

5 (81) 2019

Журнал выходит 6 раз в год.

Издается с мая 2006 г.

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

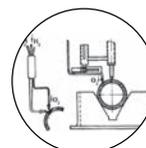
Подписной индекс **E20994**
в каталоге Агентства «Книга-Сервис»

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



СОДЕРЖАНИЕ

Новости техники и технологий	4
Термическая резка и правка. История газопламенной обработки История создания бытовых и технологических процессов нагрева, термической резки и правки. <i>В.И. Панов</i>	6
Вклад отделов ИЭС им. Е.О. Патона в научно-технический прогресс. К 85-летию ИЭС им. Е.О. Патона Этапы становления и развития отдела «Физико-металлургических процессов сварки легких металлов и сплавов» ИЭС им. Е.О. Патона. <i>Т.М. Лабур, Ю.В. Фальченко</i>	9
Технологии и оборудование для АЭС Новый отечественный труборез из гаммы оборудования для подготовки к сварке неповоротных стыков трубопроводов атомных электростанций. <i>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</i>	20
Оборудование для производства Машинный газокислородный резак РГКМ-2-SR «Гном». <i>В.М. Литвинов, Ю.Н. Лысенко, С.А. Чумак</i>	26
Наши консультации	30
Технологии неразрушающего контроля Упрощенный метод поиска больших трещин и других поражений металлоконструкций без зачистки их поверхности. <i>В.А. Троицкий, В.А. Литвиненко</i>	33
Страницы истории ИЭС им. Е.О. Патона. К 85-летию ИЭС им. Е.О. Патона «Вулкан» на земле и в космосе. 50 лет назад началась эра космических технологий. <i>А.Н. Корниенко</i>	36



■	News of technique and technologies	4
■	Thermal cutting and fixing.	
	History of gas-flame treatment	
	The history of the creation of household and technological processes of heating, thermal cutting and fixing. <i>V.I. Panov</i>	6
■	Contribution departments of E.O. Paton	
	EWI in scientific and technological progress.	
	On the 85-th anniversary of E.O. Paton EWI	
	Stages of the formation and development of the department of "Physical and metallurgical processes of welding of light metals and alloys" of the E.O. Paton EWI. <i>T.M. Labour, Yu.V. Falchenko</i>	9
■	Technologies and equipment for nuclear power plants	
	A new domestic pipe cutter from the gamma of equipment for preparing for welding fixed joints of pipelines of nuclear power plants. <i>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</i>	20
■	Equipment for the production	
	Machine gas-oxygen cutter RGKM-2-SR «Gnome». <i>V.M. Litvinov, Yu.N. Lysenko, S.A. Chumak</i>	26
■	Our consultations	30
■	Technologies of nondestructive testing	
	A simplified method for searching of large cracks and other damage of metal structures without cleaning their surface. <i>V.A. Troitskiy, V.A. Litvinenko</i>	33
■	Pages history of the E.O. Paton EWI.	
	On the 85-th anniversary of E.O. Paton EWI	
	"Vulcan" on earth and in space. 50 years ago, the era of space technology began. <i>A.N. Kornienko</i>	36

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 ct94@mail.ru
Главный редактор В. Д. Позняков
Зам. главного редактора В. Г. Абрамишвили
Редактор В. Г. Абрамишвили
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 15.11.2019. Формат 60×84 1/8. Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура PetersburgC. Отпечатано в ЗАО «ТДДС-Столица-8». Заказ № 9156 от 12.11.2019. 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
Тел./факс +380 44 200 80 14
E-mail welder.kiev@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 создания бытовых и технологических процессов нагрева, термической резки и правки.

В.И. Панов

В статье в хронологическом порядке показаны основные этапы создания газов (начиная с изучения состава воздуха в восьмом веке вплоть до наших дней): горючих (водорода, ацетилена и др.) и инертных (аргона и др.), применяемых в современных технологических процессах термической резки и правки. Этому способствовали такие великие ученые, как Г. Кавендиш, А. Лавуазье и многие другие.

Этапы становления и развития отдела «Физико-металлургических процессов сварки легких металлов и сплавов» ИЭС им. Е.О. Патона.

Т.М. Лабур, Ю.В. Фальченко

В статье представлены основные этапы создания и развития различных способов и технологий сварки алюминия и его сплавов в отделе «Физико-металлургических процессов сварки легких металлов и сплавов» ИЭС им. Е.О. Патона с момента его создания и по сегодняшний день. Отмечен вклад ведущих сотрудников отдела в решение актуальных задач по разработке технологий сварки конкретных изделий на различных предприятиях авиационного, ракетно-космического комплексов и транспортного машиностроения.

Новый отечественный труборез из гаммы оборудования для подготовки к сварке неповоротных стыков трубопроводов атомных электростанций.

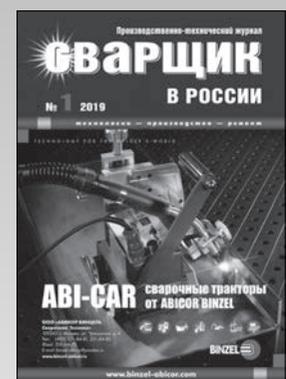
Л.М. Лобанов, Н.М. Махлин, В.Е. Водолазский, В.Е. Попов, Л.П. Муценко, Д.С. Олияненко, С.И. Лавров, А.А. Кириленко, В.Г. Притыка, А.В. Ковалюк

Приведены результаты разработок ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ и его подразделения - ГП «Научно-инженерный центр сварки и контроля в отрасли атомной энергетики Украины Института электросварки им. Е.О. Патона НАНУ» (НИЦ СКАЭ) по созданию нового отечественного разъемного трубореза ТТЦ 670 УЗ.1 для подготовки к сварке неповоротных стыков металлических трубопроводов с номинальным внешним диаметром от 159 до 219 мм (в т.ч. «бесконечной» длины). Применение таких труборезов необходимо при монтаже, ремонте и модернизации объектов энергетики (включая энергоблоки атомных и тепловых электростанций), в химическом и энергетическом машиностроении, в судостроении, на предприятиях нефтегазового и аэрокосмического комплексов, и в др. отраслях. Описаны проведенные в ИЭС им. Е.О. Патона совместно с НИЦ СКАЭ исследования и экспериментально - технологические работы. Показаны преимущества разъемного трубореза ТТЦ 670 УЗ.1 по сравнению с зарубежными моделями оборудования аналогичного назначения.

Машинный газокислородный резак РГКМ-2-SR «Гном».

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

Разработан и внедрен на ЧАО «НКМЗ» газокислородный резак РГКМ-2-SR «Гном» для работы на полуавтоматах, использующих направляющие с магнитными присосками. По сравнению с аналогами увеличен верхний предел разрезаемой толщины с 60 до 100 мм и произведена замена ацетилена на природный газ в качестве энергоносителя, без увеличения массы и габаритов резака. Описаны устройство и работа резака, приведены чертежи деталей, имеющих расчетные каналы. На примере подготовки кромок под сварку барабана шахтоподъемной машины на монтажной площадке показан процесс вертикальной кислородной резки на различных этапах: проверка резака на горение, врезание, начало, окончание резки и качество поверхности реза.



ЦНИИТМАШ инициировал создание в России национального института сварки



Директор института сварки Государственного научного центра РФ АО «НПО «ЦНИИТМАШ» (входит в машиностроительный дивизион «Росатома» - АО «Атомэнергомаш») Юрий Волобуев принял участие в общероссийском совещании «Проблемы сварочной отрасли в РФ и пути их решения». Заседание прошло в рамках 19-й Международной выставки сварочных материалов, оборудования и технологий «Weldex - 2019».

В совещании приняли участие ученые и специалисты в области сварки, механики, металлургии, представители исполнительной власти, госструктур и общественных организаций. В состав президиума вошли представители Минпромторга, Военно-промышленной комиссии, ЦНИИТМАШ.

В ходе заседания были представлены доклады о результатах взаимодействия Минпромторга с профессиональным сварочным сообществом РФ и мерах господдержки сварочной отрасли; особенностях организации отечественного сварочного производства; проблемах и перспективах развития стандартизации в отечественном машиностроении; проблемах подготовки инженеров-сварщиков и ученых в областях развития традиционных и новых методов сварки. Участники совещания обсудили предложения о мерах и формах поддержки в РФ отечественных производителей высокотехнологического сварочного оборудования; о необходимости изменения ввозных таможенных пошлин на некоторые виды сварочных материалов, оборудования, комплектующих и сырья, с целью защиты и поддержки отечественных производителей; о комплексе мер по созданию благоприятных условий для производства в РФ высокотехно-

логичной сварочной техники. Также были затронуты вопросы перспектив сотрудничества представителей сварочного сообщества с правительственными и международными структурами, отраслевыми и профессиональными организациями.

Юрий Волобуев в ходе своего доклада поделился предложениями по созданию условий для развития сварки в России.

По итогам заседания был принят ряд решений. Одно из ключевых – о необходимости создания в России Национального института сварки на базе: ЦНИИТМАШ, НИЦ «Курчатовский институт» - ЦНИИ КМ «Прометей», с участием Госкорпораций Росатом, Роскосмос, ОСК, Министерства транспорта и др. ведомств. Одной из его основных задач станет выполнение экспертных функций, формирование и представление консолидированной позиции и интересов в области развития сварочного производства в РФ для органов власти, и создание государственной научно-технической программы развития сварочного производства на основе внедрения результатов фундаментальных, ориентированных и прикладных исследований, новых импортозамещающих материалов, оборудования и перспективных технологий.

На выставке «Weldex-2019» на стенде ЦНИИТМАШ специалисты института сварки рассказывали посетителям о передовых технологиях сварки и наплавки ответственных изделий из сталей различных структурных классов, роторов турбин, главного циркуляционного трубопровода АЭС, разработке новых сварочных материалов, оборудовании и технологии зонного нагрева и термообработки сварных конструкций. Большое число вопросов у посетителей стенда возникло по проблемам аттестации специалистов сварочного производства и технологий сварки в связи с выходом серии новых ГОСТ-ов в атомной энергетике.

cniitmash.ru

●#1187

ЦНИИТМАШ: Новая технология сварки обеспечит рост производительности

В ОАО «НПО «ЦНИИТМАШ» впервые в России разработана технология автоматической аргодуговой сварки в узкие и щелевые разделки главного циркуляционного трубопровода (ГЦТ), сообщили в институте.

Данный трубопровод в реакторах типа ВВЭР используется для транспортировки воды первого контура от реактора к парогенераторам. Трубы для ГЦТ толщиной 65 мм и наружным диаметром 990 мм изготавливаются из легированной перлитной стали, плакирующей изнутри нержавеющей сталью. Для сварки перлитной стали в качестве присадочной проволоки используется разработанная в НПО «ЦНИИТМАШ» сварочная проволока, позволяющая надежно исключить образование пористости.

Как пояснил заведующий лабораторией электро-

дуговой сварки и ремонта сварных конструкций Вячеслав Ходаков, до настоящего времени сварка ГЦТ осуществлялась вручную. Новая технология, а также метод «горячая проволока», при котором присадка подается предварительно подогретой, обеспечат существенное повышение производительности. По новой технологии была выполнена сварка трех натуральных образцов с использованием сварочных автоматов «Polisude» (Франция) и «Arc Machines» (США). Результаты неразрушающего контроля и определения механических свойств показали соответствие полученных результатов требованиям конструкторско-технологической документации

cniitmash.ru

●#1188

Применение аддитивной технологии при создании двигателя вертолета ВК-2500

Двигатель российского вертолета ВК-2500, полностью выполненный современным методом лазерного сплавления, представили на стенде Министерства науки и высшего образования РФ на форуме «Открытые инновации» в «Сколкове». При создании внутреннего корпуса вертолетного двигателя российские ученые применили аддитивную технологию - послойное лазерное сплавление. Деталь изготовили всего за две недели, полностью «напечатав» ее из порошка титанового сплава.

«Представленный функциональный узел действительно уникален. Можно с уверенностью сказать, что это первая деталь такой сложности и такого габарита, полученная в России с помощью технологии послойного лазерного сплавления из отечественных порошковых материалов», - сказал исполнитель проекта, замдиректора по научной и проектной деятельности Института лазерных и сварочных технологий СПбГМТУ Евгений Земляков.

В министерстве отметили, что благодаря применению аддитивных технологий при изготовлении авиационных деталей значительно сокращается производственный цикл, снижаются издержки производства. Новейшие методы позволяют изготавливать и моделировать новые детали гораздо быстрее, а себестоимость узлов при этом сокращается.



Проект разработали материаловеды из университета «МИСиС» и инженеры из Санкт-Петербургского государственного морского технического университета (СПбГМТУ). Сейчас ученые готовы испытать изготовленную деталь на базе одного из ведущих профильных двигателестроительных предприятий России.

Восьмой Международный форум «Открытые инновации» проходил в «Сколкове» с 21 по 23 октября 2019 г. На форуме собрались более 15 тысяч представителей из 90 стран мира, главной темой обсуждения стал переход к интеллектуальной экономике.

<https://news.rambler.ru/>

●#1189

В снежинском РФЯЦ–ВНИИТФ разработали новый способ автоматической сварки неплавящимся электродом



Изобретение может найти применение в машиностроении, авиастроении, в атомной энергетике, в нефтехимической, газовой и др. отраслях промышленности, сообщает пресс-служба РФЯЦ–ВНИИТФ.

Новый метод автоматической сварки неплавящимся электродом запатентовали специалисты ядерного центра С.Н. Лобанов, М.С. Писарев и И.С. Гареев.

Отмечается, что изобретение относится к области сварочного производства, в частности к способу автоматической аргодуговой сварки неплавящимся электродом продольных и кольцевых швов протяженных конструкций переменного сечения. Оно позволяет эффективно сократить полный цикл изготовления сварных корпусных конструкций и обеспечить равнопрочность сварных соединений, а также необходимую конфигурацию сварных швов без концентраторов напряжений. Все это позволит сократить процент брака в условиях производства.

Наиболее эффективно использование предложенного метода для конструкций ответственного назначения, работающих в тяжелых условиях импульсно-

го возрастания температуры и давления внутренней агрессивной среды, динамических нагрузок и т.д.

Там, где в конструкциях присутствуют элементы жесткости и предъявляются повышенные требования к геометрии изделия в целом, и к качеству сварных швов в частности.

Эффективность разработанного метода подтверждена положительными результатами квалификационных испытаний и комплексом материаловедческих исследований контрольных образцов.

Технология уже применяется в цехах Государственного завода № 1 РФЯЦ-ВНИИТФ им. Е.И. Забахина (ЗАО Снежинск, Челябинская обл.).

Российский Федеральный ядерный центр - Всероссийский НИИ технической физики, создан в 1955 г. на Урале, в городе Снежинске для разработки и испытаний ядерных и термоядерных зарядов, обеспечивая паритет в ядерном оружии с США. Являясь одним из крупнейших ядерных центров страны и мира, институт решает сложнейшие задачи и научно-технические проблемы в создании ядерного оружия, а также в области мирного использования ядерной энергии, решает важнейшие народнохозяйственные и промышленные задачи страны.

www.atomic-tenergy.ru

●#1190

История создания бытовых и технологических процессов нагрева, термической резки и правки*

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

Под термином «газопламенная обработка», принятым в 1950-х гг. XX века вместо исторически возникшего ранее термина «автогенная обработка», по определению академика НАНУ Л.М. Лобанова [1-3], понимают технологию газовой сварки и пайки металлов, газовой наплавки и резки – разделительной и поверхностной, технологию термической правки элементов металлоконструкций после их сварки и проведения низко- и высокотемпературного нагрева изделий перед сваркой, во время ее проведения или после окончания, а также технологию кислородно-флюсовой резки аустенитных сталей, цветных металлов и чугуна.

Первыми бытовыми газоздушными горелками были очаги и факелы, которые со временем прошли значительную эволюцию. Горелки, применяемые в быту, отличаются тем, что в них использовались разнообразные горючие вещества: газы, горючие жидкости и их пары. Факелы стали заменяться фитильными масляными светильниками или лампадами (происходящими от греческого слова $\lambda\alpha\mu\pi\acute{\alpha}\delta\omicron\varsigma$). В 1844 г. появилась кофеварка типа Габет с использованием спиртовки [4], в 1892 г. - примус [3], в середине XX века – керогаз, затем были созданы газовые плиты.

В 1853 г. появились осветительные керосиновые лампы, в т. ч. и с калильным элементом (патент 1885 г., автор патента - австрийский химик Карл Ауэр фон Вельсбах).

Еще в 1930-х гг. XX века в газогенераторах для производства ацетилена слабым местом считался компрессор для сжатого воздуха, хотя первый подобный агрегат был создан в 1812 г. (В. Кланни) [5, 6].

Использование воздуха в качестве окислителя в газовых горелках (1820 г., Германия, Брок) дает низкую температуру пламени. Ее существенно подняли, когда окислителем стал кислород, а в качестве горючего стал использоваться горючий газ водород. Для этой цели были созданы горелки Хейера (1802 г.), Э. Кларка (1816 г.), Э. Ричмонда (1838 г.), С. Девиля (1850 г.). Водородно-кислородное пламя имело температуру 2600 °С и могло расплавить золото, серебро и платину. Применение горелки Девиля позволило осуществить плавление платины (1854 г.).

Еще более высокую температуру получают в ацетилено – кислородных горелках. В 1895 г. великий

естествоиспытатель Анри Луи Ле-Шателье (1850-1936) доложил французской Академии наук о получении им высокотемпературного пламени (свыше 3000 °С) при сжигании смеси ацетилена и кислорода. Для практической реализации открытия Ле-Шателье потребовалась специальная аппаратура. В то время были известны различные разработки газоздушных и газокислородных горелок, в которых кислород и ацетилен смешивали снаружи, при выходе из сопла, в которых образовывался твердый плотный нагар углерода, засорявший газовый канал. Наиболее удачными считаются сварочные горелки, разработанные в 1901 г. французскими инженерами Эдмоном Фуше и Шарлем Пикаром (рис. 1).

Именно эти горелки определили развитие газопламенной аппаратуры на долгие годы. Они очень быстро получила международное признание (патент Германии, 1903 г.). Изобретатели многих стран совершенствовали конструкции горелок Фуше и Пикара (или Фуче и Пиккард). Благодаря труду многих энтузиастов (Дж. Харрис и др.) были разработаны и внедрены разнообразные мало - и крупногабаритные горелки; горелки, рассчитанные на высокое и низкое давление газа; горелки с различной формой постоянных и сменных наконечников и т. д. В 1908 г. фирма «Бритиш Оксиджен» создала горелку, в которой наконечник можно было поворачивать, изменяя угол между его осью и осью корпуса от 0 до 70 °С. В Италии «Карбидное общество» разработало горелку с охлаждением наконечника.

Первым технологическим процессом газопламенной обработки металлов является пайка газоздушным пламенем (XV – XVII века). Так, в 1679 г. И. Кункель описал конструкцию и способ применения паяльной трубки, была разработана паяльная лампа (Швеция, К.Р. Нюрберг, 1881 г.).

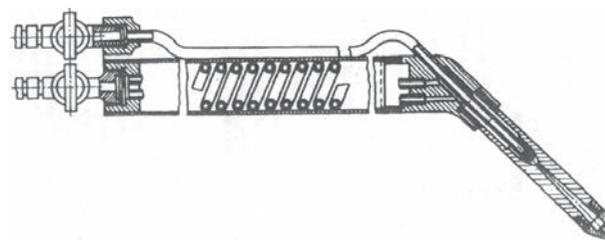


Рис. 1. Горелка Фуше – Пикара (температура пламени 3 100 °С)

*Часть 3, части 1, 2 – «Сварщик в России» № 3, 4 - 2019

Первую горелку для получения водородно – кислородного пламени предложил американец Р. Хейр (1802 г.). В Германии в 1820 г. газовую горелку создал А. Брок.

Водородно – воздушное, водородно – кислородное пламя долгие годы применяли для пайки золота, серебра. В 1850 г. было произведено плавление платины водородно – кислородным пламенем (С. Девиль). Получаемое при этом пламя имело температуру ~ 2200 °С.

Ацетилено-кислородную сварку промышленные предприятия начали применять с 1906 г., когда появились достаточно надежные конструкции ацетиленовых генераторов. Только во Франции в 1906 г. этот вид сварки применяли более чем в 500 цехах, мастерских, участках. Примерно в это же время французы Пикар и Фуше презентовали метод газовой сварки. В США первым использовал газовую сварку Э. Бурнонвиль при строительстве городского водопровода в Лонг Айленде. В 1909 г. А. Дж. Фаучек с сыном разработали портативное оборудование для осуществления газовой сварки, усовершенствовав почти все элементы аппаратов, создали рациональные горелки, технологию сварки чугуна и т. д. Газовое пламя получило широкое распространение для сварки технологического оборудования, газопроводов и др. конструкций.

Работы по механизации сварочных работ начались в 1908 г. разработкой станка для газовой сварки продольных швов. В 1909 г. создан станок для сварки кольцевых швов.

Газопламенная резка, как технологический процесс, стала применяться позднее, чем газовая сварка, но она очень быстро заняла ведущее положение. Этот технологический процесс оказался вне конкуренции применительно к железу и стали. Разработка технологии газокислородной резки также имеет достаточно интересную историю.

Впервые прожигание отверстий в платине водородно-кислородным пламенем выполнено в 1887 г. В 1888 г. Томас Флетчер прочитал в Англии доклад, посвященный газовой резке.

Следует отметить, что газокислородная резка появилась практически одновременно в нескольких странах. Так, в США Дж. Харрис, пытаясь получить синтетический рубин в пламени сварочной горелки, случайно разрезал стальной лист, служивший в качестве подложки.

С 1888 г. газокислородную резку осуществляли без подачи дополнительного (режущего) кислорода, в частности, в 1901 г. было использовано такое устройство при попытке ограбления земельного банка в Ганновере. Взломщикам удалось разрезать только наружную оболочку сейфа толщиной 8 мм, далее им не хватило кислорода.

В 1904 г. к сварочной горелке была добавлена дополнительная трубка с режущим кислородом (рис. 2).

В том же 1904 г. Э. Висс (США) запатентовал горелку-резак с концентрическими соплами, предложенными Э. Смитом.

