воспитаны квалифицированные кадры, способные самостоятельно решать возникающие вопросы. Путь домой был открыт. Не все приехавшие в Нижний Тагил патоновцы дожили до этого дня, но коллектив Института за счет новых людей вырос до 80 человек.

В начале 1944 г. Государственный комитет обороны (ГКО) утвердил постановление «О необходимых мерах по восстановлению хозяйства в районах, освобожденных от немецкой оккупации», в связи с этим было принято решение о реэвакуации Института электросварки в Киев и возложении на него серьезных задач по оказанию действен-

ной помощи промышленности Украины и др. районам страны, пострадавшим от оккупации.

Мирная тематика стала основной в планах Института. Однако связи с оборонной промышленностью, в т.ч. с уральским заводом, ставшим для патоновцев родным домом, не прерывались. Символом единения наших коллективов стала Сталинская премия 1945 г. «За коренное усовершенствование технологии и организацию высокопроизводительного поточного метода производства средних танков при значительной экономии материалов, рабочей силы и снижении себестоимости», присужденная работникам Уральского танкового завода и Института.

В мае 1944 г. коллектив Института возвращается в Киев с готовым планом работ по выполнению заданий ГКО. Первые сварочные автоматы начали работать на двенадцати крупнейших заводах Украины уже в 1945 г. Одновременно с внедрением автоматической сварки пришлось заново воссоздавать материальную базу института. За короткий срок отстраиваются и оснащаются оборудованием его лаборатории и мастерские.

Приоритеты исследовательской работы коллектива сосредоточились на механизации сварочных работ, в т.ч. на дальнейшем развитии автоматической сварки под флюсом, проблемах, связанных со сварным мостостроением, а также на разработке и промышленном освоении новых сварочных процессов.

В марте 1945 г. в ознаменование 75-летия Е. О. Патона и 50-летия научной, инженерной, педагогической и общественной деятельности Институту было присвоено его имя.

1944–1958 гг. стали годами послевоенного становления и интенсивного развития Института, выполнения работ на важнейших объектах военного и послевоенного строительства. Приведенный ниже перечень основных достижений Института за этот период свидетельствуют о том, как его коллектив наращивал темпы работы и в мирное время:

**1944 г.** — Институт вернулся в Киев. Разработана технология изготовления крупных резервуаров методом сворачивания (рулонирования).

**1945 г.** — созданы серия автоматов дуговой сварки под флюсом УСА-2, трактор типа ТС-6, сварочный полуавтомат ТС-8, сварочный пистолет для приварки шпилек в монтажных условиях, используемые в судостроении, на металлургических комбинатах и при строительстве резервуаров.

\* Часть 4. Продолжение серии публикаций по материалам книги: «ИЭС и государственное планирование развития сварочной науки, техники и производства»

**1946 г.** — разработаны и внедрены способы сварки и резки металла под водой.

**1947 г.** — разработаны самоходный однодуговой сварочный автомат САГ-4; серия специализированных тракторов типа ТС; мощный сварочный трансформатор СТ-1000 с дистанционным управлением для автоматической сварки под флюсом. Разработана система низкокремнистых (основных) флюсов.

**1948 г.** — впервые в мире создан способ дуговой сварки в вертикальном положении с применением подвижного формирующего ползуна. Начал издаваться журнал «Автоматическая сварка».

**1949 г.** — впервые в мире разработан бездуговой способ электрической сварки металлов — электрошлаковая сварка.

Разработан способ двухдуговой сварки под флюсом стыковых швов со скоростью 160–200 м/ч. Способ применен при сварке труб большого диаметра.

Разработаны: трансформаторы-регуляторы ТР-1000, СТР-1000 для питания сварочных головок с автоматическим регулированием напряжения дуги; способ дуговой сварки изделий из низколегированной стали в углекислом газе угольным электродом; новые методы сварки в строительстве магистральных газопроводов.

**1950 г.** — разработан первый специальный флюс для электрошлаковой сварки АН-8 и низкокремниевый флюс АН-20 для наплавки высоколегированных сталей.

