

4 (128) 2019

Журнал выходит 6 раз в год.
Издается с апреля 1998 г.
Подписной индекс 22405

Журнал награжден Почетной грамотой и Памятным знаком Кабинета Министров Украины

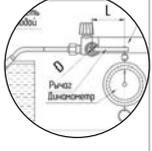
СВАРЩИК^{НТК}

Производственно-технический журнал

№ 4 2019
июль-август

ТЕХНОЛОГИИ
ПРОИЗВОДСТВО
РЕМОНТ

СОДЕРЖАНИЕ

Новости техники и технологий	4	
Вклад отделов ИЭС им. Е.О. Патона в научно-технический прогресс. К 85-летию ИЭС им. Е.О. Патона		
Направления научных исследований, разработки и достижения отдела прочности сварных конструкций ИЭС им. Е.О. Патона. <i>В.В. Кныш</i>	6	
Направления научных исследований, разработки и достижения отдела №18 ИЭС им. Е.О. Патона. <i>С.Ю. Максимов</i>	14	
Критерии допустимости дефектов трубопроводных систем		
Обзор критериев допустимости поверхностных коррозионных дефектов (локальная потеря металла) сухопутных магистральных трубопроводов. <i>А.С. Миленин</i>	19	
Технологии сварки трением		
Сварка трением с перемешиванием алюминиевых охладителей изделий силовой электроники. <i>П.А. Васильев</i>	25	
Технологии неразрушающего контроля		
Направления работ института электросварки им. Е.О. Патона в области неразрушающего контроля. <i>В.А. Троицкий, М.Н. Карманов</i>	27	
Новинки промышленного оборудования		
Восстановление деталей металлургического оборудования с применением электродуговой металлизации. <i>С.В. Крылов, А.Н. Шалашный</i>	34	
Технологии неразрушающего контроля		
Устройство для быстрого и точного визуального контроля протяженных металлоконструкций. <i>В.А. Троицкий, В.А. Литвиненко</i>	38	
Термическая резка и правка. История газопламенной обработки		
Развитие теории горения при выполнении сварочных газопламенных процессов. <i>В.И. Панов</i>	41	
Технологии аддитивного наплавления		
Наплавление тонкостенных цилиндрических оболочек аддитивным методом. <i>В.А. Костин, Г.М. Григоренко</i>	44	
Оборудование для производства		
Испытания ручных горелок и резаков после ремонта. <i>В.М. Литвинов, Ю.Н. Лысенко, С.А. Чумак</i>	48	
Все для сварки. Торговый Ряд	54	

Новини техніки та технологій	4
Вклад відділів ІЕЗ ім. Є.О. Патона в науково-технічний прогрес.	
До 85-річчя ІЕЗ ім. Є.О. Патона	
• Напрямки наукових досліджень, розробки та досягнення відділу міцності зварних конструкцій ІЕЗ ім. Є.О. Патона. <i>В.В. Книш</i>	6
• Напрямки наукових досліджень, розробки та досягнення відділу № 18 ІЕЗ ім. Є.О. Патона. <i>С.Ю. Максимов</i>	14
Критерії допустимості дефектів трубопровідних систем	
• Огляд критеріїв допустимості поверхових корозійних дефектів (локальна втрата металу) сухопутних магістральних трубопроводів. <i>О.С. Міленін</i>	19
Технології зварювання тертям	
• Зварювання тертям з перемішуванням алюмінієвих охолоджувачів виробів силової електроніки. <i>П.О. Васил'єв</i>	25
Технології неруйнівного контролю	
• Напрямки робіт інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона в галузі неруйнівного контролю. <i>В.О. Троїцький, М.М. Карманов</i>	27
Новинки промислового обладнання	
• Відновлення деталей металургійного обладнання із застосуванням електродугової металізації. <i>С.В. Крилов, А.Н. Шалашний</i>	34
Технології неруйнівного контролю	
• Пристрій для швидкого та точного візуального контролю протяжливих металоконструкцій. <i>В.О. Троїцький, В.А. Литвиненко</i>	38
Термічне різання та правка. Історія газополуменевої обробки	
• Розвиток теорії горіння при виконанні зварювальних газополумєневих процесів. <i>В.І. Панов</i>	41
Технології адитивного наплавлення	
• Наплавлення тонкостінних циліндричних оболонок адитивним методом. <i>В.О. Костін, Г.М. Григоренко</i>	44
Обладнання для виробництва	
• Випробування ручних пальників та різаків після ремонту. <i>В.М. Литвинов, Ю.М. Лисенко, С.А. Чумак</i>	48
Все для сварки. Торговий Ряд	54
CONTENT	
News of technique and technologies	4
Contribution departments of E.O. Paton EWI in scientific and technological progress. On the 85-th anniversary of E.O. Paton EWI	
• Directions of research, development and achievement of the department of strength of welded structures of the E.O. Paton EWI. <i>V.V. Knysh</i>	6
• Directions of research, development and achievement of department number 18 of the E.O. Paton EWI. <i>S.Yu. Maksimov</i>	14
Criteria for the admissibility of defects in pipeline systems	
• Review of the criteria for the admissibility of surface corrosion defects (local metal loss) of land trunk pipelines. <i>A.S. Milenin</i>	19
Technologies of friction welding	
• Friction welding with stirring of aluminum coolers of power electronics products. <i>P.A. Vasil'yev</i>	25
Technologies of non-destructive testing	
• Work directions of the E.O. Paton Electric Welding Institute in the field of non-destructive testing. <i>V.A. Troitsky, M.N. Karmanov</i>	27
New industrial equipment	
• Restoration of the metallurgical equipment parts using electric arc metallization. <i>S.V. Krylov, A.N. Shalashny</i>	34
Technologies of non-destructive testing	
• Device for quick and accurate visual inspection of extended metal structures. <i>V.A. Troitsky, V.A. Litvinenko</i>	38
Thermal cutting and editing. History of gas-flame treatment	
• Development of the combustion theory when performing the welding gas-flame processes. <i>V.I. Panov</i>	41
Technologies of additive surfacing	
• Surfacing of thin-walled cylindrical shells by the additive method. <i>V.A. Kostin, G.M. Grigorenko</i>	44
Equipment for the production	
• Tests of manual torches and cutters after repair. <i>V.M. Litvinov, Yu.N. Lysenko, S.A. Chumak</i>	48
All for welding. Trading row	54

Свидетельство о регистрации
КВ № 21846-11746 ПР от 22.01.2016

Учредители Институт электросварки
им. Е. О. Патона НАНУ,
Общество с ограниченной
ответственностью
«Технопарк ИЭС им. Е. О. Патона»

Издатель Научно-технический комплекс
«ИЭС им. Е. О. Патона» НАНУ

Информационная поддержка:



Главный редактор

Зам. главного редактора

Редакционная коллегия

Общество сварщиков Украины
Журнал «Автоматическая сварка»
Национальный технический
университет Украины «КПИ»
Журнал издается
при содействии UNIDO

В. Д. Позняков

В. Г. Абрамишвили

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

Редакционный совет

С. Ю. Максимов (председатель),
Н. В. Высоколян, П. А. Косенко,
М. А. Лактионов, Я. И. Микитин,
В. Н. Проскудин

Редактор

О. А. Трофимец

Верстка

В. Г. Абрамишвили

Адрес редакции

03150, Киев, ул. Антоновича, 62 Б,
03150, Киев, а/я 337

Телефон

+380 44 200 53 61, 200 80 18

Тел./факс

+380 44 200 80 14

E-mail

welder.kiev@gmail.com
trofimits.welder@gmail.com

URL

http://www.welder.stc-paton.com/

Представительство в Беларуси

Минск, УП «Белгазпромдиагностика»
А. Г. Стешиц
+375 17 210 2448, ф. 205 0868

Представительство в России

Москва, ООО «Специальные
сварочные технологии»
В. В. Сипко
+7 903 795 18 49
e-mail: ct94@mail.ru

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» обязательна.

Подписано в печать 30.07.2019. Формат 60×84 1/8.

Печать офсетная. Бумага офсетная.

Гарнитура PetersburgC. Усл. печ. л. 5,0. Уч.-изд. л. 5,2.

Зак. № 31491 от 18.07.2019. Тираж 900 экз.

Печать: ЧП «ИТЕК СЕРВИС», 2017.

Киев, ул. Шахтерская, 9. Тел./ф. (044) 591 1012, 591 1013.

© НТК «ИЭС им. Е. О. Патона» НАНУ, 2017

Подписка-2019
на журнал «Сварщик»
в каталоге «Укрпочта»
Подписной индекс
22405

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

В.В. Кныш

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

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

С.Ю. Максимов

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

Обзор критериев допустимости поверхностных трещинообразных дефектов трубопроводных систем.