Во Франции и Германии в 1908, 1909 гг. были проведены первые успешные опыты по кислородной подводной резке. В последующие 5 - 9 лет было получено несколько патентов в этой области и разработаны промышленные конструкции резаков для подводной резки. В 1917 г. французское сварочное общество, после значительных усовершенствований резака для подводной кислородной резки, передало этот резак для эксплуатации во флоте. Вскоре подводная кислородная резка стала применяться во флотах Америки и Англии. В 1918 г. созданы резаки для выполнения работы в подводных условиях. В большом объеме газовую резку применяли при демонтаже разрушенных металлоконструкций в период Первой мировой войны.

Макс Ульрих Шооп в 1906 г. предложил способ нанесения покрытий, распыляя свинец, находящийся в тигле, водяным паром. На основе его технологии в 1909 г. был открыт завод по металлизации в Цюрихе.

В 1913 г. Шооп усовершенствовал металлатор и запатентовал его в Германии, Швейцарии, Франции и Англии. На этот раз материал для распыления подавался в пламя газовой горелки в виде проволоки. В 1918 г. он с сотрудниками разработал электродуговую распылитель. В 1921 г. Шооп запатентовал технологию металло-порошкового газопламенного распыления. Методы нанесения газотермических покрытий путём распыления долгое время (~ до 1960-х гг.) называли шоопированием.

Начиная с 1942 г. началось внедрение разделительной и поверхностной резки с использованием газов – заменителей ацетилена (пиролизного, природного и др. газов, пропан – бутановой смеси).

Далеко не все металлы поддаются газокислородной резке, поэтому в конце 1950-х гг. фирмой «Union and Carbon Corp.» и др. организациями раз-

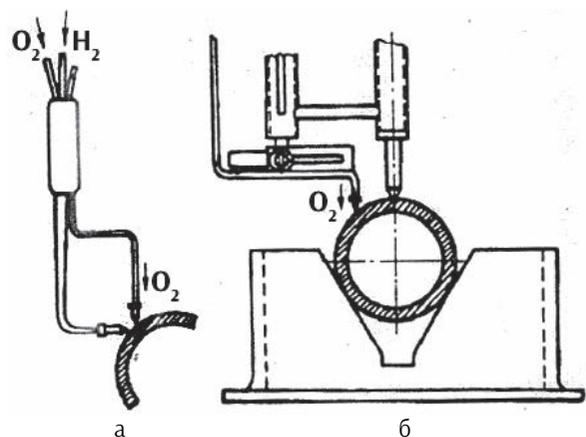


Рис. 2. Схема резаков Жоттрона – Люли: а – резак с двумя соплами; б – горелка с отдельным кислородным соплом, перемещаемым относительно точки нагрева

работана кислородно-флюсовая резка хромоникелевых, высокоуглеродистых и высоколегированных сталей и чугунов, цветных металлов (алюминия, меди) и их сплавов [7].

В конце 1960-х начале 1970-х гг. разработаны различные виды газоэлектрической резки (например, создание воздушно – дуговой строжки/резки в 1957 г.), резки горных пород и железобетона термо-реактивными резаками (1965 г.).

В 1950 - 1980 гг. происходит дальнейшее совершенствование ручной газопламенной резки (разработка «смыв - процесса»), механизированной и автоматизированной машинной газокислородной резки, резки металла в горячем состоянии (заготовок машин непрерывного литья), создание аппаратуры и технологий поверхностной газопламенной закалки и др., осваиваются новые способы обработки металлических и неметаллических материалов с помощью высокотемпературного порошково-кислородного и термо-реактивного напыления.

Многие достижения в газопламенной обработке стали использоваться в других отраслях, в частности, в газоздушных печах для термической обработки сварных конструкций, в воздухоплавании и др.

В середине 1950-х гг. были внедрены в производство новые, более концентрированные, чем газовое пламя, высокотемпературные источники (плазмы, лазерного луча).

В последующие годы разрабатывались новые источники нагрева, имеющие высокие энергетические характеристики; разрабатывалось и изготовлялось комплектное оборудование, типы и модификации которого к настоящему времени стали довольно многочисленными.

Прообразом современного плазматрона явилась дуговая горелка Химеса, предназначенная для синтеза химических веществ, запатентованная в 1921 г. В эти же годы начались работы по созданию плазматронов после получения Гердиеном и Лотцем (Германия) температуры 50 000 °С в столбе дуги, стабилизированной водяным вихрем.

Большая тепловая мощность таких горелок позволила производить эффективный общий нагрев всего изделия или его локальной зоны. В 1956 г. установлена принципиальная возможность сжатия плазменной дуги потоком аргона. 1958 г. отмечен созданием аппаратуры плазменной резки металла, 1964 г. - разработкой и внедрением способа плазменной сварки в защитных микрокамерах в непрерывном и импульсном режимах; 1965 г. - разработкой способа микроплазменной сварки (Швейцария) и др. В 1974 г. в Институте электросварки им. Е.О. Патона осуществлена подводная воздушно – плазменная резка на глубине 20 м.

В 1960-е гг. начались работы по созданию оптических квантовых генераторов (ОКГ) - лазеров на рубине, а в 1970 - 1980-е гг. появились твердотель-

ные, газовые и полупроводниковые лазеры [8].

Во второй половине XX века появилось много публикаций [9], в которых утверждалось, что большинство видов дуговой сварки исчерпали себя с точки зрения повышения производительности. Дуговая сварка не всегда обеспечивала требуемые механические свойства, в частности, металл корневого прохода не всегда отвечал требованиям по ударной вязкости. Поэтому интенсивно выполнялись поиски новых технологических решений.

В конце 1970-х гг. родилась идея совместного использования лазерного излучения и электрической дуги для сварки и других видов газотермической обработки металлов таким образом, чтобы оба источника воздействовали на изделие в пределах одной зоны нагрева. Появились первые патенты в Великобритании, США и Германии при совместном использовании лазерного излучения и электрической дуги в гибридной сварке, резке, сверлении и т.д. [9].

Литература

1. Антонов И.А., Чеканов А.А. Газопламенная обработка: сб. Сварка в СССР в 2-х т. / под ред. В.А. Винокурова. Т. 1. Развитие сварочной техники и науки о сварке. Технологические процессы, сварочные материалы и оборудование. - М.: Наука, 1981. - С. 423-437.
2. Справочник «Сварочное дело» в 2-х частях. / под ред. М.К. Гусельщикова. -М.: Госмашинметиздат, 1933. - Т1, Т2. - 591 с.
3. Словарь - справочник по сварке. / под ред. акад. АН УССР К. Хренова. - Киев.: «Наукова думка», 1974. - 196 с.
4. Краткая энциклопедия домашнего хозяйства. - М.: Большая Советская Энциклопедия, 1959. - Т. 1. - 291 с.
5. Волков В.А., Вонский Е.В., Кузнецова Г.И. Выдающиеся химики мира. - М.: Высшая школа, 1991. - 656 с.
6. Храмов Ю.А. Физики: Биографический справочник. / под ред. А.И. Ахиезера. Изд. 2-е, испр. и полн. - М.: Наука, 1983. - 400 с.
7. Полевой Г.В., Сухинин Г.К. Газопламенная обработка металлов: учебн. - М: Машиностроение, 2005. - 333 с.
8. Банов М.Д., Маслаков В.В., Плюснина Н.П. Специальные способы сварки и резки. - М.: Издательский центр «Академия», 2009. - 208 с.
9. <http://www.fundamentalresearch.ru/ru/article/view?id=29286;>
[http://medical-diss.com/medicina/biologicheskoe-deystvie-kriptona-na-zhivotnyh-i-cheloveka-v-usloviyah-povyshennogo-davleniya#ixzz5qjsFty3W.](http://medical-diss.com/medicina/biologicheskoe-deystvie-kriptona-na-zhivotnyh-i-cheloveka-v-usloviyah-povyshennogo-davleniya#ixzz5qjsFty3W)

●#1191

Этапы становления и развития отдела «Физико-металлургических процессов сварки легких металлов и сплавов» ИЭС им. Е.О. Патона

Т.М. Лабур, д. т. н., Ю.В. Фальченко, д. т. н., ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ (Киев)

В статье освещены основные этапы создания и развития различных способов и технологий сварки алюминия и его сплавов в отделе «Физико-металлургических процессов сварки легких металлов и сплавов» ИЭС им. Е.О. Патона. Отмечена роль института в освоении технологий сварки конкретных изделий на различных предприятиях авиационного, ракетно-космического комплексов, транспортного машиностроения.

Высокая потребность машиностроения в научных и инженерных разработках в области сварки алюминия и его сплавов обусловила создание в 1951 г. в Институте электросварки нового подразделения – лаборатории сварки цветных металлов и сплавов. В 1962 г. лаборатория получила статус отдела, который возглавлял до 1986 г. Рабкин Д.М. Затем отделом руководил чл.-кор. НАНУ, д.т.н. Ищенко А.Я., а с конца 2013 г. – д.т.н. Фальченко Ю.В.

К основным научным направлениям деятельности отдела относятся:

- *развитие теоретических основ* физико-металлургических процессов и явлений, протекающих в сварочной ванне в условиях сварки алюминия и магния, а также сплавов на их основе;
- *исследование свариваемости, природа и механизмы образования сварочных «горячих» трещин* в новых конструкционных материалах на основе алюминия и магния, композитных материалов с алюминиевой матрицей и разнородных материалов, а также разработка методов их предотвращения в условиях соединения плавлением;
- *механизм взаимодействия сварочной ванны с газами*, разработка методов дегазации расплавленного металла и оценка влияния пористости сварных соединений, на их служебные характеристики;
- *структурные превращения*, протекающие в зоне сварки в условиях соединения материалов на основе алюминия и магния, композитных материалов с алюминиевой матрицей и разнородных материалов, решение проблемы получения плотных соединений, равнопрочных с основным металлом;
- *определение характеристик эксплуатационной прочности и надежности сварных соединений*,

изыскание способов их повышения до уровня основного металла;

- *создание* эффективных сварочных материалов, включая специальные присадочные проволоки;
- *разработка и усовершенствование технологий* дуговой сварки плавящимся и неплавящимся электродами, электронно-лучевого способа соединения, а также сварки в твердой фазе - трением с перемешиванием и диффузионной сварке;
- *исследование и разработка современных нанотехнологий* соединения высокопрочных сплавов, разнородных и композиционных материалов на основе алюминия;
- *разработка* комплекса специальных технологий изготовления из легированных алюминиевых и магниевых сплавов экономичных и надежных в эксплуатации легких сварных конструкций авиационного и ракетно-космического назначения, подвижного транспорта наземного и морского базирования.

Первым изделием, в котором проявилась необходимость в сжатые сроки организовать поточное производство, стала цистерна из сплава марки АМц толщиной 18-20 мм для перевозки и хранения жидкого кислорода и др. химических продуктов, используемых для запуска ракет. Над разработкой технологии эффективно работала команда единомышленников: Д.М. Рабкин, И.В. Довбищенко, В.П. Бугай, Н.Н. Слепченко. Попытки использовать на заводе сварку в инертных газах не дали положительных результатов; поскольку соединение толстолистового металла выполнялись с разделкой кромок, а для заполнения зазора между стыками приходилось делать несколько проходов. Так как к качеству сварных соединений выдвигались особые требования, это потребовало уделить усиленное внимание операциям подготовки поверхности свариваемых кромок и присадочной проволоке. Аргон высокой чистоты и гелий были достаточно дефицитные и дорогие, а сварочное оборудование – несовершенным.

Задача была успешно решена, коллектив отдела в 1951-1952 гг. разрабатывает новый эффективный способ автоматической однодуговой сварки полукрытой дугой (по слою флюса), используя флюс марки АН-А1, который начал выпускаться



Рис. 1. Железнодорожная цистерна из алюминия высокой чистоты для перевозки химических продуктов: сварена дуговым автоматизированным способом с использованием плавящегося электрода и флюсов

Полевским криолитовым заводом. Предложенный способ соединения отличался от известных способов, прежде всего, наличием тонкого слоя флюса впереди дуги. Решение технологических задач потребовало модернизации сварочного оборудования – трактора ТС17 и сварочной головки АБС. Процесс сварки был полностью освоен в 1952-1953 гг. на Уралвагонзаводе в г. Нижний Тагил, где применялся более 30 лет. Данная технология обеспечила не только требуемое качество металла шва и необходимый уровень механических свойств соединений, но и высокую производительность процесса изготовления железнодорожных цистерн (рис. 1). Стыковые соединения сваривали с двух сторон, без разделки кромок со скоростью 15-16 м/ч. Созданная технология впоследствии заняла ведущее положение в изготовлении емкостей от 1 до 100 м³ на заводах «Большевик» (Киев), «Красный Октябрь» (Фастов), Сумском машиностроительном и ряде др. предприятий. Производством алюминиевых котлов и железнодорожных цистерн активно занимался ПО «Азовмаш» (Мариуполь). Котлы и емкости объемом 7, 17, 50 и 100 м³ предназначались для хранения и транспортировки пищевых и химических продуктов – воды, молока, азотной кислоты, ракетного топлива и т. п.

В период с 1956 до 1959 гг. специалистами отдела (М.Л. Звонков, Б.А. Стебловский, И.В. Довбищенко, М.П. Порицкий, В.П. Князев) успешно проводились работы по совершенствованию способа сварки алюминиевых сплавов при использовании флюсов различного химического состава. В ходе поисковых работ удалось соединить алюминиевые шины толщиной до 35 мм однодуговой односторонней сваркой. В этот же период применительно к листовому полуфабрикату толщиной 12-22 мм разрабатывается технология сварки расщепленным электродом с общим токоподводом к обоим проволочкам, так называемая двухэлектродная сварка.

Использование такой технологии позволило выполнять комплексные швы. Первые (внутренние) швы были продольными и кольцевыми на флюсовой подушке, а вторые (наружные) швы выполнялись «на весу» без технологической подкладки. Такой технический прием облегчил требования к сборке свариваемых элементов, поскольку устранялась необходимость использования тяжелых стальных подкладок внутри конструкции котла.

Во второй половине 1950-х – начале 1960-х гг. география применения автоматической сварки по флюсу марки АН-А1 расширилась и заняла ведущее положение при массовом производстве алюминиевых стационарных емкостей вместимостью от 2 до 100 м³ на многих заводах. С помощью данной технологии сварки на Кузнецком заводе металлоконструкций была изготовлена уникальная вентиляционная труба из сплава марки АМц Ø 6 м и высотой 100 м.

Высокое качество изделий при их изготовлении достигалось благодаря использованию новых образцов оборудования – сварочных тракторов марок ТС-31, ТС-33 и ТС-36, подвесного аппарата А-586, которые параллельно разрабатывали в ИЭС в этот период. Для механизированной и ручной дуговой сварки малолегированных алюминиево-магниевого сплава коллективом отдела был разработан флюс АН-А4 и электроды АН-А103, которые обеспечивали требуемый уровень прочности соединений сплавов марок АМг3 и АМг5 не менее 85-90 % от прочности основного металла. В последующие годы совместно со специализированным отделом ИЭС были созданы новые электроды серии УАНА для сварки и наплавки деталей и узлов конструкций из деформируемых и литейных алюминиевых сплавов широкого спектра номенклатуры. Состав покрытия и новая технология изготовления электродов обеспечили сварным соединениям необходимые эксплуатационные свойства на уровне лучших зарубежных аналогов.

Период с 1960-х по 1970-х гг. ознаменовался повышенным вниманием к алюминиевым сплавам. Они все шире использовались в конструкциях ракетно-космической техники, судостроении, танкостроении, вагоностроении, химической промышленности, строительстве и др. отраслях. Попытки применить сварку по флюсу для появившихся высоколегированных алюминиевых сплавов не позволили получить требуемое качество швов и необходимые технологические свойства соединений. При сварке металла толщиной свыше 20 мм усилилась вероятность образования шлаковых включений и пор в структуре швов, повышались требования к соблюдению санитарно-гигиенических условий труда для сварщиков. Указанные обстоятельства способствовали расширению состава коллектива (рис. 2), активному поиску нового научно-

го решения – разработки и совершенствования эффективных способов и технологий сварки в инертных газах неплавящимся и плавящимся электродами. Параллельно развиваются работы по созданию высокоэффективных вольфрамовых электродов. В результате появились новые композиции электродов с добавками оксида лантана (вместо радиоактивного тория), которые нашли широкое применение при выполнении аргонодуговой сварки переменным и постоянным током. Были разработаны электроды, содержащие оксид иттрия для автоматической сварки переменным током толстолистового металла (О.И. Иванова, В.П. Будник). Расход такого электрода при сварке в 10 раз меньше по сравнению с электродами из чистого вольфрама, а допустимое значение сварочного переменного тока при диаметре электрода 10 мм – 800 А. Новые композиции вольфрамовых электродов явились серьезным практическим вкладом в развитие способов сварки неплавящимся электродом. Разработанный ГОСТ 23949-80 стал основой для изготовления электродов, которые получили признание как внутри страны, так и за рубежом.

Развитие технологии сварки плавящимся электродом в инертных газах в ИЭС параллельно сопровождалось разработкой специализированного сварочного оборудования – подвесных самоходных аппаратов типа А-1002, А-1431, автоматов серии АД-238, сварочных тракторов А-1012, ТС-56, сварочной установки УД-474. Они предназначались для сварки сплава марки АМг6 в конструкциях штамповочных катков боевых машин пехоты (рис. 3) и др. изделий специального назначения.

Высокие требования, предъявляемые к эксплуатационным свойствам сварных емкостей из сплава АМцС и технического алюминия толщиной 20-30 мм, предназначенные для хранения и перевозки агрессивных продуктов, потребовали создания высокоэффективной технологии сварки металла без скоса свариваемых кромок. Для этих целей использовали плавящийся электрод (присадочную проволоку) Ø 3-4 мм, сварку выполняли ста-

ционарной дугой, используя в качестве защиты сварочной ванны смесь инертных газов – гелия и аргона. Такая технология обеспечивала высокое качество металла шва, а использование гелий-аргоновых смесей позволяло не только уменьшить в 2-8 раз объем пустот в наплавленном металле, повысить механические свойства и коррозионную стойкость сварных соединений, но и увеличить на 40-60 % скорость сварки, что способствовало росту производительности при изготовлении изделий.

Следует отметить, что при сварке плавлением алюминиевых сплавов возникают трудности, связанные со значительной химической активностью их компонентов. Взаимодействие с кислородом и склонность к поглощению водорода приводят к возникновению в швах грубых оксидных пленок и пористости. Сложнолегированные сплавы склонны к образованию горячих трещин и разупрочнению при сварке плавлением. Степень проявления указанных явлений зависит от особенностей протекания первичной кристаллизации металла шва и формирования в нем химической и структурной неоднородности. Именно они оказывают влияние на характер образования горячих (кристаллизационных) трещин и уровень физико-механических свойств сварных соединений, а значит, и на способность сплава создавать качественное неразъемное соединение, работоспособное в условиях воздействия сложных силовых и температурных нагрузок при эксплуатации. Исследованием вопросов горячеломкости алюминиевых сплавов и поиском путей ее снижения занимались А.Я. Ищенко, В.Г. Игнатъев, Л.Н. Антоненко, Н.И. Семенюк, В.В. Саенко, М.Р. Яворская.

Результаты всестороннего изучения вопросов свариваемости алюминиевых сплавов различных систем легирования и поиск способов преодоления их склонности к образованию горячих трещин и пористости при сварке плавлением и в твердой фазе как однородных, так и разнородных композиций материалов позволили оптимизировать химические составы сплавов для дальнейшего их использования в свар-



Рис. 2. Коллектив отдела «Физико-металлургические процессы сварки легких металлов и сплавов», 1989 г.



Рис. 3. Бронированная машина пехоты: сварена из алюминиевых сплавов дугowymi способами с использованием плавящихся и неплавящихся электродов

ных конструкциях различного назначения, включая ракетно-космическую технику (сплавы типа АМг6, 1915, 1201 и др.). Значительный вклад в развитие данного научного направления внесли технологи: М.И. Саенко, А.Г. Чаюн, А.Г. Покляцкий, Р.В. Илюшенко, А.Г. Сахацкий, В.И. Малежик. На основе данных о механизме образования горячих трещин в швах при сварке алюминиевых сплавов были предложены новые составы сварочных проволок – СвА5, Св1437, Св1557, Св1201 и др., использование которых стабильно обеспечивает высокое качество швов в изделиях различного назначения. Полученные результаты позволили разработать ГОСТ 7871-75 совместно с др. организациями на изготовление сварочных проволок.

Появление новых алюминиевых сплавов и расширение областей их потребления неразрывно связано с развитием и совершенствованием сварочных технологий. Выбор способа и оптимального процесса формирования качественных неразъемных соединений из сплавов различных систем легирования определяется глубиной проработки физико-металлургических проблем сварки в зависимости от способа и вида соединения, типа источников питания сварочного оборудования. В их изучении, а также исследовании особенностей первичной кристаллизации, установлении механизмов формирования структуры швов в неравновесных условиях при больших и малых скоростях охлаждения, прерывистых и импульсных подачах энергии, пластической деформации и под влиянием микродобавок различных структурных модификаторов участвовали металловеды: А.В. Лозовская, А.Н. Муравейник, И.Е. Складбинская, В.И. Юматова, А.А. Чайка, Е.М. Славова, С.В. Пещерина. Их знания и профессионализм позволили установить причины, механизмы и степень воздействия способов и режимов сварки на характер изменения структуры и свойств соединений сплавов различных систем легирования. В ходе исследований были усовершенствованы и разработаны ряд металлографических методик: травления, макро- и микрошлифов, введения спая термпары и иглолок деформатора в сварочную ванну, проведены исследования коррозионной стойкости сварных соединений. Глубокая проработка процессов и научные результаты явились фундаментальной базой для последующих разработок прогрессивных процессов сварки сплавов и композитных материалов на алюминиевой основе.