**1951 г.** — в сотрудничестве с Новокраматорским машиностроительным заводом (НКМЗ) впервые в мировой сварочной практике разработаны техника и технология вертикальной электрошлаковой сварки металла толщиной до 2 000 мм. Начаты исследования и инженерные разработки в области сварки алюминия и его сплавов.

**1952 г.** — разработана техника и технология автоматической наплавки порошковой проволокой. Создан безрельсовый аппарат А-314 для электрошлаковой сварки.

В содружестве с Таганрогским заводом «Красный котельщик» разработана технология автоматической однопроходной электрошлаковой сварки изделий из низкоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей перлитного класса больших толщин.

Впервые в мировой практике осуществлена электрошлаковая сварка кожуха доменной печи на заводе «Запорожсталь». Впервые в мире получен первый слиток электрошлакового металла.

Впервые в мире разработан способ стыковой контактной сварки оплавлением стыков трубопроводов большого диаметра. Создан кольцевой транс-

форматор для контактной сварки изделий большого сечения.

Разработан способ автоматизированной сварки под флюсом алюминия.

Разработаны низкокремниевые и низкомарганцевые плавные флюсы АН-15 и АН-42.

Ученому совету Института предоставлено право приема к защите кандидатских и докторских диссертаций.

**1953 г.** — введен в эксплуатацию крупнейший в Европе цельносварной мост через р. Днепр в Киеве, которому присвоено имя Евгения Оскаровича Патона.

Издана книга «Автоматическая электросварка» (под ред. Е. О. Патона).

Опубликована монография Б. Е. Патона и В. К. Лебедева «Элементы расчета цепей переменного тока для дуговой сварки».

**1954 г.** — разработана технология сварки плоскострочиваемых труб диаметром 50–100 мм, с толщиной стенки 1,5–2,0 мм, длиной 1–2 км в одной бухте.

**1955 г.** — в связи с двадцатилетием со дня основания, за выдающиеся заслуги в деле развития электросварки Институт электросварки им. Е. О. Патона награжден орденом Трудового Красного Знамени.

Совместно с НКМЗ разработан способ сварки плавящимся мундштуком.

Издан труд «Электрошлаковая сварка» под редакцией Б. Е. Патона — первое в мире капитальное издание по этому вопросу.

**1956 г.** — впервые в мире разработана импульсно-дуговая сварка в углекислом газе плавящимся электродом с постоянной скоростью подачи.

Разработан способ электрошлаковой сварки титана большой толщины.

**1958 г.** — ИЭС назначен головным институтом по сварке в СССР. При Институте организован Координационный совет по сварке. Председатель совета — академик Б. Е. Патон. ИЭС принят в Международный институт сварки.

Наиболее значимые достижения Института этих лет отмечены **Сталинскими** и **Ленинскими** премиями, в т.ч.:

#### **Сталинские премии:**

**1946** — за разработку и внедрение методов сварки и резки металлов под водой, нашедших широкое применение при ремонте судов и железнодорожных мостов.

**1947** — за коренное усовершенствование технологии производства котлов железнодорожных цистерн.

**1948** — за коренное усовершенствование методов сооружения магистральных газопроводов.

**1950** — за разработку нового способа и создание автоматов и полуавтоматов для шланговой сварки;

- за разработку нового высокопроизводительного способа дуговой автоматической электросварки труб большого диаметра.

**1952** — за разработку составов и широкое внедрение серии флюсов для автоматической электросварки.

#### Ленинские премии:

**1957** — за создание и внедрение в тяжелом машиностроении электрошлаковой сварки.

**1958** — за разработку и внедрение индустриального метода строительства нефтерезервуаров из плоских полотнищ, сворачивающихся в рулоны.

Из приоритетных разработок патоновской школы этого периода в первую очередь следует отметить создание электрошлаковой сварки (ЭШС) — нового способа сварки, с которого началась целая цепь электрошлаковых технологий: электрошлаковые переплав, литье и наплавка. Использование ЭШС внесло коренные изменения в технологию производства барабанов котлов высокого давления, станин тяжелых прессов и прокатных станов, колёс и валов гидротурбин. Вместо литых и кованных крупногабаритных деталей появились более экономичные — сварные, сварно-литые и сварно-кованные. В 1957 г. сотрудники Института, НКМЗ и завода «Красный котельщик» были удостоены Ленинской премии за создание ЭШС и производство на ее основе крупногабаритных ответственных изделий. Эта работа в 1958 г. получила Гран-При на Всемирной выставке в Брюсселе. Многие зарубежные фирмы приобретали лицензии на использование ЭШС.