А.С. Миленин

Рассмотрены методы аналитической оценки допустимости трещинообразных дефектов трубопроводов и сосудов давления, позволяющие прогнозировать разрушение дефектной конструкции вследствие спонтанного распространения трещин. Приведены классические теории механики разрушения хрупких материалов и современные подходы хрупко-вязкого механизма развития дефектности конструкционных материалов под действием внешнего силового нагружения. Проведено сравнение консервативности применяемых на практике подходов, нашедших отражение в актуальных нормативных документах.

Направления работ института электросварки им. Е.О. Патона в области неразрушающего контроля.

В.А. Троицкий, М.Н. Карманов

Показана роль ИЭС им. Е.О. Патона как одной из ведущих научных организаций, сделавшей значительный вклад в развитие и становление неразрушающего контроля (НК) в промышленности. Рассмотрены основные разработки ИЭС в области ультразвукового, радиационного, магнитного и др. методов НК сварных соединений и металлоизделий, успешно внедренных на предприятиях Украины. Приведены результаты исследований по развитию современных технологий НК. Рассмотрены вопросы международного сотрудничества и подготовки персонала по НК в соответствии с международными стандартами.

Наплавление тонкостенных цилиндрических оболочек аддитивным методом.

В.А. Костин, Г.М. Григоренко

Представлены результаты моделирования температурных полей, напряжений и деформаций при формировании аддитивной многослойной конструкции из алюминиевого сплава 1561, низколегированной конструкционной стали марки 09Г2С и титанового сплава марки Grade 2. Проведено компьютерное моделирование для улучшения технологии проведения аддитивного процесса. Проанализировано влияние алгоритма последовательности нанесения аддитивных слоев - наплавление цилиндрической оболочки по кольцу или по спирали на распределение температур в наплавке. Установлено, что при формировании цилиндрических оболочек аддитивным методом целесообразно использовать технологию наплавления по спирали и применять менее теплопроводные материалы - конструкционные стали и титановые сплавы.

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

В.В. Кныш

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

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

С.Ю. Максимов

Відділ №18 ІЕС ім. Є.О. Патона: «Відділ фізико-механічних досліджень зварюваності конструкційних сталей», був організований у 1966 р. видатним вченим в галузі міцності зварних з'єднань та конструкцій А.Є. Аснісом. Задачею відділу стало рішення наукових проблем забезпечення якості конструкційних матеріалів та зварних конструкцій, раціональне проектування та виконання зварних вузлів з урахуванням відповідності способів зварювання та матеріалів умовам експлуатації. У статті приведені основні етапи становлення відділу, надано інформацію про дослідження, що проводились, основні досягнення та виховання наукових кадрів.

Огляд критеріїв допустимости поверхностных трещиноподобных дефектов трубопроводных систем.

О.С. Миленин

Розглянуто методи аналітичної оцінки допустимости трещино-подібних дефектів трубопроводів та судів тиску, що дозволяють прогнозувати руйнування дефектної конструкції внаслідок спонтанного розповсюдження тріщин. Приведені класичні теорії механіки руйнування крихких матеріалів та сучасні підходи крихко-в'язкого механізму розвитку дефектності конструкційних матеріалів під дією зовнішнього силового навантаження. Проведено порівняння консервативности застосованих на практиці підходів, що знайшли відображення в актуальних нормативних документах.

Напрямок робіт інституту електросварювання ім. Е.О. Патона в галузі неруйнівного контролю.

В.О. Троицкий, М.Н. Карманов

Показана роль ІЕС ім. Є.О. Патона як однієї з ведучих наукових організацій, що зробила значний вклад у розвиток та становлення неруйнівного контролю (НК) у промисловості. Розглянуті основні розробки ІЕС в галузі ультразвукового, радіаційного, магнітного та інших методів НК зварних з'єднань та металовиробів, і успішно впроваджених на підприємствах України. Приведено результати досліджень з розвитку сучасних технологій НК. Розглянуті питання міжнародної співпраці та підготовки персоналу по НК у відповідності із міжнародними стандартами.

Наплавлення тонкостінних циліндричних оболонок адитивним методом.

В.О. Костін, Г.М. Григоренко

Представлено результати моделювання температурних полів, напружень та деформацій при формуванні адитивної багатозарової конструкції з алюмінієвого сплаву 1561, низьколегированої конструкційної сталі марки 09Г2С та титанового сплаву марки Grade 2. Проведено комп'ютерне моделювання для покращення технології проведення адитивного процесу. Проаналізовано вплив алгоритму послідовності нанесення адитивних шарів – наплавлення циліндричної оболонки по кільцю або по спіралі на розподіл температур в наплавці. Встановлено, що при формуванні циліндричних оболонок адитивним методом доцільно використовувати технологію наплавлення по спіралі та застосовувати менш теплопровідні матеріали – конструкційні сталі та титанові сплави.

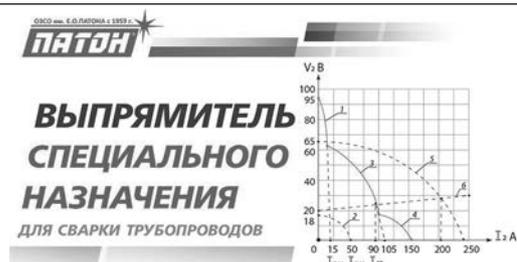
Выпрямитель специального назначения для сварки трубопроводов

Широко применяемый в сварочном производстве выпрямитель ВД310Н, выпускаемый ОЗСО ИЭС им. Е.О. Патона, имеет плавное регулирование величины сварочного тока и обладает достаточно высокими технологическими характеристиками, обеспечивая стабильный процесс сварки и качественное формирование шва при низком разбрызгивании электродного металла. Однако, при использовании этого выпрямителя в режимах сварки корневых швов при ремонте трубопроводов различного назначения Ø электродов 2,5-3,0 мм при токах 65-90 А наблюдается эффект «приморзания» электрода. Это приводит к определенным трудностям ведения процесса сварки и к ухудшению качества шва.

Как показала практическая проверка непосредственно при выполнении ремонтных работ трубопровода, причина такого явления кроется в недостаточной величине тока короткого замыкания (КЗ) выпрямителя при работе на малых токах сварки. Например, при сварке с выпрямителем ВД310Н на токах 65-90 А, ток КЗ мало отличается от тока сварки, что способствует «приморзанию» электрода.

Исследования, проведенные на ОЗСО им. Е.О. Патона, показали, что при увеличении тока КЗ на 50 А в режиме сварки 90 А капля расплавленного электродного металла во время замыкания дугового промежутка исключает «приморзание» электрода.

Учитывая это обстоятельство была разработана низковольтная, маломощная приставка с напряжением холостого хода 18 В и током КЗ равным 50 А, которая вступает в работу при снижении напряжения на дуге ниже 18 В. Приставка практически полностью исключает вероятность «приморзания» электрода.



Разработана также другая приставка, позволяющая значительно повысить эластичность дуги и возбуждение при сварке в узкую разделку, что особенно важно при выполнении ремонтных работ трубопроводов с большими толщинами стенок.

Такая маломощная приставка с напряжением холостого хода 96 В и током КЗ равным 15 А включается параллельно основному выпрямителю.

Модернизированный таким же образом выпрямитель ВД309 обеспечивает надежный провар корня шва при сварке трубопроводов без погасания дуги и «приморзания» электрода. Технологические испытания модернизированного ВД309 при ремонтных работах труб из стали Ст20 Ø 108 и 219 мм с толщиной стенок 8 и 12 мм показали, что наличие двух приставок обеспечивает стабильный процесс сварки без эффекта «приморзания» электрода на режимах 65-90 А. Сварка выполнялась электродами АНО, ТМ60, УОНИ 13/55.

По своим технологическим характеристикам модернизированный ВД309 сопоставим со сварочными агрегатами, которые используются в настоящее время при сварке трубопроводов различного назначения.

www.paton.ua

● #1844

Смарт Мэритайм Групп модернизирует производства

Смарт Мэритайм Групп (СМГ) – крупнейший судостроительный холдинг Украины, объединяющий две судостроительные верфи: Николаевскую и Херсонскую.

На Херсонской верфи СМГ внедряют новую инвестиционную программу модернизации производства. На установку оборудования, соответствующего самым современным стандартам, будет потрачено более 30 млн грн.

В первую очередь программа предусматривает приобретение машины порезки металла компании ESKERT (Польша), которая будет установлена вместо одного из газовых OmniMat 1970-х гг. выпуска. Эта машина тепловой резки нового поколения обрабатывает листы металла европейских габаритов в режиме плазменной и газовой резки. Стоимость агрегата составляет около 250 тыс. евро.

«Я возлагаю большие надежды на новую машину. Она позволит заметно улучшить качество и точность резки, увеличит скорость. Также добавит новые функции при обработке металла, особенно снятие фасок на толстых листах», – подчеркнул главный технолог Херсонской верфи Олег Купянский.

Следующим пунктом инвестпрограммы будет приобретение нового сварочного оборудования, которое отличается компактностью, экономичностью



и высоким качеством сварочного шва. Стоимость всех аппаратов составит более миллиона гривен. 4 из 15 аппаратов уже поступили от поставщика.