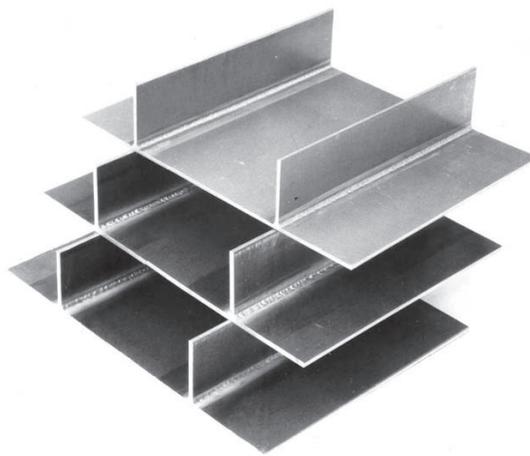
Для соединения сплавов большой толщины (50-200 мм) разрабатывались совершенно разные направления в области сварки. Наиболее востребованными в тот период оказались – электрошлаковая и электронно-лучевая сварка (ЭЛС). Причем они не только были разработаны, но и сразу нашли широкое применение в промышленности. Процесс электрошлаковой сварки отличается сравнитель-

ной простотой, высокой производительностью, возможностью автоматизации. Выбор системы и конструкции установки диктует толщина и форма свариваемых кромок. В качестве электрода применяют проволочные системы (одна или несколько проволок), электродные пластины или плавящиеся мундштуки. Данная технология была широко внедрена в производство при изготовлении шинопроводов для тепло- и гидроэлектростанций. Над ее решением интенсивно работали А.Я. Ищенко, А.Г. Синчук, Л.А. Букало, А.Н. Сафонников, А.Н. Антонов, Б.А. Губин, А.В. Боздуган.

Потребность снижения веса конструкций летательных аппаратов обусловила применение высокопрочных алюминиевых сплавов марок АМг6, 1201 с пределом прочности 500-600 МПа. Также остро встал вопрос о создании эффективной технологии их соединения способом ЭЛС. Высокая удельная концентрация энергии в пятне нагрева, надежная вакуумная защита расплавленного металла сварочной ванны и низкие значения погонной энергии позволяют обеспечить высокое качество и прочностные показатели соединений алюминиевых сплавов, выполненных ЭЛС. Малый объем литого металла и кратковременность теплового воздействия при этом не вызывают значительных термических деформаций соединяемых деталей. С целью направленного и эффективного управления качеством и процессами, протекающими в период сварки, были разработаны разнообразные технологические приемы – сварка сканирующим пучком, с двойным преломлением пучка, а также тандемная сварка. Этот способ осуществляется посредством дискретного сканирования пучка, когда, помимо выбора частоты, амплитуды и контура развертки, создается практически любое необходимое пространственное распределение плотности мощности электронного пучка. Для понимания технологических приемов были разработаны компьютерные программы, позволяющие регулировать распределение плотности мощности пучка по объему сварочной ванны при дискретных развертках. Высокие механические свойства соединений достигаются за счет управления величиной тепловложения в пределах размеров пятна нагрева и контроля доли участия в формировании шва свариваемых кромок. Эффективность технологии сварки алюминиевых сплавов заключалась в обеспечении оптимальных условий формирования узких (кинжалоподобных) швов, позволивших получить качественные соединения с высокими эксплуатационными свойствами благодаря образованию структур с высокой сопротивляемостью хрупкому разрушению (рис. 4). Понимание сущности явлений, протекающих в металле под воздействием электронного пучка, послужило основой для выработки стандартных технологических требований к обеспечению усло-



а



б

Рис. 4. Примеры использования электронно-лучевой сварки при соединении плит большой толщины (а) и тонколистовых полуфабрикатов (б)

вий формирования качественных швов сварных соединений. Опытно-промышленная проверка на ряде предприятий подтвердила технико-экономическую эффективность процесса при использовании дискретно-сканирующего пучка. Полученные результаты стали основой для освоения и последующего внедрения новых технологических процессов при соединении сложнолегированных сплавов алюминия для изготовления конструкций ответственного назначения (А.А. Бондарев, В.Ю. Чернов, Н.Г. Третьяк, Е.Г. Терновой, А.А. Попович, В.В. Скрябинский, С.В. Назаренко).

Дальнейшее развитие ракетно-космической техники потребовало применения в сварных конструкциях новых высокопрочных алюминиевых сплавов. Возникла необходимость их сварки в одноименных и разноименных композициях, а также соединения разнородных и композиционных материалов. С этой целью, изучая свариваемость алюминиевых сплавов различного класса, в отделе создаются специальные сварочные проволоки типа АМг7, Св1201, А85Т, позволяющие повысить прочность, пластичность сварных соединений конструктивных сплавов марок АМг6, М40, 1301, 1201, а также их коррозионную стойкость. Интенсивно исследуются при этом механизмы формирования структуры швов по оси и вдоль границы сплавления с основным металлом от корня шва (проплава) до технологического усиления, оценивается степень образующейся при этом химической неоднородности.

Оценку степени влияния химической и физической неоднородности сварных соединений проводили с привлечением новой методологии анализа соединений, основанной на теории механики разрушения. Были изучены закономерности изменения структуры и физико-механических свойств под влиянием технологических и эксплуатационных факторов, включая температурные условия (в диапазоне от 4 К до 600 К), наличие концентраторов напряжения и

агрессивных сред, а также в зависимости от характера напряжённого состояния металла. По результатам исследований была установлена связь характеристик разрушения сварного соединения с параметрами микроструктуры в его различных зонах, что позволило выявить причины ухудшения свойств в теплофизических условиях сварки плавлением и в твердой фазе (Т.М. Лабур). Была определена степень воздействия технологических параметров на значения конструкционной прочности (трещиностойкости) сварных соединений алюминиевых сплавов, а также предельно-допустимые размеры сварочных дефектов (пор и оксидных пленок), которые существенно не снижают уровень несущей способности швов при статических и циклических условиях нагрузки. Полученные результаты послужили основой для установления зависимости показателей надежности соединений и механизма микроскопических процессов, которые обеспечивают требуемый для эксплуатации сварной конструкции уровень работоспособности, а также обосновывают критерии надежной эксплуатации легких сварных конструкций ответственного назначения с учетом их структурной и химической неоднородности.

Анализ промышленного опыта изготовления конструкций ответственного назначения из сплава АМг6 показал, что, несмотря на строгое соблюдение требований к подготовке металла и технологии сварки неплавящимся электродом, в швах встречались недопустимые включения оксидной пленки. Идея интенсификации перемешивания металла сварочной ванны с целью измельчения оксидных включений и одновременно его дегазации была реализована при сварке неплавящимся электродом пульсирующей дугой. Над получением этих результатов успешно работали В.А. Мишенков, А.Г. Чаюн, в дальнейшем А.Г. Покляцкий, Р.В. Илюшенко и А.Г. Сахацкий. Выполненные исследования позволили повысить эффективность способа и создать

специализированное оборудование. При этом удалось уменьшить в 3 раза относительную протяженность включений оксидной пленки в сварных швах сплава АМг6 и вероятность образования ее протяженных включений при сварке содержащих литий сплавов 1420 и 1460. Резкие изменения амплитуды в период импульса и паузы (модулированный ток) обеспечили снижение в 7-10 раз суммарного объема пустот в сварных соединениях сплавов. Совокупность полученных научных результатов стали основой для разработки высокоэффективной технологии сварки неплавящимся электродом разнополярным током прямоугольной формы.

Одновременно была установлена эффективность применения асимметричного разнополярного тока прямоугольной формы и для плазменной сварки, которая дает возможность сваривать стыковые соединения в режиме сквозного проникновения без применения формирующих подкладок. Рост температуры дугового разряда и повышение концентрации энергии, которые при этом происходят, способствуют обеспечению качества швов и уменьшению деформации. Благодаря сокращению времени протекания тока обратной полярности до 10-30 % от общего цикла снижается нагрузка на вольфрамовый электрод, а в периоды прямой полярности достигается более глубокое проплавление основного металла. В результате была повышена скорость сварки, снижен показатель погонной энергии, уменьшена масса и габариты плазматрона. Реализация процесса происходит путем контроля и стабилизации его параметров и обеспечивается передовым сварочным оборудованием, содержащим блок электронного управления.

Применение в технике сварки электрического тока прямоугольной формы открыло возможность повысить эффективность катодной очистки поверхностей металла, участвующего в формировании сварного шва. Длительность нарастания и спада тока при этом сокращается и увеличивается время для качественной очистки торцов соединяемого сплава от оксидной пленки. Изменение полярностей тока прямоугольной формы, происходящее в процессе сварки, приводит к смене силового воздействия дуги и способствует интенсификации конвективных потоков расплавленного металла, а также его перемешивания по всему объему сварочной ванны. Это позволяет сократить в 2-3 раза суммарную протяженность макровключений оксидной пленки в швах в производственных условиях сварки, когда величина зазоров между кромками изменяется в диапазоне 0-1,2 мм. Данная технология в настоящее время может успешно использоваться в производстве авиационной и космической техники, судостроении, химическом машиностроении и пищевой промышленности.

В этот же период интенсивное развитие получила и технология сварки плавящимся электродом

стационарной дугой в аргоне. Результатом исследований стал способ, позволяющий уменьшить чувствительность процесса сварки к размерам технологического зазора и превышению толщин соединяемого металла. Этот способ дает также возможность повысить скорость сварки и снизить уровень остаточных деформаций в сварных соединениях. Однако, нестабильное качество швов, получаемых при этом, сокращает сферу его применения для выполнения только угловых и нахлесточных соединений, где он оказался достаточно эффективным. Результатом технологических поисков стала разработка импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом с использованием генераторов импульсов тока ИИП-1. Новые модификации источников питания, в создании которых участвовали сотрудники отдела М.П. Пашуля, В.П. Будник, А.П. Запарованный, Ю.Г. Каплуненко позволили оценить преимущества данного способа сварки для соединения алюминиевых сплавов различных систем легирования. Помимо повышения стабильности горения дуги, значительно уменьшилось разбрызгивание металла и испарение легколетучих элементов, снизилось количество и размеры оксидных включений и пор в швах. Накопленный опыт стал базой для широкого применения данной технологии в промышленности, что явилось одним из значительных достижений отдела в области сварки плавлением. Начиная с середины 1960-х гг., импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом находит все большее применение для изготовления ряда ответственных изделий: корпусных конструкций ракетных комплексов на Куйбышевском и Оренбургском заводах. Она была также использована и на Волгоградском заводе для производства корпусов легких десантируемых танков, узлов пассажирских железнодорожных вагонов (рис. 5) и вагонов метро, самосвалных платформ автомобилей, автомобильных рефрижераторов, полуприцепов-минераловозов и др. изделий.



Рис. 5. Головной вагон скоростного электропоезда ЭР200, изготовленного из алюминиевых сплавов с использованием дуговой автоматизированной сварки плавящимся и вольфрамовым электродами

Применялись не только высокопроизводительные технологические процессы, но и эффективные сварочные материалы типа АМг63, которые обеспечивают высокое качество швов и надежность эксплуатации конструкций. Рассматривалась возможность использования крупногабаритных панелей из алюминиевых сплавов типа АМг6 шириной до 800 мм в качестве элементов силовых конструкций вагонов, поскольку демпфирующие свойства алюминия и его сплавов способствуют уменьшению на 10 % нагрузки на путь и элементы конструкции вагона, что позволяет повысить скорость подвижного состава. В разработках и внедрении в производство новых технологических процессов участвовал весь коллектив отдела, включая Р.М. Жукову, Г.А. Геращенко, М.Т. Дорошенко, А.К. Данилюка, Б.Я. Ковалева, К.Д. Напненко, И.М. Пикер.

Необходимо отметить, что более высокая стоимость гелий-аргоновой смеси для сварки алюминиевых сплавов по сравнению с аргоном или флюсом компенсируется снижением трудозатрат и повышением производительности, а также увеличением срока службы изделий и снижением расходов на их ремонт. Эта технология была успешно реализована при изготовлении емкостей из сплава АМцС на Балашихинском ПО «Криогенмаш», поточном производстве алюминиевых котлов железнодорожных цистерн и корпусных элементов ракет из сплава АМг6 на ПО «Азовмаш». Сварка плавящимся электродом Ø 3 мм в инертных газах была внедрена также на Курганском машиностроительном заводе для изготовления корпусов боевых машин пехоты из алюминиевой брони на основе сплава АМг6.

Использование смесей газов при импульсно-дуговой сварке плавящимся электродом Ø 1,0-1,6 мм (В.С. Машин, М.П. Пашуля) решило проблему выполнения соединений объемных конструкций из сложнелегированных алюминиево-литиевых сплавов малой толщины с более высоким уровнем физико-механических свойств по сравнению со сваркой неплавящимся электродом пульсирующим током (рис. 6). Снижение стоимости выполнения сварочных работ возможно также путем замены дорогостоящего гелия в качестве защитного газа на готовые гелий-неоновые смеси (Ne = 3-25 %), полу-

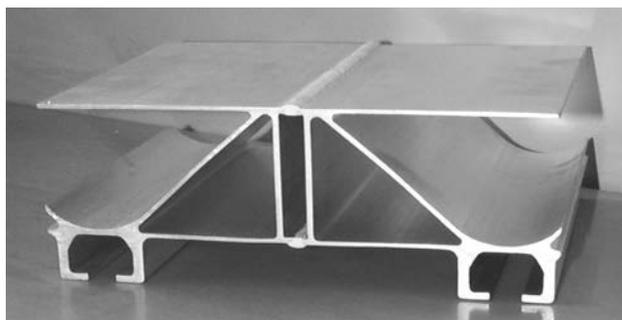


Рис. 6. Пример объемного узла сварной конструкции, выполненного плавящимся электродом

чаемые в Украине.

Стоимость 1 м³ таких смесей в среднем на 25 % ниже чистого гелия. Областью применения является изготовление сварных узлов ракетно-космической техники, кораблей, воздушного и наземного транспорта, химического оборудования и др. сварных конструкций, работающих в сложных условиях эксплуатации. Выполнение качественных неразъемных соединений возможно из серийных и перспективных материалов на основе алюминия, включая сплавы, которые трудно свариваются или не свариваются плавлением.

Технология сварки плавящимся электродом продолжает развиваться для соединения тонколистовых (1-3 мм) сплавов на подкладке с достаточно хорошим качеством формирования швов и высокой их плотностью. Геометрические размеры наплавленного металла при этом не превышают значений параметров швов, получаемых ручной или автоматической сваркой вольфрамовым электродом. Регулирование величины тепловложения в свариваемый металл при такой технологии осуществляется с высокой точностью за счет применения сварочных аппаратов типа «Fronius» с синергетическим управлением процессом импульсно-дуговой сварки. Они обеспечивают совместную или отдельную модуляцию напряжения дуги, скоростей подачи проволоки и сварки. Непрерывная модуляция основных параметров режима импульсно-дуговой сварки в аргоне с периодом $2,2 \pm 0,2$ сек позволяет периодически изменять величину тепловложения в свариваемый металл, управлять скоростью кристаллизации металла ванны и получать надежное формирование корня шва «на весу», даже при наличии локальных зазоров шириной до 1 мм. При этом открывается перспектива целенаправленного использования относительно тонких алюминиевых проволок для сварки сплавов толщиной 2-3 мм, используя проволоку Ø 1,2 мм, а для сплавов менее 2 мм – проволоку Ø 1 мм.

Для соединения толстостенных конструкций (до 150 мм) была разработана технология узкощелевой сварки импульсной и стационарной дугой плавящимся электродом в гелии и его смесях с аргоном. Этот способ позволяет получить герметичные соединения в нижнем положении и на вертикальной плоскости. Сварка плавящимся электродом в узкий зазор по сравнению со сваркой в широкую X-образную разделку свариваемых кромок, при многослойном ее заполнении, позволяет сократить в несколько раз количество проходов, уменьшить зону термического влияния в 4-6 раз и уровень остаточных деформаций. При этом экономятся сварочные материалы и электроэнергия. Данный процесс нашел применение в опытно-промышленном производстве узлов корпусов ракет на заводе «Прогресс» и корпусов боевых машин пехо-

ты на Курганском машиностроительном заводе. Внедрением передовых технологических процессов занимались Б.А. Стебловский, В.И. Завируха, Г.И. Артеменко, Ю.М. Лосев и Ю.А. Рябец. Внедренная технология обеспечила полную герметизацию баков и систем подачи топлива ракетных узлов.

Для соединения малонагруженных узлов с силовыми элементами в транспортных конструкциях в настоящее время применяют дуговую точечную сварку алюминиевых сплавов. Она позволяет повысить производительность процесса по сравнению с неплавящимся электродом, осуществить легирование металла шва и улучшить качество и механические свойства сварного соединения. Оптимизация параметров режима наряду с синергетическим управлением процессом обеспечивает стабильное качество швов и уровень механических свойств нахлесточных соединений тонколистовых алюминиевых сплавов АМг5, АМг6 и АД33 ($d_{мет} = 1,8; 3,0; 3,8$ мм) при использовании источника питания «Fronius TPS-450» и горелки «Fronius Pull MIG PM-502Z». В ходе отработки оптимальных режимов сварки нахлесточных соединений толщиной: 2+2 мм; 3+3 мм; 4+4 мм, было установлено, что замена аргона на гелий приводит к увеличению значений геометрических параметров точечного шва и снижению диаметра и количества пор, повышению прочности соединения. Для снижения деформаций верхних листов нахлесточных соединений рекомендуется выполнять сварку на максимально допустимых значениях тока и минимальном времени сварки. Было установлено, что использование двух импульсных источников питания с синергетическим управлением и сварочной горелки, обеспечивающей подачу изолированных друг от друга сварочных проволок, позволяет по сравнению с однодуговой, повысить глубину и ширину проплавления и уменьшить высоту усиления швов ($d_{мет} = 8$ мм, сплав АМг6). Дуговой способ импульсной сварки целесообразно применять для предотвращения прожогов тонколистового металла при однопроводной сварке стыковых и замковых соединений, а также для выполнения тавровых и нахлесточных соединений, когда необходимо получать большие катеты швов и не требуется глубокое проплавление металла (В.С. Машин, М.П. Пашуля, В.А. Коваль).

Исследование технологических особенностей гибридной лазерно-дуговой сварки плавящимся электродом показало, что при использовании источника лазерного излучения Nd: YAG – лазер модели DY 044 (фирмы Rofin Sygar, Германия) с мощностью излучения до $P = 4,4$ кВт и импульсной дуги плавящегося электрода, которые питались от установки «Fronius TPS-2700» («Fronius», Австрия), обеспечивающей сварочный ток до 270 А, можно получить качественные швы сплавов марок АМг6, Д16, 1420 толщиной 4,0 мм при использо-

вании сварочной проволоки $\varnothing 1,2$ мм. Для защиты сварочной ванны целесообразно применять смесь аргона с гелием или чистый гелий. Гибридная сварка по сравнению с импульсно-дуговой плавящимся электродом позволяет повысить в 1,8-2,6 раза скорость сварки (в диапазоне 30-60 м/ч), снизить в 1,3-1,6 раза величину тепловложения в свариваемый металл и значительно уменьшить деформации соединений толщиной 4 мм. Характеристики прочности при этом несколько выше, чем при импульсно-дуговой сварке плавящимся электродом.

Благодаря обширным научным результатам и высокому уровню технологических разработок в области дуговых способов сварки в короткие сроки были внедрены эффективные процессы для изготовления легких конструкций различного назначения из алюминиевых сплавов. В течение 1950-1970 гг. впервые в мире специалисты отдела совместно с «КБ «Южное» (Днепр) и др. предприятиями ракетно-космической отрасли создали комплекс оборудования и технологии изготовления несущих конструкций, топливных баков, корпусов гироскопов и оболочек ядерных зарядов, систем управления, подачи топлива, аэродинамических рулей управления, переходных отсеков и др. узлов с использованием дуговой автоматической сварки в инертных газах (Д.М. Рабкин, А.Я. Ищенко, Б.А. Стебловский, В.П. Будник). В 1980-х гг. специалисты отдела приняли активное участие в разработке технологий и оборудования для сварки объемных конструкций ракет. Была создана технология приварки ребер тонкостенных панелей авиационных и ракетных конструкций из высокопрочных алюминиевых сплавов марок АМг6 и 1201. Использование оребренных панелей из новых алюминиевых сплавов и технологии сварки баков из них не только снизило экономические затраты на производство, но и повысило тактико-технические данные ракетных комплексов.

В этот же период исследовались процессы, протекающие при взаимодействии алюминия со сталью и медью, определялись законы роста интерметаллидных прослоек, физико-механические свойства искусственно выплавленных интерметаллидов, особенности формирования структуры сварных соединений разнородных и композиционных материалов. На основании полученных результатов были разработаны методы соединения, обеспечивающие необходимый уровень служебных характеристик, что было использовано на ряде предприятий оборонного значения (В.Р. Рябов, В.И. Юматова, В.А. Кирпатый, И.В. Зволинский, Б.Я. Ковалев). В ходе исследований были установлены закономерности первичной кристаллизации и механизмы формирования структуры швов в неравновесных условиях при больших скоростях охлаждения, прерывистых и импульсных подачах энергии, а также под влиянием микродобавок различных модификаторов структу-

ры. Результаты анализа послужили основой создания и отработки в производственных условиях высокоэффективных технологий вакуум-плотного соединения стали с алюминием, которая была успешно внедрена в производство конструкций ракетного комплекса 18М, что позволило значительно уменьшить его массу и обеспечить надежность соединения двигателя с топливным баком.

В это же время интенсивно развивается новое направление – сварка разнородных металлов и композиционных материалов на алюминиевой основе различных типов: волокнистых, дисперсно-упрочненных, слоистых. Высокие удельные показатели прочности и жесткости материалов, низкий термический коэффициент линейного расширения в направлении армирования, повышенное внутреннее демпфирование, теплопроводность, а также повышенная стойкость при воздействии ультрафиолетовых и жестких излучений обусловили повышенный интерес к ним. Необходимо было всесторонне изучить технологические особенности их соединения, связанные с применением таких материалов в различных типах военных и гражданских самолетов, вертолетов, а также изделий ракетно-космической техники. Попытки использовать существующую технологию аргонодуговой сварки неплавящимся электродом с применением стандартного оборудования не дали положительных результатов в отношении качества соединений. Потребовались новые технологические процессы, исключаяющие расплавление армирующих волокон как в твердой фазе, так и в условиях частичного оплавления алюминиевой матрицы. Поэтому были разработаны специальное оборудование и оснастка, позволяющие защищать их в процессе сварочного нагрева. Наиболее широкое применение получили технологии контактной и диффузионной сварки, позволяющие ограничить термическое влияние на армирующее волокно путем сокращения времени сварки или снижения температуры. Успешному их внедрению в производство (ГП «Антонов», Киев) способствовали плодотворные исследования процессов смачиваемости, растворения и диффузии компонентов алюминиевых сплавов и композиционных материалов на их основе.

