

4 (80) 2019

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  
русской прессы «Почта России» —  
персональная подписка

Производственно-технический журнал

# СВАРЩИК

№ 4 2019

## В РОССИИ

### СОДЕРЖАНИЕ

#### **Новости техники и технологий** ..... 4

#### **Термическая резка и правка. История газопламенной обработки**

История изучения состава воздуха, открытие кислорода и некоторых горючих газов, жидкостей и инертных газов для термической резки и правки.

*В.И. Панов* ..... 6

#### **Вклад отделов ИЭС им. Е.О. Патона в научно-технический прогресс.**

##### **К 85-летию ИЭС им. Е.О. Патона**

Направления научных исследований, разработки и достижения  
отдела № 18 ИЭС им. Е.О. Патона.

*С.Ю. Максимов* ..... 11

Направления научных исследований, разработки и достижения отдела  
прочности сварных конструкций ИЭС им. Е.О. Патона.

*В.В. Кныш* ..... 16

#### **Технологии и оборудование для АЭС**

Новый торцеватель из гаммы отечественного оборудования для подготовки к сварке  
неповоротных стыков трубопроводов атомных электростанций.

*Л.М. Лобанов, Н.М. Махлин, В.Е. Водолазский, В.Е. Попов, Л.П. Муценко,*

*Д.С. Олияненко, С.И. Лавров, А.А. Кириленко, В.Г. Притыка, А.В. Ковалюк* ..... 24

#### **Выставки**

Сварка / Welding 2020 ..... 29

Роботы для сварки на WELDEX 2019 ..... 30

#### **Оборудование для производства**

Испытания ручных горелок и резаков после ремонта.

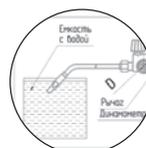
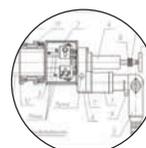
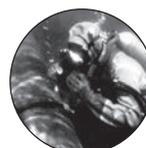
*В.М. Литвинов, Ю.Н. Лысенко, С.А. Чумак* ..... 32

#### **Страницы истории ИЭС им. Е.О. Патона.**

##### **К 85-летию ИЭС им. Е.О. Патона**

От конверсии военной технологии к триумфу электросварки под флюсом.

*А.Н. Корниенко* ..... 38



**News of technique and technologies ..... 4**

**Thermal cutting and fixing.**

**History of gas-flame treatment**

The history of studying the composition of air, the discovery of oxygen and some combustible gases, liquids and inert gases for thermal cutting and fixing.

*V.I. Panov* ..... **6**

**Contribution departments of E.O. Paton EWI**

**in scientific and technological progress.**

**On the 85-th anniversary of E.O. Paton EWI**

Directions of research, development and achievement of department number 18 of the E.O. Paton EWI.

*S.Yu. Maksimov* ..... **11**

Directions of research, development and achievement of the department of strength of welded structures of the E.O. Paton EWI.

*V.V. Knysh* ..... **16**

**Technologies and equipment for nuclear power plants**

A new trimmer from the gamma of domestic equipment for preparing for welding fixed joints of pipelines of nuclear power plants.

*L.M. Lobanov, N.M. Makhlin, V.E. Vodolazsky, V.E. Popov, L.P. Mutsenko, D.S. Oliyanenko, S.I. Lavrov, A.A. Kirilenko, V.G. Prityka, A.V. Kovalyuk* ..... **24**

**Exhibitions**

Welding 2020 ..... **29**

Welding robots at WELDEX 2019 ..... **30**

**Equipment for the production**

Tests of manual torches and cutters after repair.

*V.M. Litvinov, Yu.N. Lysenko, S.A. Chumak* ..... **32**

**Pages history of the E.O. Paton EWI.**

**On the 85-th anniversary of E.O. Paton EWI**

From the conversion of military technology to the triumph of submerged arc welding.

*A.N. Kornienko* ..... **38**

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

**Редактор** О. А. Трофимец

**Верстка и дизайн** В. Г. Абрамишвили

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 дд.мм.2019. Формат 60×84 1/8. Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура PetersburgC. Отпечатано в ЗАО «ТДДС-Столица-8». Заказ № NNNN от дд.мм.2019. 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-2019**

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

## История изучения состава воздуха, открытие кислорода и некоторых горючих газов, жидкостей и инертных газов для термической резки и правки.

*В.И. Панов*

В хронологическом порядке показана краткая история создания активных (воздуха, кислорода и др.) и инертных (аргона и др.) газов, а также горючих газов (водорода, ацетилена, его заменителей), применяемых в различных видах термической резки и правки.

## Направления научных исследований, разработки и достижения отдела № 18 ИЭС им. Е.О. Патона.

*С.Ю. Максимов*

Отдел № 18 ИЭС им. Е.О. Патона: «Отдел физико-механических исследований свариваемости конструкционных сталей», был организован в 1966 г. известным ученым в области прочности сварных соединений и конструкций А.Е. Аснисом. Задачей отдела стало решение научных проблем обеспечения качества конструкционных материалов и сварных конструкций, рациональное проектирование и выполнение сварных узлов с учетом соответствия способов сварки и материалов условиям эксплуатации. В статье приведены основные этапы становления отдела, дана информация о проводимых исследованиях, основных достижениях и воспитании научных кадров.

## Направления научных исследований, разработки и достижения отдела прочности сварных конструкций ИЭС им. Е.О. Патона.

*В.В. Кныш*

Представлены основные направления научных исследований отдела прочности сварных конструкций ИЭС им. Е.О. Патона. Описаны результаты экспериментальных и теоретических исследований прочности сварных соединений при статическом, переменном и ударном нагружении за весь период деятельности отдела, начиная с 1963 г. Отмечен вклад ведущих сотрудников отдела в решение задач повышения прочности, надежности и долговечности сварных металлоконструкций. Приведен перечень нормативных документов, в основу которых положены разработки отдела.

## Новый торцеватель из гаммы отечественного оборудования для подготовки к сварке неповоротных стыков трубопроводов атомных электростанций.

*Л.М. Лобанов, Н.М. Махлин, В.Е. Водолазский, В.Е. Попов, Л.П. Муценко, Д.С. Олияненко, С.И. Лавров, А.А. Кириленко, В.Г. Притыка, А.В. Ковалюк*

Приведены результаты разработок ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ и его подразделения ГП «Научно-инженерный центр сварки и контроля в отрасли атомной энергетики Украины ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ» по созданию инновационного образца торцевателя для подготовки к дуговой сварке стыков трубопроводов с номинальным внешним диаметром от 76 до 108 мм. Это позволило завершить разработку гаммы отечественных современных торцевателей с внешним базированием и безопасным унифицированным пневмоприводом, применение которых необходимо при монтаже, ремонте и модернизации объектов энергетики, в т.ч. энергоблоков АЭС, в химическом, фармакологическом и энергетическом машиностроении, в судостроении, на предприятиях нефтегазового и аэрокосмического комплексов и в др. отраслях.

## Испытания ручных горелок и резаков после ремонта.

*В.М. Литвинов, Ю.Н. Лысенко, С.А. Чумак*

В статье собраны и представлены материалы нормативно-технической и справочной литературы по испытанию ручных горелок и резаков. Рассмотрены вопросы организации, условий проведения испытаний; определены объекты испытаний. Представлены материально-техническое обеспечение и измерительные приборы. Сформулированы программа и методы испытаний. Предложены способы устранения неисправностей, выявленных в процессе испытаний. Рассмотрены обработка, анализ и оценка результатов испытаний.



## Конференция концерна «РОСАТОМ»

С 10 по 12 июля 2019 г. в Санкт-Петербурге прошла научно-практическая конференция предприятий концерна «РОСАТОМ» по сварочному производству «Технический тур «Применение порошковой проволоки, новых высокопроизводительных сварочных технологий и оборудования».

Целью тура стала демонстрация эффективности применения порошковой проволоки и цифровых сварочных технологий. В мероприятии приняли участие представители ключевых предприятий концерна, а также подрядчиков из отраслевых институтов, проводящих испытания для атомной промышленности.

Инновационные продукция и технологии группы компаний АО НПФ «ИТС» помогают решить одну из главных стратегических задач отраслевой программы по повышению эффективности системы проектирования РОСАТОМ-а – сокращение стоимости и сроков строительства энергоблоков АЭС.

Участники технического тура смогли на практике познакомиться с преимуществами разработок «ИТС», в режиме реального времени ставили конкретные производственные задачи и рассматривали предлагаемые докладчиками варианты использования тех или иных решений.

Сварка порошковой проволокой показала неоспоримые преимущества по скорости и качеству сварного соединения по сравнению с проволокой сплошного сечения. Сварочные комплексы и новейшее программное обеспечение, выпускаемые группой компаний «ИТС»,



также продемонстрировали увеличение скорости сварки в несколько раз. К тому же они делают работу сварщиков более эффективной и удобной. В этом участники тура смогли убедиться сами во время практических демонстраций оборудования. На комплексе для автоматической сварки «Восход» провели сварку прямолинейных стыковых соединений в различных пространственных положениях и орбитальную сварку на трубе из нержавеющей стали. Кроме этого, атомщики смогли лично ознакомиться с новым сварочным оборудованием инверторного типа от группы компаний «ИТС».

Материалы и технологии АО НПФ «ИТС», в т. ч. порошковая проволока, которая производится на «Электросварке», прошли конкурсный отбор и включены в «Реестр инновационных решений, технологий, продукции, изделий, материалов, высокотехнологичных услуг в сфере капитального строительства объектов использования атомной энергии» (база НДТ) и рекомендованы к широкому применению в атомной отрасли.

[www.ao-esva.com](http://www.ao-esva.com)

●#1175

## СК «Звезда» внедряет инновационные технологии сварки

Судостроительный комплекс (СК) «Звезда» в г. Большой Камень внедряет инновационную технологию сварки тавровых балок. Такие балки используются в конструкции корпусов судов для повышения их жесткости. Экономический эффект от использования технологии на ближайшие 25 лет составит более 200 млн руб.

Для повышения производительности линии изготовления тавровой балки специалисты СК «Звезда» при сварке швов применили технологию индукционного нагрева электропроводящих материалов токами высокой частоты и большой величины. Такой метод сварки позволяет повысить эффективность производства до 40 %, а также исключить технологические деформации, возникающие при традиционных методах сварки. Технология индукционного нагрева позволит повысить энергоэффективность предприятия, снизить себестоимость производства изделия, а также автоматизирует процесс.

Индукционный нагрев имеет высокий уровень экологической и пожарной безопасности. Применяется для: сверхчистой бесконтактной плавки, пайки и сварки металла; получения опытных образцов сплавов; гибки и термообработки деталей машин; обработки мелких деталей, которые могут повредиться при газопламенном или дуговом нагреве; поверхностной закалки.

СК «Звезда» создается на базе Дальневосточного центра судостроения и судоремонта в бухте



Большой Камень около г. Владивосток консорциумом Роснефтегаза, Роснефти и Газпромбанка по поручению президента РФ.

Пилотную загрузку комплексу обеспечивает Роснефть, которая заключила с ДЦСС эксклюзивное соглашение о размещении всех заказов на строительство новой морской техники и судов на его мощностях.

Сейчас Роснефть активно развивает социальную инфраструктуру в г. Большой Камень и строит жилые дома для сотрудников судостроения. Уже сданы и заселены 2 дома, ведется активное строительство целого квартала.

Всего до 2023 г. планируется построить около 5 тыс. квартир, полностью обеспечив потребности работников в жилье. Численность работников «Звезды» в июне 2019 г. достигла 2,5 тыс. человек – это около 1/3 от полного штата в 7 тыс. человек, который Роснефть планирует укомплектовать в 2024 г.

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

●#1176

## Формируем будущее отрасли вместе: компания ESAB поддерживает проект госкорпорации Росатом – AtomSkills-2019

Компания ESAB выступила партнером IV отраслевого чемпионата профессионального мастерства AtomSkills-2019, который проходил в Екатеринбурге с 7 по 10 июня 2019 г.

Корпоративный чемпионат компании Росатом – AtomSkills существует с 2016 г. и все это время компания ESAB выступает его единственным партнером в номинации «Сварочные технологии», полностью обеспечивая мероприятие сварочным оборудованием, материалами и средствами индивидуальной защиты. В этом году участникам также был предоставлен робототехнический комплекс сварки на платформе KUKA.

Количество молодых специалистов и экспертов превысило все предыдущие годы – свыше 1 200 участников и экспертов представили более 80 предприятий и опорных ВУЗ-ов Росатома.

Компания ESAB стремится оказывать всестороннюю поддержку инициативам компании Росатом, главной задачей которых является не только обучение молодых специалистов-сварщиков, но и популяризация рабочих профессий. Оборудование от ESAB дает возможность представить профессию сварщика интересной, значимой и высокотехнологичной.

«Главным критерием в выборе оборудования для чемпионата среди молодых специалистов была и остается надежность. Для многих участников – это первый опыт сварки и важно, чтобы он прошел успешно. За время нашего сотрудничества оборудование компании ESAB зарекомендовало себя как полностью соответствующее высоким стандартам качества отрасли. А техническая поддержка на мероприятии дополнительно укрепила нашу уверенность в выбранном партнере» – сообщила Анна Ломасова, ведущий специалист Центра по разви-



тию рабочих и инженерных компетенций АНО «Корпоративная Академия Росатома».

AtomSkills – это масштабное отраслевое движение, которое объединяет как школьников и студентов, так и специалистов – профессионалов атомной отрасли. Кроме того, это важный инструмент развития среды для обмена профессиональными знаниями между представителями разных поколений. Проведение чемпионата AtomSkills способствует повышению престижа и статуса рабочих профессий в атомной отрасли. Для молодых сотрудников в возрасте до 28 лет – это шанс войти в состав сборной для участия в Национальном чемпионате WorldSkills Hi-Tech, а для работников старшего возраста – возможность стать частью отраслевого экспертного сообщества и получить признание высокого уровня мастерства для дальнейшего карьерного роста.

Чемпионат AtomSkills ведет свою историю с 2016 г., и по сей день является наиболее значимым и масштабным среди чемпионатов профессионального мастерства по методике WorldSkills, организуемых российскими промышленными компаниями.

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

● #1177

## Сварочный автомат горячего воздуха UNIPLAN 500

Новый сварочный автомат горячего воздуха LEISTER UNIPLAN 500 (Ляйстер, Швейцария) предназначен для ручной и экструзионной сварки конструкций из листовых термопластичных материалов; сварки и восстановления автодеталей; сварки линолеума, технических ПВХ тканей и пленок из различных материалов. Обладает улучшенными показателями скорости и мощности. Двигатель бесщеточный, с увеличенным ресурсом работы.

Быстроръемные приспособления позволяют выполнять больше операций по свариванию технических тканей. Подвижное поворотное колесо позволяет создавать криволинейные швы. UNIPLAN 500 можно быстро переоснастить – перейти от сварки внахлест к сварке подворотов или рукавов за один простой шаг. Контролируемая температура и скорость обеспечивают надежность в работе.

Автоматический, практичный и безопасный, UNIPLAN 500 имеет возможность сохранения оптимальных сварочных параметров. Модернизированная подача насадки в зону сварки, поддержка края

ткани, возможность увеличить вес аппарата – для сварки материалов любой плотности.

Технические характеристики UNIPLAN 500:

- Напряжение: 230 В;
- Частота: 50/60 Гц;
- Мощность: 3 450 Вт;
- Ширина сопла: 20/30/40 мм;
- Температура воздуха: 100-620 °С;

- Скорость: 1-16 м/мин;
- Размер (Д × В × В): 500 × 310 × 300 мм.

В комплект входят: сварочный автомат горячего воздуха UNIPLAN 500 размер сопла 20/30/40 мм, 230 В, 3450 Вт, с евроштекером, транспортировочный ящик, подъемное устройство, 2 дополнительных груза, латунная щетка, ручка для переноски, приспособление для регулировки сопла.

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

● #1178



# История изучения состава воздуха, открытие кислорода и некоторых горючих газов, жидкостей и инертных газов для термической резки и правки \*

В.И. Панов, УрФУ им. Б.Н. Ельцина (Екатеринбург)

*Слово «газ» придумал в 1624 г. голландский химик и врач Ян Батист ван Гельмонт, производя его от греческого χάος («хаос»), означавшего у древних греков понятие «сияющее пространство». Ему же удалось указать на отличие газов от паров (в 1648 г.), которые конденсируются в жидкость при охлаждении. В широкий научный обиход слово «газ» ввел А. Лавуазье (1743-1794 гг.), начиная с 1789 г., когда вышли его «Начальный учебник химии» и основанный им один из первых химических журналов под названием «Анналы химии» [1-8].*

Воздух давно привлекал внимание естествоиспытателей, его изучал китайский ученый Мао Хоа еще в VIII веке новой эры (н.э.), который установил, что в состав воздуха входит вещество, поддерживающий горение и дыхание (кислород).

На заре становления химии, как науки, когда считалось, что химические процессы являются началом многих явлений (в т. ч. и здоровья человека), выделение горючего газа при взаимодействии кислот и металлов наблюдали в XVI - XVII веках.

В изучении химических и физических свойств водорода огромная роль принадлежит лорду Генри Кавендишу (1731-1810 гг.), который в 1766 г. опубликовал работу «Искусственный воздух», где сообщалось об открытии «горючего воздуха» (водорода). Он разработал методику собирания, очистки и изучения газов, с помощью которой ему удалось получить в чистом виде водород и углекислый газ, установить их удельный вес и др. свойства. В 1781 г. Кавендиш определил состав воздуха, а в 1784 г., сжигая водород, установил химический состав воды. В демонстрации Королевскому обществу Лондона Кавендиш применил искру к газообразному водороду. Это открытие в дальнейшем позволило ему понять, что вода состоит из «горючего воздуха» (водорода) и кислорода. Будучи сторонником теории флогистона, Кавендиш полагал, что этот легкий и горючий газ и есть чистый флогистон, однако, вскоре отказался от этой идеи.

Название «горючему воздуху» – hydrogène (от древнегреческих слов ὕδωρ – вода и γεννάω – рождаю) – «рождающий воду», как новому химиче-

скому элементу, дал А. Лавуазье в 1788 г. Русское наименование «водород» предложил химик М.Ф. Соловьев в 1824 г.

Открытие кислорода заняло более 10 лет. Официально считается, что кислород был открыт английским химиком Джозефом Пристли 1 августа 1774 г. Ученый решил исследовать действие полученного газа на пламя свечи. Под действием кислорода пламя стало ослепительно ярким. В струе полученного газа сгорела, разбрасывая брызги, железная проволока. Мыши, помещенные в сосуд с кислородом, легко дышали, но скоро погибли. Сам ученый попробовал вдыхать этот газ и отметил, что он «помогает легким дышать». Однако Пристли первоначально не понял, что открыл новое простое вещество, он считал, что выделил одну из составных частей воздуха (и назвал этот газ «дефлогистированным воздухом»). О своем открытии Пристли сообщил выдающемуся французскому химику Антуану Лавуазье.

Несколькими годами ранее кислород получил шведский химик-фармацевт Карл Вильгельм Шееле [9], который назвал этот газ «огненным воздухом» и описал свое открытие в изданной в 1777 г. книге (книга опубликована позже, чем сообщил о своем открытии кислорода Джозеф Пристли). Шееле также сообщил Лавуазье о своем опыте.

Окончательно разобрался в природе полученного газа А. Лавуазье, воспользовавшийся информацией от Пристли и Шееле. Его работа имела громадное значение, благодаря ей была ниспровергнута господствовавшая в то время флогистонная теория.

Таким образом, заслугу открытия кислорода фактически делят между собой Пристли, Шееле и Лавуазье.

После обнаружения кислорода его назвали «dephlogisticated air» («дефлогистированный воздух»), т. е. вещество, способное к объединению с большим количеством флогистона и способное поддерживать горение дольше, чем обычный воздух.

Написание этого газа – oxugèn предложил А. Лавуазье (от древнегреческих слов ὄξύς – «кислый» и γεννάω – «рождаю»), которое переводится как «рождающий кислоту». Своим появлением в русском

\* Часть 2, часть 1 – «Сварщик в России» № 3 - 2019

языке слово кислород обязано М.В. Ломоносову.

Сейчас этот газ считается сильнейшим окислителем после фтора, он образует бинарные соединения (оксиды) со всеми элементами, кроме гелия, неона, аргона.

Также отметим, что в 1845 г. швейцарский химик Жан Шарль Мариньяк (1817-1894 гг.) получил озон пропусканием электрической искры через кислород.

Говоря о водороде и кислороде, нельзя не остановиться на опытах, связанных с водой.

Французский химик А. Лавуазье совместно с инженером Жаном Менье, используя специальные газометры, в 1783 г. осуществил синтез воды, а затем и ее анализ, разложив водяной пар раскаленным железом. Так он установил, что «горючий воздух» (водород) входит в состав воды и может быть из нее полностью удален.

Г. Кавендиш в 1784 г., сжигая водород, установил химический состав воды, опровергнув представления об ее элементарности.

В 1800 г. Уильям Николсон и Энтони Карлайл обнаружили, что при пропускании электрического тока через воду она разлагается на водород и кислород. Этот процесс позже М. Фарадеем был назван «электролизом» (1834 г.), а в 1801 г. Р. Хейер разработал способ получения кислорода и водорода этим электролитическим путем. Другой способ получения водорода и кислорода путем разложения воды предложил Г. Дэви в 1802 г. Первый аппарат, способный выделять водород с последующим получением водородного пламени в горелке, предложил немецкий химик Д. Рихман в 1840 г.

В 1888 г. Д.А. Лачинов (1842-1902 гг.) – физик, электротехник, разработал мощный электролизер для разложения воды, и благодаря этому водород и кислород стали более доступны. Область их применения до конца XIX в. почти не расширилась, несмотря на то, что уже существовали промышленные способы сжатия газов.

Путь к сжижению газов был долог до тех пор, пока не получила свое развитие физика низких температур.

Первые опыты по сжижению газов проводил Майкл Фарадей. Он показал, что газы, такие как хлор, диоксид серы и аммиак могут быть сжижены при низких температурах (до – 110 °С). Но многие др. газы, в частности, кислород, азот, водород, углекислый газ и метан, не поддавались сжижению его методами даже при крайне высоких давлениях, за что позднее они получили название постоянных газов. Кстати, именно М. Фарадей в 1834 г. сформулировал такие понятия, как «электрод», «катод», «анод», широко применяемые в сварочных процессах.

Воздух также считался «постоянным» газом, пока в 1860-х гг. физикам из Швейцарии (Р. Пикте) и Франции (П. Кайете) не удалось превратить воз-

дух в жидкость в условиях высокого давления (32 атм.) и низкой температуры (- 141 °С). Однако жидкий воздух быстро испарялся, практического применения это открытие не находило. В 1885 г. английский (шотландский) физик и химик Джеймс Дьюар предложил сосуд с полой оболочкой, из которой выкачен воздух («сосуд Дьюара»), поэтому низкая температура в нем сохраняется длительное время. Таким образом, возникли условия для глубокого изучения свойств жидкого воздуха.

Газы сжижали оригинальным и сложным каскадным методом, который был предложен швейцарским физиком Р.П. Пикте (1846-1929 гг.). В дальнейшем Пикте сжижал азот, водород и углекислый газ. Но этот способ оказался непригодным для сжижения водорода и гелия.