Рассматриваемый период развития Института — это период преобразования его в современный мощный научно-исследовательский центр с развитой конструкторской и производственной базой. Были созданы опытные заводы и Опытно-конструкторское и технологическое бюро, способные в металле воплотить идеи ученых.

Своей работой во время войны и послевоенные годы Институт доказал, что ему стало под силу решение любых задач развития сварочного производства и внедрения новой сварочной техники в масштабах всей страны. Поэтому 9 июня 1947 г. по инициативе Института Совет Министров СССР принял Постановление № 1961 «О расширении применения в промышленности автоматической электросварки под слоем флюса». Как отмечал Е. О. Патон, постановление вносило решающий перелом в развитие сварочного дела в СССР — внедрение автоматической сварки под флюсом в народное хозяйство было признано делом государственной важности.

Многолетняя работа ИЭС в области механизации и автоматизации электродуговой сварки получила должную оценку.

Начиная с 1948 г. Госплан СССР был обязан включать в технические планы министерств и ведомств создание установок для автосварки под флюсом. Предусмотрен ввод в действие 680 сварочных автоматов на 111 заводах восемнадцати министерств и резкое увеличение автосварки в общем объеме сварочных работ по основным видам отраслевой продукции.

Постановление создавало прочную материально-техническую базу для внедрения автосварки.

На Институт возлагалось оказание технической помощи заводам, новостройкам и др. предприятиям, осваивающим автосварку.

Еще одно Постановление СМ СССР от 29.05.1948 г. № 1826–720 «О широком внедрении автосварки в судостроении» наряду с техническими заданиями предусматривало:

- организацию подготовки инженеров-сварщиков в ряде вузов (Ленинградский кораблестроительный, МВТУ им. Баумана, КПИ);
- создание факультетов сварочного производства во всех машиностроительных и политехнических вузах;
- расширение сети сварочных техникумов, в т.ч. организацию техникума в Киеве.

Принято было также решение обязать ИЭС изготовить в 1949 г. 250 и в 1950 г. — 270 шланговых полуавтоматов для предприятий восьми министерств.

Как и у многих ученых, интересовавшихся широким кругом вопросов, у Евгения Оскаровича были любимые научные проблемы, разработкой которых он занимался лично в течение многих лет. Основными проблемами для него были механизация сварочных процессов и мостостроение. Создание научных основ сварного мостостроения, позволивших на основе механизированных сварочных процессов осуществить массовое изготовление мостов, является большой заслугой Е. О. Патона.

Когда в начале 1930-х годов Е. О. Патон приступил к изучению проблемы сварного мостостроения, применение сварки в этой области во всем мире развивалось стихийно, без учета технологических особенностей процесса, ее возможностей и условий эксплуатации сварных соединений. Большинство из построенных в этот период сварных мостов были в различное время выведены из эксплуатации в связи с появлением дефектов, угрожающих безопасности движения. Однако Е. О. Патон был твердо убежден в том, что все наблюдавшиеся неблагоприятные явления вызваны не механическими не-

достатками сварки как процесса, а низкой культурой производства и отсутствием единого научного подхода к вопросам сварного мостостроения.

В начале 1940 г. Е. О. Патон уже располагал надежными данными о реальной прочности сварных конструкций. Был создан способ автосварки под флюсом, обеспечивающий стабильное качество швов и высокую производительность, уточнены требования к сталям и сварочным материалам. Это позволило ученому поставить вопрос о применении сварки при строительстве городского моста через р. Днепр в Киеве и при поддержке правительства Украины добиться решения о строительстве сварного варианта моста. По этому варианту мост должен был строиться из сварных элементов с клепаными монтажными соединениями. Однако успешно начавшееся изготовление сварных элементов было прервано войной.