В связи с необходимостью снижения расхода топлива в изделиях авиакосмической техники среди алюминиевых сплавов в 1980-х гг. появился новый класс высокоресурсных алюминиево-литиевых сплавов. Повышенный интерес к этой группе легких сплавов обусловлен более низкой (на 3-4 %) плотностью при увеличении жесткости на 3-4 %, если в алюминий добавляют 1 ат. % лития. Имея существенно меньшую плотность (на 8-15 %), сплавы обладают высоким модулем упругости, что позволяет на 10-15 % уменьшить массу конструкций и, соответственно, повысить грузоподъемность пас-

сажирских и транспортных самолетов и др. транспортных средств. Высокие значения прочности сплавов достигаются благодаря способности легирующих элементов к ограниченной растворимости в различных температурных условиях. От традиционных, сплавы с литием отличаются большей степенью легирования, наличием значительной гетерогенности и сложностью фазовых превращений, протекающих при технологических операциях. В ходе усовершенствования химического состава и структуры сплава, а также оптимизации условий их соединения в производстве сварных конструкций получили признание новые модификации алюминиево-литиевых сплавов. Эффективность сварных конструкций из алюминиево-литиевого сплава типа 1420 подтвердила многолетняя эксплуатация топливного бака и кабины летчика сверхзвукового истребителя серии МиГ-29.

Новый этап развития в последующие годы получила технология сварки неплавящимся электродом. Оказалось, что пропускание электрического тока величиной около 200 А через участок проволоки способствует ее нагреванию до 200 °С, обеспечивает интенсивную дегидратацию свариваемых кромок и эффективное катодное разрушение оксидной пленки, уменьшая тем самым количество макровключений пленки в швах (А.Г. Покляцкий, А.А. Гринюк, В.Г. Колыбаба, О.О. Король). Областью применения подобного технологического приема является сварные конструкции ответственного назначения, к которым предъявляются повышенные требования к их прочности и герметичности.

С целью улучшения эксплуатационных и технологических свойств алюминиевых сплавов в 1990-х гг. активизировался поиск новых модифицирующих добавок. Он сопровождался усовершенствованием технологии производства полуфабрикатов алюминиевых сплавов и их соединения. Большое внимание в эти годы было уделено изучению влияния на структуру и свойства промышленных легких сплавов сравнительно новых легирующих компонентов, в т. ч. и скандия (А.Я. Ищенко, В.А. Кирпатый, А.В. Лозовская, И.Е. Склабинская, В.Е. Федорчук, Т.М. Лабур, М.Р. Яворская). В частности, улучшены характеристики свариваемости некоторых сплавов, получены новые сварочные материалы, включая эффективные присадочные проволоки с цирконием и скандием, созданы рациональные конструкции сварных узлов, разработаны технологические процессы дуговой и электронно-лучевой сварки, и необходимое для этого оборудование. Это обеспечило высокое качество сварных соединений алюминиевых сплавов, надежность их эксплуатации, содействовало росту производительности сварки и уменьшению металлоемкости изделий. Эти технологии были внедрены в ГП «КБ «Южное», «Южном машиностроительном заводе»

(Днепр), «Море» (Феодосия), «Николаевский судостроительный завод» (Николаев), «Ленинская кузница» (Киев) и на др. предприятиях, изготавливающих легкие конструкции.

В последнее десятилетие интенсивно разрабатывается технология соединения алюминиевых сплавов трением с перемешиванием благодаря использованию специального рабочего инструмента. Процесс осуществляется в твердой фазе за счет локальной пластификации части основного материала. Структура шва и его механические свойства при этом улучшаются, а малая величина тепловложения позитивно проявляется на степени разупрочнения металла в зоне нагрева и незначительной деформации сварных изделий (рис. 7). Формирование шва происходит без образования пор, макровключений оксидной пленки, горячих трещин и т. п. дефектов, наблюдаемых при расплавлении и кристаллизации металла в условиях сварки плавлением. Отсутствие дугового разряда и расплавленного металла позволяют получать плотные неразъемные соединения без применения защитного газа, а также избежать ультрафиолетового излучения дуги, выделений дыма, потери легирующих элементов и необходимости повышения содержания их в швах за счет использования присадочных материалов. Поскольку процесс протекает при более низкой температуре, деформационное упрочнение металла, измельчение зерен, увеличение объемной доли их границ и дробление интерметаллидных фаз в шве и на граничащих с ним участках обеспечивают более высокие значения предела прочности соединений, чем в условиях сварки плавлением. А снижение теплового воздействия на металл способствует уменьшению остаточных пластических деформаций укорочения и растягивающих напряжений в соединениях, что вызывает меньшее коробление сварных конструкций и повышает их стойкость к разрушению. Соединения, тем самым, имеют высокую усталостную прочность при воздействии циклических нагрузок, обеспечивая надежность и долговечность сварных конструкций. Над изучением технологических возможностей нового процесса наряду с созданием специализированного сва-

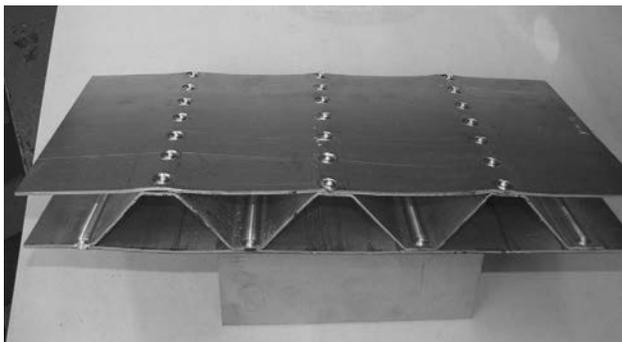


Рис. 7. Трехслойная панель, выполненная сваркой трением с перемешиванием точечными и стыковыми швами

точного оборудования работают А.Г. Покляцкий и В.Г. Колыбаба, эти разработки были использованы при внедрении технологического процесса на ГП «Мотор Сич» (Запорожье).

Появление наноструктурных материалов (интерметаллидов, нанодисперсных композиционных систем на базе алюминия и др. элементов) с уникальными функциональными свойствами стало значительным достижением в области материаловедения. В обычных условиях такие материалы не соединяются. Необходимо было разработать неординарные технологические решения, благодаря которым впервые был создан новый класс эффективных наноструктурных сварочных материалов в виде многослойных покрытий и тонких фольг, получаемых с применением электронно-лучевой парофазной технологии и др. методов тонкого диспергирования, используя процессы в твердой фазе. Их эффективность была исследована А.Я. Ищенко, Ю.В. Фальченко, А.Н. Муравейник, В.Е. Федорчуком, В.С. Шинкаренко. Результаты показали, что уменьшение геометрических размеров структурных составляющих в самом материале и его соединениях открывают перспективу для создания сверхлегких конструкций аэрокосмической техники, сочетающих высокие показатели прочности и пластичности, а также малый вес. Дальнейшее развитие сварочных нанотехнологий окажет значительное влияние на темпы производства изделий аэрокосмической техники, включая орбитальные устройства и приборы, электротехнические и теплотехнические установки, детали газотурбинных двигателей.

Разрабатывались методы диффузионной сварки в вакууме материалов на основе алюмокомпозитивов и γ -TiAl интерметаллида через промежуточные нанослойные прослойки (Г.К. Харченко, Ю.В. Фальченко, Л.В. Петрушинец, В.П. Гуриенко, В.Л. Гончаревский). Разработаны технологии соединения биметаллических узлов железо-медь. Оптимизация режимов диффузионной сварки позволила изготовить партию полюсов для изделий специального назначения («Генератор», Киев) и, тем самым, заменить дорогостоящую технологию пайки. Исследования по сварке новых керамических и металлических материалов открыли перспективу их использования для изготовления панелей системы тепловой защиты космических кораблей многоразового использования, над которыми работает ГП «КБ «Южное». Для получения изотопов медицинского назначения были проведены поисковые работы по технологии герметизации соли хлорида рубидия в мишени, состоящей из медного корпуса с крышкой из жаропрочного сплава никеля, и переданы в Институт ядерных исследований НАНУ для дальнейшего их применения.

Возможность соединения биметаллических теплообменных систем и капсулирующих блоков для микроэлектроники при температурах 140-250 °С

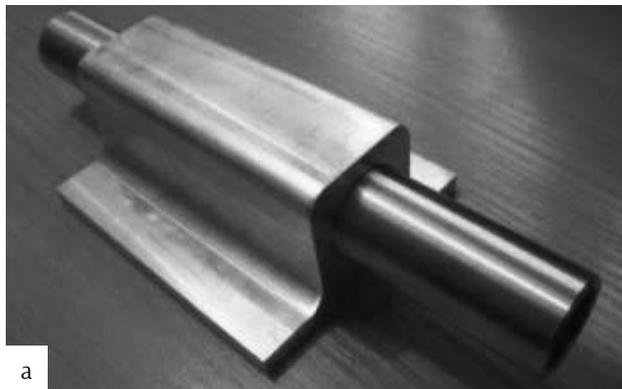


Рис. 8. Пример теплообменного блока (а) и фрагменты диффузионного соединения разнородных металлов (б)

обеспечило использование промежуточных прослоек, демпферного, нанесенного микроплазменным методом, и активатора из жидкого металла, (Ю.А. Хохлова, М.А. Хохлов, Д.А. Ищенко). Разработанная технология позволяет одновременно соединять металлические элементы блока и закреплять внутри него приборные компоненты микроэлектроники (рис. 8) по замкнутым, цилиндрическим и сопрягающимся поверхностям в узлах конструкций ракетно-космической техники, кораблей, воздушного и наземного транспорта, работающих в сложных условиях эксплуатации.

Как видно из приведенного выше, арсенал современных способов соединения легких сплавов весьма обширен – от классических технологий сварки плавлением до сварки в твердой фазе. Качественные неразъемные соединения получают даже из материалов, которые ранее трудно сваривались. Это дает основание утверждать, что сварочный процесс является одним из стимулирующих факторов прогрессивного развития производства легких конструкций различного назначения. Выбор способа сварки и оптимального процесса формирования качественных соединений определяется как степенью проработки химического состава применяемого материала, так и уровнем использующейся при этом сварочной техники. И сегодня в ИЭС им. Е.О. Патона продолжают работы, охватывающие фундаментальные и прикладные исследования, на базе которых разрабатываются прогрессивные технологии соединения новых материалов на основе алюминия и магния.

Высокая научная эрудиция, системный подход и широта стратегии научного поиска новых технологических решений, профессионализм специалистов отдела сварки легких сплавов особенно проявились в рамках сотрудничества с иностранными компаниями США, Германии, Франции, Испании, Италии, Польши, Сербии, Китая, Южной Кореи. Выполнение 8 совместных научных проектов и около 20 международных договоров явилось наглядным подтверждением высокого уровня знаний и организованности коллектива – основой создания эффективных технологических процессов сое-

динения легких материалов и сплавов.

Результаты фундаментальных исследований в области сварки высокопрочных сплавов, разнородных и композиционных материалов на основе алюминия и магния были представлены в 16 монографиях, ряде изобретений и отмечены пятью премиями:

Государственная премия Украины:

- «За создание теоретических основ производства ответственных деталей и узлов машин из высокопрочных легких конструкционных материалов». – Ищенко А.Я., Рябов В.Р. и др., 1995 г.;
- «Материалы и технологии конструкций современной авиационной техники». – Лабур Т.М., Ющенко К.А. и др., 2018 г.

Премии Совета Министров СССР:

- «За разработку и внедрение в производство высокоэффективных методов и приемов сварки алюминиевых, магниевых и титановых сплавов» – Ищенко А.Я., Стебловский Б.А. и др., 1988 г.;
- «За разработку и внедрение в производство сталеалюминиевых биметаллов» – Рябов В.Р., Добрушин Л.Д. и др., 1989 г.

Премия Национальной академии наук имени Е.О. Патона:

- «За публикацию монографии «Металлургия сварки плавлением алюминия и его сплавов»» – Рабкин Д.М., 1994 г.

Настоящий обзор, естественно, не может охватить все работы, выполняемые отделом, по созданию эффективных технологий соединения легких металлов и сплавов, в ней приведены наиболее значимые результаты. Отличительной особенностью научной деятельности отдела, как и всего ИЭС им. Е.О. Патона всегда была тесная связь с практикой. Специалисты отдела быстро откликались на насущные технологические потребности в области машиностроения, доводили все исследования до стадии разработки конкретных рекомендаций, новых технологических процессов, широкого внедрения их в производство при тесном сотрудничестве с представителями промышленных предприятий.

● #1192

Новый отечественный труборез из гаммы 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 разработок Института электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины и его специализированного подразделения – Государственного предприятия «Научно-инженерный центр сварки и контроля в отрасли атомной энергетики Украины Института электросварки им. Е.О. Патона НАНУ» (НИЦ СКАЭ) относительно создания образца трубореза для подготовки к дуговой сварке стыков металлических трубопроводов с номинальным внешним диаметром от 159 до 219 мм. Это позволило завершить разработку гаммы современных отечественных труборезов с внешним базированием и безопасным унифицированным пневматическим приводом. Применение таких труборезов 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.

Принимая во внимание, что при сооружении, монтаже, модернизации и для обеспечения продления ресурса технологических трубопроводов и др. металлоконструкций потенциально опасных производств необходимо выполнять значительный объем сварочных работ (например, строительство и монтаж новых энергоблоков атомных электростанций (АЭС) с реакторами типа ВВЭР требует выполнения больше 120 000 сварных соединений на одном энергоблоке), есть все основания утверждать – альтернативы применению автоматических способов сварки нет [1-4]. Однако, отсутствие гаммы отечественного современного оборудования для подготовки к сварке неповоротных стыков трубопроводов продолжает оставаться одним из главных факторов, препятствующих существенно 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 отраслей энергетики, в

т. ч. атомной, и др. отраслей экономики вынуждены применять зарубежное оборудование аналогичного назначения, которое по своим свойствам может удовлетворять отечественных пользователей лишь частично. Характерная особенность трубопроводов энергоблоков АЭС, являющихся базовыми элементами технологических цепочек этих объектов, заключается в том, что в процессе их эксплуатации они подвергаются влиянию (в основном одновременному) значительного давления, высоких температур, больших движущихся масс воды и пара, проникающей ионизирующей радиации [4]. Учитывая, что ресурс, надежность, ядерная и радиационная безопасность энергоблоков АЭС и др. потенциально опасных производств во многом определяются состоянием и ресурсом технологических трубопроводов, последние были выделены в отдельную группу устройств энергоблоков АЭС с регламентацией правил и норм выполнения, диагностики и контроля сварных соединений этих трубопроводов [4-6]. На практике достоверно 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 [1,2, 4-7]. 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 изготовления инновационных моделей торцевателей ТРЦ 38 УЗ.1 для металлических труб \varnothing от 14 до 38 мм, ТРЦ 76 УЗ.1 для металлических труб \varnothing от 38 до 76 мм и трубореза разъемного ТТЦ 660 УЗ.1 для металлических труб \varnothing от 108 до 159 мм [8]. В 2018 г. в НИЦ СКАЭ на базе модерни-

зированной торцевателя ТРЦ 76 УЗ.1 был создан торцеватель ТРЦ 108 УЗ.1 для металлических труб \varnothing от 76 до 108 мм [9], а в декабре 2018 г. началась разработка трубореза разъемного ТТЦ 670 УЗ.1 для металлических труб \varnothing от 159 до 219 мм, что вызвало потребность выполнения ряда дополнительных исследований и опытно-технологических работ.

При проведении таких исследований и выполнении опытно-технологических работ изучалось влияние на качество сварных соединений точности подготовки кромок деталей металлических трубопроводов с номинальным внешним \varnothing 159 и 219 мм, конструктивные элементы которых соответствуют требованиям ПН АЭ Г-7-009-89, 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 08Х18Н10Т и стали 20 с номинальными \varnothing 159 и 219 мм с номинальной толщиной стенки 6,0, 5,0 и 12,0 мм соответственно. Кромки образцов-имитаторов деталей трубопроводов, используемых для исследований и опытно-технологических работ, обрабатывали с помощью токарно-винторезного станка 1М61 и фрезерного станка 6Р82Ш.

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 ассиметрия углов скоса кромок разделки образцов деталей трубопроводов для имитации отклонений от нормативных значений для труб с номинальными размерами (159×6,5 и 219×12,0) мм, составляла 4, 5 и 8 угл. град.

В процессе обработки образцов-имитаторов деталей трубопроводов из стали 08Х18Н10Т 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 127 с диапазоном измерения от 0 до 180 угл. град и наибольшей погрешностью измерений ± 2 угл. мин. [10].

Основную часть обработанных согласно *табл. 1* образцов-имитаторов деталей трубопроводов из стали 08Х18Н10Т 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 неплавящегося электрода, для чего использовали опытные образцы разработанных в НИЦ СКАЭ автоматов орбитальных АДЦ 629 УХЛ4 и АДЦ 630 УХЛ4 [11], а часть этих образцов-имитаторов – многопроходной ручной сварке неплавящимся электродом в среде аргона с подачей присадочной проволоки (многопроходной 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 [12], а также горелку АВТIG GRIPP 26 (фирмы Abicor Binzel) с вольфрамовым электродом марки WT20 диаметром 3,15 мм. При опытных сварках стыков деталей трубопроводов со стали 08Х18Н10Т в качестве присадочного материала использовали проволоку Св-04Х19Н11МЗ, а при опытных сварках стыков деталей трубопроводов из стали 20 – проволоку Св-08Г2С, при этом диаметр этих проволок составлял 1,6-2,0 мм.

Качество сварных соединений образцов-имитаторов деталей трубопроводов с номинальным \varnothing от 76 до 108 мм, используемых для исследований и опытно-технологических работ, контролировали

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

Номинальные размеры трубы (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		$S_1 - M_1$	$S_2 - M_2$		
					$M_2 = M_1$	$M_2 = M_1 + 1$	$M_2 = M_1 + 1,5$
159 × 6,5	149	+0,26	3,8	$2,7^{+0,3}$	$2,7^{+0,3}$	$3,7^{+0,3}$	$4,2^{+0,3}$
219 × 12,0	199	+0,30	8,8	$3,0^{-0,3}$	$3,0^{-0,3}$	$4,0^{-0,3}$	$4,5^{-0,3}$

*Примечание. Пояснения условных обозначений размеров S_1 , S_2 , M_1 и M_2 приведены в [8].

Таблица 2. Основные параметры и характеристики опытных образцов труборезов разъемных ТТЦ 660 УЗ.1 и ТТЦ 670 УЗ.1

Наименование параметра или характеристики	Значение	
	Модель	
	ТТЦ 660 УЗ.1	ТРЦ 670 УЗ.1
Наименьший внешний диаметр обрабатываемой трубы, мм	108	159
Наибольший внешний диаметр обрабатываемой трубы, мм	159	219
Наибольшая толщина стенки обрабатываемой трубы, мм	15,0	18,0
Длина расточки внутреннего диаметра обрабатываемой трубы, не менее, мм	20	
Базирование	На внешней поверхности обрабатываемой трубы (в т. ч. «безграничной» длины), независимо от ее пространственного положения	
Способ подачи отрезных резцов	Вручную или автоматически	
Подача резца, не более, мм/оборот.	0,10	
Частота вращения планшайбы номинальная, обор./мин.	55	25
Наибольшее количество суппортов под резцы на планшайбе	2	
Номинальная мощность на шпинделе пневмопривода, кВт	1,3	
Расход сжатого воздуха во время холостого хода, не более, м ³ /мин.	1,5	
Масса с приводом, не более, кг	24,0	29,4

няты при проектировании трубореза ТТЦ 660 УЗ.1 [8]. Было также установлено, что для энергообеспечения трубореза ТТЦ 670 УЗ.1 воздушно-масляной смесью может использоваться унифицированный блок подготовки воздуха (применяемый в торцевателях ТРЦ 38 УЗ.1, ТРЦ 76 УЗ.1 и в труборезе разъемном ТТЦ 660 УЗ.1).

В табл. 2 приведены основные параметры и характеристики опытных образцов труборезов разъемных ТТЦ 660 УЗ.1 и ТТЦ 670 УЗ.1.

Конструктивная схема труборезов разъемных ТТЦ 660 УЗ.1 и ТТЦ 670 УЗ.1, показана на рис. 2.

Внешний вид кромок обработанных образцов труб Ø 133 мм с U-подобной и V-подобной разделками приведен на рис. 3.

Исходя из приведенного выше можно сделать

следующие выводы.