В 1887 г. Каролю Ольшевскому и Зигмунду Врублевскому в Краковском университете и Джеймсу Дьюару в Лондонском королевском институте удалось получить в жидком виде многие постоянные газы, в т. ч. кислород, азот и монооксид углерода, в таких количествах, которые позволяли провести точные измерения и установить их низкотемпературные свойства. В 1894 г. будущий лауреат Нобелевской премии Хейе Камерлинг-Оннес [10] в Лейденском университете (Нидерланды) разработал новый метод сжижения воздуха, а затем более совершенные методы сжижения воздуха были найдены Ж. Клодом во Франции и К. Гейландтом в Германии. Этими работами был заложен фундамент промышленности разделения газов. Впервые сжижать водород удалось в 1888 г. Дж. Дьюару. Таким образом, к концу XIX века были сжижены все постоянные газы, кроме гелия, и завершены измерения их точек кипения и др. параметров.

В 1890-х гг. Бейли (Англия) и К. фон Линде (Германия) одновременно обнаружили, что при частичном испарении воздуха в нем повышается содержание кислорода, а жидкий азот (др. основная составляющая воздуха) кипит при более низкой температуре, чем кислород.

Однако именно Карл фон Линде первым понял, что открывается возможность получения дешевого кислорода и в 1902 г. создал ректификационный аппарат (аммиачную холодильную машину) для разделения жидкого воздуха на компоненты, которую впоследствии назвали установкой Линде, а криогенный цикл разделения воздуха – циклом Линде. Таким образом, появилась возможность применения кислорода в промышленных масштабах. В производственных и лабораторных условиях очень часто пользуются кислородом, поставляемым в стальных баллонах под давлением около 15 МПа (150 кг/см<sup>2</sup>). Фирма Лер – Ликвид (Франция) и фирма Гейланд (Германия) разработали способ доставки кислорода в жидком виде в специальных танках.

Ректификацию во всем мире применяют в самых различных областях химической техноло-

гии, где выделение компонентов в чистом виде имеет весьма важное значение (в производствах органического синтеза, изотопов, полимеров, полупроводников и различных др. веществ высокой чистоты). В настоящее время в промышленности известны кислородные установки, работающие на основе мембранной технологии.

Долгую историю имеет и промышленное получение ацетилена, который постепенно почти полностью вытеснил водород. Непосредственно ацетиленовое пламя изучали Ф. Велер и М. Бертелло. Они оба отмечали яркий цвет сильно коптящего пламени. Коммерческого интереса это пламя не представляло. Скорее всего, это связано с тем, что получение ацетилена носило непромышленный характер (известно 7 лабораторных способов получения этого горючего газа). Например, немецкий химик и врач И.И. Бехер (1635-1682 гг.) получил ацетилен при воздействии кислоты и спирта). В 1836 г. английский физик Эдмунд Дэви воздействовал на карбид кальция водой и получил газ, который он назвал «двууглеродистым водородом». В 1855 г. французский химик Марселен Бертелло (Бертло) сумел получить «двууглеродистый водород» сразу несколькими способами, в частности, пропуская пары этилена, метилового и этилового спирта через раскаленную докрасна трубку, он назвал полученный газ ацетиленом. Термин «ацетилен» связан со словом «уксус». В 1862 г. Бертелло синтезировал ацетилен и вызвал его полимеризацию, пропуская водород через пламя электрической дуги между двумя угольными электродами.

Химик и врач Фридрих Велер в 1862 г., проведя серию опытов, объявил об открытии способа получения ацетилена из карбида кальция ( $\text{CaC}_2$ ).

Карбид кальция был дорогим химическим соединением, получаемым только в лабораторных условиях. Потребовались годы, чтобы найти дешевый промышленный способ получения карбида кальция.

Впервые карбид кальция при опытах с электрической печью был получен Геру в 1840 г. Однако, его промышленное изготовление началось позднее, когда в 1892 г. канадский инженер-электрик Т.Л. Вильсон получил карбид кальция в электропечи (патент США). В Европе плавку карбида кальция и угля с использованием пламени электрического тока произвел лауреат Нобелевской премии французский химик Анри Муассан. Использовалась негашеная известь, которая вступала во взаимодействие с угольным электродом. В 1894 г. сотрудник Муассана Бюлье подал заявку на электродуговой способ получения карбида кальция. Себестоимость карбида кальция снизилась во много раз.

В средние века для освещения улиц в ряде городов Ближнего Востока, Южной Италии и др. применялась нефть. В Москве и в Петербурге использовали свечи, а в маленьких городах, деревнях и селах – лучинки. Первые газовые фонари заж-

лись в Санкт-Петербурге на Аптекарском острове в 1819 г. Газ, который применялся, получали путем газификации каменного угля и горючих сланцев. Он назывался светильным газом. Положение изменилось, когда появился ацетилен. Этот газ стал широко использоваться в фонарях уличного освещения, они давали в 15 раз больше света, чем обычные газовые фонари. К 1900 г. ацетилен применяли и для домашнего освещения, он горел в шахтерских лампах и автомобильных фарах.

Разработка ацетиленовых генераторов промышленного применения отнесена к 1901 г., достаточно сказать, что только в Англии было запатентовано более 300 типов генераторов.

В настоящее время известны методы получения ацетилена из метана:

- путем электрического крекинга (пропуская струю метана между электродами при температуре  $1600\text{ }^\circ\text{C}$ );
- путем термически окислительного крекинга (неполного окисления), где в реакции используют теплоту частичного сгорания ацетилена.

Не менее интересна и история развития применения газообразных и жидкостных заменителей ацетилена. Ацетилен считался дорогим газом, поэтому в середине XX века стали применяться газы – заменители ацетилена – природный, пропан-бутановая смесь и др. [11-13].

Хотя состав природного газа зависит от характера газового месторождения, его основным компонентом является метан.

Пропан-бутановая смесь является универсальным синтетическим газом, получаемым из попутного нефтяного газа или при переработке нефти, т. е. фактически это побочный продукт. Получение этой смеси стало возможным после того, как В.Г. Шухов в 1891 г. изобрел крекинг (от английского слова *cracking* – расщепление) – процесс разложения углеводородов нефти на более летучие вещества.

Среди современных заменителей ацетилена можно выделить сжиженный газ МАФ (метил-ацетиленовая фракция). МАФ гораздо безопаснее ацетилена, в 2-3 раза дешевле и удобнее при транспортировке. Благодаря высокой температуре сгорания газа в кислороде ( $2927\text{ }^\circ\text{C}$ ) и высокому тепловыделению ( $20\ 800\text{ ккал/м}^2$ ), газовая резка с использованием МАФ гораздо эффективнее резки с использованием др. газов.

Несомненный интерес представляет использование дициана, имеющего высокую температуру сгорания ( $4500\text{ }^\circ\text{C}$ ). Препятствием к расширенному применению дициана является его повышенная токсичность. С др. стороны, эффективность дициана весьма высока. Пламя дициана с кислородом, истекающее из сварочной горелки, имеет резкие очертания, очень инертно к обрабатываемому металлу, короткое по длине и имеет пурпурно-фиолетовый оттенок.

Обрабатываемый металл (сталь) буквально «течет», и при использовании дициана допустимы очень большие скорости сварки и резки металла.

Среди горючих веществ находят место и пары легко воспламеняющихся жидкостей – керосина и бензина, являющихся продуктами переработки нефти, причем в XIX веке пользовались в основном керосином:

- как антисептическим средством;
- для освещения домов и улиц в осветительных лампах;
- как горючее для заправки нагревательных приборов (примусов и др.).

В конце XVIII века была изобретена многофункциональная лампа, с появлением которой увеличился спрос на керосин.

В газопламенной обработке используется осветительный керосин. Он является прозрачной, бесцветной (или слегка желтоватой) жидкостью, слегка маслянистой на ощупь, легко воспламеняемым продуктом. Его название происходит от греческого слова «κηρός» (воск).

Бензин представляет собой также легко воспламеняющую и легко испаряющуюся прозрачную жидкость с резким характерным запахом. Официально считается, что впервые эту горючую жидкость получил Майкл Фарадей из нефти из Малой Азии, поэтому он дал новому продукту название от слов арабского происхождения («luban jāvi»). Затем появилось его латинское обозначение «benzo». Термин benzin был впервые введен немецким химиком Митшерлихом в 1833 г. для обозначения производного бензойной кислоты. Русское слово бензин заимствовано из французского языка (benzine).

История открытия жидких легких углеводородных смесей непосредственно связана с автомобилем и началась с курьеза. В 1910 г. автолюбитель из американского г. Питтсбург обратил внимание на то, что купленный им бензин испаряется невероятно быстро. Он тут же отправился к знакомому химику Уолтеру Снеллингу, который исследовал принесенное ему топливо и обнаружил, что быстро испаряющаяся жидкость представляет собой смесь пропана, бутана и др. углеводородных газов. Несколько лет спустя Снеллинг построил установку разделения бензина на жидкие и газообразные компоненты. Первый автомобиль на сжиженном углеводородном газе был испытан в 1913 г.

Среди жидких горючих самую высокую температуру сгорания (5 000 °С) имеет ацетилендинитрил и его смеси с углеводородами. Ацетилендинитрил склонен при сильном нагреве к взрывному разложению, но в составе смесей с углеводородами гораздо более стабилен. В настоящее время производство ацетилендинитрила очень ограничено и стоимость его высока, но при развитии производства ацетилендинитрила, он может весьма ощутимо расширить технологические процессы газопла-

менной обработки во всех ее областях применения.

Несколько слов о получении газов, которые в настоящее время широко применяются в различных видах термической резки и правки, в различных технологических процессах газопламенной обработки.

В современных высокотемпературных источниках (плазменных, лазерных) широко используются активные и инертные газы [14]. В частности, в качестве плазмообразующего газа используют как однокомпонентные газы (аргон, азот, гелий, кислород), так и многокомпонентные (аргон + водород, воздух, азот + кислород). Для резки низкоуглеродистых и низколегированных сталей широко применяют очищенный от масла и влаги воздух.

Впервые аргон обнаружил в 1785 г. Генри Кавендиш, но он не смог определить его физические и химические свойства и прекратил исследования. Позднее на записи Кавендиша обратил внимание Джеймс Максвелл. И лишь 7 августа 1894 г. будущие Нобелевские лауреаты химик У. Рамзай и физик Д.У. Стретт (лорд Рэлей) сделали доклад в Оксфорде на собрании Британской ассоциации естествоиспытателей, физиков и химиков об открытии нового элемента, который назвали аргоном. Название нового газа произошло от греческого слова ἀργός, что в переводе означает – неактивный, медленный.

Гелий впервые был идентифицирован как химический элемент в Индии в 1868 г. французским астрономом, членом Парижской Академии наук, членом Лондонского королевского общества Пьером Жансеном (1824-1909 гг.) при изучении протуберанцев Солнца во время его полного затмения.

До сих пор ведутся споры о том, кто был первооткрывателем азота.

«Мефитический» воздух (именно так долго именовался азот) был получен Г. Кавендишем в 1772 г. в результате многократного пропускания обычного воздуха над раскаленным углем. Но ученый не сумел понять, что это новое простое вещество является химическим элементом. Кавендиш своевременно не опубликовал результаты этих исследований, поэтому приоритет открытия азота (или «испорченного» воздуха) обычно приписывают шотландскому химику, врачу и ботанику Даниэлю Резерфорду (1749-1819 гг.) В 1772 г. Резерфорд ошибочно считал его воздухом, насыщенным флогистонем, который не поддерживал дыхания и горения, не поглощался раствором щелочи.

Позднее А. Лавуазье показал, что «мефитический» воздух входит в состав воздуха наряду с «чистым» воздухом (кислородом).

Также существует несколько версий происхождения термина «азот». По одной из них этот термин предложил в 1787 г. Лавуазье (от французского слова azote). По наиболее распространенной версии термин происходит от древнегреческого слова ἄζωτος – безжизненный. Возможно, слово «азот»

произошло от одного из двух арабских слов – либо от слова «аз-зат» («сущность» или «внутренняя реальность»), либо от слова «зибак» («ртуть»). На латыни азот называется nitrogenium, т. е. «рождающий селитру», отсюда символ N, который предложил французский химик Ж. Шаптал в 1790 г.

Открытие углекислого газа положило начало новой отрасли химии – пневмато-химии (химии газов). Первым, кто наблюдал его, был Ван-Гельмонт, назвав его «диким газом». Официально его открыл шотландский химик Джозеф Блэк (1728-1799 гг.) в 1754 г., назвав его «фиксируемым воздухом». Несколько лет спустя Г. Кавендиш, верный своему правилу все определять «мерой, числом и весом», обнаружил еще два характерных физических свойства углекислого газа: его высокий удельный вес и значительную растворимость в воде. Опыты Кавендиша продолжил Лавуазье.

Неон (латинское слово neon, на греческом языке этот термин означает – новый) открыт английскими химиками У. Рамзаем и М. Траверсом в 1898 г. при исследовании с помощью спектроскопа первых порций газа, испаряющихся из жидкого воздуха.

*Продолжение в следующих номерах*

#### Литература

1. Волков В.А., Вонский Е.В., Кузнецова Г.И. Выдающиеся химики мира. – М.: Высшая школа, 1991. – 658 с.
2. Фигуровский Н.А. Очерк общей истории химии. От древнейших времен до начала XIX века. – М.: Наука, 1969. – 455 с.
3. Биографии великих химиков. Перевод с нем.

под ред. Быкова Г.В. – М.: Мир, 1981. – 320 с.

4. Соловьев Ю.И. Борис Николаевич Меншуткин: Химик и историк науки. – М.: Наука, 1983. – 232 с.
5. Химическая энциклопедия: в 5 т. / гл. ред. И.Л. Кнунянц // М.: Советская энциклопедия, 1990. – 671 с.
6. Справочник химика / Редкол.: Никольский Б. П. и др. // 3-е изд., испр. – Л.: Химия, 1971. – Т. 2. – 1168 с.
7. Храмов Ю.А. Физики: Биографический справочник / Под ред. А.И. Ахиезера. – Изд. 2-е, испр. и полн. // М.: Наука, 1983. – 400 с.
8. Справочник «Сварочное дело» в 2-х т. / сост. и общ. ред. М.К. Гусельщиков. // Л. - М.: Госуд. научно-техн. Изд-во по машино-, металло-обр-ке и черн. металл-ии, 1933.
9. К.В. Шееле (1742-1786) / Энциклопедический словарь юного химика. 2-е изд. // Сост. В.А. Крицман, В.В. Станцо. – М.: Педагогика, 1990. – 114 с.
10. Лауреаты Нобелевской премии: Энциклопедия. Пер. с англ. Т. 1. – М.: Прогресс, 1992. – 740 с.
11. Полевой Г.В., Сухинин Г.К. Газопламенная обработка металлов: учебн. – М.: Машиностроение, 2005. – 333 с.
12. Нинбург А.К. Газопламенная обработка металлов с использованием газов-заменителей ацетиленов / М.: Машиностроение, 1976. – 152 с.
13. Якушев В.С. Природный газ и газовые гидраты в криолитозоне. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2009. – 192 с.
14. Фигуровский Н.А. Открытие элементов и происхождение их названий. – М.: Наука, 1970. – 207 с.

●#1179

## В Калининграде состоялся первый фестиваль сварки WeldFest 2019

13 июля 2019 г. в Калининграде прошел первый в регионе фестиваль сварки «WeldFest 2019». Это уникальное событие объединило не только сварщиков Калининграда и области, но и представителей др. промышленных специальностей.

В рамках фестиваля состоялся конкурс на звание лучшего сварщика. В нем приняли участие 38 профессионалов, среди которых были и сотрудники предприятий, и частные специалисты.

Конкурс прошел в 3 этапа, на каждом из которых сварщики демонстрировали свои профессиональные навыки, выполняя все более сложные задания.

По результатам конкурса судейская комиссия, в состав которой вошли главные специалисты крупнейших предприятий, выбрала тройку лучших. Им достались призы и подарки от организаторов и партнеров фестиваля.

Сварщику ГК «Сибирьэнергоинжиниринг» Анатолию Запченко, по праву занявшего первое место, достался главный приз – сварочная маска «Рубеж» в новом, улучшенном корпусе.

На фестивале было представлено оборудование для сварочной механизации, а также услуги по различным видам металлообработки – от фрезеровки и токарных работ до плазменной и гидроабразивной



резки металлов и др. материалов

Качество оборудования и услуг можно было оценить на месте, особый интерес вызывали детали из хрупких многослойных композитных материалов, стекла и камня, а также идеально стыкующиеся элементы из металла.

Финальным подарком для всех гостей фестиваля стало выступление калининградских кавер-групп «Чайнатаун», KÖNIG TRIBUTE BAND и хедлайнера фестиваля – экс-солистки группы «Ленинград» Юлии Коган.

www.ao-esva.com

●#1180

# Направления научных исследований, разработки и достижения отдела № 18 ИЭС им. Е.О. Патона

**С.Ю. Максимов**, д. т. н., ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ (Киев)

*Научный отдел №18 Института электросварки им. Е.О. Патона, получивший название «Отдел физико-механических исследований свариваемости конструкционных сталей» в дни его образования в 1966 г., был организован уже известным ученым в области прочности сварных соединений и конструкций Аркадием Ефимовичем Аснисом, который оставался бессменным руководителем отдела более 20 лет до конца жизни (1987 г.). В первоначальный состав созданного научного коллектива как основатели также вошли трудившиеся в Институте в довоенные годы и на Урале в годы Великой отечественной войны Л.М. Гутман и Т.М. Слуцкая.*

Отдел № 18 был создан на базе руководимой А.Е. Аснисом структурной лаборатории механических испытаний. В ней выполнялись исследования по вопросам прочности сварных соединений массовых и специальных конструкционных сталей в условиях статического и динамического нагружения, включая задания по методическим разработкам для определения прочностных характеристик сварных швов и соединений при всех видах нагружений при нормальных и повышенных температурах в условиях кратковременного и длительного воздействия. Требовалась разработка унифицированных и признанных службами стандартизации испытательных образцов и технологических проб для правильной оценки соответствия новых способов сварки, сварочных материалов и технологических рекомендаций уровню требований по обеспечению необходимой и прогнозируемой несущей способности сварных изделий и конструкций. На базе массива многочисленных оригинальных данных, полученных в результате исследований лаборатории, А.Е. Аснис в 1963 г. успешно защитил докторскую диссертацию по проблемам динамической прочности сварных конструкций и узлов из массовых малоуглеродистых и низколегированных сталей. В 1967 г., когда вышли в свет важнейшие публикации д. т. н. А.Е. Асниса и уже сформировалась его научная школа, ему было присвоено звание профессора.

Приобретенный ценный опыт экспериментальных исследований и сформулированные профессором А.Е. Аснисом теоретические обобщения позволили определить основное научное направление деятельности отдела № 18 в его первоначаль-

ный период становления в конце 1960-х гг. Это направление можно сформулировать как решение научных проблем прочности с изучением материаловедческих вопросов обеспечения качества конструкционных материалов и сварных конструкций массового назначения, рациональное проектирование и выполнение сварных узлов в конструкциях ответственного назначения с учетом соответствия способов сварки и материалов условиям эксплуатации сварных узлов как несущей части конструкции в целом. В процессе научной и практической деятельности отдела эти работы были расширены до задач оценки перспективности способов и технологических процессов сварки в машиностроении и на транспорте, в котлостроении, металлургической, автомобильной и др. отраслях промышленности, включая исследования по совершенствованию состава и служебных свойств конструкционных сталей, подлежащих сварке плавлением. Этими работами руководил лично профессор А.Е. Аснис, приобщая к ним своих учеников из числа молодых специалистов сварщиков и механиков.

Имеющая большой опыт научной работы к.т.н. Л.М. Гутман выполняла обширный круг заданий в основном прикладного характера. Чтобы представить сложность ее заданий и загруженность, достаточно назвать некоторые из них. Это разработки технологии сварки под флюсом соединений средне- и высокоуглеродистых сталей, в т. ч. литых, способа восстановления изношенных высокоуглеродистых бандажей, цельнокатаных колес и деталей



Рис. 1. Аснис А.Е. и Гутман Л.М.  
Демонстрация разработок отдела

автосцепки железнодорожного подвижного состава, создание технологии и оборудования для восстановления изношенных отверстий звеньев гусеничных машин, разработка технологии механизированной сварки обсадных труб, разработка, сертификация и воплощение в производство металлического покрытого электрода для дуговой резки металлов вместо воздушно-дуговой резки угольным электродом и др.

Будучи химиком по специальности и достаточно глубоко изучив особенности металлургии дуговой сварки, к.т.н. Т.М. Слуцкая плотно занялась тематикой по механизированной сварке открытой дугой на воздухе, так называемой «голой» проволокой, применительно к задачам строительства с целью упрощения техники сварки в монтажных условиях. Исследования были направлены на установление принципов легирования электродного материала с использованием редких и редкоземельных металлов, чтобы нейтрализовать вредное влияние окружающей воздушной среды главным образом за счет связывания азота в стойкие нитриды с обеспечением их равномерного распределения по телу зерна в структуре шва. Эта смелая идея в значительной мере реализовалась, были созданы две марки проволок для механизированной сварки без газовой защиты дуги и расплавленного металла, нашедших эффективное применение для соединения арматуры ванным дуговым способом (проволоки ЭП245 и ЭП439).

Начиная с 1967 г., тематика и круг прикладных задач, решаемых отделом № 18, стали существенно расширяться. К новым вопросам относятся сварка среднеуглеродистых катаных и высокоуглеродистых литых сталей (Л.М. Гутман, Я.М. Юзькив), металлургия и технологические процессы механизированной дуговой сварки и наплавки конструкционных серых и высокопрочных чугунов (Ю.Я. Грецкий,



Рис. 2. Сварщик Руденко Н.И., к.т.н. Иващенко Г.А. и инженер Бут В.С. Испытание образца трубы, отремонтированного сваркой под давлением



Рис. 3. Ремонт магистрального трубопровода в режиме эксплуатации

В.А. Метлицкий), особенности механизированной сварки в защитных газах и смесях активированными проволоками сплошного сечения (В.Р. Покладий). В отдел была переведена лаборатория электрошлаковой сварки массовых сталей (И.И. Суцук-Слюсаренко). В составе отдела была образована лаборатория подводной сварки и резки металлов (И.М. Савич), сформирован отдельный коллектив инженеров для проведения работ по стандартизации сварочных материалов и технологических процессов сварки и наплавки (Я.М. Юзькив). Начаты работы по изысканию конструктивно-технологических решений и технологии сварки на действующих газопроводах без прекращения транспортировки газа под давлением (Г.А. Иващенко, В.С. Бут). Определилась тематика по сварке новых сталей повышенной прочности с карбонитридным упрочнением (Ю.В. Демченко). Решением дирекции Института отдел получил задание регулярно осуществлять оценку сварочно-технологических свойств, предлагаемых отделами ИЭС им. Е.О. Патона новых сварочных материалов и составлять экспертное заключение по ним в целях стандартизации.

В ходе выполнения исследовательских и прикладных работ воспитывались научные кадры отдела. В рамках сформировавшихся научных направлений и тематики были успешно завершены и защищены в качестве диссертаций многие темы соискателями ученой степени кандидата технических наук из числа сотрудников отдела. К их ряду относятся работы Г.А. Иващенко (повышение работоспособности сварных соединений сталей за счет их аргодуговой обработки на границах швов), Я.М. Юзькива (механизированная сварка высокоуглеродистых сталей в смеси газов с повышенной окислительной способностью), В.Р. Покладия (повышение производительности механизированной сварки сталей в  $CO_2$  за счет удлинения вылета электродной проволоки), В.С. Бута (конструктивно-технологические решения по обеспечению надежности сварных узлов и безопасности сварочных работ на магистральных трубопроводах под давлением газа), Ю.В. Демченко (влияние легирования конструкционных сталей с карбонитридным упрочнением на хладостойкость сварных соединений), В.А. Метлиц-



Рис. 4. Ремонт трубопровода под водой

кого (исследование особенностей и разработка технологии сварки и наплавки высокопрочного чугуна порошковой проволокой), И.М. Савича (технология и оборудование для подводной мокрой сварки сталей порошковой проволокой), В.Я. Кононенко (технология механизированной сварки в морской воде низколегированной стали порошковой проволокой), С.Ю. Максимова (разработка электродов для подводной мокрой сварки во всех пространственных положениях конструкционных сталей с пределом текучести до 350 МПа), Ю.Н. Нефедова (технология подводной дуговой резки сталей порошковой проволокой), аспиранта С.В. Крылова (точечно-дуговая сварка листовых элементов стальных конструкций), главного сварщика завода «Ленкузница» Ю.Г. Мосенкиса (снижение металлоемкости угловых швов сварных конструкций с сохранением их надежности), сотрудника Рижского вагоностроительного завода Я.Э. Андерсена (сварка несущих стальных конструкций из проката для подвижного железнодорожного состава) и др. соискателей.