Вместе с обновлением сварочного оборудования на верфи выделят около 6,5 млн. грн. на замену компрессоров. Это даст возможность перейти на автоматизированную систему управления и устранить непродуктивные утечки в подаче сжатого воздуха.

«Наша основная цель – повысить конкурентоспособность компании, чтобы иностранные заказчики видели в наших верфях современного исполнителя, работающего на оборудовании высокого технологического уровня», – отметил главный инженер Херсонской верфи СМГ Владимир Пепель.

www.smart-holding.com

● #1845

3D-печать металлов в Украине

Украинская компания «Червона хвиля» стала объектом внимания американского гиганта General Electric. Компания разрабатывает технологии точной металлургии, инновационной сварки и металлообработки, собственную технологию 3D-печати – xBeam3D.

«Червона хвиля» – участник проекта «Инновационные ваучеры» (грантовая программа, поддерживающая производителей «зеленой» формации). Новая украинская установка позволит сократить отходы при производстве деталей из титана в 5-10 раз. За счет новой технологии компания сможет вместо порошка использовать проволоку. Данные установки уже сегодня работают на предприятиях Украины, США, ЕС, Китая, Японии и др. стран.

Благодаря внедрению технологии 3D-печати титана, авиационные предприятия до 2035 г. сэкономят 35 млрд евро за счет уменьшения веса и затрат на топливо.

Недавно «Червона хвиля» выиграла тендер на апгрейд электронно-лучевой сварочной установки, которая находится в Кембридже и занимается производством деталей для аэрокосмической отрасли. Тем самым украинская компания начала сотрудничество с британским институтом TWI, который является аналогом ИЭС им. Е.О. Патона.

«Мы ощущаем интерес и от отечественных аэрокосмических компаний. Но у них, к сожалению, нет бюджетов финансировать развитие. Они ждут,



когда мы им сможем дать уже готовое оборудование для исследовательской работы. Надеюсь, мы им уже скоро сможем это предложить», – сообщил руководитель проекта Дмитрий Ковальчук.

Привлекать новых инвесторов в свои проекты намного легче, когда они же финансируются какими-то грантами от ЕС. Все коммерческие отношения компании начинались с научных конференций. «До 2014 г. в Америке считалось, что все, что знаем мы – знает и Россия. И это – одно из основных препятствий сотрудничества таких больших компаний, как «Антонов» или «Мотор Сич» с глобальным рынком», – отмечает Дмитрий Ковальчук.

www.delo.ua

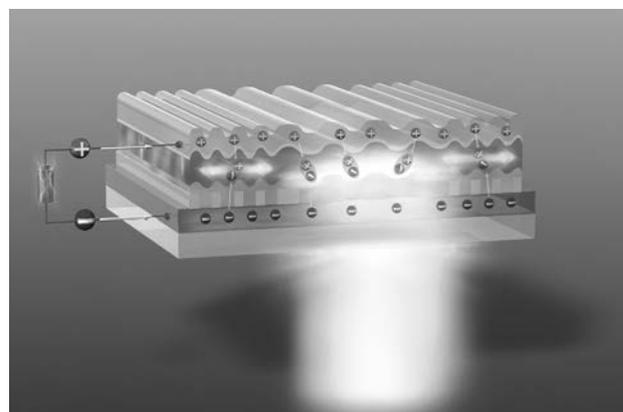
● #1846

Физики впервые создали лазер на органическом диоде с накачкой током

Группа физиков (Япония) продемонстрировала генерацию когерентного излучения органическим полимером при пропускании через него электрического тока. Построенная установка стала первым прототипом лазера на органическом полупроводнике, получающим энергию непосредственно в виде электричества. Дальнейшие улучшения данной технологии позволят получить дешевые, настраиваемые и гибкие лазеры.

Основные особенности лазерного излучения – это пространственная и временная когерентность, т. е. согласованность колебаний электромагнитных волн. Пространственная когерентность позволяет фокусировать лазерное излучение в небольшие области, а также обеспечивает возможность коллимации, т. е. распространения на большие расстояния в виде узкого луча без существенного расширения. Благодаря временной когерентности лазеры могут обладать очень узким спектром, т.е. способны излучать в ограниченном диапазоне длин волн, а также производить сверхкороткие импульсы.

До недавнего времени не существовало работающего лазерного устройства с прямой накачкой электрическим током. До этого были созданы лазеры на органических диодах с оптической накачкой, т. е. работающие, если на них светить более слабым излучением другого лазера, но они не подходят для многих практических применений. Основная трудность при их реализации – необходимость создания очень высоких плотностей тока, порядка сотен ампер на см², что приводит к значительным потерям в подобных веществах.



www.1k.com.ua

● #1847

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Показано, что значительное усложнение системы легирования двухфазных (феррито-перлитных) трубных сталей контролируемой прокатки не приводит к заметному повышению их сопротивления зарождению вязкого разрушения после достижения величиной K_{SCV}^{-20} значения 80–90 Дж/см². Относительно сварных соединений микролегированных трубных сталей, для которых установлено значительное рассеяние значений вязкости разрушения в соответствии с распределением вероятности Вейбулла, разработана методика испытаний и оценки соответствия предъявляемым требованиям интегральной («агрегатной») вязкости разрушения металла сварного соединения. Установлена линейная зависимость температуры хрупко-вязкого перехода от логарифма параметра скорости нагружения. Это дало возможность значительно упростить методику учета динамического нагружения при выборе материалов.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

шения сопротивления усталости сварных соединений алюминиевых сплавов малых толщин.

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

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

Экспериментально установлены кривые усталости сварных соединений тонколистовых 1,8–2,0 мм термически неупрочняемых алюминиевых сплавов АМг2,

АМг5, АМг6, АМц и термически упрочняемых сплавов 1201, 1420, 1460, Д16, выполненных с использованием технологий АДСНЕ, ИДСПЕ и СТП. Показано, что границы ограниченной выносливости соединений термически упрочняемых сплавов, выполненных СТП, на базе $2 \cdot 10^6$ циклов перемен напряжений составляют 80–90 %, а выполненных АДСНЭ – 60–75 %, от соответствующих показателей основного металла. Исследованы физико-механические характеристики качественных сварных соединений высокопрочного алюминиевого сплава 7056 толщиной 10–30 мм с повышенным содержанием цинка (до 9,7 %), сваренных по разработанным в ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ технологиям ЭЛС и контактно стыковой сварки (КСС). Установлено, что предел прочности таких соединений составляет около 70–90 %, а граница ограниченной выносливости в диапазоне 10^4 – $2 \cdot 10^6$ циклов составляет около 65–76 % от соответствующих показателей основного металла. Предложен алгоритм и разработано программное обеспечение для построения кривых усталости сварных соединений конструкционных материалов при воздействии узкополосного процесса случайного нагружения. На основе предложенного алгоритма показано, что спектр узкополосного нагружения с приближенным к экспоненциальному закону распределения величины амплитуды напряжения уменьшает циклическую долговечность соединений сплава 1460Т1, полученных технологиями АДСНЭ и СТП в 2,0–2,5 раза по сравнению с регулярным нагружением. Узкополосный процесс нагружения с распределением величины амплитуды напряжения, близким к нормальному, соединений сплавов 1420Т1 и Д16Т1, полученных технологиями СТП и АДСНЭ, уменьшает долговечность в 1,5–2,0 раза по сравнению с регулярным нагружением.

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

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

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

- РД 50-551-85. Методические указания. Расчеты и испытания на прочность. Расчетно-экспериментальные методы оценки сопротивления усталости сварных соединений;
- Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. Энергоатомиздат. – 1989 г.;
- РД 50-694-90. Методические указания. Надежность в технике. Вероятностный метод расчета на усталость сварных соединений;
- ЦП-0176 «Рекомендації з огляду, підсилення, ремонту та збільшення експлуатаційного ресурсу суцільностінчатих зварних прогонових будов». Укрзалізниця. – 2007 г.;
- ЦП-0214 «Експлуатація залізничних мостів. Технологічний регламент із ремонту зварюванням пошкоджених тріщинами втомі елементів прогонових будов залізничних мостів». Укрзалізниця. – 2009 г.;
- Державні будівельні норми України ДБН В.2.3-26:2010. Споруди транспорту. Мости і труби. Сталеві конструкції. Правила проектування;
- Державні будівельні норми України ДБН В.2.6-163:2010. Конструкції будівель і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу.
- ДСТУ 8803:2018 Прокат товстолистовий з вуглецевої сталі звичайної якості. Технічні умови.
- ДСТУ 8804:2018 Прокат товстолистовий з легированої та легированої сталі для котлів і посудин, які працюють під тиском. Технічні умови.

● # 1848

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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



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



Рис. 3. Ремонт магистрального трубопровода в режиме эксплуатации

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

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



Рис. 4. Ремонт трубопровода под водой

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

В отделе подготовлено более 20 кандидатов и докторов наук.