1. Разработан новый отечественный труборез ТТЦ 670 УЗ.1 для подготовки к сварке неповоротных стыков металлических трубопроводов Ø от 159 до 219 мм энергоблоков АЭС и объектов др. отраслей экономики. Это стало существенным вкладом в создание гаммы современного отечественного оборудования для механизированной подготовки к сварке торцов и кромок неповоротных стыков металлических трубопроводов Ø от 14 до 219 мм на базе инновационных унифицированных для всех типоразмеров торцевателей и труборезов технических решений и основных составляющих частей, а также обеспечило возможность полного отказа от импорта оборудования аналогичного назначения. При разработке нового отечественного

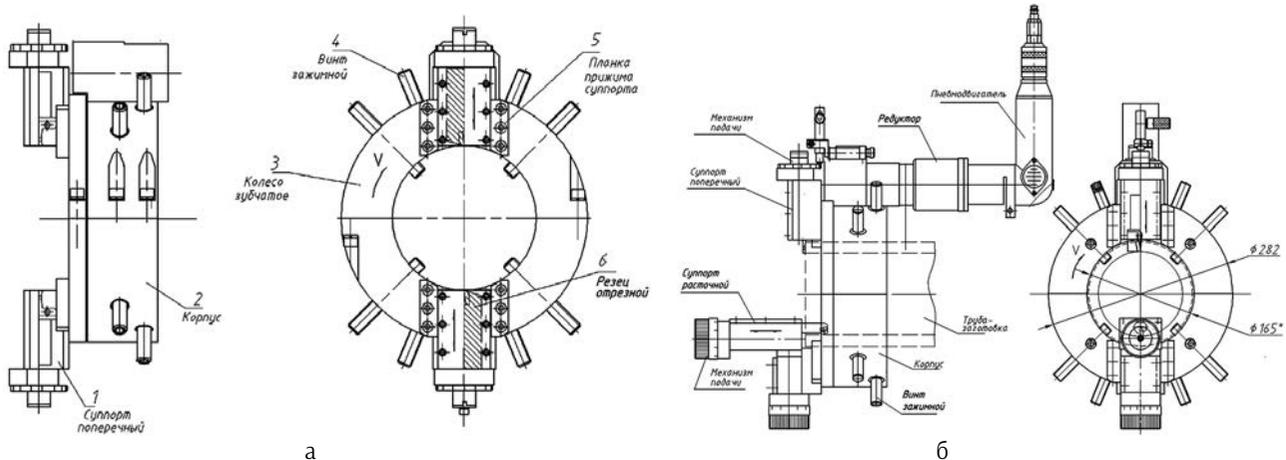
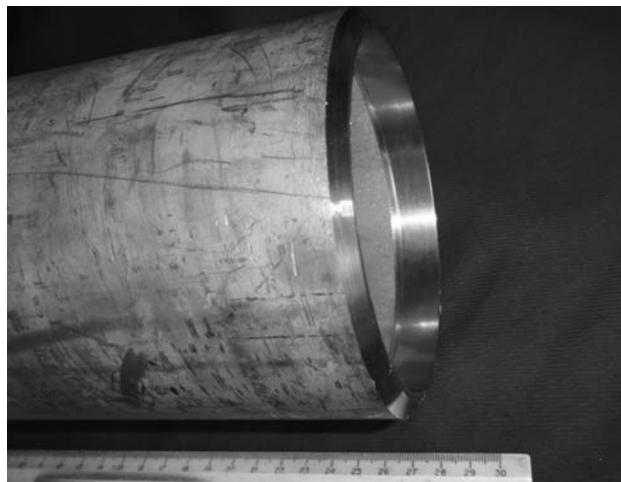


Рис. 2. Конструктивная схема труборезов разъемных ТТЦ 660 УЗ.1 и ТТЦ 670 УЗ.1 (на примере трубореза разъемного ТТЦ 660 УЗ.1): а – внешний вид планшайбы с поперечными суппортами, б – внешний вид трубореза разъемного ТТЦ 660 УЗ.1



а



б

Рис. 3. Внешний вид кромок обработанных образцов труб диаметром 133 мм: а – кромка трубы с U-подобной разделкой, б – кромка трубы с V-подобной разделкой

трубореза ТТЦ 670 УЗ.1 использовался накопленный в ИЭС им. Е.О. Патона и НИЦ СКАЭ опыт проектирования, изготовления, испытаний и опытно-промышленной эксплуатации опытного образца трубореза ТТЦ 660 УЗ.1, а также международный опыт создания оборудования аналогичного назначения [15-19] с учетом того, что ранее подобное оборудование 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 159 до 219 мм из сталей аустенитного и перлитного классов, а также определены области оптимальных режимов механической обработки этих торцов и кромок.

3. Технические параметры и характеристики, результаты испытаний и опытно-промышленной эксплуатации опытного образца трубореза разъемного ТТЦ 670 УЗ.1 дают все основания считать, что, в сравнении с лучшими зарубежными образцами труборезов для подготовки к ручной или автоматической сварке торцов и кромок деталей неповоротных стыков трубопроводов, разработанный в НИЦ СКАЭ труборез ТТЦ 670 УЗ.1 обеспечивает:

- расширение технологических возможностей оборудования для подготовки к сварке торцов и кромок деталей неповоротных стыков металлических трубопроводов независимо от их пространственного положения (в т. ч. трубопроводов «безграничной» длины);
- безопасность при эксплуатации и оптимальную массу за счет оснащения трубореза унифицированным серийным пневмоприводом, нормально функционирующем, если давление сжатого воздуха, поступающего на вход блока подготовки воздуха трубореза, составляет от 0,42 до 0,63 МПа (от 4,2 до 6,3 кгс/см²);

- возможность установки и использования при выполнении операций отрезания (торцевания) двух независимых суппортов, что оптимизирует режимы и распределение усилий резания, а также предоставляет возможность автоматической подачи резцов и повышения производительности процессов механической обработки торцов и кромок деталей неповоротных стыков металлических трубопроводов;
- повышение качества и точности подготовки к ручной или автоматической сварке торцов и кромок деталей неповоротных стыков трубопроводов за счет внешнего базирования и улучшения условий центрирования соосно с продольными осями обрабатываемой трубы и механизма базирования;
- упрощение и удешевление технического обслуживания трубореза за счет максимально возможного использования в нем отечественных комплектующих изделий и материалов, максимально возможной унификации узлов и механизмов и существенного улучшения ремонтнопригодности этого трубореза;
- снижение не менее, чем в 1,5-2,0 раза себестоимости этого изделия.

4. Испытания и опытно-промышленная эксплуатация опытных образцов отечественных труборезов ТТЦ 660 УЗ.1 и ТТЦ 670 УЗ.1, а также дальнейшее освоение их промышленного производства создают необходимые предпосылки для оснащения производственных, монтажных и ремонтных подразделений и предприятий отрасли энергетики и др. отраслей экономики Украины 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 автома-

тической сварки неповоротных стыков металлических трубопроводов.

В заключение авторы отмечают, что к конструированию образца трубопровода ТТЦ 670 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 «Атомэнерго-маш» 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. Белкин А.С., Шефель В.В. Автоматическая аргодуговая сварка при монтаже трубопроводов АЭС. // Энергет. строительство. – 1985 – № 11. – С. 43-46.
2. Рошин 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.
3. Букаров В.А. Технология дуговой автоматической сварки в защитных газах. / Там же, 2002. – Т.1. – С. 149-210.
4. Гриненко В.И., Рошин В.В., Хаванов В.А., Полосков С.И. К вопросу об автоматизации сварки монтажных стыков трубопроводов атомных электростанций. // Технология маш-ния. – 2008. – № 8. – С. 48-51.
5. Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварка и наплавка. Основные положения (ПН АЭ Г-7-009-89). / Госатомэнергонадзор СССР. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 190 с.
6. 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.
7. Полосков С.И., Букаров В.А., Ищенко Ю.С. Влияние отклонений параметров режима аргодуговой 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.
8. 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.
9. Лобанов Л.М., Махлин Н.М., Водолазский В.Е., Попов В.Е., Муценко Л.П., Олияненко Д.С., Лавров С.И., Кириленко А.А., Притыка В.Г., Ковалюк А.В. Новый торцеватель из гаммы отечественного оборудования для подготовки к сварке неповоротных стыков трубопроводов атомных электростанций. // Сварщик в России. – 2019. – № 4. - С. 24-28.
10. Троицкий В.А. Визуальный и измерительный контроль металлоконструкций и сооружений. – Киев: Феникс, 2012. – 276 с.
11. 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.
12. 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.
13. Троицкий В.А. Краткое пособие по контролю качества сварных соединений. – Киев: Феникс, 2006. – 320 с.
14. Справочник технолога-машиностроителя. / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Сулова, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 2001. – Т.2. – 944 с.
15. Белоусов А.Н., Чернышев Г.Г. Некоторые вопросы подготовки стыков труб под сварку. // Свароч. пр-во. – 1977. – № 4. – С. 39-41.
16. Волков В.А. Специальное металлорежущее оборудование. // Технология машиностроения. – 2000. – № 5. – С. 6-10.
17. <http://www.protem.fr/>
18. <http://www.polysoude.com/>
19. <http://www.esab.com/>

●#1193

Машинный газокислородный резак РГКМ-2-SR «Гном»

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

Для подготовки кромок под сварку вертикальных швов и подгонки деталей на монтаже нами используются немецкие полуавтоматы для кислородной резки ZIS-1148. Эти машины перемещаются вдоль обрабатываемой кромки по направляющей, которая крепится к корпусной конструкции на постоянных магнитах.

Для снятия на монтажной площадке фасок под сварку при перемещении горизонтально ориентированного газокислородного резака сверху вниз или в обратном направлении, ЧАО «НКМЗ» приобрел два немецких переносных аппарата для кислородной резки ZIS-1148. Однако, использовать их на заводе без модернизации не представлялось возможным по следующим причинам:

- машины укомплектованы резаками с пределом реза по толщине листа 60 мм, что гораздо меньше необходимых 100 мм; резаки работают на дорогом ацетилене;
- с целью уменьшения опрокидывающего момента относительно магнитных прижимов, ходовая тележка машины в работе расположена очень близко от факела резака и подвергается большим термическим воздействиям.

Сотрудниками ООО «НИИПТмаш-Опытный завод» совместно со специалистами ОГС ЧАО «НКМЗ» был разработан машинный резак РГКМ-2-SR «Гном», согласованный с машиной «ZIS-1148», испытания которого выявили следующие преимущества:

- продольные оси центрального канала внутреннего мундштука, формирующей режущую струю кислорода, и кожуха резака, фиксируемого в механизме крепления резака на машине, точно совпадают друг с другом, что позволяет ориентировать резак в нужной плоскости с высокой степенью точности;
- высокая чистота поверхности реза при резке по всем диапазонам толщин заготовок, указанных в паспорте на резак;
- высокая скорость резки при сопоставимом расходе энергоносителей по отношению к справочным данным.

На чертеже кислородного резака РГКМ-2-SR (рис. 1) видно, что головка резака с мундштуками и задний коллектор с инжектором, смесительной камерой и присоединительными штуцерами выполнен в одном корпусе без присоединительных трубок. Почти полностью отсутствуют паяные соединения.

Удачно, по мнению авторов, исполнен инжектор, совмещенный со штуцером для подвода подогревающего кислорода. Массивный корпус хорошо отводит тепло. Резак долговечен. Сравнительные испытания в лабораторных условиях и отработка режимов работы различных резаков позволили выявить их оптимальные характеристики (табл. 1).

Внедрение резака для вертикальной резки РГКМ-2-SR расширило диапазон обрабатываемых толщин листа переносными машинами «ZIS-1148» с 60 до 100 мм, повысило надежность вертикальной кислородной резки при снятии фасок под сварку и ее производительность.

Получаемое с применением нового оборудования качество поверхности реза позволяет работать на нулевых припусках и, в некоторых случаях, обходиться без последующей механической обработки поверхности реза перед сваркой.

У резака РГКМ-2-SR рабочая полость между внутренним и наружным мундштуками разбита на пять участков:

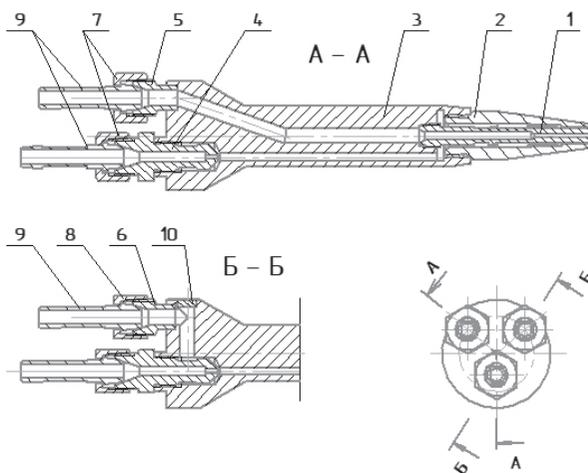


Рис. 1. Чертеж кислородного резака РГКМ-2-SR «Гном»

Таблица 1. Результаты сравнительных испытаний при отработке режимов резки

Параметры	Резак для вертикальной резки	
	ZIS Liliput	РГКМ-2-SR
Толщина разрезаемого металла, мм	60	60-100
Род горючего газа	Ацетилен	Природный газ
Давление, МПа кислорода горючего газа	1,0 0,1	0,75 0,06
Расход, м ³ /ч кислорода горючего газа	4,6 0,8	4,5-7,6 1,1-1,3

- коллектор, где поток газовой смеси равномерно перераспределяется по окружности, в центре которой находится канал для режущего кислорода;
- два разгонных участка с коаксиально расположенными шлицами, в них поток газокислородной смеси разгоняется до скоростей, значительно превышающих скорость горения смеси;
- участок в виде радиальной кольцевой щели, которую центральная часть выходящих из шлицевых каналов струй проскакивает, сохраняя свою высокую скорость, а периферийная часть этих струй тормозится до скоростей, близких к скорости горения газокислородной смеси;
- участок с кольцевым выходным каналом, который собирает расположенные поочередно потоки с высокой и низкой скоростью и фокусирует факел резака.

Благодаря такому техническому решению резак работает стабильно, а его факел имеет высокую температуру на большей части своей длины. Техническое решение, использованное в резаке РГКМ-2-SR, защищено патентом [1]. Технические характеристики резака представлены в *табл. 2*.

Общий вид резака РГКМ-2-SR показан на *рис. 1*. Резак состоит из монолитного корпуса 3, в головную часть которого концентрично ввернуты мундштук внутренний 1 и мундштук наружный 2. С противоположной стороны в корпус 3 впаяны штуцер 5 для режущего кислорода с накидной гайкой 7 М12х1,25 и ниппелем 9 Ду6 и штуцер 6 горючего газа с накидной гайкой 8 М12х1,25 LH и ниппелем 9 Ду6, и ввернут инжектор 4, совмещенный со штуцером для подвода подогревающего кислорода. На инжектор накручена накидная гайка 7 М12х1,25 с ниппелем 9 Ду6.

В корпусе 3 выполнены каналы, соединяющие штуцер 5 режущего кислорода с мундштуком внутренним 1 и инжектор 4 с мундштуком наружным 2. В канале для подвода горючей смеси предусмотрена технологическая пробка 10.

Таблица 2. Технические характеристики резака РГКМ-2-SR

Толщина разрезаемого металла, мм	3-10	10-30	30-50	50-100	
Мундштук внутренний, №	0	1	2	3	
Давление на входе, МПа	кислорода	0,6			
	горючего газа	0,06			
Расход, не более, м ³ /час	кислорода	1,9	3,2	4,7	7,6
	природного газа	0,75	0,9	1,1	1,3
	пропан-бутана	0,43	0,53	0,65	0,77
Присоединительная резьба на штуцерах	кислорода	М12х1,25			
	горючего газа	М12х1,25LH			
Масса резака, не более, кг	0,5				
Длина резака, не более, мм	160				

Численные значения расчетных параметров (диаметры отверстий: инжектора $d_{ин}$, смесительной камеры $d_{ск}$, канала для режущего кислорода внутреннего мундштука $d_{кр}$ и диаметры кольцевой щели выходного канала – внутренний $d_{вых}$ и наружный $D_{вых}$) представлены на чертежах соответствующих деталей.

Органы управления резаком (вентильный блок) входят в состав механизма перемещения резака.

Перед началом работы необходимо проверить:

- герметичность присоединения рукавов, всех разъемных и паяных соединений;
- наличие разрежения (инжекции) в канале горючего газа.

Затем устанавливается необходимое рабочее давление газов в соответствии с *табл. 2*.

Приоткрывают вентиль подогревающего кислорода, а затем вентиль горючего газа, и после кратковременной продувки зажигают горючую смесь и регулируют пламя. Выключение резака производят в обратном порядке: горючий газ, кислород.

При возникновении внутреннего горения (гашение пламени после хлопка, сопровождающееся характерным свистом) немедленно закрывают вентили горючего газа и кислорода, а затем вентили на баллонах или газоразборных постах. Отсоединяют рукава и осматривают резак. При повреждении резака или наличии копоти на входных штуцерах, необходимо сдать резак в мастерскую для ремонта.

Сменные внутренние мундштуки устанавливаются в условиях мастерской с последующей центровкой кольцевого канала смеси.

Детали резака, имеющие расчетные каналы, представлены на *рис. 2 – 5*.

Промышленные испытания резака РГКМ-2-SR для вертикальной резки проводились на монтажной площадке механосборочного цеха ЧАО «НKMЗ» при снятии фасок под сварку секций барабана шахтоподъемной машины. Толщина листа в месте реза – 40 мм. Угол V-образной разделки под сварку равен 60°. Толщина заготовки в плоскости реза – до 60 мм.

Испытания резака РГКМ-2-SR на горение перед

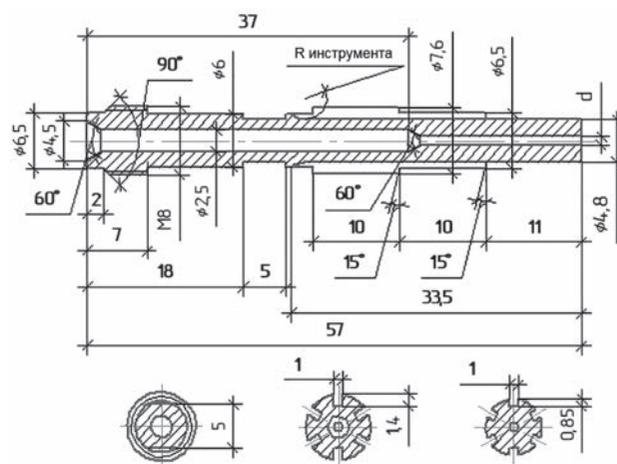


Рис. 2. Мундштук внутренний



Рис. 9. Процесс кислородной резки при снятии фасок под сварку

установкой на обрабатываемое изделие показаны на рис. 6.

Секции барабана шахтоподъемной машины с установленными полуавтоматами на магнитных присосках для вертикальной резки, подготовленные к кислородной резке фасок под сварку, представлены на рис. 7.

Процесс нагрева кромки перед началом резки показан на рис. 8. Движение резака в процессе резки происходит снизу-вверх.



Рис. 10. Качество поверхности реза при снятии фасок под сварку на монтажной площадке при использовании машинного резака РГКМ-2-SR

Представление о процессе кислородной резки при снятии фасок под сварку можно получить из рис. 9.

Качество поверхности реза можно увидеть на рис. 10.

Литература

1. Пат. 29654 UA, МПК В 23 К 7/00. Газокислородный резак / Ю.Н. Лисенко, В.М. Литвинов, С.А. Чумак, Є.К. Цвентух, С.Л. Василенко, О.І. Коровченко, С.Г. Красильников. – № u200709167; заявл. 10.08.2007; опубл. 25.01.2008, Бюл. № 2.

●#1194

ESAB презентовал новинки на выставке «WELDEX / Россварка - 2019»

Компания ESAB, один из лидеров в области производства оборудования и расходных материалов для сварки и резки, приняла участие в 19-ой Международной выставке сварочных материалов, оборудования и технологий «WELDEX / Россварка - 2019». Мероприятие проходило в Москве в КВЦ «Сокольники», Москва, с 15 по 18 октября.

ESAB представил на выставке широкий ассортимент продукции, как уже заслужившей признание рынка, так и новой. Ключевым экспонентом стенда в 2019 г. стала система онлайн управления сварочными процессами WeldCloud, которая связывает сварочные источники питания и программную платформу, позволяя, тем самым, эффективнее управлять данными для анализа и достижения максимальной производительности.

В числе новинок оборудования компания экспонировала источник для плазменной резки Handyplasma 45 и механизм подачи проволоки Robust Feed Pro для полуавтоматов ESAB.

Среди новых сварочных материалов была представлена сплошная проволока ESAB- ОК ППО51С и электроды ОК 48Р, локализованного в России производства.

В ходе выставки специалисты ESAB приняли участие в деловой программе мероприятия, в которую вошел мастер-класс, посвященный сварочным материалам для высококачественной восстановительной и упрочняющей наплавки, а также выступление, раскрывающее основные особенности новых подающих механизмов Robust Feed Pro для полуавтоматов ESAB.

Кроме того, в рамках «WELDEX / Россварка - 2019» прошел мастер-класс «Решения ESAB для механизации,

автоматизации и роботизации сварки, резки, наплавки для предприятий различных отраслей машиностроения в России» и конференция – «Новое в сварке, резке, наплавке при производстве изделий из алюминия и алюминиевых сплавов», где Алексей Беликов, региональный директор направления сварочных материалов ESAB, осветил вопросы производства, хранения и применения сварочных материалов из алюминия и его сплавов.

По традиции ESAB выступил партнером конкурса сварщиков, который прошел в рамках выставки. Экспертное жюри высоко оценило качество электродов и проволоки, произведенных компанией на территории РФ.

«Для нас Weldex – уникальная площадка, которая ежегодно собирает ключевых игроков отрасли. Участие в этой выставке не только открывает возможность прямого контакта с рынком, партнерами и заказчиками, но и стимулирует общее развитие отрасли благодаря обмену опытом с коллегами со всего мира», - прокомментировал Константин Горбач, Управляющий Директор, ЭСАБ Ближний восток, Африка, Россия и СНГ.



esab.com

●#1195



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

Прорабатываем возможность снижения массы шахтного скипа, путем применения титанового сплава для изготовления секторного затвора. Технологией и опытом сварки титановых сплавов не владеем. Расскажите, пожалуйста, о практическом применении различных способов сварки титана и его сплавов.

Придворов П.А. (Славянск)

Трудности при сварке титана возникают в первую очередь из-за его высокой химической активности при повышенных температурах. В результате взаимодействия с газами атмосферы сплавы титана теряют пластичность и приобретают склонность к замедленному разрушению. В швах образуются дефекты (поры), вследствие чего имеет место значительное снижение сопротивления усталости, приводящее к разрушению сварной конструкции. Сварка термически нестабильных сплавов затруднена в связи с особенностями структурных изменений и фазовых превращений в металле шва и ЗТВ при термомеханическом цикле сварки, в результате чего возможно образование хрупких и нестабильных фаз. Однако путем выбора способов сварки, применения оптимальных режимов сварки и термической обработки в большинстве случаев удается получить работоспособные сварные соединения.