По инициативе директора ИЭС академика Б.Е. Патона в 1966 г. в отделе начались работы по формированию научного направления по металлургии и технологии подводной сварки. Все организационные работы были возложены на И.М. Савича. Инициатива Б.Е. Патона была поддержана Министерством обороны СССР в интересах Военно-морского флота СССР. Поддержка и финансовая, и организационная была весьма существенной, что позволило достаточно быстро, за два-три года, собрать научный коллектив из инженеров и техников, обучить сотрудников водолазному делу и приемам мокрой сварки, оснастить лабораторию и развернуть исследовательские работы по созданию глубоководного полуавтомата и порошковой проволоки для мокрой механизированной сварки малоуглеродистой и низколегированной стали.

Конструкторами ОКТБ ИЭС в отделе В.Е. Патона (В.Б. Смолярко, В.Г. Пачак) и на мощностях ОЗСО ИЭС (Г.Б. Асоянц, Н.М. Дубровский) впервые в мире была создана серия сварочных подводных полуавтоматов с погружным механизмом подачи про-

волоки с возможностью ее перезарядки в воде непосредственно на рабочем месте.

Одновременно с этим в условиях отдела интенсивно выполнялись исследования по изучению металлургических, энергетических и технологических особенностей подводной сварки незащищенной дугой и использования ее как для получения неразъемных соединений, так и выполнения работ по резке металлических объектов на глубинах континентального шельфа (И.М. Савич, А.Г. Рыбченков, В.И. Паньков, А.А. Игнатушенко, В.Я. Кононенко и др.).

В итоге к концу 1960-х гг. был изготовлен первый реально действующий вариант подводного сварочного полуавтомата А-1242 и получен достаточно эффективный состав порошковой проволоки. Эти достижения, уже проверенные на практике, позволили руководителю работ И.М. Савичу обобщить новые научные результаты и практические технические решения в виде кандидатской диссертации, успешно защищенной им в ученом совете ИЭС им. Е.О. Патона.

Необходимо отметить, что в НИР по созданию механизированной подводной сварки конструкционных сталей, именно направленность на механизацию сварочных подводных работ мокрым способом отличала исследования ИЭС им. Е.О. Патона. В мировой же практике механизация сварки осуществлялось только в специальных камерах, изолирующих дуговой процесс от воздействия водной среды в широком диапазоне значений гидростатического давления. Для сварки мокрым способом за рубежом создавались и результативно применялись специальные штучные электроды. В СССР такие работы были начаты в годы войны академиком К.К. Хреновым и продолжены Н.М. Мадатовым, что дало результат, но из-за низкой пластичности металла шва (8-9 %) и его склонности к пористости, электроды изготавливались в ограниченном количестве и использовались для неответственных задач. Это обусловило необходимость проведения работ в ИЭС по созданию электродов, которые бы



Рис. 5. Первые сотрудники лаборатории подводной сварки. Стоят, слева - направо: Игнатушенко А.А., Титаренко В.И., Савич И.М., Дячук А.Г., Рыбченков А.Г. Сидит - Паньков В.И.

при мокрой сварке малоуглеродистых сталей обеспечивали повышение показателей пластичности шва, по крайней мере, вдвое по сравнению с достигнутыми ранее. Непосредственными исполнителями этого задания были И.В. Ляховая и С.Ю. Максимов. Научно обоснованное и эффективное решение было получено и принято производством к концу 1980-х гг. Требуемый уровень прочностных характеристик металла шва и показателей пластичности был обеспечен. Важным достоинством разработанных электродов было также осуществимость дуговой мокрой сварки во всех пространственных положениях (кандидатская диссертация инженера С.Ю. Максимова, 1996 г.).

Работы по подводной дуговой резке (к.т.н. В.Е. Данченко, инженеры Ю.Н. Нефедов, Н.В. Головки) выполнялись в лаборатории параллельно с работами по дуговой сварке. Их итогом стали электроды для ручной электрокислородной резки и три типа порошковых проволок, в основе состава которых положена идея создания высокоокислительной среды в зоне горения дуги за счет богатых кислородом ингредиентов шихты. На основе этой идеи Ю.Н. Нефедов успешно защитил кандидатскую диссертацию (1993 г.).

Во второй половине 1990-х и в первые годы 2000-х были интенсифицированы и углублены исследования с целью расширения технологических возможностей механизированной сварки на глубинах до 100-200 м, установления природы и мер предотвращения пористости швов, повышения стабильности дугового разряда при высоких значениях гидростатического давления, нейтрализации вредного влияния диффузионного водорода на качество сварных соединений, предотвращения холодных трещин в соединениях трубных сталей и др. конструкционных сталей повышенной прочности. Начаты были исследования по сварке нержавеющей сталей применительно к проблемам атомщиков. Новые знания и результаты прикладных работ были обобщены в докторской диссертации к.т.н. С.Ю. Максимова (2006 г., научный консультант – д.т.н., проф. Ю.Я. Грецкий). Ныне научное направление по металлургии и технологии подводной сварки – в числе наиболее востребованных НИР отдела и успешно развивается.

Уже в середине 1970-х на газотранспортной системе СССР четко обозначились технические проблемы, решение которых требовало использования сварки в условиях нахождения магистральной. К их числу относятся присоединение отводов для подачи газа на предприятия и в хозяйства регионов, оперативная ликвидация повреждений, возникающих в процессе эксплуатации, и дефектов, возникших при строительстве и эксплуатации, обнаруживаемых благодаря созданию все более эффективных средств обследования технического состояния. Эти обстоятельства, актуальность отмеченных задач в тот период и на перспективу породили в отделе научное направление по созданию основ и способов сварки на действующих трубопро-

водах без полного снятия давления перекачиваемого газа, что в свою очередь требовало обеспечить безопасность сварщиков и др. персонала в зоне выполнения сварочных работ в условиях сохранения внутреннего давления газа. Комплекс работ был направлен на поиск таких конструктивно-технологических решений, при применении которых исключается прожог стенки трубы, гарантируется отсутствие несплавления и трещин в сварных соединениях, обеспечивается их работоспособность наряду с неповрежденными участками, осуществимость технико-технологических предписаний в условиях пересеченной местности, особенно в горных районах. Связанная с этим тематика и вопросы сотрудничества с госслужбами эксплуатации газопроводов и газообеспечения была возложена на сотрудников отдела к.т.н. Г.А. Иващенко и инженера В.С. Бута. Комплекс решений, связанных с этой проблематикой, был найден, научно обоснован и нашел воплощение в реальных условиях к началу 1980-х гг. Результаты исследований активного участника НИР инженера В.С. Бута послужили основой для успешной защиты кандидатской диссертации (1982 г.). Они же послужили исходной позицией при выполнении НИР по совершенствованию и уточнению технологических подходов в современных условиях с увеличением степени изношенности магистральной и возрастанием объема работ. ИЭС в сотрудничестве с Укртрансгазом выполнил исследования, направленные на обоснованное установление очередности ремонтных работ с ранжированием дефектов по степени опасности, оценку эффективности усиливающих муфт в местах износа трубопровода и определения условий, когда допустимо выполнение сварки непосредственно на теле трубы с коррозионными утонениями. Работа выполнена с участием инженера О.И. Олейника. Им успешно защищена кандидатская диссертация, положения которой позволяют дополнить техдокументацию, рационально распределить во времени ремонтные работы и выполнить их с соблюдением правил безопасности, и с гарантией уровня требуемой несущей способности газопровода.

В условиях борьбы за интенсификацию производства в СССР и повышение качества продукции при соблюдении строгой экономии материалов в 1960-1970 гг. обострились научно-технические проблемы, связанные с производством и эксплуатацией изделий из чугуна. В тот период выпуск чугунных отливок в СССР составлял 73 % всей массы литья, ежегодное их производство достигало 17 млн. т, а общая масса чугунных изделий и оборудования исчислялась сотнями млн. т. К числу таких острых проблем относились увеличение срока службы тонкостенных чугунных деталей силовых агрегатов автомобилей, тракторов, уборочных и др. сельскохозяйственных машин их восстановлением, ремонт уникального оборудования, увеличение выхода годного литья и т. п.

Учитывая это с конца 1967 г. в отделе начала раз-

виваться тематика в области металлургии и технологии дуговой сварки конструкционных чугунов (к.т.н. Ю.Я. Грецкий). В качестве фундаментальных исследований по этой тематике в период 1967-1987 гг. можно назвать физико-химические особенности процессов в зоне сплавления, влияния состава чугуна на формирование структуры при кристаллизации сварочной ванны, физико-металлургические особенности плавления, переноса и образования состава металла в дуговом промежутке, выгорание и переход элементов в ванну при сварке порошковой проволокой и проволокой сплошного сечения, взаимосвязь и взаимное влияние на структуру и свойства металла шва процессов графитизации, модифицирования, затвердевания в условиях ускоренного охлаждения, дегазация, природа пористости и ее предотвращение, природа разного рода трещин в соединениях и обоснованные меры их исключения и т. п. Изучено влияние состава чугуна и металла шва, а также условий сварки и последующего охлаждения на формирование и свойства металла зоны термического влияния. Установлены основы управления механическими и физическими свойствами сварных соединений. Сотрудник лаборатории сварки чугунов В.А. Метлицкий защитил кандидатскую диссертацию на тему «Исследование особенностей и разработка технологии сварки и наплавки высокопрочного чугуна порошковой проволокой» (1977 г.). Результаты обширных исследований обобщены к.т.н. Ю.Я. Грецким в его докторской диссертации «Теоретические основы и технологические процессы механизированной дуговой сварки конструкционных чугунов» (1983 г.).

Все результаты исследований и технологических разработок лаборатории сварки чугунов нашли широкое применение на литейных предприятиях, ремонтных заводах Минавтотранса и сельхозтехники практически во всех республиках СССР.

Глубина результатов исследований отдела № 18 и их непереносимое по традиции воплощение в производство высоко оценены на государственном уровне и научной общественностью. Профессор, д.т.н. А.Е. Аснис получил звание заслуженного деятеля науки и техники УССР (1981 г.). Его труд дважды отмечен Госпремией УССР за разработку и широкое внедрение в народное хозяйство полуспокойных сталей вместо спокойных (1972 г.) и за достижения в области подводной сварки и резки сталей и сплавов (1982 г., совместно с И.М. Савичем и др.). В 1980 г. за разработку и строительство резервуаров большой емкости (50 тыс. куб. м) из рулонированных конструкций А.Е. Аснису присуждена Премия Совета Министров СССР. Также отмечены работы д.т.н. Ю.Я. Грецкого и к.т.н. В.А. Метлицкого за комплекс металлургических и технологических решений в области сварки чугунов, к.т.н. В.Р. Покладия за создание и внедрение активированных сварочных проволок для сварки в защитных газах и их сме-

рях. Госпремии удостоены сотрудники лаборатории подводных технологий к.т.н. И.М. Савич, инженеры А.Г. Рыбченков и В.И. Паньков за комплексную работу по созданию и внедрению метода подводной сварки порошковой проволокой и глубоководного полуавтомата (1982 г.). В 2008 г. к.т.н. В.С. Бут стал Лауреатом госпремии Украины за работу «Ремонт магистральных трубопроводов под давлением».

В 1998 г. д.т.н. Ю.Я. Грецкому присвоено научное звание профессора за воспитание научных кадров и активное участие в учебном процессе подготовки специалистов в НТУУ «КПИ».

Профессор Ю.Я. Грецкий руководил отделом № 18 с 1987 г. по 2001 г., его сменил на этой должности и руководит отделом до настоящего времени доктор технических наук С.Ю. Максимов.

Сотрудниками отдела № 18 написано и опубликовано свыше 900 работ, среди них ряд монографий и методических пособий: А.Е. Аснис «Динамическая прочность сварных соединений из малоуглеродистых сталей» (1962 г.) и «Повышение прочности сварных конструкций» (1985 г.); Ю.Я. Грецкий и др. «Металлография сварных соединений чугуна» (1987 г.); Ю.Я. Грецкий «Металлургические и технологические основы сварки чугуна» (1975 г.); В.А. Лебедев и С.Ю. Максимов «Современное механизированное оборудование для сварки и наплавки и его технико-технологические возможности» (2012 г.).

В отделе подготовлено более 20 кандидатов и докторов наук.

В настоящее время основными научными направлениями деятельности отдела являются: металлургия и технология подводной сварки и резки конструкционных материалов; оборудование и технология механизированной и автоматической сварки нестационарной импульсной дугой; свариваемость и технология сварки массовых низколегированных катаных и литых сталей и конструкционных чугунов.

Выполняются следующие прикладные исследования: разработка методов подводной сварки на глубинах континентального шельфа (до 300 м); создание импульсных технологий дуговой сварки с адаптивным управлением процессом переноса электродного металла и формирования металла шва; создание нового поколения сварочного оборудования на базе вентильных электродвигателей и источников питания с цифровым управлением.

Коллектив отдела участвует и в международных проектах, создана совместная украинско-китайская ключевая лаборатория подводных технологий. Разработки отдела в области сварки и резки под водой, сварки на действующих газопроводах, сварки чугуна без подогрева используются в России, странах Прибалтики, республиках СНГ. Подводные технологии осваиваются также в Азербайджане, Англии и Китае.

# Направления научных исследований, разработки и достижения отдела прочности сварных конструкций ИЭС им. Е.О. Патона

**В.В. Кныш**, чл.-кор. НАНУ, д. т. н., ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ (Киев)

В начале 1930-х гг. вместо клепки стали широко применять сварку в судостроении, промышленном строительстве, транспортном, подъемно-транспортном машиностроении и др. отраслях промышленности. Ее применение позволило внести многие новшества и упрощения, сокращающие объем потребляемого металла и трудоемкость изготовления конструкций. Однако переход с клепки на сварку был достаточно сложным, особенно при изготовлении крупногабаритных металлоконструкций, таких как пролетные строения мостов, резервуары и др.

Оказалось, простая замена клепаных соединений сварными (при существующих технологиях сварки и сварочных материалах) не могла гарантировать надежную работу конструкций, особенно мостов, эксплуатируемых в условиях низких температур и сложного переменного нагружения. Стало ясно, необходим полный пересмотр всех подходов и положений относительно проектирования, изготовления и монтажа металлических пролетных строений (а по сути всех сварных конструкций в целом) – более экономичных по сравнению с клепаными, но которые не всегда в то время отвечали требованиям прочности, долговечности и технологичности.

Большие опасения вызывали остаточные («усадочные») напряжения, возникающие из-за локального нагрева при сварке и последующего неравномерно охладения шва и основного металла.

Несущую способность сварных соединений и конструкций в этот период начали целенаправленно изучать в Лаборатории электросварки при ВУАН (Всеукраинская академия наук, Киев), преобразованной в 1934 г. в Институт электросварки АН УССР. В этой лаборатории, организованной и возглавляемой академиком Е.О. Патонам, первоначальные экспериментальные исследования проводились путем сопоставления результатов испытаний идентичных сварных и клепаных соединений образцов, балок и целых конструкций при статическом, переменном и ударном нагружении.

Проведенные испытания позволили получить наиболее наглядные и убедительные доказательства прочности сварных соединений и преимуществ технологии сварки. Эти результаты сразу же использовались на практике. В этих и других сравнительных ис-

пытаниях сварные соединения разрушались от усталости не по металлу швов, а по основному материалу в зоне соединения. Стало очевидным, что основной причиной их разрушения является концентрация напряжений, создаваемая формой соединения и швов или же технологическими дефектами сварки.

Предполагалось также, что недостаточная прочность и вязкость металла шва, его меньшая однородность, чем у основного металла, будут понижать сопротивление конструкций усталостным разрушениям. В этот период велись работы по изысканию рациональных конструктивных и технологических решений, обеспечивающих заданную циклическую долговечность сварных соединений и узлов. Исследования относились главным образом к мостам, вагонам и кранам. Они убедительно показали, что сварные соединения и узлы могут обоснованно применяться в ответственных конструкциях, воспринимающих воздействие переменных напряжений. Была доказана равнопрочность стыковых соединений со снятым «усилением швов» и основного металла при переменных нагружениях.

Итогом деятельности Института электросварки в области мостостроения данного периода явилось строительство крупнейшего в Европе цельносварного автодорожного моста имени Е.О. Патона через р. Днепр в Киеве (1953 г.).

Дальнейшие исследования прочности сварных соединений знаменуются более углубленным изучением влияния отдельных факторов на циклическую долговечность, совершенствованием методов проведения испытаний и получения более достоверных данных о сопротивлении сварных соединений усталостным разрушениям в многоциклового области. При изучении влияния факторов, обусловленных сваркой, основное внимание уделялось концентрации напряжений, сварочным остаточным напряжениям, изменению свойств металла в зоне швов.

Для выполнения этой важной работы в 1963 г. в Институте электросварки был создан отдел прочности сварных конструкций. За короткий срок был создан один из наибольших в Украине по количеству и мощности испытательного оборудования (максимальное усилие достигало 800 т) испытательный комплекс и организованы целенаправленные широкомас-

штабные исследования несущей способности материалов и сварных соединений при статическом, переменном и ударном нагружениях. Их отличие по сравнению с исследованиями других лабораторий состояло в том, что они проводились на больших образцах и моделях сварных соединений. Это имело принципиальное значение при использовании результатов лабораторных испытаний для прогнозирования работоспособности элементов сварных конструкций. При этом решался целый ряд методических вопросов, связанных с проведением испытаний на усталость и выяснением роли остаточных напряжений в процессе усталостного разрушения.

Исследования по установлению закономерностей усталостного разрушения сварных соединений получили существенное развитие после разработки (совместно с Институтом механики НАНУ) неразрушающего ультразвукового метода измерения остаточных напряжений, основанного на акустоупругости (д.т.н. О.И. Гуца). Были получены результаты, имеющие принципиальное значение. Так, установлено, что в интервале номинальных напряжений, отвечающем многоцикловой области, изменение остаточных напряжений происходит при первом цикле нагружения. Последующие циклы вызывают значительно меньшие изменения, а уровень остаточных напряжений может считаться практически установившимся. Этот уровень напряжений зависит от величины и характера распределения начальных остаточных напряжений, значения коэффициента асимметрии цикла напряжений внешнего нагружения, а также концентрации напряжений, обусловленной формой шва или соединения.

Под руководством чл.-кор. НАНУ В.И. Труфякова получены наиболее полные данные о сопротивлении усталости шести основных видов сварных соединений малоуглеродистых, низколегированных и высокопрочных сталей. Исследования выполнялись по единой методике с учетом влияния остаточных напряжений и многих др. факторов, а также возможного изменения химического состава и способа раскисления стали, ее термообработки, формы разделки кромок под сварку, сварочных материалов и режимов сварки, применяемых на практике. Испытывались крупномасштабные образцы до появления в них усталостной трещины глубиной 2-3 мм. База испытаний составляла  $5 \times 10^6$  циклов. Впервые установлено, что размахи переменных напряжений цикла однотипных сварных соединений с высокими уровнями остаточных напряжений практически инвариантны к статической прочности сталей, их химическому составу, рафинированию, термической обработке, технологии дуговой сварки, а также асимметрии цикла напряжений от внешнего нагружения.

Наряду с всесторонним и глубоким изучением сопротивления сварных соединений хрупким, вязким и усталостным разрушениям большое внимание уде-

лялось решению конкретных важных практических задач для ответственных сварных металлоконструкций, таких как мосты, магистральные газопроводы, суда и сосуды под давлением.

Исследования для сварного мостостроения все годы являются приоритетными для отдела, несмотря на то, что Институт не принимал уже непосредственного участия в проектировании пролетных строений мостов. Оно осуществлялось специализированными проектными организациями. В типовых проектах железнодорожных мостов 1950-1970-х гг. освобождали пояс главных балок от приварки к ним ребер жесткости и связей. Это привело к возникновению дополнительных напряжений изгиба, вибраций и бокового смещения. В результате через 1-7 лет эксплуатации пролетных строений начали зарождаться трещины усталости, хотя мосты рассчитывались на 100 лет эксплуатации.

В соответствии с Координационным планом работ «Повышение стойкости сварных пролетных строений железнодорожных мостов к усталостным и хрупким разрушениям», составленном по инициативе академика Б.Е. Патона, в 1985 г. в отделе была разработана принципиально новая конструкция пролетного строения железнодорожного моста с подтвержденным ресурсом на экспериментальном кольце ВНИИЖТ-а около 100 лет. Сотрудниками отдела (чл.-кор. НАНУ В.И. Труфяков и д.т.н. В.И. Дворецкий) были предложены конструктивные решения, которые не имели аналогов в мире. Это замена продольных и поперечных связей углового профиля соответственно листами-вставками на уровне верхних поясов и листовыми диафрагмами закрытого или открытого типа.

Значительное внимание уделялось в отделе созданию сталей для сварных конструкций. Результатом плодотворного сотрудничества с металлургами стала полуспокойная сталь вместо спокойной, а позже были предложены для сварных металлоконструкций термоупрочненные углеродистые и низколегированные стали (к.т.н. Г.В. Жемчужников, инженер В.Н. Мирянин). Отделом прочности сделан существенный вклад в решение проблемы хладостойкости сварных металлоконструкций. Выполнен анализ хрупких разрушений, которые имели место на практике, проведен цикл исследований по установлению закономерностей хрупкого разрушения в связи с эффектом деформационного старения и пластической деформации, которые возникают при сварке, дефектностью металла и соединений, а также переходом усталостных трещин в хрупкие.

Существенное развитие в отделе получил вероятностный подход к расчету на усталость (д.т.н. В.И. Дворецкий). Исследования касались рассмотрения накопления и суммирования усталостных повреждений сварных соединений, оценок рассеяния долговечности и распределения значений предела выносливости, расчетно-экспериментальных методов определе-

ния характеристик сопротивления усталости, учета действительного нагружения сварных конструкций в расчетах на усталость, расчета ресурса сварных металлоконструкций при случайном нагружении. Результаты этих исследований послужили исходными данными для создания Методических указаний «Вероятностный метод расчета на усталость сварных конструкций (РД 50-694-90)». Применение указанных норм на практике позволило исключить усталостные повреждения конструкций от нормативных нагрузок.

Однако трещины усталости стали возникать в подкрановых балках, пролетных строениях мостов и др. конструкциях, чаще всего в тех элементах, в которых их образование не ожидалось и расчет на усталость не проводился. Было показано, что такие трещины образуются не от основных (первичных напряжений, на воздействие которых производится расчет соединений на усталость), а от так называемых вторичных напряжений, обусловленных деформацией конструкции или ее отдельных элементов. В большинстве случаев на вторичные напряжения накладываются высокочастотные составляющие от вибрации элементов конструкции. Наложение на переменные напряжения сравнительно низкой частоты небольших по величине, но более высокочастотных составляющих приводит к существенному снижению циклической долговечности.