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

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

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

Обзор критериев допустимости поверхностных коррозионных дефектов (локальная потеря металла) сухопутных магистральных трубопроводов

А.С. Миленин, к.т.н., ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ (Киев)

На основе обзора основных стандартов и нормативных документов произведен критический анализ существующих критериев допустимости характерных коррозионных дефектов сухопутных магистральных трубопроводов (локальных потерь металла). Произведена оценка рассмотренных критериев с точки зрения их консервативности и границ применимости. Обозначены основные пути дальнейшего развития методологии исследования состояния трубопроводных систем с обнаруженными эксплуатационными дефектами.

Характерные особенности эксплуатации сухопутных магистральных трубопроводов (МТ), а также высокие требования к их надежности определяют необходимость тщательного и обоснованного анализа результатов мониторинга их состояния и своевременного устранения обнаруженных дефектов [1-3]. На основе как многолетней практики поддержания работоспособности газо-, нефте- и продуктопроводов, так и различных аналитических подходов профильными организациями разных стран разработан ряд нормативных документов и государственных стандартов, позволяющих оценить допустимость характерных дефектов МТ. В рамках регламентных требований эксплуатирующей организации при выборе конкретного подхода по оценке работоспособности обнаруженного дефектного участка МТ с обнаруженными дефектами необходимо учитывать полноту имеющихся в каждом конкретном случае данных, особенности эксплуатации МТ, а также условия применимости критерия предельного состояния [4, 5].

Поскольку большая часть сухопутных МТ находится под землей и подвержена поверхностному воздействию агрессивных коррозионных сред, то их характерными дефектами являются локальные коррозионные потери металла (ЛПМ), внешний вид и схема характерного дефекта этого типа показаны на рис. 1. С целью своевременного обнаружения дефектов линейной части МТ, в т. ч. и коррозионной природы, производится их периодическая внутритрубная диагностика (ВТД). На основе базы данных об обнаруженных геометрических аномалиях производится анализ состояния трубопрово-

да и делается вывод о возможности его дальнейшей безопасной эксплуатации. В случае существенного развития или множественности ЛПМ может быть необходим ремонт дефектного участка МТ с целью снижения риска аварийной ситуации путём замены дефектной катушки или заваривания ЛПМ без вывода МТ из эксплуатации. Целью настоящей работы является критический обзор основных существующих стандартов, нормативных документов и методологических подходов по оценке допустимости дефектов типа ЛПМ трубопроводных систем с точки зрения их применимости в рамках анализа данных ВТД сухопутных МТ.

Одной из первых признанных методик оценки допустимости ЛПМ на поверхности трубопроводных систем является разработанный в 1971 г. аналитический критерий NG-18 [6]. В его основу положено соотношение, связывающее предельные геометрические размеры ЛПМ и параметры МТ:

$$P = \frac{\delta \cdot \sigma_{flow}}{D} \cdot \left(\frac{1 - \frac{A}{A_0}}{1 - \frac{A}{A_0} \cdot M^{-1}} \right), \quad (1)$$

где $A_0 = d \cdot \delta$; δ – максимальная глубина коррозии; d , D – номинальная толщина стенки и внешний диаметр трубопровода; P – давление разрушения в МТ; σ_{flow} – напряжение пластического течения; A – площадь коррозии в аксиальном направлении; M – коэффициент Фолиаса, позволяющий учесть изменение напряженно-деформированного состояния в области дефекта в результате ослабления жесткости стенки (вздутия).

В рамках данной методологии коэффициент Фолиаса предлагается рассчитывать следующим образом:

$$M = \sqrt{1 + 2,5 \cdot l_{sp}^2 - 0,54 \cdot l_{sp}^4}, \quad (2)$$

где $l_{sp} = \frac{s/2}{\sqrt{D \cdot \delta}}$ – удельная полудлина дефекта, s – длина дефекта.

Как видно из соотношения (2), такой подход применим для коротких дефектов, когда подкоренное выражение положительно. Расширение границ применимости критерия (1), (2) было предложено в 1974 г. Кифнером для дефектов большой длины

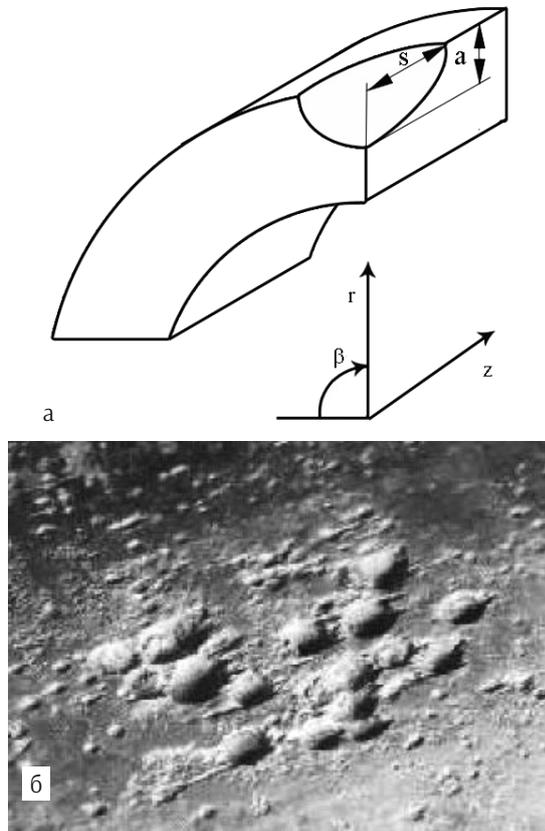


Рис. 1. Схема (а) и внешний вид (б) локальной потери металла на внешней поверхности магистрального трубопровода

$l_{sp} > 2$ соответствующим изменением расчетной формулы коэффициента Фолиаса [7]:

$$M = \sqrt{1 + 3,2 \cdot l_{sp}^2} \quad (3)$$

В последующем на основе методологии NG-18 были построены несколько актуальных методик. В частности, для программного пакета RSTRENG (1989) [8] с целью расчета коэффициента Фолиаса было предложено следующее соотношение:

$$M = \begin{cases} \sqrt{1 + 2,51 \cdot l_{sp}^2 - 0,054 \cdot l_{sp}^4}, & \text{при } l_{sp}^2 \leq 12,5 \\ 0,128 \cdot l_{sp}^2 + 3,3, & \text{при } l_{sp}^2 > 12,5 \end{cases} \quad (4)$$

Для оценки значения A в рамках данной методологии необходимо точное значение площади коррозии:

$$A = \int_{x_1}^{x_2} \delta(x) dx, \quad (5)$$

где x_1, x_2 – аксиальные координаты начала и конца корродировавшей области.

Существенным ограничением RSTRENG при оценке допустимости эксплуатации дефектного участка МТ является максимальная номинальная толщина стенки трубопровода, которая не должна превышать 20 мм. Кроме того, этот критерий рекомендуется только для оценки повреждений МТ из углеродистых сталей [9, 10].

Одним из наиболее применяемых методов оценки допустимости состояния корродировавших тру-

бопроводных систем является семейство стандартов ANSI/ASME В31G (1991) [11]. В основе оценки предельного состояния трубопровода с ЛПМ положен критерий, являющийся, фактически, модификацией (1):

$$P = \begin{cases} F \cdot \frac{1,1 \cdot SMYS \cdot 2 \cdot \delta}{D} \cdot \left(\frac{1 - \frac{2}{3} \cdot \frac{d}{\delta}}{1 - \frac{2}{3} \cdot \frac{d}{\delta} \cdot M^{-1}} \right), & \text{если } l_{sp}^2 < 5; \\ F \cdot \frac{1,1 \cdot SMYS \cdot 2 \cdot \delta}{D} \cdot \left(1 - \frac{d}{\delta} \right), & \text{если } l_{sp}^2 \geq 5, \end{cases} \quad (6)$$

где $SMYS$ – минимальное предусмотренное значение предела текучести металла трубопровода; F – коэффициент запаса, обычно принимаемый равным 0,72.

Здесь значение коэффициента Фолиаса вычисляется согласно (3). Из вида (6) можно заключить, что область корродирования приближена к параболической поверхности (т. о. $A = 2/3 \cdot d \cdot s$), а напряжение пластического течения принято равным $\sigma_{flow} = 1,1 \cdot SMYS$. Такой подход отличается консерватизмом, который заложен в приближенном расчете напряжения пластического течения, коэффициента Фолиаса и параболическом описании ЛПМ, что применимо только для дефектов небольшой протяженности.