Под руководством Е. О. Патона проводились исследования по разработке оптимальных режимов сварки, новых сварочных материалов, созданию необходимой аппаратуры и приспособлений, выбору основного металла. Результаты исследований позволили ученому рекомендовать для изготовления мостов и других ответственных конструкций низкоуглеродистую спокойную, дополнительно раскисленную алюминием мартеновскую сталь М16С. Из этой стали были построены все мосты, введенные в эксплуатацию при жизни Е. О. Патона. Основным способом сварки мостовых конструкций была автосварка под флюсом.

О значении качества стали для надежности сварных конструкций Е. О. Патон писал: *«Разработка стали для сварных мостов — это только первый шаг. Сварщикам совместно с металлургами нужно много и упорно работать над проблемой выпуска хорошо сваривающихся сталей. Эта задача становится особенно актуальной в связи с широким внедрением низколегированных конструкционных сталей во многих отраслях промышленности»*.

Широкое применение мостов со сварными элементами и клепаными монтажными узлами было значительным достижением отечественного мостостроения. Тем не менее, это не позволяло полностью использовать все преимущества сварки. Вес сварного пролетного строения с клепаными монтажными узлами примерно на 8–10%, а цельносварного — на 20–25% меньше клепаного.

В 1946 г. Е. О. Патон совместно с Министерствами путей сообщения (МПС) и строительства

предприятий тяжелой индустрии подали союзному правительству докладную записку о преимуществах сварного мостостроения и замене клепаных пролетов сварными.

Применение сварки в мостостроении вместо клепки обеспечивало значительную экономию металла и труда, улучшение условий эксплуатации сооружения и сокращало сроки строительства.

Придавая большое значение делу внедрения в мостостроении сварных металлических конструкций, дающих экономию металла и рабочей силы по сравнению с клепаными конструкциями, Совмин СССР 31.07.1946 г. принимает развернутое постановление «О применении автоматической сварки в строительстве железнодорожных и шоссежных мостов с металлическими фермами». Постановление поручает МПС и ИЭС:

- организовать наблюдение за изготовлением на заводах пролетных строений и за работой их в эксплуатации;
- развернуть НИР по изучению вопросов, связанных с переходом на широкое применение автоматической сварки в мостостроении;
- разработать до 01.01.1947 г. технологию автосварки низколегированной стали типа СХЛ и к 01.01.1948 г.

метод автосварки монтажных соединений пролетных строений.

Институт электросварки во исполнение постановления выполнил разработки по 24 научно-исследовательским темам и провёл на предприятиях порученную ему постановлением работу.

Всего за 1950–1953 гг. в разных климатических районах страны было изготовлено и установлено более 150 сварных мостов.

На основании положительного опыта, полученного при строительстве и эксплуатации большого числа железно- и автодорожных мостов, Евгений Оскарович возвращается к предложению изготовить цельносварной автодорожный мост через р. Днепр в Киеве. Однако предложение ученого снова встретило сопротивление некоторых мостовиков и даже сварщиков.

Евгению Оскаровичу было тогда 80 лет, но он не отступил от направления, которое считал правильным, и победил.

В развитие Распоряжения СМ СССР от 29.06.1948 г. «О строительстве в г. Киеве шоссежного моста через р. Днепр» правительство УССР принимает решение построить в г. Киеве цельносварной шоссежный мост через р. Днепр.





Мост Патона, Киев

В декабре 1951 г. в Киеве начинается строительство на то время наибольшего в мире цельносварного шоссе моста через р. Днепр. Е. О. Патон возглавляет исследовательские, проектные, заводские и монтажные работы, связанные с его сооружением.

Уникальность данного цельносварного сооружения, прежде всего, в его размерах. Это один из крупнейших мостов Европы. Он имеет 20 пролетов по 58 м между опорами и 4 судоходных пролета (на главном русле реки) по 87 м между осями опор. Общая длина моста 1492 м с общим весом пролетных строений более 13 тыс. т.

В основу проекта был положен индустриальный метод, по которому в Днепропетровске на заводе им. И. В. Бабушкина изготавливались крупноблочные элементы, из них на стройплощадке формировалась металлоконструкция всего моста. Это давало возможность максимально использовать автоматическую и полуавтоматическую сварку под флюсом. Широко использовалась автосварка вертикальных монтажных стыков. Свыше 84% всех заводских и монтажных швов выполнены автоматической и полуавтоматической сваркой под флюсом. При сварке главных ферм эта цифра составляла 97% для заводских швов и 88% для монтажных. При проектировании особое внимание обращалось на технологичность элементов, на создание условий для широкого применения автосварки под флюсом.