Поэтому в отделе прочности сварных конструкций большое внимание уделялось развитию методов учета влияния дополнительных напряжений от вибраций на характеристики сопротивления усталости и циклическую трещиностойкость сталей и сварных соединений в воздушной и коррозионной средах (к.т.н. В.С. Ковальчук). В результате систематических исследований конструкционных сталей различных классов прочности и их сварных соединений установлено, что между параметрами двухчастотной нагрузки и изменением циклической долговечности существует связь, инвариантная к форме и размерам образцов, способу их нагружения, асимметрии цикла, концентрации напряжений, остаточной напряженности, температуре и др. факторам за исключением механических характеристик материала. При этом кривые усталости, полученные в условиях двухчастотного нагружения с фиксированными значениями амплитудных и частотных отношений, располагаются параллельно исходной кривой усталости одночастотного нагружения. Разработанные методика и расчетные зависимости позволяют определять циклическую долговечность материалов и сварных соединений, уровень напряжений одночастотного нагружения, эквивалентного по повреждающему действию двухчастотному нагружению, а также коэффициент интенсивности напряжений и скорость развития усталостных трещин в широких диапазонах амплитудных и частотных отношений составляющих двухчастотного нагружения в мало- и многоциклового областях на воздухе и в коррозионной среде по исходным данным, отвечающим одночастотному нагруже-

нию. Предложен инженерный подход к оценке влияния на сопротивление усталости материалов и сварных соединений наложения высокочастотной составляющей, который может использоваться при различных амплитудных и частотных соотношениях.

Несмотря на то, что при проектировании исходят, как правило, из глубокого изучения и анализа действующих нагрузок, выбора наиболее подходящих конструктивных решений узлов и соединений, размещения стыков в менее нагруженных сечениях, они не всегда могут обеспечить требуемое сопротивление усталости. В этом случае целесообразно применять различные дополнительные послесварочные обработки. Опыт показал, что не существует универсального способа обработки одинаково эффективного для всех видов соединений и условий их работы.

В отделе длительное время исследовали эффективность различных способов обработки сварных соединений для повышения их сопротивления усталостным разрушениям (д.т.н. П.П. Михеев, инженер А.З. Кузьменко). Среди них воздушно-плазменная, дробеструйная, обработка роликами, проковка пневматическим молотком и др. Экспериментальными исследованиями было установлено, что способы обработки сварных швов, основанные на наведении остаточных напряжений сжатия, являются более эффективными для повышения характеристик сопротивления усталости сварных соединений, чем способы, основанные на снижении концентрации напряжений. Применительно к изделиям со сварным швом большой протяженности в ИЭС получил развитие способ взрывной обработки сварных соединений, позволяющий существенно перераспределять поля остаточных напряжений.

В 1982 г. в ИЭС им. Е.О. Патона были проведены первые исследования оценки возможности применения оборудования, использующего энергию мощного ультразвука для повышения сопротивления усталости сварных соединений. Начиная с 1983 г. по инициативе Б.Е. Патона были начаты систематические исследования, связанные с разработкой способа повышения сопротивления усталости применительно к конструкциям ответственного назначения, в т. ч. к судостроительным корпусным конструкциям, который получил название «ультразвуковая ударная обработка» (УУО). УУО представляет собой ударную обработку поверхности металла высокопрочными бойками, механические колебания которых возбуждаются ультразвуковым генератором через излучатель (преобразователь электрических колебаний в механические). Эта задача была успешно решена на базе достаточно мощного оборудования, использующего энергию ультразвука. Обработку поверхности производили с использованием компактного ручного инструмента с магнитострикционным преобразователем и многоэлементным рабочим органом. Источником возбуждения колебаний служило ультразвуковое тиристорное генераторное устройство (УТГУ) выходной мощ-

ностью до 1,2 кВт. Исследования показали, что способ передачи колебаний от ультразвукового генератора к бойку, деформирующего поверхность металла, имеет принципиальное значение. Оказалось, что наличие зазора между обрабатываемым изделием и волноводом является необходимым условием возникновения вынужденных колебаний деформирующего элемента. Величина этого зазора составляет ~ 0,01 мм. При таком способе передачи УЗ энергии в обрабатываемое изделие происходит интенсивная пластическая деформация поверхности металла на глубину до 0,3-1,0 мм в зависимости от вида материала и его механических свойств. Измерения показали, что частота колебаний деформирующего элемента равна 1-3 кГц, а излучателя – 27,5 кГц (ультразвук). Поскольку бойки инструмента совершают колебания в зазоре с более низкой частотой, чем частота ультразвука, было предложено использовать термин «высокочастотная механическая проковка» (ВМП) вместо принятой ранее УУО. Экспериментальные исследования показали, что среди существующих способов поверхностного пластического деформирования металла технология ВМП обеспечивает наиболее высокие показатели характеристик сопротивления усталости сварных соединений.

Значительные работы проводились в отделе совместно с Институтом металлофизики им Г.В. Курдюмова НАНУ по созданию компактного и мобильного технологического оборудования для ВМП (чл.кор. НАНУ В.В. Кныш). Применение пьезокерамического преобразователя вместо магнитострикционного позволило значительно уменьшить вес и габариты оборудования, повысить КПД, снизить энергопотребление.

Поскольку выходная мощность оборудования для ВМП отличалась (мощность оборудования с пьезокерамическим преобразователем  $\approx 0,5$  кВт, а с магнитострикционным преобразователем 0,6-1,2 кВт), то целесообразно было оценить эффективность их применения для повышения циклической долговечности соединений. Исследования проводили на сварных соединениях высокопрочной и низкоуглеродистой сталей с поперечными ребрами, приваренными угловыми швами. Обработка производилась ручным ударным инструментом со сменной головкой, в которую устанавливались бойки диаметром 3 мм. Технологические параметры (скорость перемещения инструмента, количество проходов, ширина обрабатываемой зоны, усилие прижатия инструмента, амплитуда УЗ колебаний торца волновода) обработки соединений принимали идентичными для обоих типов оборудования. Образцы из высокопрочной стали испытывали на трехточечный изгиб, а из низкоуглеродистой – при осевом нагружении. Исследования показали, что в случае низкоуглеродистой стали использование инструмента с магнитострикционным и пьезокерамическим преобразователями приводит практически к одинаковому повышению пределов выносливости сварного соединения. На образцах из высоко-

прочной стали эффективность магнитострикционного преобразователя оказалась на 10–15 % выше.

Выполнялись исследования и по установлению эффективных параметров технологии ВМП: амплитуды колебаний ультразвукового излучателя; скорости перемещения и количества проходов инструмента; ширины обрабатываемой зоны и др. Было установлено, что изменение ширины обрабатываемой зоны соединений не оказывало влияния на циклическую долговечность соединений. Поэтому вместо обработки сварного шва, линии сплавления и зоны термического влияния (до 10–50 мм от линии сплавления), было рекомендовано обрабатывать только узкую зону перехода от металла шва к основному металлу, что существенно увеличило скорость обработки сварных соединений. В зависимости от типа сварного соединения, технологии сварки, физико-механических характеристик металла скорость обработки сварных соединений может изменяться в диапазоне от 1 до 3 мм/с.

Установлено, что главными факторами, вызывающими повышение циклической долговечности и предела выносливости сварных соединений при ВМП, являются следующие:

- снятие растягивающих и создание в зонах концентраторов благоприятных остаточных напряжений сжатия;
- уменьшение концентрации рабочих напряжений;
- деформационное упрочнение поверхностного слоя металла.

Установлена эффективность ВМП сварных соединений конструкционных сталей при различных видах нагружения в широком диапазоне изменения коэффициента асимметрии цикла напряжений.

Априори считали, что наибольший эффект ВМП достигается при формировании в зоне концентратора остаточных напряжений сжатия, равных или превышающих предел текучести стали  $\sigma_T$ . В отделе разработана методика расчетного определения эффективности способов повышения сопротивления усталости сварных соединений, позволяющая устанавливать оптимальное значение формируемых остаточных напряжений сжатия в зоне концентратора, при котором достигается максимальное повышение предела выносливости сварного соединения (к.т.н. Ю.Ф. Кудрявцев).

В данном случае учитываются механические свойства материала, концентрация рабочих напряжений, асимметрия цикла внешнего нагружения, величина формируемых обработкой остаточных напряжений сжатия в зоне концентратора. Анализ показал, что в большинстве случаев значение остаточных напряжений сжатия должно находиться в диапазоне  $(0,5-0,7) \sigma_T$ . Полученные расчетные данные свидетельствуют о существенном влиянии асимметрии цикла напряжений  $R_\sigma$  на оптимальное значение формируемых с помощью ВМП в зонах концентраторов остаточных напряжений сжатия, обеспечивающих максимально возможное повышение пределов выносливости и уве-

личение циклической долговечности сварных соединений. В области воздействия знакопеременных напряжений оптимальное значение формируемых обработкой остаточных напряжений сжатия значительно ниже  $\sigma_T$  соответствующей стали. И только при отнулевом цикле напряжений ( $R_\sigma = 0$ ) оно достигает предела текучести стали. Это позволяет получить максимальный эффект повышения сопротивления усталости соединений при существенном снижении трудоемкости выполнения ВМП.

Проведенные исследования показали, что ВМП является высокопроизводительным и экономичным способом повышения сопротивления усталости сварных соединений сталей различного класса прочности, а также алюминиевых сплавов. Установлено, что эффективность ВМП сварных соединений увеличивается:

- с повышением прочности исходного материала. В зависимости от типа соединения повышение предела выносливости  $\Delta\sigma_R$  может превышать 100 %;
- для сварных соединений с высокой исходной концентрацией рабочих напряжений, обусловленной формой шва. Если для стыкового соединения высокопрочной стали  $\Delta\sigma_R = 66$  %, то в случае соединения с поперечными угловыми швами  $\Delta\sigma_R = 200$  %;
- со снижением коэффициента асимметрии цикла внешнего нагружения  $R_\sigma$ . Изменение  $R_\sigma$  от +0,6 до -1,0 приводит к повышению  $\Delta\sigma_R$  сварного соединения высокопрочной стали с поперечными угловыми швами от 30 до 200 %.

При этом важно, что в результате пластического деформирования при ВМП локальное упрочнение металла в зоне перехода от шва к основному металлу не приводит к снижению вязкости разрушения сварного соединения в целом, устанавливаемой по показателю нелинейной механики разрушения (критическое раскрытие вершины трещины) при низких температурах (до  $-60$  °С). Это позволило рекомендовать технологию ВМП для повышения сопротивления усталости сварных соединений металлоконструкций, эксплуатируемых при температурах до  $-60$  °С.

Исследования отдела прочности сварных конструкций были направлены, главным образом, на расширение областей применения технологии ВМП для повышения сопротивления усталости сварных конструкций. Они проводились совместно с предприятиями и организациями Минтяжмаша, Минавиапрома, Минтрансстроя, ГА железнодорожного транспорта Украины и др. ведомств. Ряд работ выполнен совместно с Северной научно-технологической компанией, НКМЗ (Краматорск, Украина), Институтом сварки (Франция).

Совместно с НКМЗ (Краматорск) в отделе выполнены исследования сопротивления усталости сварных соединений при циклическом сжатии. Такой вид нагружения характерен для несущих элементов стрел экскаваторов-драглайнов. Показано, что перераспре-

деление остаточных сварочных напряжений в зонах концентраторов в результате ВМП исключает образование усталостных трещин в сварных узлах, характерных для несущих элементов стрел. Обосновано применение ВМП для повышения сопротивления усталости сварных узлов из труб. Установлено, что положительное влияние ВМП начинает сказываться в области долговечностей на базе более  $10^4$  циклов и приводит к повышению предела выносливости в 2 раза.

Полученные результаты экспериментальных исследований эффективности применения ВМП для повышения сопротивления усталости сварных соединений сталей различных классов прочности и алюминиевых сплавов, опыт ее применения в судостроении, опытно-промышленные проверки в мостостроении применительно к вновь изготавливаемым и эксплуатируемым пролетным строениям, а также в др. отраслях послужили основанием для включения данного вида поверхностного наклепа в нормы проектирования и изготовления сварных конструкций Международного института сварки.

На основе результатов усталостных испытаний крупномасштабных сварных моделей узлов сплошнотенчатых пролетных строений нового типа для железнодорожных мостов, полученных в отделе, и опытной проверки на экспериментальном кольце ВНИИ железнодорожного транспорта ВМП рекомендована к применению в мостостроении. По решению Технического совета ГА железнодорожного транспорта Украины УкрНИИПроект-Стальконструкция включила этот вид обработки в проектную документацию опытных типовых сварных пролетных строений для железнодорожных мостов Украины.

Большое направление исследований отдела связано с разработкой методов оценки сопротивления разрушению материалов и прочности элементов металлоконструкций на базе развития основных положений и методик нелинейной механики разрушения применительно к сварным соединениям с учетом их неоднородности механических свойств и высокой остаточной напряженности (чл.-кор. НАНУ В.И. Кирьян). На основе решения в рамках  $\delta_k$ -модели Леонова-Панасюка упруго-пластической задачи о напряженно-деформированном состоянии плоских и оболочковых элементов сварных конструкций с трещинами, расположенными в поле остаточных напряжений, получены выражения для определения деформационного критерия трещиностойкости (раскрытие вершины трещины). С их использованием выявлены особенности влияния остаточных сварочных напряжений на прочность элементов конструкций в зависимости от их уровня и характера распределения, размера трещиноподобных дефектов и вязкости разрушения металла сварных соединений. Разработана методика определения вязкости разрушения материалов и сварных соединений при однократном динамическом нагружении в широком диапазоне изменений скоро-

сти деформирования металла и температуры испытания. Принципиальное значение здесь имело решение проблемы получения достоверных и воспроизводимых результатов.

Показано, что значительное усложнение системы легирования двухфазных (феррито-перлитных) трубных сталей контролируемой прокатки не приводит к заметному повышению их сопротивления зарождению вязкого разрушения после достижения величиной  $K_{CV}^{-20}$  значения 80–90 Дж/см<sup>2</sup>. Относительно сварных соединений микролегированных трубных сталей, для которых установлено значительное рассеяние значений вязкости разрушения в соответствии с распределением вероятности Вейбулла, разработана методика испытаний и оценки соответствия предъявляемым требованиям интегральной («агрегатной») вязкости разрушения металла сварного соединения. Установлена линейная зависимость температуры хрупко-вязкого перехода от логарифма параметра скорости нагружения. Это дало возможность значительно упростить методику учета динамического нагружения при выборе материалов.

Была обоснована перспективность постановки в магистральных газопроводах на давление 7,5 и 10 МПа специальных гасителей трещин, которые развиваются. В этом случае требования к стали основываются на предупреждении зарождения разрушения, а не его развития, что дает возможность использовать для строительства магистральных газопроводов материалов без остродефицитных легирующих элементов (ниобий, ванадий). Применительно к магистральным газопроводам диаметром 1420 мм установлены оптимальные требования к запасам вязкости основного металла и сварных соединений труб исходя из их сопротивления зарождению разрушения.

С 1976 г. в отделе были начаты исследования прочности и сопротивления усталости сварных соединений перспективных алюминиевых сплавов различных систем легирования (к.т.н. В.А. Шонин). При этом основное внимание уделялось сварным соединениям из тонколистового проката алюминиевых сплавов. Благодаря экспериментальным исследованиям, проведенным в отделе прочности, были отработаны оптимальные режимы сварки плавлением (сварка плавящимся электродом, сварка неплавящимся электродом, лазерная сварка и др.) алюминиевых сплавов, обеспечивающие наиболее высокие показатели прочности и циклической долговечности. Для различных типов сварных соединений и технологий сварки проанализированы коэффициенты концентрации напряжений и характер распределения остаточных напряжений.

Особое внимание уделялось сварным соединениям высокопрочных алюминиевых сплавов, полученных современными технологиями сварки. Так, проведенные исследования в отделе показали перспективность применения современной высокопроизводительной импульсно-дуговой сварки плавящимся

электродом для алюминиевых сплавов разных систем легирования в диапазоне толщин от 1 до 3 мм, позволяющей получать надежные сварные соединения применительно к конструкциям транспортного назначения, которые работают в условиях переменного нагружения. Высокие показатели характеристик сопротивления усталости показали соединения, полученные сваркой трением с перемешиванием. Показано, что данная технология сварки обеспечивает наиболее низкий уровень остаточных сварочных напряжений.

Рассмотрено влияние различных послесварочных обработок (в т. ч. и ВМП) и покрытий на сопротивление усталости сварных соединений в воздушной и коррозионной средах. Установлено, что эффективность применения технологии ВМП повышается с повышением прочности свариваемых алюминиевых сплавов.

В последние десятилетия исследования в отделе прочности сварных конструкций проводились в следующих главных направлениях: совершенствование оборудования и технологии ВМП применительно к сварным соединениям сталей и перспективных алюминиевых сплавов; повышение циклической долговечности эксплуатируемых сварных металлоконструкций с накопленными усталостными повреждениями (в т. ч. с развивающимися трещинами усталости), оценка характеристик сопротивления усталости тонколистовых сварных соединений высокопрочных алюминиевых сплавов различных систем легирования, полученных современными технологиями сварки.

Выполнен комплекс экспериментальных и теоретических исследований, по прогнозированию увеличения технологией ВМП ресурса сварных металлоконструкций как на стадии изготовления, так и после длительной эксплуатации с учетом влияния климатических факторов, наличия технологических непроваров, поверхностных повреждений незначительной глубины и др. факторов (к.т.н. С.А. Соловей). Установлены закономерности повышения долговечности сварных соединений технологией ВМП в зависимости от прикладываемых нагрузок до и после упрочнения, а также уровня накопленных усталостных повреждений на момент упрочнения. Показано, что наличие конструктивных непроваров в упрочненных высокочастотной проковкой тавровых сварных соединениях снижает их циклическую долговечность на 10–45 %. Однако, упрочнение технологией ВМП сварных соединений с непроварами повышает их циклическую долговечность более чем в 5 раз. Экспериментально установлено, что упрочнение технологией ВМП существенно повышает циклическую долговечность сварных соединений с поверхностными усталостными трещинами незначительной глубиной (до 1 мм).

В отделе выполнен значительный комплекс исследований по установлению закономерностей развития трещин усталости в сварных элементах металлоконструкций и методам их торможения (чл.-кор. НАНУ В.В. Кныш). Установлено, что закономерности разви-

тия усталостных трещин в неоднородных полях остаточных напряжений растяжения и сжатия, скорости которых отвечают среднеамплитудному участку диаграммы усталостного разрушения, описываются степенным уравнением Пэриса с неинвариантными, относительно характеристик цикла нагружения, параметрами. Предложены и экспериментально обоснованы трехпараметрические соотношения для скорости роста поверхностных и сквозных усталостных трещин в конструкционных сталях, которые наряду с размахом коэффициента интенсивности напряжений в явном виде содержат коэффициент асимметрии цикла напряжений. Предложен метод расчетной оценки циклической долговечности элементов стальных конструкций, поврежденных усталостной трещиной, при ее развитии в неоднородном поле остаточных напряжений растяжения.

Установлена эффективность применения конструктивных и технологических способов торможения усталостных трещин: сверление отверстий около вершин трещин с установкой в них высокопрочных болтов с натяжением 20 тс; локальный нагрев металла до температуры 300-350 °С на расстоянии 30 мм от вершины трещины; локальная взрывная обработка цилиндрическими зарядами Ø 5,5 мм, расположенными в отверстиях Ø 6 мм на расстоянии 1 мм позади фронта трещины. Эти способы увеличивают циклическую долговечность элементов конструкций в 10-20 раз. На основе подходов механики разрушения разработан метод расчетной оценки циклической долговечности элементов конструкций, содержащих развивающиеся усталостные трещины при их торможении искусственно наведенным полем остаточных напряжений сжатия. Экспериментально обоснована эффективность повышения циклической долговечности сварных соединений с продольными ребрами стали 09Г2С, поврежденных усталостными трещинами, ремонтной сваркой с последующим упрочнением ВМП. Установлено, что упрочнение ВМП зон перехода ремонтных швов на основной металл повышает циклическую долговечность соединений после первой и второй ремонтной сварки в 4 раза, а после третьей – в 3 раза по сравнению с долговечностью соединений в исходном состоянии.

Установлены характеристики сопротивления усталости сварных соединений из тонколистового проката (толщиной 1-3 мм) алюминиевых сплавов, выполненных высокопроизводительной импульсно-дуговой сваркой плавящимся электродом, известной как MIG Pulse (к.т.н. И.Н. Ключков). Известно, что сопротивление усталости сварных соединений алюминиевых сплавов значительно уступает основному металлу, поэтому были проведены исследования по установлению эффективности дополнительных послесварочных обработок, направленных на повышение характеристик сопротивления усталости. Исследования показали перспективность технологии ВМП для повышения сопротивления усталости сварных соединений

алюминиевых сплавов малых толщин.

Отделом выполнены исследования по определению рациональных параметров ВМП для сварных соединений алюминиевых сплавов, существенно отличающихся от параметров обработки аналогичных соединений сталей. Упрочнение ВМП повышает пределы ограниченной выносливости нахлесточных соединений с поперечными и продольными швами на базе  $2 \times 10^6$  циклов соответственно на 78 и 95 %. В то же время обработка сварных соединений алюминиевых сплавов по технологии, соответствующей однотипным сварным соединениям сталей, приводит к повышению предела выносливости всего на 21 %. Технология ВМП оказалась эффективной и при обработке нахлесточных соединений тонколистовых алюминиевых сплавов, выполненных MIG Pulse, поскольку устраняется угловая деформация и повышается предел ограниченной выносливости в 2 раза. Экспериментально установлено, что механическое снятие усиления швов повышает сопротивление усталости стыковых соединений, выполненных сваркой плавлением, толщиной  $\leq 3$  мм на базе  $2 \times 10^6$  циклов на 40 %. Однако устранение усиления шва снижает показатели статической прочности соединений на 15–30 % в зависимости от присадочного материала и технологии сварки. При упрочнении технологией ВМП тавровых сварных соединений алюминиевых сплавов толщиной 1,5–3 мм наблюдается снижение коэффициента концентрации напряжений в 1,6 раза и повышение до 40 % ограниченного предела выносливости на базе  $10^6$  циклов при отнулевом переменном нагружении. На основе выполненных исследований доказано, что служебные свойства сварных соединений алюминиевых сплавов в толщинах 1–3 мм, выполненных технологией MIG Pulse, превосходят соответствующие показатели, отвечающие отработанной и широко используемой технологии ТИГ.

Проведен комплекс исследований по установлению влияния различных способов сварки, таких как аргонодуговая сварка неплавящимся электродом (АДСНЭ), сварка трением с перемешиванием (СТП), импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом (ИДСПЭ), электронно-лучевая сварка (ЭЛС), контактно стыковая сварка оплавлением (КССО), лазерная сварка (ЛС) и нерегулярности нагружения на сопротивление усталости сварных соединений алюминиевых сплавов различных систем легирования (к.т.н. С.И. Мотрунич). Исследованы характер распределения остаточных напряжений, уровень разупрочнения и структурные особенности соединений алюминиевых сплавов АМг2, АМг5, АМг6, АМц, 1201, Д16, 1420, 1460, 7056, В95, сваренных с использованием технологий АДСНЭ, ИДСПЭ, СТП, КССО и ЭЛС.