На сегодня для соединения титана и его сплавов нашли практическое применение большинство существующих способов сварки плавлением, за исключением ручной дуговой сварки штучными электродами.

Основной трудностью, возникающей при сварке плавлением титана, является обеспечение надежной защиты от контактов с воздухом сварочной ванны, корня шва, а также остывающих участков сварного соединения.

Защите подлежат участки сварного соединения, нагретые выше температуры, при которой начинается заметное взаимодействие титана с газами атмосферы. В литературе и инструкциях ее считают равной 250-400 °С. Для защиты используют вакуум и инертные газы: аргон, гелий и их смеси. В связи с тем, что качество сварного соединения зависит от чистоты инертного газа, для защиты применяют аргон 1-го и высшего сортов (ГОСТ 10157-79) и гелий высокой чистоты (ТУ 51-940-80).

В зависимости от размеров свариваемых изделий и требований к их качеству используются следующие варианты защиты зоны сварки инертным газом: общая защита изделия в камере с контролируемой атмосфе-

рой; локальная защита сварного соединения с использованием местных микрокамер; струйная защита зоны сварки и остывающих участков соединения, осуществляемая их непрерывным обдувом с помощью специального сопла с увеличенным диаметром.

Сварка титановых сплавов в вакууме выполняется при давлении остаточных газов 1×10^{-2} Па. Находит также применение сварка в низком вакууме, полностью исключая загрязнение металла сварного соединения вредными примесями (газами) и обеспечивающим максимальное приближение пластичности и вязкости сварного соединения к аналогичным свойствам основного металла.

Качество сварных соединений титана во многом определяется технологией подготовки кромок деталей под сварку и маркой сварочной титановой проволоки. Подготовка кромок под сварку выполняется только механическим способом. Шероховатость поверхности кромок должна быть не хуже $R_z = 40$. При зачистке абразивными кругами нельзя допускать перегрева металла, который вызывает образование на поверхности сварки соединения цветов побежалости. Перед прихваткой и сваркой зачищенные поверхности сварного соединения и сварочную проволоку обезжиривают, затем удаляют влагу с помощью чистых бязевых салфеток, смоченных ацетоном и этиловым спиртом.

Для сварки титана наиболее широкое применение нашли дуговые способы сварки, из которых наиболее распространенной является сварка неплавящимся вольфрамовым электродом в инертных газах (ТИГ). Этот способ сварки является наиболее универсальным, поскольку позволяет выполнять соединения в различных пространственных положениях, в стесненных условиях и не требует переналадки оборудования при изменении толщины свариваемого металла и типа соединения.

Автоматическая, механизированная и ручная ТИГ сварка могут выполняться непрерывно горящей и импульсной дугой. При сварке ТИГ поверхностной дугой без разделки кромок за один проход соединяются листы титановых сплавов толщиной менее 5 мм. Стыковые соединения титана больших толщин выполняют многослойной сваркой с разделкой кромок или в щелевую разделку и с подачей присадочной проволоки. Для сварки титана и его сплавов применяют титановые сварочные проволоки, состав которых зависит от типа соединяемых материалов и термической обработки сварных изделий.

С целью повышения проплавляющей способности дуги при сварке ТИГ разработан ряд усовершенствований. Для соединения титана и его сплавов применяют следующие способы сварки ТИГ: погруженной дугой без и с электромагнитным перемешиванием сварочной ванны, сквозным проплавлением, сварка по флюсу, с присадочной порошковой проволокой, в узкую (щелевую) разделку, двухдуговая и др.

При сварке погруженной дугой конец вольфрамового электрода находится ниже поверхности свариваемого металла. Это приводит к значительному увеличению коэффициента эффективности использования тепловой мощности дуги и позволяет сваривать за один проход без разделки кромок листы металла толщиной до 15 мм. В случае двухсторонней сварки этим способом можно сваривать листы титана толщиной до 36 мм. При этом сварные швы с каждой стороны листа выполняются в два прохода без применения присадочной проволоки: первый проход - погруженной дугой для получения требуемой глубины проплавления; второй - поверхностной дугой для сглаживания шва и придания ему требуемых размеров.

Электромагнитное перемешивание сварочной ванны приближает уровень механических свойств и электрохимических характеристик сварного соединения к аналогичным показателям основного металла, а также способствует снижению дефектности, в частности пористости швов.

Для повышения значения коэффициента наплавки при многослойной односторонней ТИГ сварки в разделку листов титана толщиной до 50 мм разработана технология с применением двух электродов, расположенных в плоскости, перпендикулярной оси шва. При этом сварку листов металла 50 мм выполняют за 6 - 8 проходов с использованием присадочной проволоки \varnothing 5 - 7 мм. Этот способ применяется в тех случаях, когда состав металла шва отличается от основного металла, а также при наплавке.

Сварка ТИГ сквозным проплавлением позволяет за один проход сваривать листы металла толщиной до 12 мм; установочная длина дуги составляет 0,5 - 1,0 мм. Для получения проплавления типа «замочная скважина» режим сварки устанавливается так, чтобы под дугой в металле образовывалось отверстие, заполняемое по мере продвижения дуги жидким металлом. Для получения усиления шва при таком способе сварки требуется выполнение второго прохода с использованием присадочной проволоки.

Эффективным способом воздействия на проплавляющую способность дуги, а также на формирование шва и структуру его металла является аргонодуговая сварка по флюсу (А-ТИГ), при которой в атмосферу дуги вводятся галогениды щелочных и щелочноземельных металлов, приводящие к изменению характера проплавления металла и формированию швов за счет контрагирования дуги. Сварка А-ТИГ по флюсу, наносимому на поверхности свариваемых кромок, позволяет получить однопроходные швы без разделки кромок на листах ти-

тана толщиной до 7 мм. При этом, благодаря повышению концентрации тепловой энергии в анодном пятне значительно уменьшаются необходимые для сварки ток и погонная энергия. Флюс способствует не только увеличению глубины провара, но и изменению формы проплавления. Ширина обратного валика при сварке А-ТИГ с возрастанием сварочного тока увеличивается быстрее, чем ширина шва.

Для соединения листов титана средней и большой толщины применяется сварка в узкий зазор. Этот способ сварки позволяет уменьшить примерно на 30 % объем наплавленного металла при повышении производительности процесса и снижении трудоемкости работ, связанных с подготовкой кромок под сварку. Для надежного сплавления металла шва со стенками разделки при ручной сварке вольфрамовым электродом используют горелку со специальным приспособлением, обеспечивающим сварку в реверсируемом аксиальном магнитном поле.

Для сварки листов металла толщиной до 110 мм предложен способ автоматической сварки в узкий зазор вольфрамовым электродом с дугой, управляемой магнитным полем. Этот способ сварки позволяет снизить расход сварочных материалов в 1,5 - 2,0 раза, повысить производительность процесса и уменьшить дефектность, обеспечивает получение металла швов с однородной структурой и высокие показатели механических и коррозионных свойств сварных соединений.

Сварка плавящимся электродом \varnothing 1,6 - 5,0 мм в инертных газах (МИГ) применяется при выполнении стыковых, тавровых и нахлесточных соединений листов титана толщиной более 3 мм в нижнем положении. Сварку выполняют на постоянном токе обратной полярности. При МИГ сварке сплавов титана можно получить оптимальные свойства сварных соединений путем выбора состава металла шва при изменении химического состава плавящегося электрода или регулирования доли основного металла. При автоматической сварке применяют проволоку \varnothing 1,6 - 5,0 мм, при полуавтоматической - \varnothing 1,6 - 2,0 мм.

При МИГ сварке титана размеры швов и качество их формирования зависят от подаваемого в горелку защитного газа. Швы при сварке в гелии получаются с более плавным переходом, чем при сварке в аргоне, а проплавление основного металла, более широкое, но менее глубокое. Применение гелия позволяет повысить тепловую мощность дуги и производительность процесса расплавления, что особенно важно при сварке листов титана средней и большой толщины. Однако, при МИГ сварке в аргоне происходит меньшее разбрызгивание расплавленного металла, чем при сварке в гелии. При этом расход аргона в 2 - 3 раза меньше, чем гелия. При сварке в аргоне снижается также напряжение на дуге. Поэтому при сварке титана рекомендуется использование смеси 80% He + 20% Ar, обеспечивающие хорошее формирование швов и стабильность процесса. Сварка стыковых соединений из листов сплавов титана средней и большой толщины произ-

водят с разделкой кромок, оптимальный угол раскрытия которых составляет 60° .

Для листов титановых сплавов толщиной 2,5 - 40 мм в ИЭС им. Е.О. Патона создана технология сварки плавящимся электродом под бескислородными галоидными флюсами сухой грануляции серии АНТ. Сварку под флюсом стыковых, угловых и нахлесточных швов выполняют на постоянном токе обратной полярности. Сварку стыковых швов листового титана осуществляют на медной подкладке, на флюсовой подушке, а также на остающейся подкладке. Листы металла толщиной 10 - 12 мм сваривают однопроходными швами без разделки кромок, а 20 - 25 мм - многопроходными швами. Для улучшения формирования швов сварку выполняют в разделку с углом раскрытия 90° и притуплением 3 - 5 мм. Техника автоматической сварки титана под флюсом не отличается от используемой для сварки сталей. Металл швов, выполненных плавящимся электродом под флюсом, характеризуется хорошими механическими свойствами, высокой плотностью и отсутствием пор.

Для сварки листов титана толщиной более 40 мм в ИЭС им. Е.О. Патона разработан способ электрошлаковой сварки (ЭШС). В связи с высоким электрическим сопротивлением титана при сварке этим способом используют электроды большого сечения - пластинчатые и проволочные, а также плавящиеся мунштуки. Для ЭШС применяют тугоплавкие бескислородные флюсы (типа АН-Т2), а поверхность шлаковой ванны защищают аргоном.

Среди способов сварки плавлением все большее применение находят лучевые способы. Для соединений титана наибольшее применение нашла электронно-лучевая сварка (ЭЛС). ЭЛС титана осуществляют в вакууме (при давлении остаточных газов от 1×10^{-3} до 1 Па), что создает экологически чистые условия производства, высокий уровень комфортности эксплуатации оборудования, однако требует высокой степени механизации и автоматизации всех операций. Высокая концентрация энергии в электронном пучке (наибольшая плотность мощности 5×10^7 Вт/см²), локальность нагрева металла (наименьшая плотность поперечного сечения 1×10^{-4} см²), минимальная деформация свариваемого металла, вакуумная защита зоны сварки и остывающих участков шва, дистанционное управление процессом, точная управляемость пространственного луча, высокий КПД, а также хорошие механические свойства сварных соединений, выполненных способом ЭЛС, определяют ее высокую конкурентоспособность и перспективность. При ЭЛС титана для получения качественных швов требуется более высокая точность сборки изделий под сварку по сравнению с дуговыми процессами сварки плавлением, а также строгое соблюдение допустимых размеров зазора между кромками. Поэтому в ряде случаев ЭЛС выполняют по утолщенным кромкам, которые после окончания процесса сварки убирают с

помощью механической обработки.

ЭЛС титана характеризуется глубоким проплавлением при низких значениях погонной энергии. Минимальная зона расплавления при ЭЛС приводит к значительному уменьшению деформации изделий по сравнению с др. способами сварки плавлением. При ЭЛС титана можно выполнять швы принципиально новых видов, например, соединение элементов конструкций, расположенных на разной высоте, сварку в щелях, а также прорезные швы, при которых непосредственному воздействию источника нагрева доступен верхний элемент. ЭЛС изделий из титана осуществляют в нижнем положении, а также горизонтальным лучом со сквозным проплавлением. При этом шов может выполняться на горизонтальной или вертикальной плоскостях. Горизонтальное расположение сварочной ванны обеспечивает получение качественного формирования швов с практически параллельными границами на листах сплава титана толщиной более 100 мм.

Для сварки титана и его сплавов применяется и лазерная сварка (ЛС). Лазерное излучение обеспечивает высокую концентрацию энергии, в чем существенно превосходит др. источники энергии, используемые для сварки (наименьшая площадь поперечности сечения лазерного луча 1×10^{-6} см², наибольшая плотность мощности 1×10^9 Вт/см²). При ЛС титана в отличие от ЭЛС не требуется вакуумных камер. Процесс ЛС осуществляется в защитных газах - аргоне и гелии, поэтому она применима для соединения элементов конструкций любых габаритов. Особенностью лазерного излучения является простота его транспортировки - с помощью зеркальных оптических систем оно может быть направлено в труднодоступные места, подано на значительные расстояния без потерь энергии, использовано в нескольких рабочих местах. Такие особенности лазерного излучения создают возможность легкого и оперативного управления процессом ЛС. К тому же на лазерный луч не оказывают влияние магнитные поля технологической оснастки. Это позволяет получить качественное формирование сварного шва по всей его длине.

Для сварки листов титана толщиной до 25 мм применяется твердотельные и газовые лазеры в режимах импульсно-периодического и непрерывного действия. Процессы автоматической и ручной ЛС малых толщин осуществляются в непрерывном и в импульсном режимах (шовная и точечная сварка). Способ ЛС с глубоким проплавлением выполняется только в автоматическом режиме. При сварке титана особенно заметны преимущества ЛС с глубоким проплавлением. Механические свойства сварных соединений титана, выполненных ЛС, находятся на уровне свойств основного металла.

Информация подготовлена по материалам справочников и технической литературы

● #1196

Упрощенный метод поиска больших трещин и других поражений металлоконструкций без зачистки их поверхности

В.А. Троицкий, д.т.н., В.А. Литвиненко, ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ (Киев)

Трещинообразование, коррозионное поражение и старение металла являются основными недостатками долго эксплуатируемых металлоконструкций. Чаще всего эти сооружения имеют неблагоприятные условия для хорошей зачистки поверхности зон контроля. Для решения проблем оценки качества таких объектов разработан метод АСФМ - «Alternative Current Field Measurement», что переводится как – «Метод измерения полей переменного тока». Название не очень удачное, но метод достаточно хороший, надо начинать применять его в Украине для поиска и оценки крупных дефектов без тщательной подготовки поверхности объекта. Могут быть использованы и распространённые методы неразрушающего контроля, такие как вихрековые, магнитные, электромагнитно-акустические. Они имеют те же физические основы, что и в АСФМ. Поэтому, в статье, кроме описания нового метода, дано его сравнение с другими похожими методами для выявления только крупных дефектов по упрощенным технологиям.

Метод АСФМ был разработан для поиска и надежного определения размеров крупных дефектов в процессе эксплуатации конструкций без зачистки их поверхностей. Он применим и под водой, при шероховатых или корродированных поверхностях, через защитные слои различных покрытий. Он не рассчитан на выявление мелких дефектов, на сверхчувствительность, которая далеко не всегда нужна для массовых металлоконструкций. В большинстве случаев, когда выявляются мелкие дефекты, что с ними делать, как правильно поступить, мало кто знает. Известно, что для особо ответственных объектов, к примеру, для труб магистральных газопроводов подробно описываются все возможные дефектные ситуации. Например, поры диаметром 3,2 мм допустимы, а их сочетание с другими дефектами требуют ремонта. Подобных задач метод АСФМ не решает. Это метод для быстрой упрощенной оценки состояния объекта.

Важной особенностью этого метода является то обстоятельство, что он не требует эталонирования. Безэталонное определение размера дефекта, является важным преимуществом этого метода по сравнению с др. методами неразрушающего контроля (НК). По выявляемости протяженных трещин он почти соответствует возможностям магнитно-порошкового контроля. Он может также применяться при проверке подводных сварных швов. При этом, количество крупных пропущенных де-

фектов и ложных сигналов у него ниже, по сравнению с традиционными методами, максимально нацеленными на выявление всех дефектов. Такой подход в диагностике можно было бы назвать Crack Testing (поиск трещин).

Сравнение близких по физическим основам к АСФМ методов НК, которые могут быть также применимы для упрощенного обнаружения крупных трещин, приведено в табл. 1. Скорость сканирования нового метода может достигать 0,3 м/с. Это эффективный метод оценки крупных трещин и некоторых др. показателей качества объекта.

В результате сравнения родственных методов НК, приведенных в таб. 1, можно отметить, что метод АСФМ обладает следующими преимуществами:

- оцениваться как глубина, так и длина трещины;
- работает на поверхностях ферромагнитных и цветных металлов;
- краски (покрытия, едкие продукты) не влияют на качество сигнала;
- требуется только минимальная подготовка для грубых дефектов поверхности;
- не требует контактной жидкости, расходных материалов;
- может использоваться по горячей поверхности, при наличии радиационного фона, в водной среде.

Таблица 1. Сравнение родственных методов НК для поиска трещин без зачистки поверхности металла*

Свойства	Методы				
	АСФМ	Магнитных полей рассеяния	Вихрековый	ЭМА	Магнито-порошковый
Объективность оценки	+	-	-	+	+
Низкое качество поверхности	+	±	±	+	+
Необходимость расходных материалов	-	-	-	-	+
Для цветных металлов	+	-	+	-	-
Измерение толщины	+	+	-	+	±
Определение трещины, ее длины без калибровки	+	+	-	+	+
Низкий уровень сигналов	+	±	±	+	±

* Принятые обозначения в таблице: + да, ± приемлемо, частично ограничено, - нет

Сегодня метод АCFM используется [1, 2] для трубопроводов и элементов конструкции, плавучих буровых установок, технологических трубопроводов в нефтяной и газовой промышленности, мостов, кранов в полевых условиях. При этом преобразователь не требует прямого контакта с поверхностью изделия, работает через такие покрытия, как краска, ржавчина и защитные покрытия изделий.

Метод АCFM разработан компанией TSC Inspectionsystems (TSC) в начале 1990 гг. для морских сооружений и резьбовых соединений [1].

Кроме того, компания TSC разработала: метод измерения падения напряжения переменного поля (Alternating Current Potential Drop - ACPD), систему бесконтактного измерения напряжения (ACSM), которые сегодня активно внедряются в различных отраслях промышленности по всему миру.

Рассмотрим, из чего состоит дефектоскоп АCFM.

В преобразователе АCFM находится катушка индуктивности, по которой протекает переменный электрический ток. Под действием электромагнитного поля ток индуцируется в объект контроля. В бездефектной поверхности наведенный ток равномерно распределен под преобразователем.

Простейшая структура преобразователя АCFM (рис. 1) содержит две катушки и магнитный датчик, находящийся внутри преобразователя. Преобразователь с магнитным датчиком движется в определенном направлении. Когда трещины нет, значения магнитных индукций B_x и B_z - однородны, но при обнаружении трещины значения магнитной индукции изменяются. Изменение значений магнитной индукции сравнивается с первичными значениями. Каждая катушка на рис. 1 состоит из 36 витков медного провода $\varnothing 0,5$ мм. Среднеквадратичное значение тока составляет 0,6 А, а частота 6 кГц.

Как показано на рис. 2 равномерность электрического (вихревого) тока нарушается при наличии трещины. При этом ток течет вокруг концов и всей поверхности трещины. Внутри преобразователя АCFM находится магнитный датчик, который фиксирует магнитные поля рассеяния над дефектом. Сигнал, пропорциональный индукции магнитного поля B_x реагирует на уменьшение поверхностной плотности электрического тока, когда ток обтекает поверхность трещины. Другая составляющая этого поля B_z реагирует на полосы, возникающие при обтекании электрического тока вокруг концов трещины. Трещи-

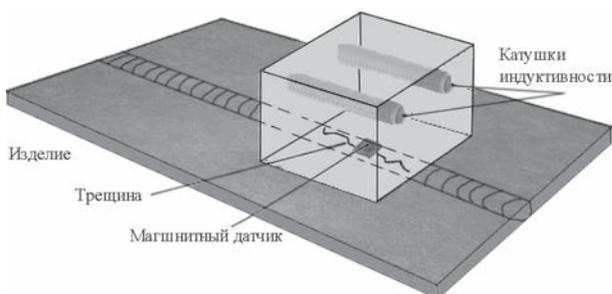


Рис. 1. Устройство преобразователя АCFM

ны могут быть распознаны и количественно оценены по сигналам возмущенного магнитного поля, которые они вызвали. В преобразователе магнитный датчик может быть в виде магнитной матрицы, фиксирующей изменения магнитных составляющих B_x , B_z полей, наводимых распределением по поверхности электрических токов.

Типичное изображение на дисплее дефектоскопа, при сканировании над дефектом показано на рис. 3. В левой части экрана показаны значения $B_x = f(t)$ и $B_z = f(t)$. Протяженность дефекта пропорциональна впадине на графике $B_x = f(t)$, самая глубокая точка этой впадины, соответствует самой глубокой частью трещины. Пики и глубина впадины на графике $B_x = f(t)$, указывают на размеры и расположение трещины. Чтобы облегчить интерпретацию, по показаниям $B_x = f(t)$ и $B_z = f(t)$, в правой части экрана, построена характерная петля дефекта $B_x = f(B_z)$. Форма этой петли нечувствительна к скорости контроля. Она улучшает интерпретацию и понимание результата.

Глубину и длину дефекта, определяют путем оценки местоположения пика и впадины кривой $B_z = f(t)$ и выбора двух точек на кривой $B_x = f(t)$. Программные алгоритмы определяют значение длины и глубины трещины, которое отображается на экране в виде графика $B_x = f(B_z)$.

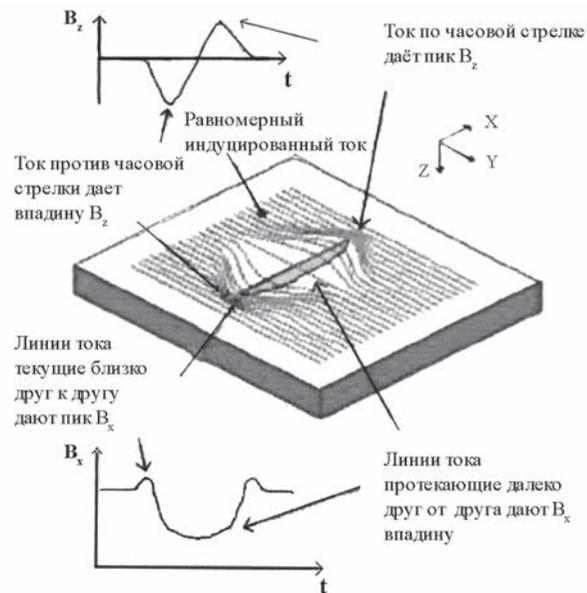


Рис. 2. Распределение переменного тока над дефектом

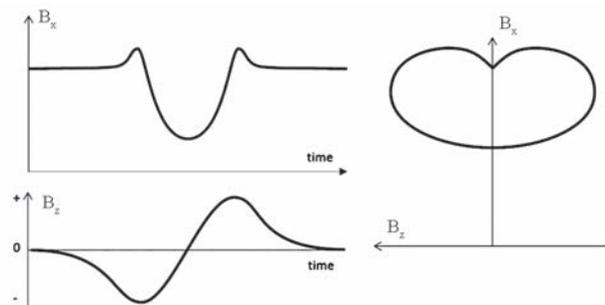


Рис. 3. Изображения на дисплее дефектоскопа, говорящее о наличие дефекта; B_x , B_z - составляющие магнитного поля над дефектом по координатам X и Z.