Дальнейшая разработка стандарта ANSI/ASME В31G совместно с American Gas Association (AGA) позволила получить менее консервативный подход по оценке состояния дефектного участка трубопровода [11], в рамках которого предельное давление P может быть вычислено следующим образом:

$$P = F \cdot \frac{1,1 \cdot SMYS \cdot 2 \cdot \delta}{D} \cdot \left(\frac{1 - 0,85 \cdot \frac{d}{\delta}}{1 - 0,85 \cdot \frac{d}{\delta} \cdot M^{-1}} \right), \quad (7)$$

$$M = \begin{cases} \sqrt{1 + 0,03797 \cdot \lambda^2 - 0,01936 \cdot \lambda^4}, & \\ \text{если } \lambda = 1,285 \cdot \frac{s}{\sqrt{D \cdot \delta}} < 9,1; & \\ 0,01936 \cdot \lambda^2 + 3,3, & \text{если } \lambda \geq 9,1. \end{cases} \quad (8)$$

Как видно из (7), в этой модификации ANSI/ASME В31G предложено приближать величину площади сечения ЛПМ в аксиальном направлении к значению $A = 0,85 \cdot d \cdot s$, что является средним между параболической формой поверхности дефекта и прямоугольной ($A = d \cdot s$).

Кроме перечисленных выше существует и ряд др. подходов по оценке предельного состояния ЛПМ трубопроводных систем, которые основаны на методологии NG-18 (1). Методика исследования в них меняется незначительно, основные отличия заключаются в расчётах коэффициента Фолиаса, а также приближении оценки значений A и σ_{flow} . Так, A может оцениваться приближением параболической, прямоугольной или усредненной формы, а также вычисле-

нием точной площади согласно (5). Что касается напряжения пластического течения, то кроме указанной выше зависимости от $SMYS$ существуют следующие оценки значения этого параметра [7]:

$$\sigma_{flow} = \begin{cases} 1,15 \cdot SMYS; \\ 0,5 \cdot (SMYS + SMTS); \\ SMYS + 69 \text{ (МПа)}; \\ x \cdot SMTS, \text{ где } x = \{0,9; 1,0; 1,1\}, \end{cases} \quad (9)$$

где $SMTS$ – минимальное предусмотренное значение предела прочности металла трубопровода.

Принципиально отличающимся от NG-18 аналитическим подходом по оценке допустимости поверхностной геометрической аномалии типа ЛПМ является RAM PIPE REQUAL (1999) [12], разработанный совместно специалистами Калифорнийского университета и Мексиканского института нефти (IMP). Ими предложено следующее критериальное соотношение:

$$P = \frac{2,4 \cdot SMTS \cdot \delta}{(D - \delta) \cdot SCF}, \quad (10)$$

$$\text{где } SCF = 1 + 2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot d}{D}}.$$

Характерной особенностью этого критерия является отсутствие в соотношении (10) такого параметра, как длина дефекта. Несмотря на это авторы подчёркивают хорошее соответствие результатов расчётов в рамках RAM PIPE REQUAL для дефектов ЛПМ и экспериментальной базой данных AGA. Тем не менее, такой подход целесообразно использовать для дефектов значительной протяжённости, когда, фактически, происходит переход от локальной к общей потере металла трубы, что существенно ограничивает его применимость.

Норвежский стандарт DNV-RP-F101 (1999) разработан для оценки поврежденности МТ различного типа, в т. ч. и морских, поэтому позиционируется его авторами, как наиболее универсальный с точки зрения марки стали трубопровода [13]. Это связано с тем, что для разработки DNV-RP-F101 использовались не только данные AGA, которые базируются преимущественно на результатах испытаний образцов из низколегированных сталей, но и собственные исследования на образцах из высокопрочных сталей. Критериальное соотношение этого стандарта для описания предельного состояния трубопровода с дефектом прямоугольного профиля следующее:

$$P = 1,05 \cdot \frac{2 \cdot \delta \cdot \sigma_B}{(D - \delta)} \cdot \left(\frac{1 - d/\delta}{1 - \frac{d/\delta}{Q}} \right), \quad (11)$$

где $Q = \sqrt{1 + 1,24 \cdot I_{sp}^2}$, σ_B – предел прочности металла трубопровода.

По форме соотношение (11) схоже с критерием NG-18 (1), но в нем не фигурирует напряжение пластического течения (оно заменено фактическим пределом прочности металла). Кроме того, коэффициент Фолиаса существенно упрощен (очевидно сходство с подходом Кифнера (3) для протяженных дефектов), что стало причиной изменения общепринятого обозначения с M на Q .

Заслуживает внимания критерий предельного состояния PCORRC (2000), который также позиционируется как применимый для труб из высокопрочных сталей, разрушение которых происходит по механизму пластической неустойчивости [9, 14]. Предельное состояние ЛПМ в рамках предлагаемой методологии имеет следующий вид:

$$P = \frac{2 \cdot \delta \cdot \sigma_B}{D} \cdot \left\{ 1 - \frac{d}{\delta} \cdot \left[1 - \exp \left(- \frac{0,157 \cdot s}{\sqrt{\frac{D \cdot (\delta - d)}{2}}} \right) \right] \right\}. \quad (12)$$

Как и DNV-RP-F101 подход PCORRC наилучшим образом описывает предельное состояние ЛПМ прямоугольного сечения, тогда как любая другая форма дефекта делает эти критерии более консервативными.

Рассмотренные выше методы расчета предельного состояния трубопроводных систем с дефектами ЛПМ основаны на оценке связи максимального рабочего давления на дефектном участке трубопровода с технологическими и геометрическими параметрами МТ (т.н. дизайн-подход). Методология API 579 (2000) [15], разработанная Американским институтом нефти, хотя и основана на соотношении типа (1), но соотносит предельную глубину дефекта ЛПМ с минимальной толщиной стенки МТ δ_p , допускаемой выбранными технологическими нормами:

$$\frac{d - \delta}{\delta_p} = R_s, \quad (13)$$

где

$$R_s = \begin{cases} 0,2, \text{ если } \lambda_A = \frac{1,285 \cdot s}{\sqrt{D \cdot \delta_p}} \leq 0,3475; \\ \left(0,9 - \frac{0,9}{\sqrt{1,0 + 0,48 \lambda_A^2}} \right) \left(1,0 - \frac{0,9}{\sqrt{1,0 + 0,48 \lambda_A^2}} \right)^{-1}, \\ \text{если } \lambda_A > 0,3475. \end{cases} \quad (14)$$

Расчетное значение δ_p определяется согласно строительным нормам в зависимости от прочностных характеристик трубопровода и условий его эксплуатации.

С целью сравнения приведенных выше критериев оценки предельного состояния ЛПМ на поверхности трубопроводов, был проведен комплекс расчетов зависимости предельного рабочего давления от параметров дефекта и трубопровода. В качестве

базового состояния дефектного участка МТ принято следующее: $d = 20$ мм, $D = 1420$ мм, $s = 200$ мм, $\delta = 7$ мм, $SMYS (= \sigma_T) = 320$ МПа, $SMTS (= \sigma_B) = 680$ МПа (сталь 17Г1С). Таким образом, варьирование одной из приведенных величин при фиксировании остальных позволило получить диаграммы зависимостей максимального допустимого давления на дефектном участке трубопровода от основных технологических и геометрических параметров. Без ограничения общности принято, что дефект имеет полуэллиптическую форму, расчет минимальной допустимой толщины стенки МТ проводился согласно стандарту ASME B31.8. На рис. 2 приведены результаты расчета максимального допустимого давления в МТ в зависимости от глубины модельной ЛПМ на поверхности трубопровода. Из этих данных видно, что в выбранном диапазоне варьирования значения глубины ЛПМ квазилинейные зависимости имеют небольшое различие в угле наклона (отличаются повышенной консервативностью только рекомендации API 579). При этом, одним из принципиальных отличий рассмотренных стандартов является максимальное проектное давление в бездефектном трубопроводе, что может служить объективным фактором при выборе методологии оценки допустимости эксплуатации МТ с обнаруженными ЛПМ.

Для анализа допустимости характерных дефектов МТ Институтом проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАНУ совместно с Институтом электросварки им. Е.О. Патона НАНУ разработан нормативный документ ДСТУ-Н Б В.2.3-21:2008 [16], который непосредственно учитывает отечественные проектные правила. В основе требований данного стандарта лежит оценка остаточного коэффициента запаса прочности n конструкции с выявленным дефектом на основе паспортных данных конкретного участка трубопровода и/или фактических исследований условий и режимов его эксплуатации. При этом важным является проверка соответствия существующих допустимых толщин стенки трубопровода при фактических условиях эксплуатации проектным нормам СНиП 2.05.06-85*. В зависимости от степени снижения коэффициента запаса по сравнению с допустимым значением k обнаруженные дефекты подразделяются на четыре категории по степени опасности: незначительный ($n > k$); умеренный ($1,1 \cdot \sigma_B / \sigma_T \leq n < k$); значительный ($1,1 \leq n < 1,1 \cdot \sigma_B / \sigma_T$); критический ($n < 1,1$).

Величина допустимого коэффициента запаса для отечественных МТ определяется согласно СНиП 2.05.06-85*:

$$k = \frac{0,9 \cdot k_1 \cdot k_H}{m}, \quad (15)$$

где k_1, k_H, m – коэффициенты запаса по материалу, назначению и нагрузке.