Е. О. Патон сумел объединить все организации, участвующие в строительстве как в заводских, так и в монтажных условиях, и принимал самое активное участие во всех работах (около 2-х лет).

Исключительными короткими были сроки изготовления и монтажа пролетных строений. Строительство началось в декабре 1951 г. и закончилось в октябре 1953 г. Сварочные работы проводились круглый год. Трудоемкость выполнения сварных монтажных стыков составила 4,17 чел./ч на 1 т

конструкций вместо 13,5 чел./ч на 1 т клепаных конструкций.

Подготовку, строительство и монтаж этого уникального сооружения ученый осветил в работе, написанной совместно с представителями других организаций, принимавших участие в проектировании, изготовлении и строительстве моста. Однако Евгению Оскаровичу не довелось воспользоваться почетным правом автора первому пройти по мосту после ввода его в эксплуатацию. Он умер 12 августа 1953 г. на 84-м году жизни, не дожив менее трех месяцев до торжественного открытия моста, до осуществления главного дела всей своей жизни, воплотившего идеи выдающего мостовика и великого сварщика.

Практически до последнего дня жизни он продолжал работать, особое внимание уделяя сварному мостостроению. В строительстве одного из крупнейших в мире цельносварного моста, ныне носящего его имя, ученый вложил свои разносторонние знания, огромную энергию и организаторский талант. Уже более 63 лет мост Патона, который Американское сварочное общество признало выдающимся инженерным сооружением XX века, верно служит людям.

Конструктивные и технологические решения, использованные при проектировании и сооружении моста Патона, открыли дорогу широкому использованию сварки в мостостроении. Они были использованы при постройке мостов через р. Днепр в Киеве (Южного, Московского, Гаванского, Подольско-Воскресенского, автодорожного и железнодорожного), мостов в Днепропетровске, Запорожье, Каменец-Подольском и многих других.

К сожалению, этот опыт был проигнорирован при строительстве моста метро в Киеве. С целью экономии металла его сделали из сборного железобетона, но мост оказался очень дорогим. Только стальная арматура железобетона весила больше, чем весил бы весь мост в сварном исполнении.

К выдающимся сварным конструкциям, созданным в Киеве специалистами Института совместно со специалистами ЦНИПИ «Укрпроектстальконструкция», кроме моста Патона, можно отнести также оригинальную конструкцию цельносварной телебашни, которая на 70 м выше Эйфелевой башни и величественный монумент «Родина-мать». Опыт строительства киевской телебашни в дальнейшем был использован при строительстве аналогичных башен в Санкт-Петербурге, Ереване, Тбилиси, Витебске и Харькове.

# Сервисная карточка читателя

Без заполненного  
формуляра  
недействительна

Для получения дополнительной информации о продукции/услугах, упомянутых в этом номере журнала:

- обведите в Сервисной карточке индекс, соответствующий интересующей Вас продукции/услуге (отмечен на страницах журнала после символа «#»);
- заполните Формуляр читателя;
- укажите свой почтовый адрес;
- отправьте Сервисную карточку с Формуляром по адресу: 01350, г. Киев, а/я 337, ред. журналов «Сварщик», «Сварщик в России».

994 995 996 997 998 999 1000 1001 1002 1003  
1004 1005 1006 1007 1008 1009 1010 1011 1012  
1013 1014 1015 1016 1017 1018 1019 1020 1021  
1022 1023 1024 1025 1026 1027 1028 1029 1030  
1031 1032 1033 1034 1035 1036 1037 1038 1039  
1040 1041 1042 1043 1044 1045 1046 1047 1050