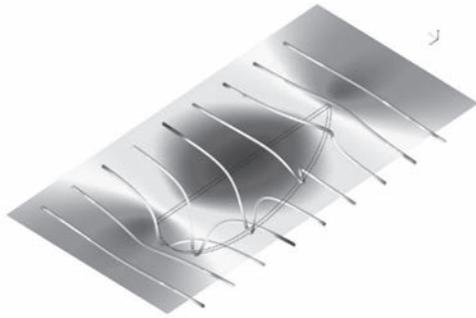


Рис. 4. Картина распределения электрического поля вокруг трещины

Чтобы определить размер дефекта производится измерение возмущенного электромагнитного поля. Исследования показали, что система АCFM нечувствительна к манипуляциям положения датчика. Как показано на *рис. 3*, результирующий график $B_x = f(B_z)$ удаляет временную базу из представления результирующих данных. Это означает, что, если преобразователь перемещается по поверхности с разной скоростью (медленно или быстро), представление о дефекте не изменяется. Это позволяет другому человеку, перемещая преобразователь по объекту контроля (ОК), пока предыдущие данные просматриваются оператором. Водолаз, перемещающий преобразователь по поверхности подводной металлоконструкции, не должен быть специалистом в области НК. Его обязанность только сканировать, а оценку результатов делает дефектоскопист, который находится на берегу.

Когда в испытываемом объекте вдоль оси X присутствует линейный дефект поверхности (трещина), наведенный вихревой ток вынужден течь вокруг трещины, огибая зоны острых ее концов.

Когда ток протекает под дефектом, часть тока отводится от поверхности, это уменьшает напряженность магнитного поля в середине дефекта (*рис. 4* - центральная часть). Часть тока течет вокруг концов дефекта, усиливая магнитное поле на концах (*рис. 4* - боковые части). Когда это происходит, появляется частичное насыщение острых концов трещины.

Распределение электрического тока и плотности магнитного поля вокруг трещин на стальном образце показано на *рис. 5*. Как видно из *рис. 5 а*, поле наведенного электрического тока искажается,

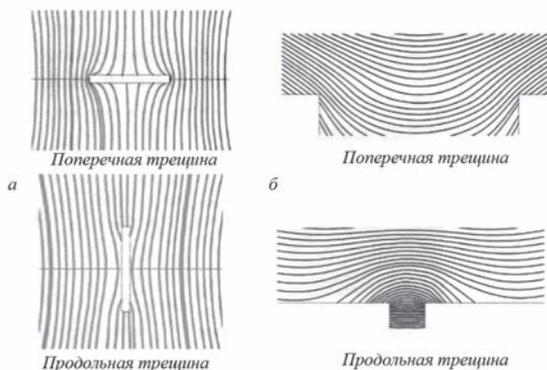


Рис. 5. Распределение электрического тока (а) и плотности магнитного поля (б) вокруг продольных и поперечных трещин



Рис. 6. Общий вид системы АCFM фирмы TSC Amigo

когда продольные и поперечные дорожки присутствуют в наведенном на поверхности электромагнитном поле. Кроме того, из-за скин-эффекта поверхность металла дополнительно локально намагничивается. Поэтому, при продольной трещине, появляется переменное поле утечки магнитного потока, которое показано на *рис. 5 б*.

Устройство АCFM (*рис. 6*) может обнаруживать поверхностные дефекты и в объектах из электропроводных материалов.

Токи, индуцированные преобразователем АCFM, находятся под тонким слоем поверхности. Толщина этого слоя (глубина проникновения) для ферритных изделий меньше, чем для цветных металлов. Глубина проникновения в металлах с низкой проводимостью (нержавеющая сталь, титан, никелевые сплавы, бронза и т. д.) составляет около 5-8 мм при 5 кГц, тогда как глубина проникновения в металлах с высокой электрической проводимостью (алюминий, медь и вольфрам) меньше и составляет около 1-2 мм. Форма сигнала от подповерхностного дефекта зависит от относительных размеров длины и глубины дефекта.

Объемные дефекты, такие как коррозия или пористость, дают гораздо более слабые сигналы, чем плоские дефекты. Не вызывает сомнения, что изношенный металл имеет меньшую плотность, магнитную и электрическую проводимости, что также надо учитывать при оценке результатов АCFM.

Упрощенные методы оценки состояния долго эксплуатируемых объектов (поиск только серьезных поражений и без зачистки) должны найти применение и в Украине, если будет создана соответствующая нормативная база, а надзорные структуры страны освоят этот быстрый, прагматичный метод оценки состояния труднодоступных объектов.

Литература:

1. <https://www.tscndt.com/whats-acfm/>
2. Insight- Non-Destructive Testing and Condition Monitoring. - March 2017. - V. 59. - N. 3. - P. 121-128.
3. Троицкий В.А. Вихревой контроль. Учеб. пособие. - Киев: «Феникс», 2011. - 148 с.

● #1197

«Вулкан» на земле и в космосе. 50 лет назад началась эра космических технологий

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

12 апреля 1961 г. полет Ю.А. Гагарина на космическом корабле «Восток» открыл эру пилотируемой космонавтики. 20 февраля 1962 г. США провели первый орбитальный пилотируемый космический полет корабля «Меркурий-Атлас-6» с астронавтом Дж. Гленном. Началась космическая гонка, продолжалось освоение новой для человечества среды, совершенствовались летательные аппараты.

В августе 1962 г. в ходе полета космических кораблей «Восток-3» и «Восток-4», пилотируемыми Андрианом Николаевым и Павлом Поповичем, проведены первые эксперименты по радиосвязи между экипажами двух кораблей в космосе, по ручному управлению, выполнена программа научно-технических и медико-биологических экспериментов. 18 марта 1965 г. с борта космического корабля «Восход-2» вышел в открытый космос А.А. Леонов.

Число запусков увеличивалось, космические корабли оснащались все более сложной техникой, при этом возрастала вероятность поломки, возникновения дефектов техники и поражения метеоритом. Космические державы по-разному относились к такой ситуации. В США считали, что поломанную технику нужно заменить на новую, в СССР – ремонтировать по возможности на месте. С начала XX столетия одной из самых надежных производственных технологий изготовления и ремонта техники была сварка. Но кто осмелится затащить на космический корабль технологию, основанную на расплавлении металла? Даже на земле сварочные работы бывают причиной пожаров.

Однако в 1969 г. ТАСС сообщило: «... Экипаж космического корабля «Союз-6» в составе подполковника Г.С. Шонина и бортингенера В.Н. Кубасова осуществил эксперименты по проведению сварочных работ в космосе. Целью этих экспериментов являлось определение особенностей сварки различных металлов в условиях космического пространства...».

Прошло 50 лет. История нового этапа покорения космоса уже изложена в научных монографиях, книгах и в интернете [1]. Казалось бы, что можно добавить к официальной уже рассекреченной информации. Известные источники констатируют историю техники, уже готовые результаты; упоминают и участников событий. И мало кто знает о том, какие научные, технические, организационные, политические и даже физические трудно-

сти пришлось преодолевать создателям этой невиданной ранее технологии.

В архиве ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ хранятся протоколы совещаний и распоряжений Бориса Евгеньевича Патона, теперь уже не секретные отчеты и постановления. По этим документам можно проследить динамику напряженной работы директора и возглавляемого им коллектива. Интересны также воспоминания участников этих исторических событий.

Большинства из них уже нет, несколько воспоминаний записано. А оставшимся – по 80 лет, а инициатору - 101 год. Но, слава Богу, все в доброй памяти, активно вспоминают минувшие дела и сами удивляются: «Как мы смели и смогли такое сделать!».

О том, как это было вспоминают Ю.Н. Ланкин, Е.Н. Байштрук, А.Е. Марченко, В.Д. Шелягин, В.В. Юматов. Сам же Борис Евгеньевич много рассказал в интервью и написал в научных и популярных журналах.

Б.Е. Патон дает старт первой космической технологии.

В книге, вышедшей к 90-летию Б.Е. Патона, его ближайшие соратники академики НАНУ И.К. Походня и В.К. Лебедев пишут: «Как правило, Борис Евгеньевич отдыхает в Крыму и там определенное время посвящает генерированию новых идей, подготовке конкретных задач для Института электросварки и других институтов, аппарату Президиума. В академических кругах эти его задания получили название «черноморские волны». После отпуска все поручения «морских волн» обсуждаются, готовятся плановые задания на ближайшее время, на полгода и на перспективу» [2].

А в 1963 г. Борис Евгеньевич поставил самому себе задание, многим показавшееся фантастическим. Б.Е. Патон поделился идеей в самом массовом научно-популярном журнале: «Писатели-фантасты любят описывать острые моменты, когда маленькие осколки метеоритов пробивают обшивку кораблей. При этом всегда возникают драматические ситуации, в которых космонавтов спасают или сверхпрочные скафандры или различные экраны космической защиты. Но мне кажется, что отправляя межпланетные корабли по неизведанным трасам, человечество разработает более надежные способы защиты. Ну, а если все-таки в один из отсеков попадет метеорит, то в ликвидации аварии космонавтам поможет механический робот-свар-

щик. Электронные операторы в сотые доли секунды определяют уровень аварии, вычисляют по скорости падения давления размер поражения, мгновенно дадут задание роботу-сварщику. Еще большая роль работам данного профиля будет отводиться при постройке всех без исключения космических объектов. Космические ракеты, станции, города. Чтобы их оболочки надежно защищали человека от всех вредных влияний, потребуется создание и соединение сверхпрочных материалов в условиях космоса» [3]. Вспоминается мысль философа и писателя Д. Дьюи «Каждый великий успех науки имеет своим истоком великую дерзость воображения».

В день своего 100-летнего юбилея Борис Евгеньевич Патон дал интервью В. Губареву. На вопрос: «К космосу вас привлек Королев. Это была его инициатива?», Б.Е. Патон ответил: «Я очень сам хотел заниматься этим делом. Тогда космос был экзотикой, все стремились к нему. С производством ракет, кораблей, спутников мы были связаны. Но то были совсем «земные» дела, а хотелось работать вне Земли. И Королев помог осуществить эту мечту. ... Именно при нем начались наши совместные работы, в т. ч. и сварка в космосе. Он понимал, что она нужна для орбитальных полетов. При нем мы сделали первый аппарат, который запустили в 1969-м г.» [4].

Многие считали, что эта задача намного опережает время и пока реализации недоступна. Проблема была абсолютно новая с десятком неопределенных параметров. Было ясно, что грандиозная индустриализация космоса должна решаться с учетом особенностей данной среды. На применении в условиях невесомости ни одна из земных технологий не ориентировалась. Что касается сварки и родственных технологий, то серьезные опасения вызывала безопасность экипажа и самого корабля из-за образования на летающем объекте расплавленного металла и функционирования высокотемпературных источников нагрева с потенциально высокой поражающей способностью.

Разработка техники по первому заданию - земные процессы в вакууме.

И на первом этапе Б.Е. Патон назначил широко-масштабный поиск.

Протокол совещания у директора № 472 от 18.11.1963 г.

Слушали: О работах по созданию установок и технологии сварки металлов в космосе (сообщение Б.Е. Патона).

Решили: 1. Считать целесообразным в 1964 г. в научных отделах ИЭС приступить к разработке комплексной поисковой темы по сварке в космосе.

2. Поручить тов. Дудко ... в ноябре-декабре 1963 г. выяснить в соответствующих организациях ... необходимые ТЗ и ТУ на сварку в космосе.

Директор института

Академик Б.Е. Патон».

Протокол совещания у директора № 512 от 30.12.1963 г. (фамилии не указываем). Слушали: О работах по сварке в космосе.

Решили: В 1964 г. приступить к широким космическим исследованиям по созданию способов сварки в космосе, включающих разработку технологии, техники и оборудования для сварки и резки, а также исследование металлургических вопросов сварки различных металлов в специфических условиях космоса. Считать необходимым с февраля 1964 г. приступить к поискам и экспериментальным работам по следующим направлениям:

а) дуговая сварка плавлением, сварка дугой и плазмой, сварка плавящимся и неплавящимся электродом, сварка с присадкой и без нее;

б) электронно-лучевая сварка, без присадки и с присадкой;

в) диффузионная сварка;

г) газопрессовая сварка и газовая сварка плавлением;

д) холодная сварка;

е) пайка и сварка разнородных металлов;

ж) резка, керосинно-кислородная, плазма, лазер, электронный луч;

з) новые методы сварки.

Исполнителей работ для космоса с февраля 1964 г. освободить от работ по др. тематике, полностью переключив на тематику сварки в космосе.

Общее руководство НИР по проблеме «Сварка в космосе» возложить на директора ИЭС т. Патона. Ход НИР по данной тематике 1 раз в месяц обсуждать у директора ИЭС.

Директор института

Академик Б.Е. Патон».

Вскоре было поручено сделать и испытать термитные электроды, изучать возможности пайки [5].

В 1964 г. был составлен план совместных работ по сварке в космических условиях, подписанный руководителем ОКБ-1 С.П. Королевым и директором ИЭС им. Е.О. Патона Б.Е. Патоном. Так было зафиксировано начало новой научно-технической отрасли - космической технологии.

С.П. Королев подключил к работам М.В. Мельникова, М.К. Тихонравова, А.А. Северова, И.И. Райкова, Я.И. Трегуба, В.К. Гришина, В.П. Никитского. К работе привлекались ученые Института электродинамики (Ю.И. Драбович и М.М. Юрченко), и других институтов и КБ.

Критериями оценки технологий были универсальность, технологичность, простота. Экспериментально удалось установить непригодность сварки взрывом, диффузионной и ряда др. способов сварки. На первом этапе были отобраны электронно-лучевая, плазменная, дуговая плавящимся электродом, контактная, холодная.

Срочно Б.Е. Патон разворачивает создание установок и исследования сварочных технологий в усло-

виях, имитирующих космические. Точнее, в одном из «условий» - в вакууме. Естественно, общее руководство осуществлялось самим Борисом Евгеньевичем, а координация работ исполнителей, работавших в различных подразделениях ИЭС, проводилась Д.А. Дудко. Основные конструкторские работы механической части оборудования выполнялись Г.П. Дубенко, В.В. Стесиным и А.А. Загребельным, а электрическую часть проектировали Г.Я. Хлыстиков и А.П. Разинков. Электроннолучевая пушка (ЭЛП) разработана О.К. Назаренко и В.И. Чаловым, системы питания для ЭЛП созданы В.Д. Шелягиным, а инверторные источники Ю.И. Драбовичем и Н.Н. Юрченко (Институт электродинамики АН Украины). Системы электропитания, управления и измерения параметров бортового и испытательного оборудования разрабатывались Ю.Н. Ланкиным, Ю.А. Масаловым и Е.Н. Байштруком. Оборудование для сварки плавящимся электродом разрабатывали А.Е. Марченко и Ю.Д. Морозов, для сварки сжатой дугой С.П. Лакиза, а для контактной точечной сварки - Г.В. Горбунов, А.И. Берзин, В.В. Юматов, В.Ф. Берестян. Скоростная и обычная киносъемка, осциллографирование процессов сварки проводились В.Ф. Лапчинским [5].

О том, с каким напряжением создавалась необычная техника, рассказал А.А. Загребельный: «Наш отдел космических технологий создавался долго и трудно. Работа все годы была очень напряженной. Многие к нам рвались – и «сливки» и обычные специалисты. Постепенно происходил отбор сотрудников, наиболее подготовленных к нашим условиям. Б.Е. Патон 2-3 раза в неделю приходил в отдел и детально вникал во все стороны работы. Такое постоянное внимание ко многому обязывало. Отдел – его детище. Как-то раз, когда академия попала в очень трудное положение, он сказал: «Чтобы не было с институтом, а отдел космических технологий погибнет последним!»

Б.Е. Патон эту работу начинал с чистого листа! Несмотря на это, не раз «приводил нас в чувство», охлаждал наши излишние фантазии, подбрасывал перспективные идеи... Он очень ровно относится ко всем направлениям работ, но наш отдел его любимое детище! И поэтому нам от Б.Е. Патона, как говорят, «нет спаса» - разработки по его идеям следуют одна за другой. Иногда хочется сказать – пожалейте! Но сам он работает так, словно считает себя бессмертным» [6].

Иллюстрацией могут служить сотни протоколов совещаний и конкретных сложных поручений. Например, таких (фамилии мы опускаем):

Протокол совещания у директора № 410 от 27.06.1964 г.

Слушали: О работах по сварке в космосе.

Решили: Предупредить всех исполнителей. Что, если при проверке в начале сентября будет установлено невыполнение задания по данному протоколу,

то исполнители будут понижены в должности и на них будут наложены административные взыскания».

Протокол совещания у директора № 458 от 2.07.1964 г.

Слушали: О работах по сварке в космосе.

Решили: Принять к сведению заключение и предложение комиссии по приемке способа дуговой плазменной сварки. До 24.09.64 выдать основные требования к образцу для сварки в «бочке» и пределы мощности.

А, между прочим, август месяц - традиционное в ИЭС время отпусков.

Протокол совещания у директора № 504 от 19.09.1964 г.

Слушали: О ходе работ по теме «ЗВЕЗДА».

Решили: Принять к сведению заключение и рекомендации комиссии по приемке пушки и технологии ЭЛС.

До 25.09.64 г. выдать полное техническое задание на образец для ЭЛС.

Директор института

Б.Е. Патон

Протокол совещания у директора № 526 от 29.09.1964.

Слушали: О ходе работ по теме «ЗВЕЗДА»

Решили: До 10 октября 1964 г. срочно создать, переоборудовав имеющееся оборудование, лабораторный источник питания с широкими возможностями для непрерывных работ по малогабаритной пушке для ЭЛС.

График работ представить на утверждение к 5.10.64 г.

Утром 1.10.64 г. представить директору конкретные предложения по переоборудованию существующего источника питания для ЭЛС.

Директор института

Б.Е. Патон» [5].

Обратите внимание на номера протоколов. И это за одну рабочую неделю.

К началу 1965 г. были спроектированы и изготовлены специальные стенды (шифр А-1084), состоящие из вакуумных камер, насосов, авиационных и скоростных кинокамер, осциллографов, аппаратуры управления, источников питания, акселе-

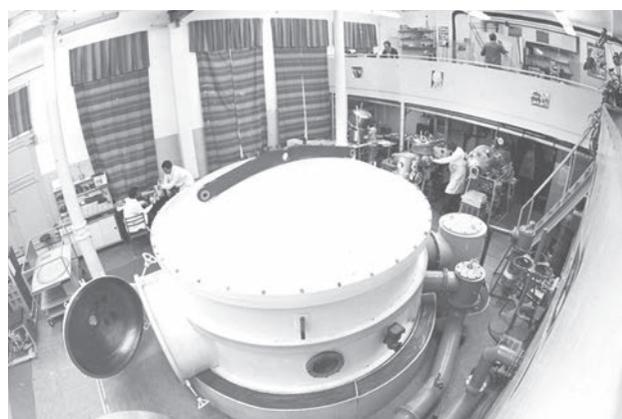


Рис. 1. ИЭС им. Е.О. Патона. Лаборатория космических исследований, 1970 г.

рометров. На крышках камер устанавливали аппараты для сварки электронным лучом, сжатой плазменной дугой или плавящимся электродом.

Настал час испытаний в невесомости. И как оказалось, испытаний не только технологий и оборудования, но и самих сотрудников ИЭС им. Е.О. Патона.

Лаборатория ИЭС им. Е.О. Патона летала по «кривой Кеплера».

Невесомость на Земле можно создать при полете самолета по особой траектории. Ученые называют эту траекторию «кривой Кеплера», летчики – «горкой», инструкторы Центра подготовки космонавтов – «параболическим полетом».

Самолет летит на высоте 5 – 6 км, взмывает, достигает высоты 7,5 – 8 км и начинает описывать кривую Кеплера. Невесомость наступает на конце восходящего участка и продолжается 25-30 сек. вплоть до прохождения самолетом такой же высоты на нисходящей ветви кривой. Подъем на горку и спуск сопровождаются трехкратными перегрузками. А крылья колеблются так, что кажется, что самолет ими машет.

В то время в мире было всего пять мест, где создавалась невесомость. В СССР для летающей лаборатории было переделано два самолета Ту-104АК - бортовые. Летающая лаборатория находилась в ведении Летного испытательного института (г. Жуковский, Московская область).

В 1965 г. стенды А-1084 доставили в Жуковский. Здесь их прочно закрепили в салоне Ту-104АК. Патоновцы наладили оборудование. Распределили обязанности. Проверять готовность приехал сам Б.Е. Патон. Он сразу заметил, что кроме институтских стендов в салоне находится установка для пайки световым лучом, созданная в Московском авиационно-технологическом институте им. К.Э. Циолковского Г.Д. Никифоровым, М.Н. Опариним, С.А. Федоровым.