Экспериментально установлены кривые усталости сварных соединений тонколистовых 1,8–2,0 мм термически неупрочняемых алюминиевых сплавов АМг2, АМг5, АМг6, АМц и термически упрочняемых сплавов 1201, 1420, 1460, Д16, выполненных с использова-

нием технологий АДСНЕ, ИДСПЕ и СТП. Показано, что границы ограниченной выносливости соединений термически упрочняемых сплавов, выполненных СТП, на базе  $2 \cdot 10^6$  циклов перемен напряжений составляют 80–90 %, а выполненных АДСНЭ – 60–75 %, от соответствующих показателей основного металла. Исследованы физико-механические характеристики качественных сварных соединений высокопрочного алюминиевого сплава 7056 толщиной 10–30 мм с повышенным содержанием цинка (до 9,7 %), сваренных по разработанным в ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ технологиям ЭЛС и контактно стыковой сварки (КСС). Установлено, что предел прочности таких соединений составляет около 70–90 %, а граница ограниченной выносливости в диапазоне  $10^4$ – $2 \cdot 10^6$  циклов составляет около 65–76 % от соответствующих показателей основного металла. Предложен алгоритм и разработано программное обеспечение для построения кривых усталости сварных соединений конструкционных материалов при воздействии узкополосного процесса случайного нагружения. На основе предложенного алгоритма показано, что спектр узкополосного нагружения с приближенным к экспоненциальному закону распределения величины амплитуды напряжения уменьшает циклическую долговечность соединений сплава 1460T1, полученных технологиями АДСНЭ и СТП в 2,0–2,5 раза по сравнению с регулярным нагружением. Узкополосный процесс нагружения с распределением величины амплитуды напряжения, близким к нормальному, соединений сплавов 1420T1 и Д16Т1, полученных технологиями СТП и АДСНЭ, уменьшает долговечность в 1,5–2,0 раза по сравнению с регулярным нагружением.

В отделе разработаны аналитические методы расчета усилия сварочной машины, необходимого для формирования качественного сварного соединения в твердой фазе при КСС изделий замкнутой формы, которые учитывают сопротивление деформированию их шунтирующей части (к.т.н. А.В. Молтасов). Предложенные методы позволяют определять дополнительное усилие, затрачиваемое на изгиб шунтирующей части, при наличии не только упругих, но и упруго-пластических деформаций в ней. Установлено, что для изделий с высокой изгибной жесткостью, например, звеньев якорных цепей из стали 20Х, затрачиваемое на изгиб шунтирующей части усилие составляет более 50 % от усилия осадки. Для таких изделий разработаны методики, которые позволяют вести расчет искомых усилий по предельному состоянию. Разработанные методы расчета дополнительных усилий были использованы на ГП «ПО ЮМЗ им. А.М. Макарова» (Днепр) при восстановлении и модернизации машины К617 для КСС конструктивных элементов и номенклатуры производства, в частности шпангоутов силового набора двигателей легких ракет-носителей.

Одним из приоритетных направлений исследований отряда является разработка аналитических и ин-

женерных методов описания напряжённого состояния деталей и элементов конструкций вблизи сварных швов. Разработаны методы расчета напряжений в стыковых сварных соединениях с усилениями различной формы, а также в корневой части соединений с асимметричным усилением. Один из предложенных методов был использован на ООО «Союзэнергомаш» (Днепр) при конструировании и оценке статической прочности конструкции сварного диска рабочего колеса дымососа, которое успешно эксплуатируется на Ладыжинской ТЭС ПАО «ДТЭК Западэнерго». Создание сварного диска позволило отказаться от гнутых дисков импортного производства.

По результатам научных исследований, выполненных в отделе прочности сварных конструкций, опубликованы 6 монографий и многочисленные статьи в отечественных и зарубежных научных изданиях, подготовлены десятки документов Международного института сварки. В отделе защищено 7 докторских и 28 кандидатских диссертаций. Разработки отряда использованы в нормативных документах:

- РД 50-551-85. Методические указания. Расчеты и испытания на прочность. Расчетно-экспериментальные методы оценки сопротивления усталости сварных соединений;
- Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Энергоатомиздат. – 1989 г.;
- РД 50-694-90. Методические указания. Надежность в технике. Вероятностный метод расчета на усталость сварных соединений;
- ЦП-0176 «Рекомендации по осмотру, усилению, ремонту и увеличению эксплуатационного ресурса сплошностенных сварных пролетных строений». Укрзалізниця. – 2007 г.;
- ЦП-0214 «Эксплуатация железнодорожных мостов. Технологический регламент по ремонту сваркой поврежденных усталостными трещинами элементов пролетных строений железнодорожных мостов». Укрзалізниця. – 2009 г.;
- Государственные строительные нормы Украины ДБН В.2.3-26:2010. Конструкции транспорта. Мосты и трубы. Стальные конструкции. Правила проектирования;
- Государственные строительные нормы Украины ДБН В.2.6-163:2010. Конструкции зданий и сооружений. Стальные конструкции. Нормы проектирования, изготовления и монтажа.
- ДСТУ 8803:2018 Прокат толстолистовой из углеродистой стали обычного качества. Технические условия.
- ДСТУ 8804:2018 Прокат толстолистовой из нелегированной и легированной стали для котлов и сосудов, работающих под давлением. Технические условия.

● # 1182

# Новый торцеватель из гаммы отечественного оборудования для подготовки к сварке неповоротных стыков трубопроводов атомных электростанций

**Л.М. Лобанов**, акад. НАНУ, д.т.н., ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ, **Н.М. Махлин**, **В.Е. Водолазский**, **В.Е. Попов**, **Л.П. Муценко**, **Д.С. Олияненко**, ГП «НИЦ СКАЭ ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ» (Киев), **С.И. Лавров**, **А.А. Кириленко**, **В.Г. Притыка**, **А.В. Ковалюк**, ОП «Атомэнергомаш» ГП «НАЭК «Энергоатом» (Энергодар, Запорожская обл.)

*Приведены результаты наработок Института электросварки им. Е.О. Патона НАНУ и его специализированного подразделения – ГП «Научно-инженерный центр сварки и контроля в отрасли атомной энергетики Украины Института электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины» (НИЦ СКАЭ) относительно создания инновационного образца торцевателя для подготовки к дуговой сварке стыков трубопроводов с номинальным внешним диаметром от 76 до 108 мм. Это позволило завершить разработку гаммы отечественных современных торцевателей с внешним базированием и безопасным унифицированным пневмоприводом, применение которых необходимо при монтаже, ремонте и модернизации объектов энергетики (включая энергоблоки атомных и тепловых электростанций), в химическом, фармакологическом и энергетическом машиностроении, в судостроении, на предприятиях нефтегазового и аэрокосмического комплексов и в др. отраслях промышленности и строительства.*

Отсутствие полной гаммы отечественного современного оборудования для подготовки к сварке неповоротных стыков трубопроводов продолжает оставаться одним из главных факторов, препятствующих существенному повышению качества сварных соединений и широкомасштабной автоматизации сварочных работ при монтаже, ремонте и модернизации объектов энергетики и др. отраслей экономики. До настоящего времени организации и предприятия отрасли энергетики, в т. ч. атомной, и др. отраслей вынуждены применять зарубежное оборудование аналогичного назначения, которое поступает исключительно по импорту и по своим свойствам может удовлетворять украинских пользователей лишь частично. Характерная особенность трубопроводов энергоблоков атомных электростанций (АЭС), являющихся базовыми элементами технологических цепочек этих блоков, заклю-

чается в том, что в процессе их эксплуатации они подвергаются воздействию (в основном одновременному) значительного давления, высоких температур, существенных движимых масс воды и пара, проникающей ионизирующей радиации [1]. Учитывая, что ресурс, надежность, а также ядерная и радиационная безопасность энергоблоков АЭС и др. потенциально опасных производств во многом определяются состоянием и ресурсом технологических трубопроводов, последние были обособлены в отдельную группу устройств энергоблоков АЭС с регламентацией правил и норм выполнения, диагностики и контроля сварных соединений этих трубопроводов [1-3]. Исследованиями и практикой установлено, что качество сварных соединений трубопроводов, отвечающее современным требованиям, в значительной степени (почти всегда – в решающей) зависит от качества предшествующей сварке обработки торцов или кромок разделки, их стыков и от качества сборки деталей трубопроводов непосредственно перед сваркой [4-6]. Поэтому создание и освоение отечественного промышленного производства современного оборудования для подготовки к сварке неповоротных стыков трубопроводов является актуальной научно-технической задачей, которая в 2014-2017 гг. в значительной мере была решена в ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ и НИЦ СКАЭ путем разработки, модернизации и освоения промышленного производства инновационных моделей торцевателей ТРЦ 38 УЗ.1 для металлических труб Ø от 14 до 38 мм, ТРЦ 76 УЗ.1 для металлических труб Ø от 38 до 76 мм и трубореза разъемного ТТЦ 660 УЗ.1 для труб Ø от 108 до 159 мм [7, 8].

При проведении исследований и выполнении опытно-технологических работ изучалось влияние на качество сварных соединений точности подготовки кромок деталей металлических трубопроводов с номинальным внешним Ø 76, 89 и 108 мм, конструктивные элементы которых соответствуют

требованиям ПН АЭ Г-7-009-89 и ОСТ 24.125.02-89, а также определялись области оптимальных режимов обработки этих кромок резанием.

Для исследований и опытно-технологических работ использовались образцы-имитаторы деталей трубопроводов из стали 08X18H10T и стали 20 с номинальными  $\varnothing$  76, 89, 108 мм с номинальной толщиной стенки 7, 8 и 12 мм соответственно. Кромки образцов-имитаторов деталей трубопроводов, используемых для исследований и опытно-технологических работ, обрабатывали с помощью токарно-винторезного станка 1M61 и фрезерного станка 6P82Ш.

Обработку кромок разделки стыков образцов-имитаторов деталей трубопроводов, подвергаемых испытаниям, для имитации отклонений от линейных и угловых размеров, регламентированных ПН АЭ Г-7-009-89 и ОСТ 24.125.02-89 для сварных соединений типа С-42 и С-23, осуществляли в соответствии с *табл. 1*, при этом асимметрия углов скоса кромок разделки образцов деталей трубопроводов для имитации отклонений от нормативных значений для труб с номинальными размерами (76×7, 89×8 и 108×12) мм, составляла 4 и 8 угл. град.

В процессе обработки образцов-имитаторов деталей трубопроводов из стали 08X18H10T и стали 20 контроль их линейных и угловых размеров выполняли с использованием стандартных средств измерений, в частности, штангенциркулей ШЦ-П-160 и ШЦ-П-250 по ГОСТ 166 (наибольшая погрешность измерений  $\pm 0,07$  и  $\pm 0,08$  мм соответственно), стенкомеров индикаторных С-10А и С-25 по ГОСТ 11358 (наибольшая погрешность измерений  $\pm 0,02$  и  $\pm 0,10$  мм соответственно), угломера с нониусом УТ модель 127 с диапазоном измерения от 0 до 180 угл. град и наибольшей погрешностью измерений  $\pm 2$  угл. мин [9].

Основную часть обработанных в соответствии с *табл. 1* образцов-имитаторов деталей трубопроводов из стали 08X18H10T и стали 20, которые использовались для исследований и опытно-технологических работ, подвергали многопроходной автоматической орбитальной сварке неплавящимся электродом в среде аргона (GTAW-сварке) с подачей присадочной проволоки и колебаниями непла-

вящегося электрода, для чего использовали опытный образец разработанного в НИЦ СКАЭ автомата орбитального АДЦ 628 УХЛ4 [10], а некоторое количество этих образцов-имитаторов - многопроходной ручной сварке неплавящимся электродом в среде аргона с подачей присадочной проволоки (TIG-сварке). Для осуществления TIG-сварки применяли разработанные ранее в НИЦ СКАЭ опытные образцы источника питания ИЦ 617 УЗ.1 для TIG- и GTAW-сварки, модуля силового питания МПС-101 УЗ.1 и электронного регулятора сварочного тока РДГ - 201 УЗ.1 [11], а также горелку ABITIG GRIPP 26 (фирмы ABICOR BINZEL) с вольфрамовым электродом марки WT20  $\varnothing$  3,15 мм. При опытных сварках стыков деталей трубопроводов из стали 08X18H10T в качестве присадочного материала использовали проволоку Св-04Х-19Н11МЗ, а при опытных сварках стыков деталей трубопроводов из стали 20 - проволоку Св-08Г2С, при этом диаметр этих проволок составлял 1,6 мм.

Качество сварных соединений образцов-имитаторов деталей трубопроводов с номинальным  $\varnothing$  от 76 до 108 мм, используемых для исследований и опытно-технологических работ, контролировали визуальным, радиографическим и капиллярным способами [12].

В результате выполнения нескольких серий опытных сварок установлено:

- асимметрия углов скоса кромок деталей металлических трубопроводов с номинальным внешним  $\varnothing$  от 76 до 108 мм при выполнении сварных соединений типа С-42 или С-23 должна не превышать 4 угл. град., т.к. при больших значениях асимметрии углов скоса характерны такие сплошные дефекты, как недопустимые нарушения формирования сварного шва, несплавления кромок и отдельных валиков, непровары в заполняющих проходах, «провисания» части шва возле кромки с завышенным углом скоса, «подрезы» в облицовочном шве;
- отклонения расточки внутренних диаметров от нормативных значений при выполнении сварных соединений типа С-42 и С-23 не должны превышать +0,23 мм для труб с номинальным

**Таблица 1. Линейные размеры кромок разделки образцов деталей трубопроводов для имитации отклонений от регламентированных значений\***

Номинальные размеры трубопровода (D×S), мм	Разделка кромок						
	Диаметр расточки $d_p$ , мм		Толщина стенки в месте расточки, не менее, мм	Притупление (S – M) при $S_1 = S_2$ , мм			
	Номинальное значение	Наибольшее допустимое отклонение		$S_1 - M_1$	$S_2 - M_2$		
					$M_2 = M_1$	$M_2 = M_1 + 1$	$M_2 = M_1 + 1,5$
76 × 7,0	63	+0,23	5,6	2,3 <sup>+0,4</sup>	3,3 <sup>+0,4</sup>	3,8 <sup>+0,4</sup>	4,2 <sup>+0,4</sup>
89 × 8,0	74		6,5	2,7 <sup>+0,3</sup>	2,7 <sup>+0,3</sup>	3,7 <sup>+0,3</sup>	4,2 <sup>+0,3</sup>
108 × 12,0	88		8,8	3,0 <sup>-0,3</sup>	3,0 <sup>-0,3</sup>	4,0 <sup>-0,3</sup>	4,5 <sup>-0,3</sup>

\*Примечание. Пояснения условных обозначений размеров  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $M_1$  и  $M_2$  приведены в [7].

внешним Ø от 76 до 108 мм включительно, а разница между притуплениями обеих кромок не должна превышать 0,5 мм, поскольку сварные соединения деталей трубопроводов, у которых притупление одной из кромок отличается от притупления другой более чем на 0,5 мм, имеют склонность к таким дефектам корневого шва, как нарушения его регламентированной формы, непровары, «проседания» шва с одной его боковой стороны и «утяжины» или несплавления с другой. При этом следует отметить, что в случае применения при сварке деталей металлических трубопроводов с номинальным внешним Ø от 76 до 108 мм режимов сварки модулированным током даже при разнице между притуплениями кромок до 0,75 мм дефекты корневого шва встречаются крайне редко и в большинстве случаев они не были выявлены, а при разнице между притуплениями кромок до 0,60 мм эти дефекты практически полностью отсутствуют;

- исходя из рекомендаций, вытекающих из многолетних исследований в направлении механической обработки деталей из сталей аустенитного класса и производственного опыта такой обработки [13], в случае тонкого внешнего продольного точения и поперечного подрезания деталей из сталей аустенитного класса (например, 08X18H10T) область оптимальных значений скорости резания ограничена диапазоном от 10 до 40 м/мин, значения поправочных коэффициентов  $K_M$  и  $K_{nv}$  (первый из которых учитывает влияние на скорость резания физико-механических свойств заготовки из коррозионностойкой стали, другой – влияние на скорость резания состо-

яния поверхности этой заготовки) составляют 0,8 и 0,9 соответственно, а значения подачи для чистового точения деталей из жаростойких и нержавеющей сталей – от 0,05 до 0,15 мм/обор.

При разработке торцевателя ТРЦ 108 УЗ.1 принимались во внимание результаты анализа информации о параметрах, характеристиках и построении лучших мировых образцов оборудования для обработки торцов и кромок, подлежащих сварке деталей трубопроводов. Изучались также присутствующие этим образцам недостатки [7] и учитывались стремления к унификации основных составных частей отечественного оборудования для механической обработки торцов и кромок деталей металлических трубопроводов перед сваркой.

С учетом всего этого и свойств материалов деталей трубопроводов с номинальным внешним Ø от 76 до 108 мм, подлежащих механической обработке до сварки торцов и кромок, на базе теоретических основ проектирования деталей машин и механизмов и накопленного опыта разработки, конструирования и натурных испытаний опытных образцов торцевателей ТРЦ 38 УЗ.1 и ТРЦ 76 УЗ.1 для торцевателя ТРЦ 108 УЗ.1 была использована кинематическая схема, аналогичная схеме торцевателя ТРЦ 76 УЗ.1 [7], а также выполнены кинематические и силовые расчеты трансмиссий и механизмов планшайбы этого торцевателя, расчеты прочности и долговечности элементов таких трансмиссий и механизмов и расчеты сил резания. Это обеспечило осуществление выбора необходимых материалов основных частей торцевателя ТРЦ 108 УЗ.1 и позволило принять конструктивные решения относительно его основных составляющих частей, ана-

**Таблица 2. Основные параметры и характеристики опытных образцов торцевателей ТРЦ 76 УЗ.1 и ТРЦ 108 УЗ.1, и некоторых их зарубежных аналогов**

Наименование параметра или характеристики	Модель			
	ТРЦ76 УЗ.1	ТРЦ 108 УЗ.1	Мангуст-2Т (Россия)	PROTEM PUS40 (Франция)
Наименьший внешний диаметр обрабатываемой трубы, мм	38	76	45	43
Наибольший внешний диаметр обрабатываемой трубы, мм	76	108	120	219
Наибольшая толщина стенки обрабатываемой трубы, мм	7,0	12,0	5,0	16,0
Длина расточки внутреннего диаметра обрабатываемой трубы, не менее, мм	15	20	Опция расточки отсутствует	
Базирование	На внешней поверхности обрабатываемой трубы		Внутреннее	
Способ подачи резцов	Вручную			
Подача резца, не более, мм/обор	0,15		0,20	
Частота вращения планшайбы номинальная, обор/мин.	100	70	70	25
Расход сжатого воздуха во время холостого хода, не более, м <sup>3</sup> /мин	1,5		1,7	1,6
Масса с приводом, не более, кг	12,6	13,4	9,5	16,0

логичные тем, которые были приняты при проектировании торцевателя ТРЦ 76 УЗ.1 [7, 8], в т. ч. относительно внешнего одноразового базирования, построения планшайбы, самоцентрирования соосно с продольными осями обрабатываемого трубопровода и механизма базирования. Для осуществления энергообеспечения торцевателя ТРЦ 108 УЗ.1 с воздушно-маслянной смесью используется унифицированный блок подготовки воздуха (применяемый в торцевателях ТРЦ 38 УЗ.1, ТРЦ 76 УЗ.1 и в трубообрезае разъемном ТТЦ 660 УЗ.1).

Основные параметры и характеристики опытных образцов торцевателей ТРЦ 76 УЗ.1 и ТРЦ 108 УЗ.1, а также некоторых их зарубежных аналогов из числа лучших образцов приведены в *табл. 2*.

Конструктивная схема торцевателя ТРЦ 108 УЗ.1, построенная с использованием технического решения, приведенного в [8], показана на *рис. 1*.

Исходя из приведенного выше можно сделать следующие выводы.

1. Разработан новый импортозамещающий торцеватель ТРЦ 108 УЗ.1 для подготовки к сварке неповоротных стыков металлических трубопроводов Ø от 76 до 108 мм энергоблоков АЭС и объектов др. отраслей экономики. Это позволило завершить создание гаммы отечественных современных торцевателей для подготовки к сварке торцов и кромок неповоротных стыков металлических трубопроводов Ø от 14 до 108 мм на базе инновационных унифицированных для всех типоразмеров торцевателей технических решений и основных составляющих частей, а также обусловило возможность полного отказа от импорта оборудования аналогично-

го назначения. При разработке нового импортозамещающего торцевателя ТРЦ 108 УЗ.1 использовался накопленный в ИЭС им. Е.О. Патона и НИЦ СКАЭ опыт проектирования, изготовления, испытаний и опытно-промышленной эксплуатации модернизированных опытных образцов торцевателей ТРЦ 38 УЗ.1 и ТРЦ 76 УЗ.1 [7, 8], а также международный опыт создания образцов оборудования аналогичного назначения [14-18] с учетом того, что ранее подобное оборудование в Украине не разрабатывалось и промышленно не изготавливалось.

2. Исследованы и рассмотрены основные вопросы влияния на качество сварных соединений точности подготовки к сварке торцов и кромок деталей неповоротных стыков металлических трубопроводов энергоблоков АЭС Ø от 76 до 108 мм из сталей аустенитного и перлитного классов, а также определены области оптимальных режимов механической обработки этих торцов и кромок.

3. Технические параметры и характеристики торцевателя ТРЦ 108 УЗ.1, результаты испытаний и опытно-промышленной эксплуатации модернизированных опытных образцов торцевателей ТРЦ 38 УЗ.1 и ТРЦ 76 УЗ.1 дают все основания считать, что, в сравнении с лучшими зарубежными образцами торцевателей для подготовки к ручной или автоматической сварке торцов и кромок деталей неповоротных стыков трубопроводов, разработанные в ИЭС им. Е.О. Патона и НИЦ СКАЭ торцеватели ТРЦ 38 УЗ.1, ТРЦ 76 УЗ.1 и ТРЦ 108 УЗ.1 обеспечивают:

- расширение технологических возможностей оборудования для подготовки к сварке торцов и кромок деталей неповоротных стыков металлических трубопроводов;
- повышение производительности процессов механической обработки торцов и кромок деталей неповоротных стыков металлических трубопроводов за счет возможности одновременного выполнения нескольких операций по механической обработке (торцевание, формирование внешней и внутренней фасок, расточка внутренних диаметров обрабатываемых труб) и упрощение условий контроля внутренних геометрических размеров обрабатываемых труб за счет возможности быстрого подсоединения/отсоединения неподвижного механизма базирования рабочей головки с ее неподвижным корпусом;
- повышение качества и точности подготовки к ручной или автоматической сварке торцов и кромок деталей неповоротных стыков трубопроводов за счет одноразового внешнего базирования и самоцентрировки соосно с продольными осями обрабатываемой трубы и механизма базирования;
- упрощение и удешевление технического обслуживания торцевателей за счет максимально возможного использования в них отечественных комплектующих изделий и материалов, макси-

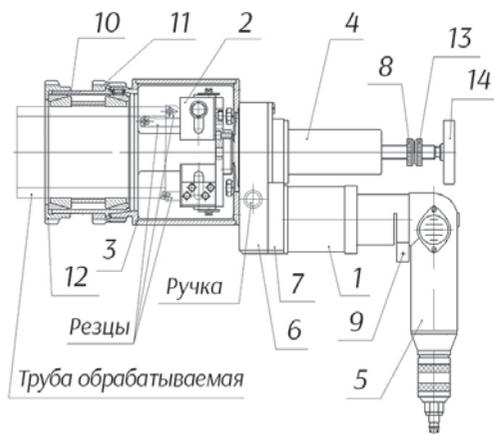


Рис. 1. Конструктивная схема торцевателя ТРЦ 108 УЗ.1: 1 – редуктор планетарный (унифицированный); 2 – планшайба с установленными на ней держателями, в которых закреплены резцы; 3 – корпус торцевателя соединительный; 4 – узел подачи резцов; 5 – пневмопривод (пневмодвигатель); 6 – корпус торцевателя базовый; 7 – крышка корпуса торцевателя базового; 8 – гайка регулировочная; 9 – винт хомута крепления пневмодвигателя; 10 – механизм зажима; 11 – гайка крепления механизма зажима; 12 – гайка фиксации головки торцевателя; 13 – контргайка; 14 – маховичок механизма подачи

мально возможной унификации узлов и механизмов, и существенного улучшения ремонтно-пригодности этих торцевателей;

- снижение не менее чем в 1,5-2,0 раза себестоимости этих изделий.