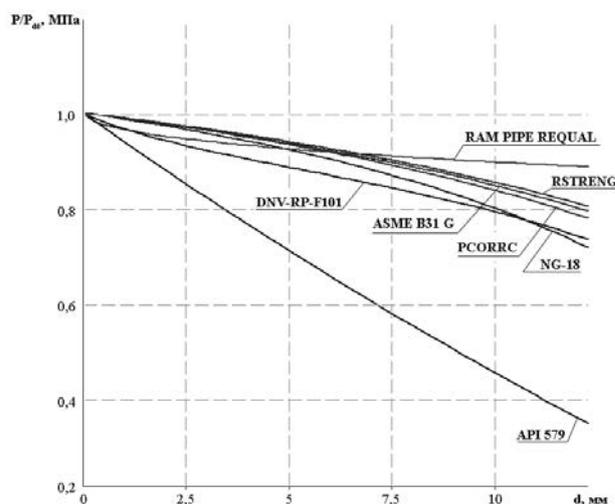


Рис. 2. Зависимость максимального допустимого давления в трубопроводе от глубины ЛПМ согласно различным критериям предельного состояния

Для расчета остаточной прочности формируется база входных данных, включающая в себя: результаты диагностики состояния дефектного участка МТ, а именно, размеры обнаруженного дефекта, фактические геометрические размеры трубопровода и свойства стали, из которой он сделан; эксплуатационные характеристики; коэффициенты запаса по условиям работы, материалу, назначению и нагрузке. В процессе анализа последовательно определяются номинальные окружные $\sigma_{\beta\beta}$ и осевые σ_{zz} напряжения в стенке трубопровода при максимальных допустимых эксплуатационных внутренних давлениях, допустимый коэффициент запаса прочности и реферативные напряжения σ_{ref} , формирующиеся в области дефекта. Это позволяет определить фактический коэффициент запаса прочности дефектной конструкции:

$$n = \frac{\sigma_H}{\sigma_{ref}}. \quad (16)$$

Современной тенденцией в оценке допустимости различных дефектов МТ, в т. ч. и ЛПМ, является точный расчет состояния дефектного участка трубопровода на основе существующих численных методов [17, 18]. Появление таких подходов обусловлено как совершенствованием различных методик численного анализа развития упруго-пластических деформаций, так и средств компьютерного моделирования. Поэтому такого рода подходы – естественная альтернатива аналитическим методам, основанным на экспериментальных данных.

В частности, достаточно последовательно алгоритм исследования, основанный на численном моделировании напряженно-деформированного состояния в области поверхностной ЛПМ, предложен в ВРД 39-1.10-004-99 (1999) [19]. Расчет полей деформаций в области ЛПМ положен в основу оценки допустимости дефекта, исходя из следующего дефор-

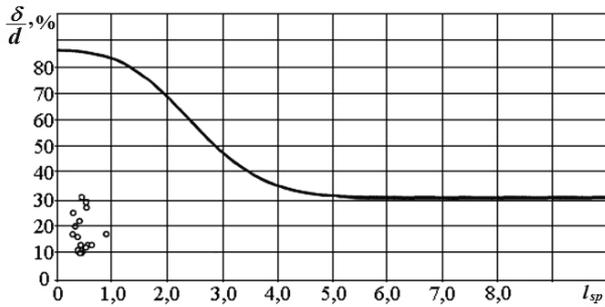


Рис. 3. Предельные размеры коррозионного дефекта трубопровода (ширина 180-360 мм) согласно ВРД 39-1.10-004-99 (точками обозначены результаты экспериментальных исследований) [19]

мационного критерия предельного состояния:

$$\frac{\varepsilon_m}{\varepsilon_{mf}} + \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_{if}} = 1, \quad (17)$$

где ε_m – объемная деформация; ε_i – интенсивность деформаций; ε_{mf} – объемная деформация разрушения; ε_{if} – интенсивность деформаций разрушения.

Выполнение (17) отвечает достижению деформационной способности металла в области поверхностного дефекта. Вторым возможным механизмом разрушения стенки МТ авторы этого стандарта принимают критическое снижение несущей способности конструкции в результате существенно упруго-пластического деформирования. В этом случае, в качестве критерия предельного состояния трубопровода с поверхностным дефектом предложено следующее соотношение:

$$\frac{\varepsilon_m + \max(\varepsilon_{\beta\beta}, \varepsilon_{zz}, \varepsilon_{rr}) - \varepsilon_m}{\varepsilon_{mu}} = 1, \quad (18)$$

где ε_{mu} – предельная равномерная деформация удлинения; ε_{iu} – интенсивность предельных равномерных деформаций удлинения, ε_{jj} ($j = r, \beta, z$) – компоненты тензора деформаций в цилиндрических координатах (рис. 1).

Критерии (17) и (18) проверяются одновременно, и предельным выбирается то состояние дефектного участка МТ, которое наступает ранее. Пример расчета согласно приведенной методологии приведен на рис. 3, где показана диаграмма предельных размеров ЛПМ на линейном участке га-

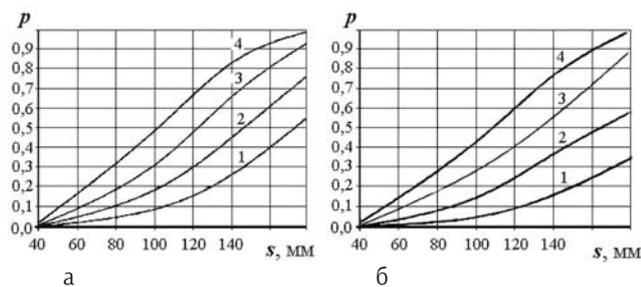


Рис. 4. Зависимость вероятности разрушения участка трубопровода с ЛПМ на его внешней (а) и внутренней поверхности (б) от длины дефекта при различном рабочем внутреннем давлении: 1 – 9 МПа; 2 – 10 МПа; 3 – 11 МПа; 4 – 12 МПа

зопровода «Уренгой – Центр». Как видно из сравнения экспериментальных данных с результатами численного исследования, предельное состояние (17), (18) для выбранного диапазона изменения параметров достаточно консервативно.

Методология, предлагаемая в ВРД 39-1.10-004-99, безусловно, содержит определенные преимущества, которые заключаются в возможности фактического рассмотрения процессов, приводящих к разрушению стенки МТ в области коррозионного дефекта, задавая при этом входные данные с необходимой степенью точности. Тем не менее, описание предельного состояния дефекта уравнениями типа (17), (18) носит локальный характер, тогда как разрушение в области геометрической аномалии, не являющейся существенным концентратором напряжений (например, трещинообразный дефект), затрагивает значительные области. Кроме того, существенную роль в такой оценке носит точность параметров разрушения, таких как ε_{mf} , ε_{if} , ε_{mu} , ε_{iu} , определение которых для каждого конкретного случая может быть сопряжено с объективными трудностями. Этим недостатком лишена методология, разработанная в ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ [20]. Суть этого подхода заключается в оценке вероятности разрушения стенки МТ в области ЛПМ, что наряду с моделированием трехмерного напряженно-деформированного состояния дефектного участка трубопровода позволяет более объективно оценивать допустимость рассматриваемого дефекта.

Так, в основу оценки вероятности разрушения стенки трубопровода в области ЛПМ положено трехпараметрическое распределение Вейбулла [20]:

$$p = 1 - \exp \left[- \int_V \left(\frac{\sigma_1 - A}{B} \right)^\eta \frac{dV}{V_0} \right], (\sigma_1 > A) \quad (19)$$

где p – вероятность разрушения; A, B, η – параметры распределения Вейбулла; V_0 – характерный структурный параметр рассматриваемой стали; V – область металла, подверженная поверхностной коррозии; σ_1 – максимальное значение главных напряжений в области ЛПМ.

Расчет напряженно-деформированного состояния для внутреннего и наружного ЛПМ полуэллиптической формы шириной 28 мм позволил получить вероятность разрушения стенки трубопровода из стали 17Г1С, результаты которого приведены на рис. 4. Здесь принято $A = 0,5 \cdot (\sigma_T + \sigma_B) = 500$ МПа; $B = 1200$ МПа; $\eta = 4,0$; $V_0 = 0,05$ мм³. Как видно из приведенных данных, численное исследование дает ясное представление о степени поврежденности участка трубопровода с ЛПМ. Кроме того, такой подход позволяет оценивать опасность не только внешних, но и внутренних дефектов, что невозможно для критериев, основанных на приближениях теории оболочек.

На основании изложенного выше можно сделать следующие выводы.

1. Проведен анализ существующих критериев предельного состояния поверхностных коррозионных дефектов типа локальной потери металла магистральных трубопроводов. Приведены основные ограничения применимости и преимущества некоторых методологий.