Ф. И. О. \_\_\_\_\_

Должность \_\_\_\_\_

Тел. ( \_\_\_\_\_ ) \_\_\_\_\_

Предприятие \_\_\_\_\_

Подробный почтовый адрес: \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

\_\_\_\_\_ *подпись*

## Формуляр читателя

Ф. И. О. \_\_\_\_\_

Должность \_\_\_\_\_

Тел. ( \_\_\_\_\_ ) \_\_\_\_\_

Предприятие \_\_\_\_\_

Виды деятельности предприятия \_\_\_\_\_

Выпускаемая продукция / оказываемые услуги \_\_\_\_\_

Руководитель предприятия (Ф. И. О.) \_\_\_\_\_

Тел. \_\_\_\_\_ Факс \_\_\_\_\_

Отдел маркетинга / рекламы (Ф. И. О.) \_\_\_\_\_

Тел. \_\_\_\_\_ Факс \_\_\_\_\_

Отдел сбыта / снабжения (Ф. И. О.) \_\_\_\_\_

Тел. \_\_\_\_\_ Факс \_\_\_\_\_

## Тарифы на рекламу 2017 г.

### На внутренних страницах

Площадь	Размер, мм	Стоимость, руб.
1 полоса	210×295	25000
1/2 полосы	180×125	13000
1/4 полосы	88×125	7000

### На страницах основной обложки

Страница	Размер, мм	Стоимость, руб.
1 (первая)	215×185	50000
4 (последняя)	210×295 (после обрезки 205×285)	36000
2		33000
3		30000

### Изготовление оригинал-макета

- 10% стоимости рекламной площади

### Статья на правах рекламы

- 1 стр. — 10000 руб.

### Прогрессивная система скидок

Количество подач	2	3	4	5	6
● Скидка	5%	10%	13%	17%	20%

### Требования к оригинал-макетам

**Для макетов «под обрез»:** формат издания после обрезки 205×285 мм; до обрезки 210×295 мм; внутренние поля для текста и информативных изображений не менее 15 мм. **Файлы принимаются в форматах:** PDF, AI, INDD, TIF, JPG, PSD, EPS, CDR, QXD с прилинкованными изображениями и шрифтами. Изображения должны быть качественными, не менее 300 dpi, цветовая модель CMYK, текст в кривых, если нет шрифтов. Размеры макета должны точно соответствовать указанным редакцией.

Зам. гл. ред., рук. ред. **В.Г. Абрамишвили**, к.ф.-м.н.:  
тел./факс: +380 44 200-80-14, моб.: +380 50 413-98-86,  
моб.: +380 95 146-06-91  
e-mail: welder.kiev@gmail.com

Ред., зам. рук. ред. **О.А. Трофимец**:  
тел./факс: +380 44 200-80-18  
e-mail: trofimets.welder@gmail.com

[www.welder.stc-paton.com](http://www.welder.stc-paton.com)

## Подписка-2017 на журнал «Сварщик в России»

Подписной индекс **20994**  
в каталоге «Пресса России»

Подписной индекс **E20994**  
в каталоге Агентства «Книга-Сервис»

Подписной индекс **K0103**  
в каталоге российской прессы  
«Почта России» — персональная подписка

На электронную версию журнала можно подписаться в редакции или на сайте:  
[www.welder.stc-paton.com](http://www.welder.stc-paton.com) (скидка 50%)

Заполняется печатными буквами

Качество.  
Безопасность.  
Профессионализм.

для работы на рынке



Сертификация продукции  
в соответствии с требованиями:

ТР ТС(ЕАЭС) 010/2011 «О безопасности машин и оборудования»

ТР ТС(ЕАЭС) 016/2011 «О безопасности аппаратов,  
работающих на газообразном топливе»

ТР ТС(ЕАЭС) 032/2013 «О безопасности оборудования,  
работающего под избыточным давлением»

Аккредитованная по ISO 17025 лаборатория  
неразрушающего контроля и технической диагностики

Инспекция третьей стороны

Это Беларусь



Унитарное предприятие «БЕЛГАЗПРОМ ДИАГНОСТИКА»  
Юридический адрес: 220073, Беларусь, г. Минск, ул. Гусовского, 4, офис 608  
Почтовый адрес: 220073, Беларусь, г. Минск, ул. Гусовского, 10, 2-й этаж  
Тел./факс: +375 17 318-02-00, 318-02-05. Сел. тел.: +375 29 653-08-68  
e-mail: info@diag.by, esp@diag.by, www.diag.by