4. Испытания и опытно-промышленная эксплуатация опытных образцов отечественных модернизированных инновационных торцевателей ТРЦ 38 УЗ.1 и ТРЦ 76 УЗ.1, а также нового импортозамещающего торцевателя ТРЦ 108 УЗ.1, и дальнейшее освоение их промышленного производства создают необходимые предпосылки для оснащения производственных, монтажных и ремонтных подразделений и предприятий отрасли энергетики, и др. отраслей экономики эффективным современным отечественным оборудованием для подготовки к ручной или автоматической сварке торцов и кромок деталей неповоротных стыков металлических трубопроводов, что обуславливает устранение одного из главных факторов, препятствующих широкомасштабному внедрению как отработанных, так и новейших отечественных технологий автоматической сварки неповоротных стыков металлических трубопроводов.

*В заключение отметим, что к конструированию образца торцевателя ТРЦ 108 УЗ.1 был привлечен инженер **В.К. Смоляков** (НИЦ СКАЭ), а в испытаниях, исследованиях и осуществлении контроля сварных образцов-имитаторов активное и непосредственное участие приняли инженеры **В.Б. Кудряшев** и **В.Г. Курнишов** (ОП «Атомэнергомаш» ГП «НАЭК «Энергоатом»).*

*Настоящая работа является инициативным и эффективным продолжением со стороны ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ и НИЦ СКАЭ научно-технического проекта НАНУ (2014): «Отработка процессов подготовки неповоротных стыков трубопроводов АЭС диаметром 14-159 мм к автоматической орбитальной сварке неплавящимся электродом и создание опытных образцов импортозамещающего оборудования для реализации этих процессов».*

#### Литература

1. Гриненко В.И., Роцин В.В., Хаванов В.А., Полосков С.И. К вопросу об автоматизации сварки монтажных стыков трубопроводов атомных электростанций. // Технология машин-ия. – 2008. – № 8. – С. 48-51.
2. Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварка и наплавка. Основные положения (ПН АЭ Г-7-009-89) / Госатомэнергонадзор СССР. – М.: Энергоатомиздат, – 1991. – 190 с.
3. Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварные соединения и наплавки. Правила контроля (ПН АЭ Г-7-010-89) / Госатомэнергонадзор СССР. – М.: Энергоатомиздат. – 1991. – 130 с.
4. Роцин В.В., Хаванов В.А., Акулов Л.И., Букаров В.А. Сварка при монтаже оборудования и металлоконструкций реакторных установок. / Сварка в атомной промышленности и энергетике. Труды НИКИМТ. // М.: Издат АТ, 2002. – Т.1. – С. 81–118.
5. Белкин А.С., Шефель В.В. Автоматическая аргонодуговая сварка при монтаже трубопроводов АЭС. / Энерг-ое строит-во. – 1985. – № 11. – С. 43-46.
6. Полосков С.И., Букаров В.А., Ищенко Ю.С. Влияние отклонений параметров режима аргонодуговой сварки неповоротных стыков труб на качество сварных соединений. / Сварка и смежные технологии. Всероссийская научно-техническая конференция. Сб. докладов. – М.: МЭИ (ТУ). – 2000. – С. 22-25.
7. Лобанов Л.М., Махлин Н.М., Смоляков В.К., Свириденко А.О. Оборудование для подготовки неповоротных стыков трубопроводов к сварке. // Наука и инновации. – 2015. – Т. 11. – № 5. – С. 50-67.
8. Лобанов Л.М., Смоляков В.К., Водолазский В.Е., Махлин Н.М. Патент Украины на полезную модель № 102582. Портативное устройство для обработки торцов и краев труб при их подготовке к сварке. / Оpubл. 10.11.2015. – Бюл. № 21.
9. Троицкий В.А. Визуальный и измерительный контроль металлоконструкций и сооружений. / Киев: Феникс, 2012. – 276 с.
10. Махлин Н.М., Коротынский О.Е., Свириденко А.О. Аппаратно-программные комплексы для автоматической сварки неповоротных стыков трубопроводов атомных электростанций. / Наука и инновации, 2013. – Т.9. – № 6. – С. 31-45.
11. Махлин Н.М., Коротынский А.Е., Богдановский В.А., Омельченко И.А., Свириденко А.А. Одно- и многопостовые системы для автоматической сварки неповоротных стыков трубопроводов атомных электростанций. / Автомат. сварка. – 2011. – № 11. – С. 34-44.
12. Троицкий В.А. Краткое пособие по контролю качества сварных соединений. / Киев: Феникс, 2006. – 320 с.
13. Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Суслова, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. // М.: Машиностроение, 2001. – Т. 2. – 944 с.
14. Белоусов А.Н., Чернышев Г.Г. Некоторые вопросы подготовки стыков труб под сварку. / Свароч. пр-во. – 1977. – № 4. – С. 39-41.
15. Волков В.А. Специальное металлорежущее оборудование. / Технология машиностроения. – 2000. – № 5. – С. 6-10.
16. <http://www.protem.fr/>
17. <http://www.polysoude.com/>
18. <http://www.esab.com/>

11-13  
НОЯБРЯ 2020



СВАРКА/  
WELDING  
2020

20-я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА  
ПО СВАРКЕ, РЕЗКЕ  
И РОДСТВЕННЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ



ufi  
Approved  
Event

WELDING.EXPOFORUM.RU

ОРГАНИЗАТОР

EXPOFORUM

12+

КОНГРЕССНО-ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР  
ЭКСПОФОРУМ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
ПЕТЕРБУРГСКОЕ ШОССЕ, 64/1  
+7 (812) 240 40 40 (ДОБ. 2275, 2207)  
WELDING@EXPOFORUM.RU

## Роботы для сварки на WELDEX 2019

*Роботизация является одним из важнейших индустриальных трендов последних лет. Применение автоматизированных систем позволяет усовершенствовать технологии производства и вывести его на совершенно новый уровень как по скорости выполнения задач, так и по качеству работ. Уже сегодня сложно представить многие ключевые отрасли без компаний, активно использующих роботизированные системы.*

*Статистика использования промышленных роботов.* Согласно исследованиям Международной федерации робототехники, продажи роботов активно растут год от года и исчисляются сотнями тысяч проданных единиц. Так, в 2017 г. по всему миру было введено в эксплуатацию 381 тыс. промышленных роботов, в 2018 – 384 тыс.

Наиболее высокий процент применения роботов наблюдается в автомобильной промышленности (33 %), электронной отрасли (32 %) и металлургии (10 %). Наибольшую долю в использовании на производстве занимают роботы для сварки, ведь именно этот тип работ требует повышенной точности, надежности и методичности – качеств, которые может предоставить роботизированная программируемая техника.

*Преимущества сварочных роботов.* Роботы для сварки способны выполнять сварочные работы основных типов: дуговая сварка, сварка в среде инертных газов (MIG), сварка неплавящимся электродом (TIG), точечная контактная сварка. Основное преимущество робототехники заключается в ее способности многократно проводить одну и ту же операцию с неизменной точностью и качеством. Это увеличивает скорость, надежность и эффективность работ.

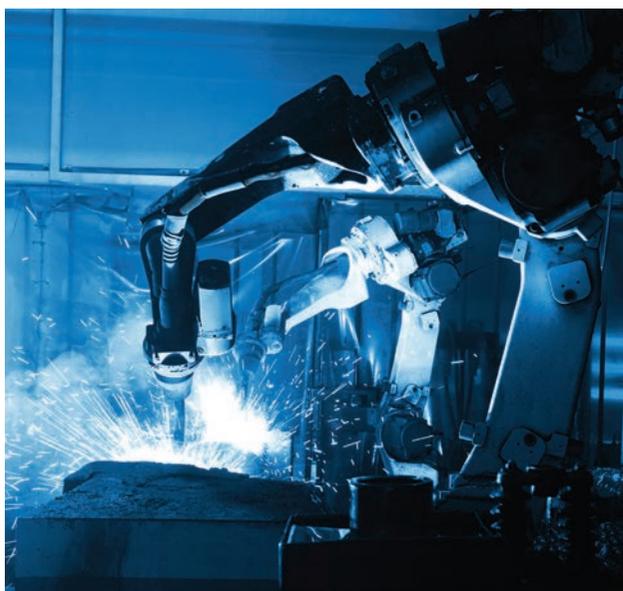
Сварочные роботы могут применяться на разных этапах производства, будь это подготовительные работы (разметка и очистка заготовок, позиционирование деталей) или сам процесс сварки, резки или пайки.

Современные роботы оснащаются системами датчиков, лазерного сканирования, технического зрения. Эти технологии позволяют контролировать параметры их работы и достигать максимального удобства и безопасности производства.

Применение сварочных роботов позволяет минимизировать человеческий фактор и исключает, связанный с этой операцией, риск для здоровья работников. При правильном программировании, грамотной эксплуатации и своевременной замене расходных материалов и изнашивающихся деталей, промышленный робот способен прослужить до 10-15 лет, за это время многократно окупив затраченные на него средства.

*Сварочные роботы на российском рынке.* Несмотря на очевидные преимущества использования промышленных роботов, в России это направление на данный момент находится на начальной стадии развития. Ежегодное количество приобретенных компаниями роботов достигает лишь нескольких сотен: 713 ед. в 2017 г., 860 ед. – в 2018 г.

Это обусловлено несколькими факторами. В первую очередь, это высокие цены на оборудование, достигающие нескольких десятков тысяч евро за единицу. Второй фактор – сложность настройки программного обеспечения. Программирование сварочных роботов требует полного понимания рабочей среды и всех нюансов проводимых операций, следовательно, реализацией дан-



ного процесса могут заниматься только высококлассные специалисты.

По этим причинам сформировалось мнение, что приобретение промышленных роботов целесообразно только для крупных производств, которым необходимо дальнейшее увеличение объемов выпуска товара и сокращение трудозатрат. Но опыт последних лет показывает, что этот шаг может быть оправданным также и для средних и малых компаний.

Эффективность производства однотипной продукции с помощью сварочных роботов настолько высока, что размеры объемов выпуска играют все меньшее значение. На первый план выходят показатели того, насколько качественный продукт можно получить за минимальное время при наименьших затратах. В этом отношении роботизированные системы не имеют равных и способны окупиться в кратчайшие сроки.

В дополнение к этому, многие мировые производители следуют общему курсу на повсеместное внедрение доступных технологий. Компании постепенно выводят на рынок более дешевые и простые в управлении системы, которые подойдут как крупным цехам, так и небольшим сварочным мастерским. Основываясь на этом, в ближайшие годы можно ожидать увеличения объемов продаж сварочных роботов в России.

*Сварочные роботы на Weldex 2019.* Производство и продажи сварочных роботов в России – молодой, но активно растущий рынок.

На международной выставке сварочных материалов, оборудования и технологий Weldex 2019 сектор сварочных роботов будет представлен в качестве отдельного раздела.

Участниками выставки в разделе «Промышленные роботы» являются известные производители и дистрибьюторы роботизированной техники: ЗАО ЭПФ «Судотехнология» (бренд Panasonic); ООО «ФАНУК» (FANUC); ООО «Робовизард» (бренд Kawasaki); Universal Robots; IGM Robotersysteme AG.

*Получите бесплатный электронный билет по промокоду: **wlx19BNRR** – на самую крупную в России выставку сварочных материалов, оборудования и технологий Weldex, которая состоится с 15 по 18 октября 2019 г. в Москве, КВЦ «Сокольники».*

*Если Ваша компания является производителем или дистрибьютором промышленных роботов для сварочных работ, Вы можете принять участие в выставке Weldex 2019 в разделе «Промышленные роботы», забронировав стенд: [www.weldex.ru](http://www.weldex.ru)*

● # 1184

# КАЗАНЬ 2019



## 4-6 ДЕКАБРЯ

19-я международная специализированная выставка оборудования, приборов и инструментов для машиностроительной, металлообрабатывающей и сварочной отраслей промышленности

### МАШИНОСТРОЕНИЕ МЕТАЛЛООБРАБОТКА СВАРКА

КЛЮЧЕВОЕ СОБЫТИЕ ОТРАСЛИ



Забронировать  
стенд



16+

ОРГКОМИТЕТ ВЫСТАВОК  
Россия, 420059, г. Казань, Оренбургский тракт, д. 8,  
Тел/факс: (843) 20-29-03, 202-29-92  
ОАО «Казанская ярмарка»  
[www.expomach.ru](http://www.expomach.ru), [www.expokazan.ru](http://www.expokazan.ru)  
E-mail: [expo-kazan@mail.ru](mailto:expo-kazan@mail.ru)

# Испытания ручных горелок и резаков после ремонта

В.М. Литвинов, Ю.Н. Лысенко, С.А. Чумак, ООО «НИИПТмаш Опытный завод» (Краматорск)

*Настоящая методика предназначена для проведения контрольных испытаний резаков и горелок после ремонта. При составлении методики были учтены требования ГОСТ 2.602 «Ремонтные документы», ГОСТ 12.2.008 «Оборудование и аппаратура для газопламенной обработки металлов и термического напыления покрытий. Требования безопасности», ГОСТ 29090 «Материалы, используемые в оборудовании для газовой сварки, резки и аналогичных процессов. Общие требования», DIN EN ISO 5172 «Газосварочное оборудование. Горелки газовые для сварки, резки и нагревания. Технические условия и методы испытаний». Данная методика предназначена для сотрудников ремонтных мастерских и дает наиболее полное представление о методах испытаний, стандартном и специальном оборудовании для комплексных испытаний резаков и горелок после ремонта.*

Целью испытаний является получение фактических значений параметров отремонтированных изделий, установление их соответствия первоначальным характеристикам, а также требованиям стандартов и другой нормативно-технической документации.

**Организация испытаний.** Испытания резаков и горелок должны проводиться на участке для испытаний в ремонтной мастерской, состав и организационная структура которого приведены в [1].

На участке для испытаний газо-горелочных устройств должны быть проведены организационно-технические мероприятия, обеспечивающие взрывобезопасность, пожарную безопасность, выполнение требований безопасности по охране труда и правил безопасности в газовом хозяйстве.

### **Условия проведения испытаний.**

**Помещение и оборудование.** В ремонтной мастерской на участке для испытаний газо-горелочных устройств должен находиться специальный стенд.

На каждое рабочее место помимо площади, занимаемой оборудованием и проходами, должно быть отведено не менее 4 м<sup>2</sup>.

Помещение участка, где расположены стенды для испытаний, должно быть оборудовано общеобменной вентиляцией, а стационарное рабочее место для огневых испытаний – местной вентиляцией для удаления вредных выделений, ящиком с песком и огнетушителем.

Огневые испытания сварочных горелок и резаков (далее изделия) должны производиться на расстоянии не менее трех метров от газоразборного поста.

**Подготовка к испытаниям.** Перед началом работы необходимо убедиться в отсутствии на рабочем месте легковоспламеняющихся материалов, масел, мусора.

Необходимо убедиться в наличии воды в водяных затворах поста, закрытии пусковых вентилях, провернутых до свободного вращения нажимных винтов редукторов.

Убедиться в целостности газоподводящих рукавов, правильности их крепления на регулирующей, защитной и измерительной аппаратуре, в отсутствии следов масел, жиров на спецодежде, в отсутствии трещин и др. дефектов на защитных очках.

Проверить действие вытяжных устройств. Проветрить помещение испытательного участка, открыв форточки и двери, а затем выключить вытяжную вентиляцию.

Проверить действие пускорегулирующих вентилях на испытываемых изделиях. Пуск газов от баллонов к регулирующей, защитной и измерительной аппаратуре необходимо осуществлять, убедившись в наличии их в баллонах в количестве, обеспечивающем необходимое потребление газа, исходя из максимального отбора от баллона.

Наибольший отбор газа от одного баллона:

- ацетилена – 1 м<sup>3</sup>/ч;
- пропан-бутана – 1 м<sup>3</sup>/ч;
- кислорода – 10 м<sup>3</sup>/ч.

При работе от магистрали – убедиться в наличии давления, необходимого для проведения испытаний.

Перед началом работы от сети природного газа должна быть произведена продувка газопровода для удаления воздуха через продувочную свечу.

Расстояние точки замера питающего давления от вводных ниппелей газо-горелочных устройств не должно превышать 2 м.

**Окончание работы.** Перекрыть подачу газов вентиляхными устройствами на изделии, газо-разборном посту. Освободить нажимные винты редукторов.

Закрыть вентиляхные устройства на контрольно-измерительной аппаратуре.

После закрытия вентиля на газо-разборном посту природного газа открыть вентиль горючего газа на изделии и выжечь горючий газ из коммуникации или продуть линию азотом или очищенным воздухом.

При возникновении обратного удара необходимо быстро перекрыть вентиль горючего газа и вен-

тель кислорода на изделии. Затем необходимо перекрыть вентили на газо-разборных постах и открыть вентили на испытуемом изделии, выпустив кислород и горючий газ в атмосферу.

**Объекты испытаний.** Испытаниям по настоящей методике подвергаются ручные резаки и горелки. Технические характеристики горелок приведены в [2], газокислородных резаков – в [3], жидкотопливных резаков – в [4] и [5].

**Материально-техническое обеспечение и измерительные приборы.** Для проведения испытаний необходим следующий комплект основного и сопутствующего оборудования.

К основному оборудованию относится стенд для испытаний горелок и резаков, в состав которого входят:

- щит газовый;
- приспособление для испытаний изделий на герметичность;
- приспособление для проверки инжектирующей способности;
- приспособление для замера усилия запирания вентиля и усилия вращения маховичков при регулировании расхода газа.

К сопутствующему оборудованию относятся:

- рампа на 5 баллонов кислорода;
- рампа для горючего газа на 3 баллона;
- баллоны со сжатыми и сжиженными газами;
- редукторы баллонные;
- рукава резиноканевые;
- емкость для воды;
- верстак с тисками;
- заглушки для всех типов горелок и резаков с целью проверки их на герметичность (могут быть изготовлены путем запаивания отверстий использованных штатных мундштуков).

При испытаниях необходимо пользоваться следующим слесарным инструментом, который должен быть чистым и обезжиренным: ключи гаечные и специальные; отвертки шлицевые; отвертки крестовые; плоскогубцы.

Испытания должны быть обеспечены:

- газами (ацетилен, газы-заменители, кислород, азот, сжатый воздух);
- водопроводом и сливом воды;
- электроэнергией 220 В.

В табл. 1 представлены необходимые при испытании

**Таблица 1. Необходимые измерительные приборы при испытаниях**

Наименование прибора	Пределы измерений	Цена деления
Штангенциркуль	0-125 мм	0,1 мм
Линейка металлическая	1 000 мм	1,0 мм
Секундомер	0-30 мин	1 сек
Динамометр	0-5 кгс	0,1 кгс

таниях измерительные приборы.

Возможна замена на другой тип прибора аналогичного класса точности и пределов измерений.

**Программа испытаний.** Программа испытаний изделий содержит проверки:

- внешний осмотр и проверка комплектности;
- на герметичность;
- инжектирующей способности (в канале горючего газа);
- горения смеси горючего газа (паров жидкого горючего) с кислородом;
- времени перекрытия газового канала вентилем;
- усилия запирания вентиля и вращения маховичков при регулировании расхода газа;
- анализ, оценка и обработка результатов испытаний;
- выдача акта регистрации результатов проверки, ремонта и испытаний после ремонта изделия с отметкой в журнале.

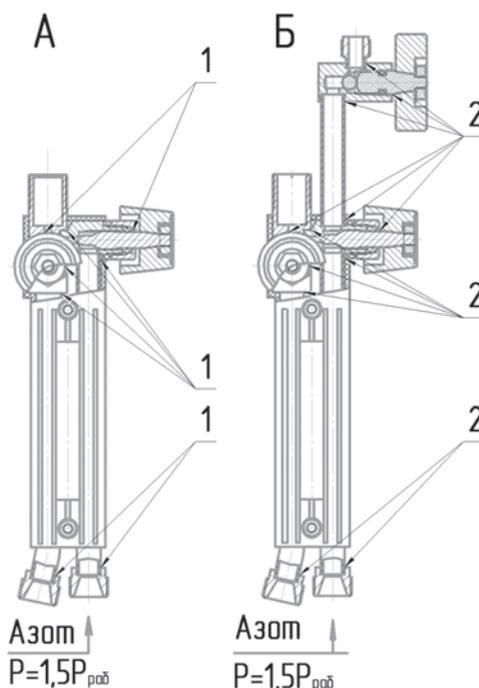
**Методы испытаний.**

*Внешний осмотр и проверка комплектности.*

При внешнем осмотре определяются видимые дефекты и общее состояние изделия в целом и его отдельных деталей (трещины, вмятины, оплавления, прогары и т. п.), а также наличие предусмотренных технической документацией маркировок.

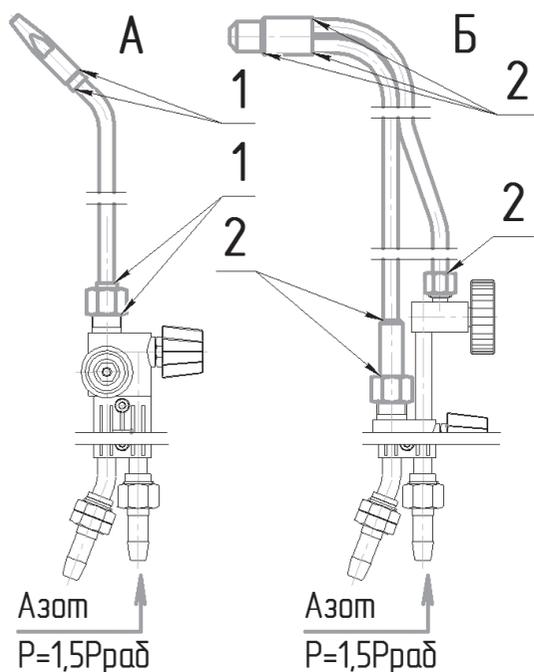
Комплектность изделия должна соответствовать паспортным данным. При утере паспорта в процессе эксплуатации его необходимо восстановить.

*Проверка герметичности.* Испытания на герметичность (рис. 1 и 2) проводятся азотом или сжа-



**Погружение в ванну с водой на 60 сек, Рост пузырьков не допускается**

Рис. 1. Схема испытания стволы горелок (А) и резаков (Б) на герметичность: 1 – контроль 8 точек, 2 – контроль 12 точек



**Погружение в ванну с водой на 60 сек.  
Рост пузырьков не допускается**

Рис. 2. Схема испытания наконечников горелок (А) и резаков (Б) на герметичность: 1 – контроль 4 точек, 2 – контроль 6 точек

тутым воздухом, не содержащем частиц масла и влаги. При испытании необходимо проверять герметичность вентилях, уплотняющих элементов и всех соединений изделия.

Проверка осуществляется посредством подачи воздуха под давлением на входе в изделие, превышающем в 1,5 раза наибольшее рабочее давление, но не менее 0,245 МПа. При этом изделие погружают в емкость с водой. Условия испытаний приведены в табл. 2.

Результаты проверки считаются положительными, если в течение 60 сек. с момента погружения изделия в воду не наблюдалось роста и увеличения количества газовых пузырьков.

*Проверка инжектирующей способности.* Для испытания горелок кислородный штуцер нужно присоединить к источнику газопитания с давлением газа перед горелкой, указанным в паспорте на изделие. К штуцеру горючего газа присоединить рукав с внутренним диаметром, равным диаметру ниппеля, и длиной не более 2 м; другой конец рукава присоединить к выходному штуцеру ротаметра на стенде (типоразмер ротаметра выбирается в зависимости от номера наконечника).