Но лететь Б.Е. Патону запретили - он не имел

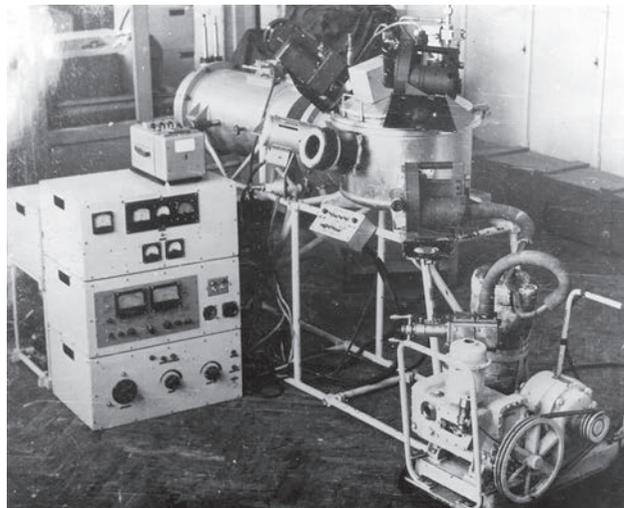


Рис. 2. Стенд А-1084 для исследования процессов сварки в невесомости на самолете Ту-104А

удостоверения парашютиста. Сотрудники ИЭС им. Е.О. Патона уже прошли парашютную подготовку. И теперь им выдали парашюты. Основной пристегивался за спиной. Запасной парашют должен быть спереди, на груди, но он мешал работать и его «забывали» пристегнуть. Объяснили, что по тревоге ученые должны... нет, не выпрыгнуть как это все делают, а выползти через грузовой люк. Выпадать быстро и аккуратно, чтобы не попасть под раскаленный поток из турбин. Но обошлось.

Перед заходом в летающую лабораторию сдавали все, что могло отделиться, выпасть из карманов, потому что летающие по салону вещи опасны. Инструменты закрывали в специальных ящиках, и, если забыли что-то положить на место, то раздавался тревожный сигнал.

На каждом стенде работали сотрудники ИЭС. За один вылет 7 – 10 горок. Потом обеденный перерыв, заправка керосином. И опять взлет.

За одну командировку удавалось выполнить сотню режимов микрогравитации, зафиксировать скоростной киносъемкой (до 4 000 кадров в сек.) плавление электрода, сварочной ванны и др. В Киеве проводился научный анализ результатов, давали задание конструкторам.

В целом, были получены уникальные результаты: образцы сварки и резки, кинограммы съемок скоростными и авиационными кинокамерами синхронно с осциллографированием. Отчет и кинофильмы в сентябре 1965 г. были рассмотрены на специальном совещании ОКБ-1, которое провели С.П. Королев и Б.Е. Патон.

Результаты исследований не будут держать в секрете. Доклады ученых ИЭС на международных конференциях вызовут неподдельный интерес коллег со всего мира.

Эти исследования учтены при создании первой автоматической установки для сварки в космосе (шифр А-1092), названной «Вулканом». Удалось выдержать все требования, предъявляемые к бортовой аппаратуре по весовым и температурным характеристикам, и надежности. Вес первого в мире космического сварочного аппарата не превышал 50 кг. Мощность сварочных устройств для различных способов составляла от 0,6 до 1,0 кВт. Продолжительность непрерывной работы ограничивалась емкостью аккумуляторной батареи. «Вулкан» представлял собой автономное устройство, соединенное с системами корабля кабелями телеметрии. Конструктивно он состоял из двух блоков. В рабочем находились все три сварочных устройства и вращающийся стол с образцами. Во втором блоке размещались приборы управления, средства автоматизации и измерений, система энергоснабжения. Установка имела два пульта управления. Один располагался на крышке рабочего блока, второй - дистанционный - был соединен кабелем с «Вулканом». Источ-

ником питания служила аккумуляторная батарея.

Начались комплексные испытания аппаратуры. «Вулкан» в 1967 г. доставили на завод № 918 в с. Томилино (Московская обл., сейчас НПП «Звезда» им. Г.И. Северина). В большой вакуумной камере Ю.Н. Ланкин в скафандре при давлении, равном давлению на высоте более 100 км, испытал контактную сварку ручными клещами и «утюжком».

Доработка и усовершенствования продолжались около двух лет. В конце 1968 г. работа была завершена. Конструкторы сварочных аппаратов решили проблему уменьшения веса и потребления электроэнергии, надежной работы систем автоматического управления. Вклад в создание и испытание космической сварочной аппаратуры и различные технологии внесли специалисты ОКБ-1, завода «Звезда» и Центра подготовки космонавтов им. Ю. А. Гагарина.

В августе 1969 г. бригада ИЭС вылетела на Байконур для монтажа «Вулкана» на космическом корабле «Союз-6».

Патоновцы собираются на работу в Космосе: предполетная подготовка.

И никто не заметил, что наши исследователи выдержали важный тест кандидатов в космонавты. Испытание невесомостью – одно из главных в программе подготовки будущих покорителей космоса.

Вот краткая справка из научных источников: «Люди переносят кратковременную невесомость по-разному. Есть такие, которые не теряют работоспособности и лишь испытывают чувство расслабленности или облегчения вследствие потери тяжести собственного тела.

Другие испытывают иллюзию падения, чувство переворачивания, вращения тела, подвешенности вниз головой, потерей ориентации в пространстве и неправильным восприятием окружающей обстановки и собственного тела. В ряде случаев наблюдается эйфория или чувство психической беспомощности. Но последующие полеты не вызывают столь острых ощущений. Наступает привыкание, адаптация. У некоторых людей, наряду с дезориентацией в пространстве, наблюдается нарушение «схемы тела», чувство, будто голова начинает распухать и увеличиваться в размерах. А у многих пространственная дезориентация и иллюзии иногда сочетаются с быстрым развитием симптомов морской болезни. Бывает, что наблюдается полная дезориентация в пространстве и потеря контакта с окружающими людьми» [8].

Но наши ребята выдержали. Причем режим более суровый и сложный. В соседнем отсеке - «аквариуме» тренировались будущие космонавты - профессионалы. Для них невесомость – это просто полет в безопорном пространстве, иногда с имитацией работы. Стены и потолок отделаны мягким материалом, на полу закреплены спортивные маты. А в отсеке нашей летающей лаборатории – нагро-

мождение железных конструкций и аппаратуры, от которой нельзя оторваться. При невесомости ноги задирались чуть ли не до пояса, и хорошо, что исследователи пристегивались к креслам. А один раз их пустили в «аквариум» полетать, и они убедились, что это приятное занятие.

И еще одно интересное условие полета. ТУ-104А делал горки над Плещеевым озером или над Мещерскими болотами. Почему так далеко от аэродрома? Объяснили, что тут мало обычных авиарейсов, места глухие и народ не будет пугаться, увидев пикирующий самолет. Но причина была несколько иная. Если самолет не удалось бы вывести из пикирующего состояния, то он тихо, без пыли, шума и огня исчез бы в озере или в болоте.

И в качестве лирического отступления – приятные воспоминания: «Патоновцы возвращались из очередной командировки в Киев. Стюардесса только раздала бутерброды, как АН попал в зону турбулентных потоков. Началась болтанка и многим потребовались гигиенические пакеты. А наши ребята спокойно продолжали завтракать. Стюардесса спросила, не летчики ли мы? Кто-то пошутил, что у нас похожая работа, но мы ближе к космонавтам. Через минуту она принесла нам стопки, бутылку коньяка и закуски: «Это от нашего стола вашему. Экипаж просит у вас автографы». И она протянула пачку рекламок Аэрофлота. Так эксперименты в невесомости неожиданно сделали нас знаменитостями».

Одновременно с технологическими исследованиями и конструированием аппаратов для первого космического эксперимента началась подготовка кадров. Б.Е. Патон договорился с С.П. Королевым о том, что в космосе на аппарате ИЭС будет работать сотрудник института. По представлению С.П. Королева Министерством здравоохранения в 1965 г. в Институте медико-биологических проблем для отбора кандидатов в космонавты из гражданских специалистов учреждена медицинская комиссия.

В.Н. Кубасов вспоминал, как он попал в группу космонавтов: «Помню слова Сергея Павловича, сказанные им, когда на трехместном «Восходе» полетел первый космонавт-исследователь, один из создателей гагаринского «Востока» - К.П. Феоктистов: «Отныне после полета Феоктистова дорога в космос открыта ученым. Им теперь доступны не только цифры и записи приборов, фото- и телеметрические пленки, показания датчиков. Нет, сейчас ученому доступно свое, живое восприятие событий, чувство пережитого и виденного, ему отныне представляется великолепная возможность вести исследования, тут же анализировать полученные результаты и продвигаться дальше».

Одновременно из ИЭС также направляли группы по 10 человек инженеров, аспирантов и молодых к.т.н. в клинику лечебно- санитарного управления Совмина УССР и в Центральный военный го-



Рис. 3. А.А. Загребельный обучает В.Н. Кубасова управлению работой аппарата «Вулкан»

спиталь на исследования по программе «летчик реактивной авиации».

Как и в Москве, первым этапом был трехдневный амбулаторный осмотр, на котором сразу отсеивалось много кандидатов. Оставшиеся проходили трехнедельное стационарное обследование. Большинству не удалось преодолеть медицинские или антропометрические ограничения. Из 300 специалистов королевского ОКБ-1 медицинская комиссия отобрала для подготовки к космическим полетам 12 человек. Из ИЭС выдержали испытания (в т. ч. центрифугой) и полностью соответствовали требованиям Ю.Н. Ланкин, В.Д. Табелев, В.Г. Фартушный, В.В. Юматов. Они приступили к полномасштабным тренировкам.

14 января 1966 г. умер Сергей Павлович Королев. 9 апреля 1966 г. В.П. Мишин, исполнявший обязанности Главного конструктора, выпустил приказ № 25 по ЦКБЭМ о формировании в летно-испытательном отделе № 90 группы подготовки инженеров-испытателей для участия в испытаниях нового корабля «Союз» и кораблей-комплексов Л1 и Л3. Была сформирована и специальная комиссия по отбору, возглавил которую М.К. Тихонравов. В августе 1966 г. после очередного медицинского обследования в военном госпитале лишь четверо кандидатов в космонавты от ОКБ-1 получили «добро» от врачей.

27 марта 1967 г. вышло Постановление ЦК КПСС и Совета Министров № 270-105 «О подготовке космонавтов-испытателей и космонавтов-исследователей...». Была сформирована постоянно действующая медицинская комиссия (ПДМК) для проверки состояния здоровья гражданских космонавтов. 27 мая 1968 г. приказом министра общего машиностроения С.А. Афанасьева № 163 в ЦКБЭМ была создана первая группа космонавтов-испытателей из 10 сотрудников ОКБ-1 и сотрудника ИЭС им. Е.О. Патона к.т.н. В.Г. Фартушного. 3 сентября 1968 г. ученый – сварщик был назначен космонавтом-исследователем. С мая 1969 г. проходил подго-

товку в ЦПК вместе с Валерием Яздовским и Виктором Пацаевым.

Однако первым космическим сварщиком планеты был назначен начальник группы ОКБ-1 В.Н. Кубасов.

Первый в мире эксперимент в космосе.

В.Н. Кубасов прибыл в Киев, получил пропуск в ИЭС им. Е.О. Патона и начал знакомиться с аппаратом «Вулкан». А.А. Загребельный оказался терпеливым учителем. В назначенное время будущий космический сварщик получил необходимые знания.

Вместе с Г.С. Шониным В.М. Кубасов в качестве бортинженера отправился в полет на КК «Союз-6» по программе группового полета трех пилотируемых космических кораблей.

Приведем полностью: *Сообщение ТАСС 16 октября 1969 г.:*

«К 11 часам московского времени 16 октября корабли «Союз 6», «Союз-7» и «Союз-8», продолжающие групповой полет, совершили соответственно 79, 63 и 47 оборотов вокруг Земли. Члены экипажей космических кораблей выполняли запланированные программой полета научно-технические и медико-биологические исследования, а также проводили дальнейшую отработку способов ручного маневрирования на орбите.

Экипаж космического корабля «Союз-6» в составе подполковника Г.С. Шонина и бортинженера В.Н. Кубасова осуществили эксперименты по проведению сварочных работ в космосе. Целью этих экспериментов являлось определение особенностей сварки различных металлов в условиях космического пространства. Корабль «Союз-6» оснащен уникальной технологической аппаратурой, предназначенной для исследования различных способов сварки металлов в условиях глубокого вакуума и невесомости. Сварочная аппаратура размещена в орбитальном отсеке. А пульт управления процессом сварки – в кабине экипажа.

Перед началом сварки командир корабля Шонин закрыл люк-лаз в кабину корабля и на 77-м



Рис. 4. Б.Е. Патон и космонавт А.А. Леонов с образцами космической сварки

витке разгерметизировал отсек. После того, как в отсеке установился глубокий вакуум, бортинженер Кубасов включил сварочную аппаратуру. Поочередно были осуществлены несколько видов автоматической сварки. После этого была проведена герметизация орбитального отсека, и образцы сварки бортинженер перенес в кабину космонавтов.

Проведенный эксперимент является уникальным и имеет большое значение для науки и техники при разработке сварочно-монтажных работ в космосе.

В 12 ч. 52 мин. московского времени после успешного выполнения программы полета космический корабль «Союз-6» приземлился в заданном районе территории СССР в 180 километрах северо-западнее города Караганда.

Самочувствие космонавтов хорошее».

Репортаж из района посадки космического корабля «Союз-6»: «В. Кубасов рассказал о космическом оборудовании и сварке: «Многое из того, что мы сделали, подтвердило предположения, которые высказывались еще на Земле. Невесомость не мешала. Все прошло удачно» [9].

Б.Е. Черток – соратник и заместитель С.П. Королева, написал: «Помню Б.Е. Патона молодым (прошло 30 лет). Впервые услышал о нем, когда разрабатывалась Н1 - сверхтяжелая ракета. Были нужны баки для ракет. С.П. Королев сказал - «Это сделает успешно Б.Е. Патон». Так Б.Е. Патон впервые приобщился к очень тяжелой работе по созданию ракет. На Байконуре его автоматы успешно сваривали невероятно огромные баки для Н1 - ракеты для полета на Луну. Но Б.Е. Патон запомнился мне не этим, а как разработчик миниатюрных систем сварки в космосе (1964 г.), когда только сваривались корабли «Союзы». Тогда возникла идея сварки в невесомости. Был задуман полет трех кораблей сразу. На одном из них космонавты Г.С. Шонин и В.Н. Кубасов должны были провести первый в мире эксперимент по сварке. Сварочную аппаратуру «Вулкан» надо было сопрягать с системой управления, а я отвечал за нее. Дошло дело до полета, настал час эксперимента. Я запомнил Б.Е. Патона в этот час. Он глубоко переживал события, происходящие в космосе. Мы то думали о другом - как пройдет сам полет. Центр управления полетами был в Евпатории, рядом море, цветы... Б.Е. Патон быстро ходил по дорожке, поглощенный мыслями о первом в мире эксперименте по сварке в космосе. Мы были поражены тем, что он лучше, чем мы понимал, где его аппарат может случайно прожечь конструкцию космического корабля и тогда... - не будем говорить об этом. Встречая его на заседаниях АН СССР, или видя в Президиуме во время заседаний АН СССР (РАН), я всегда вспоминал его шагающим по евпаторийским дорожкам, переживающим за успех нашего общего дела» [10].

А вот что пишет сам В.Н. Кубасов:

«Этот эксперимент прошел очень неожиданно. При одном из видов сварки – сварке электронным лучом – луч разрезал сварочный стол с образцами и добрался до корпуса бытового отсека корабля, оставив на нем глубокий след. Но обо всем по порядку. Эксперимент проводился таким образом. Корабль состоял из спускаемого аппарата и орбитального отсека. Мы находились в спускаемом аппарате, а сварочная установка – в орбитальном отсеке. Отсек нужно было разгерметизировать для создания вакуума. Я включал разные виды сварки с помощью пульта. Когда мы закончили эксперимент и вернулись в орбитальный отсек, то я почувствовал странный запах и увидел оплавленный след на корпусе корабля длиной 20-25 см. Естественно, мы испугались, так как были без скафандров, а корпус мог лопнуть. Пришлось снизить давление, чтобы вернуться за образцами. Я открыл люк, быстро вышел туда один и забрал образцы. Когда мы долетели к зоне связи с Землей, я доложил о случившемся. Пришел приказ закрыть люк между отсеками и больше туда не ходить, что мы и сделали.

А потом за этот эксперимент меня поместили в Зал международной космической славы – за начало проведения технологических процессов в космосе» [11]. Впрочем, если бы Кубасов был сварщиком по образованию, или хотя бы запомнил принцип работы «Вулкана»; он бы не испугался и успокоил бы Шонина. Столик с образцами с целью экономии веса были толщиной по 3 мм. Когда столик остановился, луч прожог его и совсем тонкий корпус аппарата. Но когда он удлинился и начал подплавлять внутреннюю обшивку, источник электричества выключился. Образцы сварки, осциллограммы и пленки были доставлены в ИЭС и изучены. Вскоре первая в мире публикация вышла за подписью не только Б.Е. Патона, а и В.Н. Кубасова.

Анализ уникального космического эксперимента дал много интересного материала для совершенствования конструкции сварочной аппаратуры и уточнения технологии процесса сварки. Главным итогом исследований стало уверенный выбор в пользу электронно-лучевого нагрева как наиболее перспективного в космических условиях. Кроме того, подтвердилось, что большинство систем и механизмов установки «Вулкан» работали безотказно, т.е. при их проектировании были приняты правильные решения. Эксперимент показал, что сварка и резка металлов в условиях невесомости и космического вакуума возможна, и значит можно проводить в космосе ремонтные и монтажные работы.

А в целом этот уникальный эксперимент положил начало эры космических технологий [12-14].

Так как было изготовлено три установки «Вулкан», то после полета КК «Союз-6» планировался еще один полет. Руководство отрасли было «за», но по каким-то причинам для новой установки и для Ю.Н. Ланкина,



Рис. 5. А.Н. Корниенко передает дубли космических аппаратов «Вулкан» и «Испаритель» в музей Н.Н. Бенардоса в пгт. Лух Ивановской области РФ, 1983 г.

В.Г. Фартушного и В.В. Юматова, места в другом космическом корабле не нашлось. Правда, фамилия В.Г. Фартушного занесена в «Энциклопедию космонавтики» как космонавта - исследователя СССР. А образцы аппаратов сварки и родственных технологий в космосе были переданы в музей.

Мировое сообщество сразу же обратило внимание на очередной прорыв в Космосе. Газета «Таймс» (Лондон) писала: «Исходя из имеющихся до сих пор сведений, кажется, что русские готовятся выполнять в космическом пространстве большую работу, чтобы превратить секции ракет в мастерскую или лабораторию. Американцы собираются выполнять большую часть работ на Земле» [9].

Интенсивные исследования особенностей сварки и родственных технологий в условиях, имитирующих космические, и непосредственно на космических станциях, развернулись в конце 1970-х гг. и в США по программе Texas [15].

А первый космический сварщик еще дважды побывал в космосе. Поработать в космосе попросились и американские астронавты. Корабли «Союз-19» и



Рис. 6. Визит в ИЭС им. Е.О. Патона после экспериментов по программе «Союз» - «Аполлон». Слева направо: космонавт А.А. Леонов, сотрудница С.А. Фомина, астронавты Дональд К. Слейтон, Томас П. Стаффорд, Б.Е. Патон, астронавт Венс Д. Бранд, космонавт В.Н. Кубасов, 1975 г.

«Аполлон» состыковались 17 июля 1975 г. в 19 ч. 12 мин. В ходе совместного полета кроме основной программы А.А. Леонов и В.Н. Кубасов познакомили астронавтов Т. Стаффорда, В. Бранда и Д. Слейтона с технологическими экспериментами. За 46 ч. 36 мин. при полете в состыкованном состоянии было проведено несколько научных и технических экспериментов. В их числе - изучение влияния невесомости на некоторые кристаллохимические и металлургические процессы. О результатах экспериментов астронавты приехали доложить Б.Е. Патону.

Но это уже другая история.

Литература

1. Тема «Звезда» <http://www.astronaut.ru/asia/veld/start.htm>
<http://svarak.ru/svarka-v-kosmose/nachalo-issledovaniy-svarke-kosmose/>
2. Борис Евгеньевич Патон. Библиография. - Киев: Изд-во «Наукова думка», 2008. - 623 с.
3. Патон Б.Е. Сварка в космосе. // Наука и жизнь. - 1964. - № 11. - С. 13-16
4. Губарев В.С. Академик Борис Патон: «Эверест» в науке. Ч.1. - 15.11.2018: <https://www.pravda.ru/science/academy/15-11-2018/1399928-paton-0/>
5. Архив ИЭС им. Е.О. Патона. Фонд 1. Протоколы совещаний.
6. Малиновский Б.Н. Академик Борис Патон - Труд на всю жизнь. - М.: Изд-во «ПЕР СЭ», 2002. - 271 с.
7. Патон Б.Е., Патон В.Е., Дудко Д.А. и др. Стенд для исследования технологических процессов в условиях, имитирующих космос. / В кн.: Космические исследования на Украине. - Киев: Наук. думка, 1973. - вып. 1. - С. 5-9.
8. Китаев-Смык Л.А. Некоторые сенсорные нарушения в невесомости // Авиационная и космическая медицина. - М.: Медицина, 1963. - С. 246-247.
9. Каманин Н.П., Ребров М.Ф. Семеро на орбите. - М.: Молодая гвардия, 1969. - 96 с.
10. Черток Б.Е. Ракеты и люди. Кн. 4. Лунная гонка. - М.: Машгиз, 1997. - 785 с.
11. Кубасов В.Н. Прикосновение космоса (литерат. зап. И. Андреева). - М.: Политиздат, 1984. - 178 с.
12. Патон Б.Е., Кубасов В.Н. Эксперимент по сварке металлов в космосе // Автомат. сварка. - 1970. - № 5. - С. 7-12.
13. Космос: технологии, материаловедение, конструкции. / Сб. науч. трудов под ред. акад. Б.Е. Патона. - Киев: ИЭС им. Е.О. Патона, 2000. - 320 с.
14. Корниенко А.Н., Макаренко Н.А. К 30-летию первых экспериментов по сварке в космосе. // Сварочное пр-во. - 2000. - № 1. - С. 45-47, 60, 61.
15. Kapteijn J., Luyendijk T. Lassen in de reimte. // Lastechniek. - 1983. - V. 49. - № 10. - С. 173-175.

● # 1198

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА

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

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 %)