2. На основе результатов расчетов исследован характер влияния геометрических размеров дефекта и параметров дефектного участка трубопровода на допустимость его эксплуатации при оценке на основе различных аналитических критериев. Важным условием выбора конкретного критерия для оценки поврежденности рассматриваемого участка магистрального трубопровода могут служить его проектные нормы, а именно максимальное допустимое давление на участке.

3. Рассмотрены перспективные подходы по оценке предельного состояния дефектного участка трубопровода, основанные на расчетах напряженно-деформированного состояния в области геометрической аномалии стенки трубы. В частности, продемонстрированы некоторые возможности методологий, основанных на оценке вероятности разрушения стенки трубопровода с поверхностным коррозионным дефектом типа локальной потери металла.

Список литературы:

1. Катц Д.Л. Руководство по добыче, транспорту и переработке природного газа. – М.: Недра, 1965. – 676 с.
2. Алиев Р.А., Белоусов В.Д., Немудров А.Г. и др. Трубопроводный транспорт нефти и газа / М.: Недра, 1988. – 368 с.
3. Аварийно-восстановительный ремонт магистральных нефтепроводов. Под ред. А.Г. Гумерова. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 1998. – 271 с.
4. Anderson T.L. Fracture Mechanics. Fundamentals and applications. – Washington: CRC Press, 1995. – 680 p.
5. Sabapathy P.N., Wahab M.A., Painter M.J. The prediction of burn-through during in-service welding of gas pipelines. // Int. J. Press. Vess. Piping. – № 11. – 2000. – P. 669-677.
6. Ductile fracture initiation, propagation and arrest in cylindrical vessels // Maxey W.A., Kiefner J.F., Eiber R.J. et al./ Fracture Toughness, Proc. of the 1971 National Symp. On Fracture Mechanics, 31.08 - 02.09 1971, Urbana-Champaign, USA. – Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1972. – P. 70-81.
7. Bjornoy O.H., Marley M.J. Assessment of corroded pipelines: Past, Present and Future. / Proc. of 11-th Internat. Offshore and Polar Engin. Confer. Stavanger, Norway, 17-22.06 2001. Vol. 1. – P. 93-101.
8. Vieth P.H., Kiefner J.F. RSTRENG2 (DOS Version) User's Manual and Software. – Arlington: Pipeline Research Council International, 1993. – 46 p.

9. Janelle J.L. An overview and validation of the fitness-for-service assessment procedures for local thin areas. Thesis for the degree Master of Science – Mechanical Engin. The Graduate Faculty of the Univer. of Akron, 2005. – 264 p.

10. Escoe A.K. Piping and pipelines. Assessment Guide. – Texas: Gulf Professional Publishing, 2006. – 555 p.

11. B31G – 1991 (R2004). Manual for Determining Remaining Strength of Corroded Pipelines: Supplement to B31 Code-Pressure Piping. New York: The American Society of Mechan. Engin., 1991. – 58 p.

12. Bea R., Xu T. Risk assessment and management (RAM) based guidelines for requalification of marine pipelines. Berkeley: Univer. of California, 2000. – 157 p.

13. Recommended Practice, DNV-RP-F101. Corroded Pipelines. Edited by O. Bjornoy. – Hovik: Det Norske Veritas, 2004. – 42 p.

14. The Prediction of Failure Pressure of Gas Pipeline with Multi Corroded Region // Y.K. Lee, Y.P. Kim, M.-W. Moon/ Materials Science Forum. – V. 475-479. – 2005. – P. 3323-3326.

15. Fitness-for-Service. American Petroleum Institute. Recom. Practice 579. First edit. – Washington: API Publicat. and Distrib., 2000. – 625 p.

16. ДСТУ-Н Б В.2.3-21:2008 Установка. Определение остаточной прочности магистральных трубопроводов с дефектами. Киев: Минрегионстрой Украины, 2008. – 91 с.

17. Вычислительные методы в механике разрушения. Под ред. С. Атлури. – М.: Мир, 1990. – 391 с.

18. Anghel C.I., Lazar I. Risk assessment for vessels affected by corrosion. // Periodica Polytechnica. – V. 59, N. 2. – 2005. – P. 103-118.

19. ВРД 39-1.10-004-99. Методич. рекомендації по количест. оценке сост. магистр. газопроводов с коррозией, дефектами, их ранжиров. по степени опасности и определ. остаточн. ресурса. – М.: ПО «Спецнефтегаз», 2000. – 52 с.

20. Milenin A.S., Velikoivanenko E., Rozyinka G., Pivtorak N. Probabilistic assessment of the state of welded pipeline elements and pressure vessels with detected corrosion-erosion defects. Proc. of the First Intern. Confer. on Theoretical, Applied and Experim. Mechanics. Ed. E. Gdoutos, Springer Intern. Publishing, 2019 – P. 178-183.

● # 1850

Сварка трением с перемешиванием алюминиевых охладителей изделий силовой электроники

П.А. Васильев, Чувашский государственный университет (Чебоксары)

Современные изделия силовой электроники предназначены для коммутации значительных токов, достигающих тысячи и более ампер. В качестве одних из наиболее важных конструктивных элементов применяются охладители из алюминиевых сплавов типа АД31. Эффективность охладителя определяется его геометрией и габаритными размерами. Однако, технология его производства методом экструзии накладывает ограничения на максимальный поперечный размер исходного профиля. Сварка трением с перемешиванием позволяет получать охладители практически неограниченных размеров без изменения свойств материала в сварном шве и минимальной механической деформации.

Нами были выполнены работы по отработке технологии сварки ребристых охладителей из сплава АД31 с поперечными размерами 200x83 мм и длиной 500 мм. Толщина основания профиля составляет 15 мм. Сварка производилась на установке ERNEST, изготовленной в Чувашском государственном университете на базе обрабатывающего

центра Микромат-9С [1], представленной на рис. 1. На рис. 2 показано расположение исходных элементов охладителя в процессе сварки: на стол 1 установки устанавливаются промежуточные пластины 2, 3 и пластина 4, выполняющая роль подложки. Далее устанавливаются заготовки охладителя 5, фиксируемые в горизонтальной плоскости упорами 6 с усилием F_y . На лицевую поверхность охладителей устанавливаются промежуточные пластины 7, к которым в дальнейшем прикладывается вертикальное усилие F_z . Процесс сборки и сварки охладителя последовательно показан на рис. 3, 4 и 5. Перед сваркой необходимо также в начале и конце сварочного шва установить дополнительные пластины толщиной, соответствующей толщине основания профиля, изготовленные из такого же материала и также фиксируемые с помощью упоров в горизонтальной плоскости, как это показано на рис. 6, 7. В пластине, устанавливаемой в начале сварочного шва, предварительно просверливается глухое отверстие глубиной 14 мм и \varnothing 8 мм, что соответствует среднему диаметру рабочей части инструмента.