Затем вентили горючего газа и кислорода открыть полностью. По показанию ротаметра установить расход инжектируемого из атмосферы воздуха, который должен соответствовать:

- для ацетилено-кислородной горелки – не менее номинального (наибольшего) расхода ацетилена для данного номера наконечника;
- для сварочной горелки, работающей на газозаменителях ацетилена, не менее 0,62 расхода газа для данного номера наконечника.

При этом, критерием наличия разрежения в канале горючего газа является показание вакуумметра, к которому подсоединяется изделие (вместо ротаметра).

Для резаков давление воздуха при испытаниях должно превышать рабочее давление кислорода (для данного номера мундштука) в 1,5 раза, при этом в канале горючего газа не должно наблюдаться противодействия. Последовательность действий при испытаниях резаков такая же, как и для горелок. При этом паспортное давление кислорода должно устанавливаться при полностью открытых вентилях подогревающего и режущего кислорода.

Инжектирующую способность резаков необходимо проверять сначала при открытом, а затем при закрытом вентиле режущего кислорода. Проверки проводить для всех номеров наружных мундштуков, при этом внутренние мундштуки выбираются наибольшего и наименьшего номера для каждого номера наружного мундштука соответственно.

При отсутствии инжекции необходимо проверить диаметры отверстий мундштука (у горелок),

**Таблица 2. Условия испытаний**

Проверяемый узел	Подача воздуха (1,5 P <sub>раб</sub> , но не менее 0,245 МПа)	Способ проверки
Вентиль горючего газа	Штуцер горючего газа	Закреть вентиль горючего газа. Опустить изделие в воду
Вентиль кислорода	Штуцер кислорода	Закреть вентиль кислорода. Опустить изделие в воду
Линия горючей смеси	Штуцер кислорода	Заглушить штуцер горючего газа и выходной канал мундштука. Открыть вентили горючего газа и кислорода. Опустить изделие в воду
Линия режущего кислорода	Штуцер кислорода	Заглушить штуцер горючего газа; закрыть вентили горючего газа и подогревающего кислорода. Заглушить мундштуки и открыть вентиль режущего кислорода. Опустить изделие в воду

смесительной камеры и инжектора. Если диаметры соответствуют чертежам, необходимо вывернуть инжектор на 1/4 оборота относительно первоначального положения и провести повторную проверку. В случае получения отрицательного результата – заменить инжектор.

*Испытание изделий на горение, контроль паспортных характеристик.* Испытание проводят на стенде (рис. 3). Стенд состоит из двух независимых линий (кислорода и горючего газа), каждая из которых снабжена кранами 2 ротаметров 4, регулятором 3 и манометром 6. На выходе линии кислорода предусмотрен кран 7, линии горючего газа – кран 8. Все элементы стенда размещены на щите 1. Приборы, краны и испытываемая аппаратура соединены между собой рукавами 5.

Последовательность действий следующая:

- установить давления кислорода и горючего газа согласно паспорта на изделие регулятором 3;
- выбрать необходимые ротаметры с помощью кранов 2;
- открыть краны 7 и 8.

Открыть на изделии на 1/4 оборота кислородный вентиль и на 1/2 оборота вентиль горючего газа и поджечь выходящую из мундштука горючую смесь. Затем, поочередно открывая вентили горючего газа и кислорода, отрегулировать пламя, в котором должен наблюдаться избыток горючего газа (запас). Далее, плавно прикрывая вентиль горючего газа, отрегулировать пламя нормального состава. При этом ядро пламени должно быть правильной конической или конусно-цилиндрической формы.

Отрегулировав нормальное пламя (для резаков с пуском режущей струи), записать показания манометров 6 и ротаметров 4 для каждого газа и измерить длину ядра ацетилено-кислородного пламени. Испытание на горение проводить с каждым номером накопника (мундштука), входящего в комплект изделия.

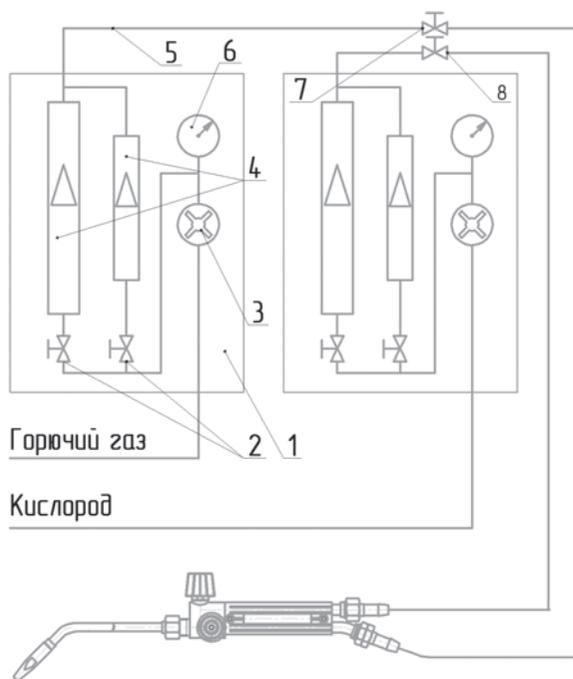


Рис. 3. Схема стенда для испытания горелок и резаков на горение

Далее проверить, как горит пламя при осевом и боковом нажатии пальцем руки на маховички вентиля, при этом состав пламени не должен изменяться.

Результаты испытаний считаются положительными, если:

- при полностью открытых вентилях кислорода и горючего газа в пламени наблюдается избыток горючего газа;
- расходы газов соответствуют паспорту на изделие.

*Проверка времени перекрытия газового канала.*

К штуцеру кислородному или горючего газа на горелке (резаке) подать азот или воздух под давлением 0,2-0,4 МПа, открыть полностью необходимый вентиль, опустить мундштук в воду, а затем быстро закрыть вентиль до герметичного перекрытия газового канала (до прекращения выхода пузырьков воздуха из мундштука). При этом фиксируется время между началом и концом закрытия вентиля, которое не должно превышать 6 с.

*Проверка усилия запираения вентиля и усилия вращения маховичков при регулировании расхода газа.* Для испытания горелку (резак) жестко закрепить в штативе и к испытываемому вентилю подать азот или воздух под давлением, превышающем рабочее в 1,5 раза.

Мундштук горелки (резака) погрузить в сосуд с водой (схема испытания приведена на рис. 4). К маховичку вентиля (диаметром D) посредством специального зажима и рычажного приспособления (длиной L) присоединить рычажный динамометр. Усилие определить по формуле:

$$F = 2F_0 L / D, \quad (1)$$

где  $F_0$  – усилие по показанию динамометра.

Результаты испытания считаются положительными, если усилие герметичного запираения не превышает 40 Н (4 кгс); усилие вращения маховичков при регулировании расхода газа – 5 Н (0,5 кгс).

**Устранение неисправностей, выявленных в процессе испытаний.** При устранении дефектов сварочных горелок и резаков необходимо иметь в виду, что

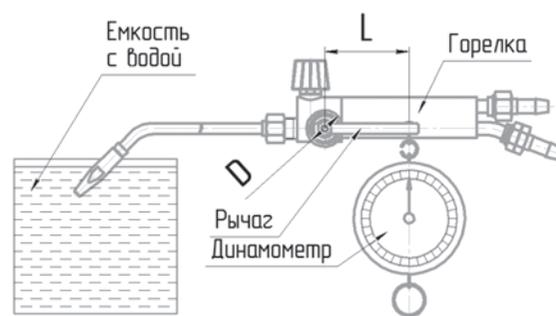


Рис. 4. Проверка усилий запираения вентиля и усилий вращения маховичков

одна и та же неисправность может быть обусловлена различными причинами или несколькими одновременно. Суммарное влияние дефектов и неисправностей нескольких деталей на работоспособность изделия может быть выявлено только при испытаниях горелок и резаков на герметичность, инжекцию и горение. В табл. 3 представлены внешние проявления различных неисправностей, их причины и способы устранения.

*Обработка, анализ и оценка результатов испытаний.*

Фактический расход газа вычисляется по формуле:

$$Q = K_r Q_{\text{пот}} \sqrt{(P_r + 1)}, \quad (2)$$

где:  $K_r$  – коэффициент газа;  $Q_{\text{пот}}$  – расход воздуха, определенный по тарифовочной кривой расходомера (равный делению шкалы расходомера) в л/ч;  $P_r$  – избыточное давление газа перед резаком или горелкой, определяемое по манометру, в кгс/см<sup>2</sup>.

Коэффициенты газов  $K_r$  (в случае тарировки расходомера по воздуху):

- воздух – 1,0;
- кислород технический – 0,95;
- пропан-бутан – 0,80;
- природный газ – 1,22;
- ацетилен – 1,05.

**Таблица 3. Внешние проявления различных неисправностей, их причины и способы устранения**

Причина неисправности	Способ устранения
1	2
Негерметичность сальникового уплотнения вентиля	
Недостаточно затянута сальниковая гайка	Подтянуть сальниковую гайку
Износ или повреждение сальникового уплотнителя	Заменить уплотнитель
Утечки газа или керосина через седло вентиля	
Износ седла вентиля	Притереть седло вентиля
Износ уплотняющей поверхности шпинделя	Установить шпиндель в патрон токарного станка и при вращении зачистить наждачной бумагой или заменить
Негерметичность соединения входного штуцера с ниппелем резиноканевого рукава	
Повреждена уплотняющая поверхность штуцера (царапины, задиры)	Притереть поверхность штуцера конусным притиром
Повреждена резьба штуцера или гайки	Восстановить резьбу плашкой или метчиком
Деформация штуцера, износ или неисправимые дефекты уплотняющей поверхности	Перепаять дефектный штуцер
Повреждена уплотняющая поверхность ниппеля (царапины, задиры)	Установить ниппель в патрон токарного станка и при вращении зачистить наждачной бумагой или заменить
Негерметичность паянных соединений, трубок ствола или наконечника	
Разрушение трубки (прогорание, трещина и т. д.)	Заменить дефектные трубки
Непропай, разрушение паянного соединения	Подпаять соединение
Хлопки при гашении пламени	
Забоины, заусенцы, нагар и т. д. на торцевой поверхности и в канале мундштука	Наждачной бумагой зачистить мундштук, прокалить выходной канал
Недостаточен расход кислорода	Прочистить инжектор
Отсутствие разрежения в газовом канале	
Засорение каналов мундштука, смесительной камеры или инжектора	Прочистить каналы специальными калибрами
Засорение канала для подачи кислорода от корпуса ствола к инжектору	Прочистить канал с помощью калибра или сверлом необходимого диаметра
Негерметичность в месте присоединения инжектора к стволу горелки (резака)	Отсоединить наконечник и притереть поверхность инжектора и ствола
	Вывернуть инжектор из смесительной камеры на 1/2 оборота. Присоединить наконечник и проверить наличие разрежения в канале горючего газа
Негерметичность в месте присоединения наконечника к стволу	Проверить резиновый уплотнитель
Несоответствие номеров инжектора, смесительной камеры и мундштука	Привести в соответствие с паспортом
Несоответствие чертежам инжектора или смесительной камеры	Доработать дефектные или изготовить новые детали

1	2
Негерметичность соединения мундштука с головкой горелки (резака)	
Недостаточно затянут мундштук	Подтянуть мундштук
Повреждена уплотняющая поверхность мундштука	Установить мундштук с минимальным биением в патрон станка и при вращении зачистить наждачной бумагой уплотняющую поверхность
Повреждена резьба мундштука	Прогнать резьбу подходящим метчиком (плашкой)
Повреждена уплотняющая поверхность головки	Зачистить притиром уплотняющую поверхность головки
Повреждена резьба головки	Прогнать резьбу подходящим метчиком (плашкой)
Негерметичность соединения наконечника (смесительного узла) со стволом	
Недостаточно затянута накидная гайка наконечника	Подтянуть накидную гайку
Износ или повреждение резинового уплотнительного кольца	Заменить дефектное кольцо
Негерметичность соединения трубки режущего кислорода со стволом	
Недостаточно затянута накидная гайка	Подтянуть накидную гайку
Повреждена уплотняющая поверхность штуцера (царапины, задиры)	Притереть поверхность штуцера чугунным притиром
Повреждена резьба штуцера	Прогнать резьбу
Деформация развальцованной части трубки режущего кислорода	Заменить трубку режущего кислорода
Постоянные хлопки пламени при горении или пуске режущего кислорода	
Незатянут внутренний мундштук	Подтянуть внутренний мундштук
Повреждена уплотняющая поверхность мундштука	Установить мундштук в патрон станка и при вращении зачистить наждачной бумагой
Повреждена уплотняющая поверхность головки	Зачистить притиром уплотняющую поверхность головки
Подогревающее пламя неправильной формы, несимметричность факела	
Эллипсность выходного отверстия наружного мундштука	Заменить наружный мундштук
Кольцевой зазор между мундштуками не концентричен	Отцентрировать внутренний мундштук относительно наружного
Заметное уменьшение расхода кислорода при открытых вентилях керосинореза	
Заклинивание золотника в обратном клапане	Разобрать обратный клапан и устранить неисправность
Наличие сажи внутри обратного клапана	Промыть детали обратного клапана бензином, обезжирить, просушить
Керосин не поступает в головку керосинореза	
Давление в бачке ниже 0,15 МПа	Поднять давление в бачке
Керосин не поступает в головку керосинореза РК-32 или РК-02М	
Уплотнилась и пригорела оплетка	Заменить асбестовый шнур

Литература

1. Литвинов В.М., Лысенко Ю.Н., Чумак С.А. Ремонт ручных горелок и резаков // Сварщик в России. – 2019. – № 3. – С. 18-24.  
 2. Литвинов В.М., Лысенко Ю.Н., Чумак С.А. Ручные газокислородные инжекторные горелки для сварки, пайки и нагрева // Сварщик в России. – 2018. – № 6. – С. 37-39.  
 3. Литвинов В.М., Лысенко Ю.Н., Чумак С.А. Ручные инжекторные газокислородные резаки // Сварщик в России. – 2019. – № 1. – С. 26-29.

4. Литвинов В.М., Лысенко Ю.Н., Чумак С.А. Керосинорез РК-32 // Сварщик в России. – 2018. – № 32. – С. 20-24.  
 5. Литвинов В. М., Лысенко Ю.Н., Чумак С. А. Керосинорезы «ЛУЧ» и «ЛУЧ-1» // Сварщик в России. – 2018. – № 4. – С. 20-22.

● # 1185

# От конверсии военной технологии к триумфу электросварки под флюсом

А.Н. Корниенко, к.т.н., ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ (Киев)

*В 1943 г. министр пропаганды рейха Геббельс вещал: «Уходя, мы уничтожаем все, что еще осталось от заводов, дорог, всю промышленность Советов. Они не смогут восстановить это и за 25 лет». Взрывчатки хватало; концерн «И.Г. Фарбениндустри» был связан картельными соглашениями с родственными концернами США и Великобритании, и не подвергался бомбардировкам. На немецкий концерн приходилось 100 % производства искусственного каучука, 95 % отравляющих веществ, 90 % пластика, 89 % магния, 84 % взрывчатых веществ, 70 % оружейного пороха. Союзники знали, для чего фашистам нужно огромное количество взрывчатки. Каждая вторая пуля, выпущенная в советского солдата, была произведена этим «Концерном смерти» [1]. Военные действия на территории СССР нанесли огромный ущерб народному хозяйству. Было разрушено 1710 городов и поселков городского типа, уничтожено свыше 70 тыс. сел и деревень, взорвано и выведено из строя 31 850 заводов и фабрик, 1135 шахт, 65 тыс. км железнодорожных путей, было разорено свыше 100 тыс. колхозов, совхозов и машинотракторных станций, посевные площади сократились на 36,8 млн. га, т. е. на четверть. Урон, причиненный СССР, превышал потери в период второй мировой войны всех др. европейских государств вместе взятых [2].*

## Организация восстановления и подъема экономики СССР.

Еще в 1943 г. руководство СССР приняло постановление «О неотложных мерах по восстановлению хозяйства в районах, освобожденных от немецкой оккупации». А в конце мая 1945 г. Государственный Комитет Оборона (ГКО) постановил перевести часть оборонных предприятий на выпуск товаров для населения. Государственный бюджет на 1945-1946 гг. предусматривал сокращение военных расходов, резкое увеличение ассигнований на развитие народного хозяйства, на социально-культурное строительство. Был принят закон о демобилизации и к концу 1947 г. было демобилизовано 8,5 млн. человек. Производство военной продукции сокращали на 40 млрд. руб., по сравнению с 1944 г., а производство гражданской продукции увеличили с 3,8 млрд. руб. в 1944 г. до 12,8 млрд. руб. в 1946 г. [3].

В марте 1946 г. Верховным Советом СССР был принят закон о четвертом пятилетнем плане восстановления и развития народного хозяйства. Основная задача заключалась в том, чтобы восстано-

вить регионы страны, подвергавшиеся оккупации, достичь довоенного уровня развития промышленности и сельского хозяйства, а затем и превзойти. Главными стратегическими основами этого плана были продолжение развития тяжелой промышленности и дальнейшая индустриализация страны; развертывание научно-технической революции. Техническая реконструкция базовых отраслей промышленности должна была осуществляться на основе последних достижений науки и техники, при внедрении передовых отечественных и зарубежных технологий и опыта организации производства. Для выполнения этих задач долю прямых военных расходов в госбюджете СССР уменьшили с 54,3 % в 1945 г. до 24 % в 1946 г. и 18 % в 1947 г.; численность вооруженных сил в 1945-1946 гг. сократили с 11 млн. человек до 2,8 млн. человек. Объемы капитальных работ в системе наркоматов обороны и ВМФ на период 1946-1950 гг. устанавливались в размере 7 млрд. руб. – в 2 раза меньше, чем в предвоенные годы (1938-1941 гг.) [3].

## Внешнеполитическая обстановка, инициация холодной войны.

5 марта 1946 г. бывший премьер-министр Великобритании У. Черчилль в Фултоне (США, Миссури) в присутствии президента США Г. Трумена произнес речь, которую в мировой истории принято считать стартом холодной войны. Как видно из опубликованных секретных документов, к тому моменту США уже выработали свой курс в отношении СССР – «сдерживание», «балансирование на грани войны», «атомные бомбардировки». «Обратить весь мир в свою веру», – заявил Черчилль. Именно в этой речи Черчилль впервые употребил выражение «железный занавес, который опустился на Европу»; а также высказался о том, что «наши русские друзья и союзники больше всего восхищаются силой и меньше всего уважают слабость, в особенности военную»; что необходимо отказаться от «доктрины равновесия сил» между государствами; что США и их союзники должны «научить» всех, кто вздумает помериться с ними силами [4, 5].

В 1948-1949 гг. в США приняли ряд законов о контроле над экспортом. Были составлены списки товаров, запрещенных к вывозу в СССР и страны соцлагеря. И СССР оказался в экономической блокаде, научно-технической и информационной изоляции. И все же все действия союзников не принесли ожидаемых результатов. СССР не только не пошел на пово-

ду их политики, но и отказался от плана Маршалла, от экономической помощи – от политической зависимости и экономической кабалы [6, 7].

### **Е.О. Патон – прорывные технологии для возрождения экономики.**

Восстановление экономики в значительной степени зависело от возможностей сварочного производства. Реально в арсенале сварочного производства имелись способы ручной дуговой, газовой, автоматической под флюсом и контактной сварки. Первые два вида были более-менее мобильными и универсальными, но малопроизводительными и требовали рабочих высокой квалификации. Два последних были высокопроизводительными, но пригодными для применения в определенных условиях для ограниченных типов изделий.

С 1943 г. в Институте электросварки уже работала группа по автоматической сварке строительных конструкций. 3-6 февраля 1944 г. в Нижнем Тагиле Е.О. Патон провел специальную конференцию представителей строительных организаций СССР. Им были показаны проекты установок для автоматической сварки балок, секций труб и т. д. [8].

В мае 1944 г. ИЭС возвратился в Киев. До конца года были модернизированы «военные» сварочные головки и автоматическая сварка под флюсом была успешно внедрена на 12 крупных предприятиях, в т. ч. на Киевском заводе «Ленинская кузница», Днепропетровском заводе металлоконструкций им. В.М. Молотова и др. [9-11]. Кроме того, к зиме 1944 г. сотрудники сами отремонтировали и «новый» корпус института.

Но доменные, нефтерезервуары, газгольдеры, корабли имеют швы на плоскостях, отличающихся от нижнего положения; котлы, вагонетки, всевозможные машины – это короткие, криволинейные швы. Они выполнялись вручную, а рабочих не хватало. Значит, нужна была высокопроизводительная техника, работающая за десятерых; как и на оборонных заводах.

Никто не сомневался, что ИЭС в годы войны довел автосварку под флюсом до совершенства, «выжал» все возможное. Создание новой техники сварки под флюсом казалось фантастикой. При



Рис. 1. Совещание у директора Института электросварки (слева направо: Б.И. Медовар, И.И. Фрумин, Е.О. Патон, П.И. Севбо, Б.Е. Патон), октябрь 1947 г.

сварке вертикальных швов флюс будет сыпаться, а автомат не поползет по стенке. Сварочные головки с их подающими и перемещающими механизмами не разместишь между перемычками, корабельными шпангоутами и стрингерами, планками кузовов, рам, котлов, вагонеток и т.п. сварных конструкций. Но Евгений Оскарович Патон все же решил, что дуговая сварка под флюсом не исчерпала свои возможности. Тем более, что уже был накоплен огромный опыт решения сложных ответственных задач конструирования оборудования, создания новых флюсов, технологии, исследованы энергетические и металлургические процессы [12, 13] (рис. 1).

Е.О. Патон поставил задачу «выжать из сварки под флюсом все возможное и не возможное, развить успех военной технологии». Сравнительно молодой, но уже опытный коллектив ИЭС пополнился выпускниками Свердловского политехнического и Московского энергетического институтов. На должность заместителя по науке Е.О. Патон пригласил профессора МВТУ им. Н.Э. Баумана К.К. Хренова – исследователя сварочной дуги, создателя подводной сварки и ряда др. технологий. Его избрали академиком АН УССР. Однако Хренов не поддержал «фантастическую» идею. Он перешел заведовать кафедрой сварочного производства в КПИ, где создал опытно-учебную лабораторию [14].

Рационализация сварных конструкций была одним из важнейших направлений. Путем совершенствования форм в ИЭС решались задачи технологичности сварных изделий, снижения их массы, уменьшение количества соединительных деталей. Одна из идей Е.О. Патона заключалась в создании новых конструкций, пригодных к автоматизации сборочно-сварочных операций, «расчленении» конструкций на узлы и включение сварочных автоматов в поточные линии. Так, в 1946 г. были разработаны новая конструкция вагонеток и принцип совмещения операций сборки и сварки узлов. На Торецком машиностроительном заводе (Донбасс) была пущена поточная линия и процесс изготовления сократился в 20 раз. Шахты и карьеры Донецкого, Днепровского и ряда др. регионов получили тысячи сварных вагонеток. К 1950 г. все 220 основных шахт Донбасса были восстановлены, введены в действие несколько новых шахт и добыча угля превысила довоенный уровень. В 1946-1948 гг. на Мариупольском заводе им. Ильича с участием ИЭС им. Е.О. Патона была построена линия для изготовления железнодорожных цистерн (Сталинская премия 1947 г., Г.З. Волошкевич и др.) (рис. 2). Поточный способ сборки и сварки был внедрен на Луганском паровозостроительном и Крюковском вагоностроительном заводах. Сотрудникам ИЭС удалось усовершенствовать конструкцию дымовых камер, котлов, узлов паровозов и др. ответственных узлов и перевести их изготовление на автоматическую сварку [15, 16].



Рис. 2. Сварная железнодорожная цистерна из алюминиевого сплава

Под руководством Е.О. Патона удалось совершить прорыв в создании принципиально нового оборудования – универсальной мобильной сварочной аппаратуры, специализированной аппаратуры для массового производства однотипных изделий и оборудования для вспомогательных и смежных операций, и опередить мировое развитие такой техники на десятилетия. Научные основы проектирования высокоэффективных источников питания и систем управления сварочными процессами были разработаны Б.Е. Патоном. Им впервые в мире была создана теория автоматического регулирования процессов дуговой сварки, предложены схемы простых и надежных сварочных аппаратов. Портативный трактор ТС-6 (П.И. Севбо, В.Е. Патон) открыл серию специализированных легких сварочных аппаратов и сразу же был применен на строительстве магистрального газопровода Дашава-Киев-Брянск-Москва (Сталинская премия 1949 г., В.Е. Патон). Универсальный сварочный автомат-трактор ТС-17 (конструктор В.Е. Патон), стал одним из основных средств механизации сварочных работ в народном хозяйстве страны (рис. 3). Конструкция этого аппарата послужила основой для большой гаммы аппаратов [10, 11, 17].

В 1944 г. Б.Е. Патоном впервые в мире разработаны автоматы и полуавтоматы шланговой сварки дугой под флюсом с механизированной подачей



Рис. 3. Сварка трактором ТС-17 стыков трубопроводов в полевых условиях

электродной проволоки через гибкий шланг к держателю с соплом и бункером (ПШ-5). Такие держатели можно было крепить на механизмы или перемещать вручную [18, 19] (Сталинская премия 1950 г., Б.Е. Патон, Д.А. Дудко, П.Г. Гребельник, И.Н. Рублевский и др.) (рис. 4).

Распространению автоматической сварки в судостроении способствовало создание электромагнитных стенов с флюсовыми подушками для сварки полотнищ судовых секций [20]. Разработан сварочный пистолет для приварки шпилек под флюсом, в т. ч. в вертикальном и потолочном положениях (Н.Г. Остапенко).

В 1947-1948 гг. исследованы процессы плавления и кристаллизации в зоне сварки, установлены физические закономерности формирования швов. Впервые в мире разработаны технология автоматической дуговой сварки швов с принудительным формированием шва в различных пространственных положениях (Г.З. Волошкевич) и соответствующие аппараты (П.И. Севбо, В.Е. Патон) (рис. 5).

Первая в мире цельносварная доменная печь объемом 1 033 м<sup>3</sup> с вертикальными «автоматными» швами была возведена в 1948 г. в Запорожье. К концу 1950 г. были восстановлены и сооружены 23 доменные печи мощностью 8,3 млн. т чугуна в год, 51 мартеновская печь годовой мощностью 4,7 млн. т стали, прокатные станы мощностью 4,4 млн. т проката.

В 1944 г. В.Г. Раевский доказал возможность изменения формы сварных конструкций в пределах упругих деформаций. Впервые в мире была разработана техника сооружения крупногабаритных листовых конструкций методом рулонирования, при котором стены, крыша и днище сваривают под флюсом автоматами в полотнища, тут же в цехах сворачивают их в рулоны, транспортируют и разворачивают на монтажной площадке. Вместо сборки и сварки множества отдельных листов на месте эксплуатации оставалось сварить один вертикальный стык стенки и приварить днище и крышу к стенке [21] (рис. 6).

Для индустриального производства резервуаров емкостью до 5 000 м<sup>3</sup> были построены цеха на Куйбы-

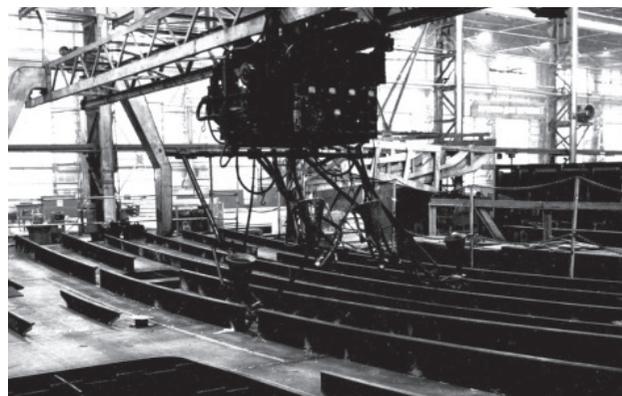


Рис. 4. Сварка палубной секции корабля шланговыми автоматами ПШ-5

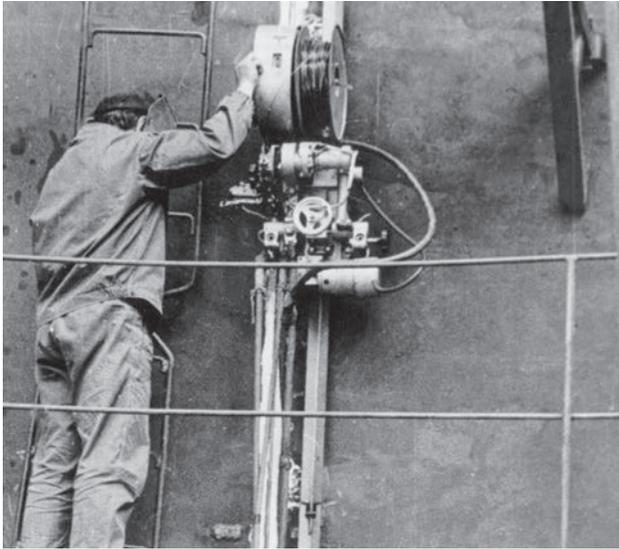


Рис. 5. Впервые в мире была проведена автоматическая сварка вертикальных швов

шевском и Запорожском заводах металлоконструкций. Удалось в десять раз ускорить строительство. Экономический эффект от применения рулонного способа только за первый год составил около 700 тыс. руб. (в 1958 г. работа отмечена Ленинской премией).

В 1945-1950 гг. были выполнены комплексные исследования природы образования трещин и пор в сварных соединениях, разработана теория хрупкого разрушения сварных конструкций и методы оценки свариваемости сталей. Результаты работ послужили основанием для создания новых марок сталей, сварочных материалов и технологий, использованных при производстве ответственных инженерных сооружений. Вершиной работы Е.О. Патона является сооружение в 1953 г. крупнейшего в Европе цельносварного автодорожного моста через р. Днепр в Киеве. Объем автоматической сварки на монтаже, в т. ч. и вертикальных швов, был доведен до 88 %. Всего было выполнено более 10 000 м швов [22, 23] (рис. 7).

В 1944-1946 гг. разработана технология автоматической трехэлектродной сварки (Б.Е. Патон, С.Л. Мандельберг и др.), сварки под флюсом электродом, наклонным вдоль оси шва «углом вперед», расщепленными электродами и др. процессы (А.И. Коренной, Б.И. Медовар и др.), что позволило в несколько раз повысить скорость сварки.

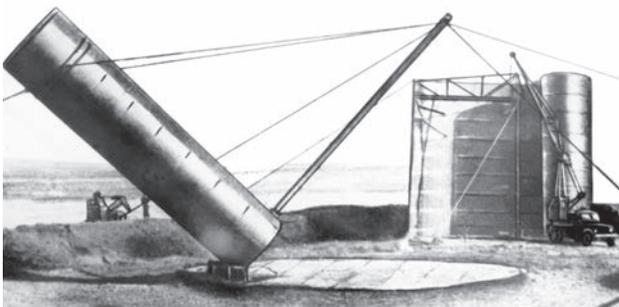


Рис. 6. Монтаж резервуара по новой технологии рулонирования



Рис. 7. Сварка балки для моста им. Е.О. Патона на Днепропетровском заводе металлоконструкций, 1952 г. В 1946–1947 гг. в ИЭС создана технология сварки со скоростью 160-200 м/ч. В 1949 г. запущен первый непрерывный трубоэлектросварочный стан на Харцызском трубном заводе (рис. 8). С 1950-х гг. такие линии начали строиться на др. заводах [24] (Сталинская премия 1950 г., Б.И. Медовар, Р.И. Лашкевич и др.).

Для восстановления изношенных валков и увеличения стойкости прокатных валков, бурового инструмента, вагонных колес и т. п., были созданы материалы и технология наплавки специальными автоматами. Вальценаплавочными станками Краматорского завода тяжелого станкостроения оснастили более 50 металлургических заводов СССР и многие заводы зарубежных стран [10, 11].

Следует отметить и «побочный» результат «максимального выжимания возможностей дуговой сварки под флюсом».

Неожиданный эффект возник при внедрении дуговой сварки вертикальных швов. В 1949 г. было обнаружено, что при большом слое шлака в сварочной ванне дуга гасла, однако процесс плавления кромок и электродной проволоки продолжался проходящим током.

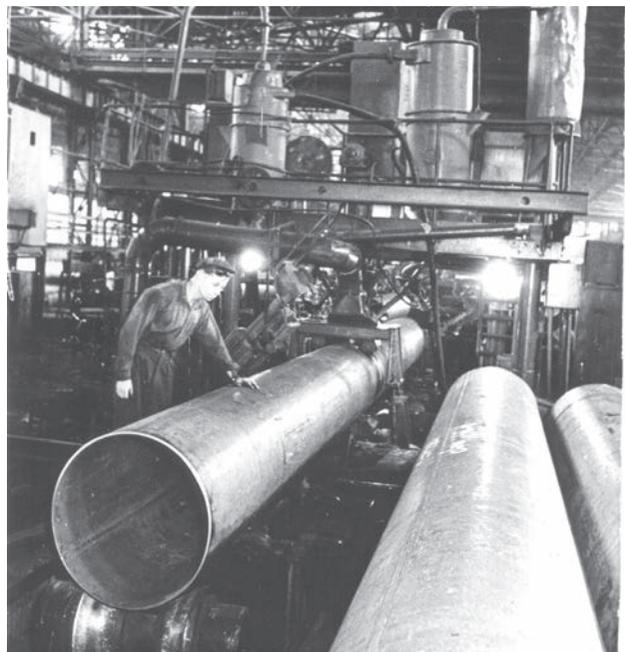


Рис. 8. Цех автоматической сварки Харцызского трубного завода

Новый вид соединения металлов назван электрошлаковой сваркой (ЭШС). В короткий срок были решены проблемы производства нового класса массивных металлических конструкций: сварно-литых, сваркованных и сварно-прокатных. ЭШС «открыла путь» технологиям, получившим общее название «электрошлаковые технологии» (Б.Е. Патон, Г.З. Волошкевич и др. отмечены Ленинской премией 1957 г.) (рис. 9).

В 1949 г. впервые в мире разработана технология дуговой сварки алюминиевых сплавов по слою галоидного флюса (Д.М. Рабкин). Алюминиевые емкости необходимы, в первую очередь, для ракетного топлива. Поточное производство цистерн было налажено на заводе Ждановтяжмаш, алюминиевых котлов – на Киевском заводе «Большевик». Дальнейшие исследования процессов взаимодействия хлора и фтора с компонентами дуговой плазмы и металла ванны позволили создать технологии сварки высокоактивных металлов (титана, ниобия, тантала и др.), и новый вид сварки – А-ТИГ.

Еще в конце 1930-х гг. в ИЭС была разработана стальная сварочная проволока с повышенным содержанием кремния и марганца (В.И. Дятлов), началось внедрение сварки в углекислом газе графитовыми электродами (Н.Г. Остапенко). В конце 1940-х гг. исследованиями Б.Е. Патона электродинамических характеристик сварочных цепей решена проблема разбрызгивания плавящегося электрода и создана дуговая сварка при высокой плотности тока в защитной среде углекислого газа во всех пространственных положениях (в 1963 г. Ленинской премией отмечены К.В. Любавский, Н.М. Новожилов, Д.А. Дудко, А.Г. Потапьевский и др.) (рис. 10).

#### **Е.О. Патон – государственные решения в организации сварочного производства в СССР.**

Е.О. Патон понимал, что полномасштабное освоение инновационной техники требует правительственных решений и подготовил соответствующий проект. 9 июня 1947 г. Совет Министров СССР издал постановление «О расширении применения в промышленности автоматической электросварки под слоем флюса» [25].



Рис. 9. Б.Е. Патон. Эксперимент по электрошлаковому переплаву, 1971 г.

Постановление предусматривало изготовление на заводах судостроительной и электротехнической промышленности, в мастерских ИЭС и Центрального научно-исследовательского института технологии машиностроения 670 сварочных автоматов с вводом их в эксплуатацию в течение 1,5 лет на 111 заводах. За этот же период 18 промышленных министерств должны были резко увеличить долю автоматической сварки под флюсом в общем объеме сварочных работ, в т. ч. – при производстве пролетных строений мостов – до 90 %, паровых котлов – до 80 %, железнодорожных цистерн – до 60 %, нефтехимической аппаратуры – до 40 %. Планировалось значительно увеличить долю использования прогрессивных технологий в общем объеме сварочных работ. Были выделены необходимые фонды, запланировано открытие сварочных кафедр в вузах, курсов подготовки рабочих. ИЭС было поручено научное и организационное сопровождение всех сварочных работ в стране [3].

Рассчитывая на плодотворное использование в интересах народного хозяйства производственного, технического и научного потенциала оборонной промышленности, советское руководство в то же время не могло не принимать во внимание обстоятельства и условия начавшейся «холодной войны», которая вскоре потребовала незамедлительного комплексного перевооружения армии и флота на качественно новом техническом уровне [26].

Внедрение секционного метода сборки и сварки корпусов оказалось не только сложной технической задачей, но и не рациональной без механизации и автоматизации технологических процессов. Переход к широкому использованию сварки сопровождался глубокими изменениями всех стадий создания судна: конструирования и расчетов прочности судов, оборудования и структуры производства в судостроительных цехах, способов и организации сбо-

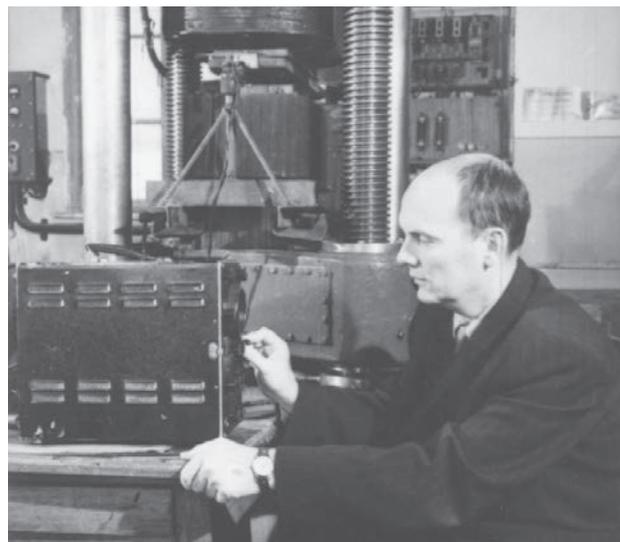


Рис. 10. Б.Е. Патон, исследовал процессы в сварочных цепях, установил требования к источникам питания и заложил научные основы автоматизации сварочных процессов, 1947 г.

рочно-сварочных работ, испытания и сдачи судов. Цикл строительства военных кораблей и крупнотоннажного грузового и промышленного флота на всех судостроительных и судостроительно-судоремонтных заводах страны сократился в два раза. Цельно-сварные крейсера проекта 68 бис были признаны лучшими в мире кораблями этого класса.

По темпам развития, уровню разработок и масштабам применения автоматической и полуавтоматической сварки СССР опередил др. страны. Общий объем производства сварных конструкций в СССР в 1958 г. составлял 5,9 млн. т. Применение автоматической сварки под флюсом дало возможность в 3,5 раза повысить производительность труда. Только в 1946-1958 гг. внедрение сварки под флюсом позволило высвободить для др. отраслей производства свыше 30 тыс. квалифицированных рабочих.

Организация Е.О. Патонем в послевоенные годы целенаправленных фундаментальных исследований в области сварки под флюсом привела к углублению знаний о физических, металлургических процессах, прочности сварных соединений.

Крупным вкладом Е.О. Патона в организацию науки является проведение целенаправленных научных исследований на всех этапах цикла – от научной идеи до внедрения и промышленной эксплуатации инновационных технологий, регулирование интенсивности комплексно совмещенных исследований на различных этапах, умелое сочетание экономических и административно-директивных методов ускорения внедренческих работ.

В целом, исторический анализ показывает, что несмотря на экономическую блокаду и научно-информационную изоляцию отечественные ученые, конструкторы, изобретатели, организаторы производства успешно решили научные и производственные проблемы высочайшего мирового уровня и оказались в авангарде научно-технического прогресса.

#### Литература.

1. Highham Ch. Trading with the enemy. // An Expose of the Nazi-American Money Plot 1933-1949. – New York, 1983.
2. Великая Отечественная война Советского Союза 1941-1945. // Краткая история. – М.: Воениздат, 1970. – 571 с.
3. Решения партии и правительства по хозяйственным вопросам. // Сборник документов за 50 лет. – М., 1968. – Т.3.
4. Containment: Documents on American Policy and Strategy, 1945-1950. – N.Y.: Columbia University Press, 1978.
5. Черчилль У. Мускулы мира. – М., 2002. – 481 с.
6. The Great Documents Deluge. Society for Historians of American Foreign Relations. – N.Y., 1976.
7. Шерри М. Подготовка к следующей войне. – М.: Изд-во «Мир», 1977.

8. Патон Е.О., Севбо П.И., Раевский Г.В., Патон Б.Е. Автоматическая сварка под флюсом строительных металлоконструкций. – М.: Стройиздат, 1944. – 70 с.

9. Патон Е.О. К истории развития автоматической электродуговой сварки // Вести АН УССР. – 1941. – № 2/3. – С. 3-12.

10. Матийко М.М. Развитие дуговой электро-сварки на Украине. – К.: Изд-во АН УССР. – 1960. – 155 с.

11. Чеканов А.А. История автоматической электросварки. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 159 с.

12. Патон Б.Е., Макара А.М. Экспериментальное исследование процесса сварки под слоем флюса. – Киев: Изд-во АН УССР, 1944. – 92 с.

13. Основные направления развития сварочной техники и науки о сварке в СССР в 1946-1958 гг. // Сварка в СССР. – М.: Наука, 1982. – Т. 1. – С. 77-102.

14. Патон Е.О. Воспоминания. – К.: Гослитиздат Украины, 1955.

15. Патон Е.О. О первенстве советской науки и техники в области сварки под флюсом. – Киев: Ин-т электросварки, 1951. – 32 с.

16. Волошкевич Г.З. Автоматическая сварка в системе поточного производства железнодорожных цистерн. // Сборник трудов по автоматической сварке. – К.: Изд-во АН УССР, 1948. – № 1.

17. Автоматическая сварка под флюсом / Под ред. Е.О. Патона. – К.; М.: Машгиз, 1948. – 344 с.

18. Патон Б.Е. Сварка длинным, гибким электродом под флюсом. // Автогенное дело. – 1945. – № 1. – С. 1-2.

19. Патон Б.Е. Развитие автоматической электро-сварки под флюсом за годы войны. // Электричество. – 1945. – № 3. – С. 3-5.

20. Казимиров А.А. Автоматическая сварка в речном судостроении. // Юбилейный сборник, посвященный 80-летию Е.О. Патона. – К.: Изд-во АН УССР, 1951. – С. 183-212.

21. Раевский Г.В. Изготовление стальных вертикальных цилиндрических резервуаров методом сворачивания. – М.; Л.: Гостехиздат. – 1952. – 115 с.

22. Патон Е.О., Шверницкий В.В. Сталь для сварных мостов. – В кн.: Труды по автоматической сварке под флюсом. – Киев: Изд-во АН УССР, 1949. – № 6. – С. 3-7.

23. Автоматическая сварка под флюсом. / Под ред. Е.О. Патона. – Киев, М.: Машгиз. – 1953. – 396 с.

24. Медовар Б.И. Автоматическая сварка под флюсом наклонным электродом. – Киев: Изд-во АН УССР, 1947. – 83 с.

25. История социалистической экономики СССР. М., Т.6. – 1980.

26. Информационный ресурс: <http://refwin.ru/4222424443.html>.

● # 1186

## ТЕХНИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА

Название книги	Цена (руб.)*
<b>В. М. Литвинов, Ю. Н. Лысенко.</b> Кислородная резка и внепечной нагрев в тяжелом машиностроении. 2017. — 368 с. . . . . 600	
<b>В. И. Лакомский, М. А. Фридман.</b> Плазменно-дуговая сварка углеродных материалов с металлами. 2004. — 196 с. . . . . 400	
<b>А. А. Кайдалов.</b> Электронно-лучевая сварка и смежные технологии. Издание 2-е, переработанное и дополненное. 2004. — 260 с. . . . 500	
<b>В. Я. Кононенко.</b> Газовая сварка и резка. 2005. — 208 с. . . . . 400	
<b>С. Н. Жизняков, З. А. Сидлин.</b> Ручная дуговая сварка. Материалы. Оборудование. Технология. 2006. — 368 с. . . . . 500	
<b>А. Я. Ищенко и др.</b> Алюминий и его сплавы в совре- менных сварных конструкциях. 2006. — 112 с. с илл. 400	
<b>П. М. Корольков.</b> Термическая обработка сварных соединений. 3-е изд., перераб. и доп. 2006. — 176 с. 400	
<b>А. Е. Анохов, П. М. Корольков.</b> Сварка и термиче- ская обработка в энергетике. 2006. — 320 с. . . . . 500	
<b>Г. И. Лащенко.</b> Способы дуговой сварки стали плавящимся электродом. 2006. — 384 с. . . . . 500	
<b>А. А. Кайдалов.</b> Современные технологии термической и дистанционной резки конструкционных материалов. 2007. — 456 с. . . . 500	
<b>П. В. Гладкий, Е. Ф. Переплетчиков, И. А. Рябцев.</b> Плазменная наплавка. 2007. — 292 с. . . . . 500	
<b>А. Г. Потапьевский.</b> Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Часть 1. Сварка в активных газах. 2007. — 192 с. . . . . 500	
<b>Г. И. Лащенко, Ю. В. Демченко.</b> Энергосберегающие технологии послесварочной обработки металлоконструкций. 2008. — 168 с. . . . . 400	
<b>Б. Е. Патон, И. И. Заруба и др.</b> Сварочные источники питания с импульсной стабилизацией горения дуги. 2008. — 248 с. . . . . 400	
<b>З. А. Сидлин.</b> Производство электродов для ручной дуговой сварки. 2009. — 464 с. . . . . 600	
<b>В. Н. Радзиевский, Г. Г. Ткаченко.</b> Высокотемпературная вакуумная пайка в компрессоростроении. 2009. — 400 с. . . . . 500	
<b>В. Н. Корж, Ю. С. Попиль.</b> Обработка металлов водородно-кислородным пламенем. 2010. — 194 с. . . . 400	
<b>Нормирование расхода покрытых электродов при ручной дуговой сварке и наплавке.</b> <b>Нормирование расхода сварочных материалов при сварке в углекислом газе и его смесях.</b> <b>Нормирование расхода сварочных материалов при сварке под флюсом.</b> Справочные пособия. 2008. — 68 – 68 – 40 с. . . . . 200	
<b>** Г. И. Лащенко.</b> Современные технологии сварочного производства. 2012. — 720 с. . . . . 300	

\* Цены на книги указаны без учета стоимости отправки.

\*\* Продается только в электронной версии.

## Тарифы на рекламу в 2019 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

(\* все цены в руб. с НДС)

### Изготовление оригинал-макета

- 10% стоимости рекламной площади

### Статья на правах рекламы

- 1 стр. — 12 000 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. глав. 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.: +380 44 200-80-18

e-mail: trofimets.welder@gmail.com

**www.welder.stc-paton.com**

## Подписка-2019 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 (скидка 50 %)**