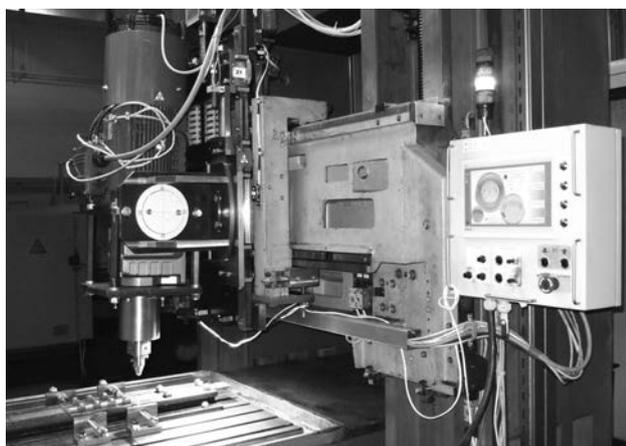


Рис. 1. Общий вид установки фрикционной сварки ERNEST

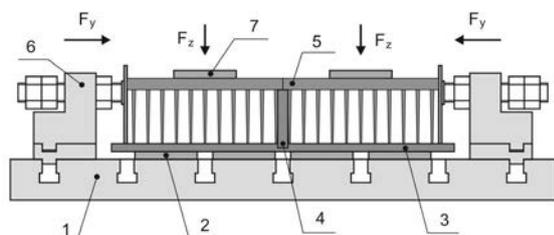


Рис. 2. Схема монтажа исходных заготовок охладителя при выполнении сварки

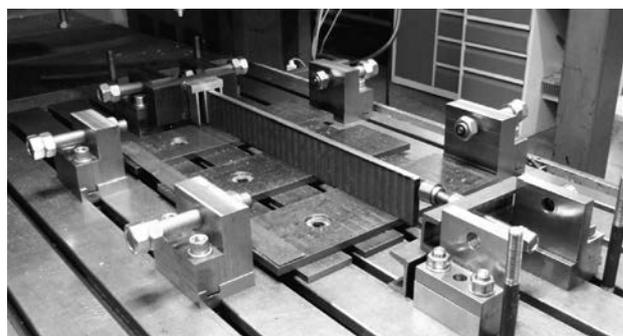


Рис. 3. Установка подложки на рабочем столе

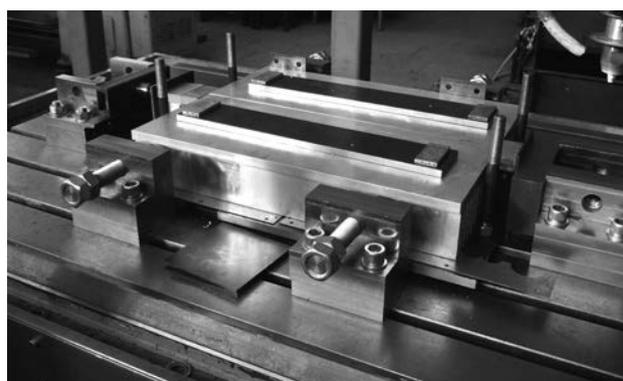


Рис. 4. Фиксация заготовок охладителя



Рис. 5. Завершение сварочного процесса

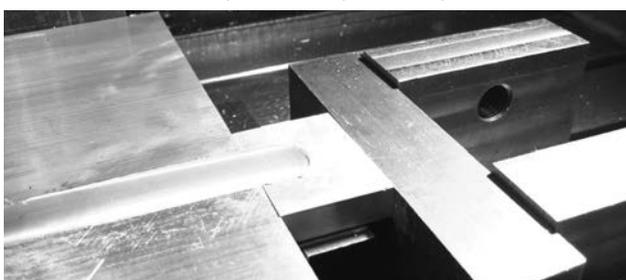


Рис. 6. Накладная пластина в начале сварочного шва

Процесс сварки начинается с внедрения вращающегося инструмента в отверстие до соприкосновения с поверхностью его опорной части и дальнейшему приложению рабочего усилия. Сварка производится при постоянном рабочем вертикальном усилии на инструменте. Ранее нами было высказано предположение, что основным физическим параметром, характеризующий процесс сварки, пригодным для контроля в текущем режиме является механическая работа, выполняемая электродвигателем привода шпинделя, т. е. потребляемая им электрическая мощность [2]. Соответственно подача стола установки включалась по достижении некоторой заданной величины электрической мощности, потребляемой электродвигателем. Раннее включение приводит к непровару шва – появлению пустот в материале, позднее – к погружению инструмента и соприкосновению его с подложкой.

Измеренные в процессе сварки значения вертикального усилия на инструменте и потребляемой электрической мощности представлены в виде графика на рис. 8. Там же указан момент включения подачи стола – начало сварочного процесса. В нашем конкретном случае сварка проводилась при рабочем усилии 2000 кгс, частоте вращения шпинделя 400 об/мин, скорости сварки 3,6 мм/сек. Потребляемая мощность составляла 8 кВт. Охлаждение инструмента в процессе сварки производилось внешней подачей воздуха, как показано на рис. 9.

Полученные результаты, на наш взгляд, позволяют сделать вывод о возможности управления



Рис. 7. Накладная пластина в конце сварочного шва

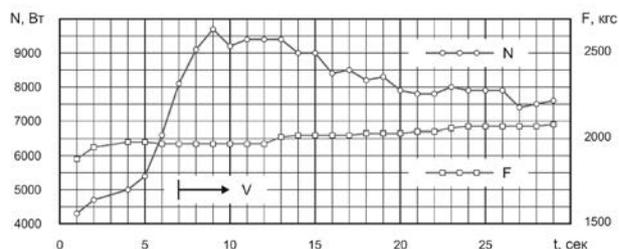


Рис. 8. Физические параметры начала сварочного процесса

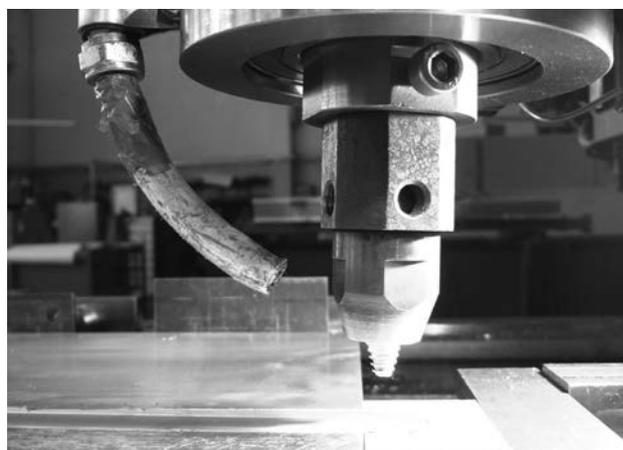


Рис. 9. Воздушное охлаждение инструмента

процессом сварки трением с перемешиванием алюминиевых сплавов путем контроля в реальном масштабе времени электрической мощности, потребляемой электродвигателем привода вращения рабочего инструмента, что позволяет автоматизировать сварочный процесс и обеспечить воспроизводимое качество сварного шва

Литература.

1. Васильев П.А., Осанов В.Н., Евграфов А.В., Калинин А.Г., Шведов М.А., Христофоров О.В., Григорьев В.С. Установка фрикционной сварки ERNEST. // Заготовительные производства в машиностроении. 2017.–Т. 15.–№ 9.–С. 392-398.
2. Бакшаев В.А., Васильев П.А., Васильев С.В., Гайнуллин Р.Р., Чумаров С.Н., Рахимов А.Х. Сварка трением с перемешиванием. Контроль параметров и управление процессом. // Сварщик – 2014. – № 2. – С. 26-29.

● # 1851

Направления работ института электросварки им. Е.О. Патона в области неразрушающего контроля

В.А. Троицкий, д.т.н., **М.Н. Карманов**, к.т.н., отдел № 4, ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ (Киев)

Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ Украины является одним из ведущих научно-исследовательских центров в области неразъемных соединений и материаловедения. Создание новых конструкций, освоение новых материалов, технологий сварки сопровождается разработкой технологий неразрушающего контроля (НК). Информация НК ложится в основу прочностных расчетов, определения остаточного ресурса и допустимости эксплуатации объекта (рис. 1). Богатый многолетний опыт по использованию методов и средств НК качества материалов и сооружений накоплен практически для всех отраслей промышленности с применением всех основных методов НК (визуальный, радиационный, магнитопорошковый, капиллярный, ультразвуковой, термография и т. д.).

При непосредственном участии отдела № 4 НК:

- подготовлены основные Постановления правительства и Президиума НАНУ, которые определили развитие научной и производственной базы НК в стране;



Рис. 1. Металлоконструкции НСК «Олимпийский», мониторинг которых выполнял ИЭС им. Е.О. Патона

- созданы в четырех ВУЗ-ах специализированные кафедры по НК;
- введена в Украине международная система аттестации специалистов НК (ISO 9712);
- организована Международная Академия наук по НК (Academia NDT International);
- предложен переход от по-километровой к по-трубной системе технического обслуживания магистральных трубопроводов.

Основные разработки ИЭС им. Е.О. Патона в области НК.

Автоматизированный визуальный контроль. Наиболее простым и распространенным методом НК является визуальный контроль, предшествующий всем остальным видам НК. По внешнему виду сварного шва можно дать общее представление о его качестве. Достоверность визуального НК во многом определяется человеческим фактором (утомляемость, внимательность). Для того, чтобы перепроверить или уточнить полученные результаты фактически надо заново проводить визуальный контроль подозрительных участков сварного шва.

Для устранения этих недостатков предлагается цифровой комплекс автоматизированного визуального контроля, позволяющий считывать картинку сварного шва, измерять его геометрические параметры, осуществлять беспроводную передачу полученных изображений и запоминать их в цифровом виде. Полученные записи изображений сварных швов обрабатываются, документируются и архивируются программой обработки изображений.

Пример реализации автоматизированного визуального контроля, совмещенного с магнитным контролем на базе подвижного намагничивающего устройства типа ТВА показан на рис. 2. Имеется лазерная подсветка по ширине шва, миниатюрная USB видеочка, в качестве монитора и регистра-



Рис. 2. Автоматизированная система визуального контроля на базе подвижного намагничивающего устройства

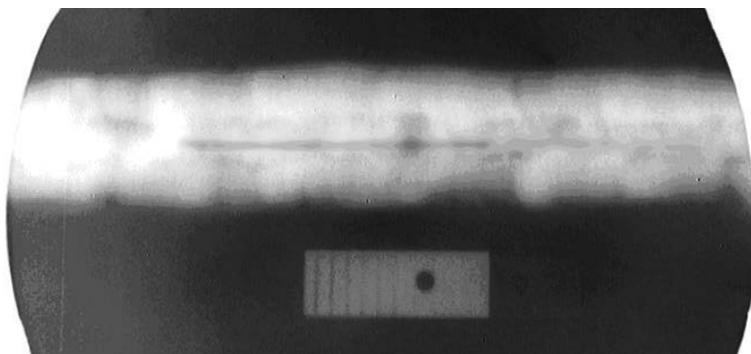


Рис. 3. Рентгентелевизионный неразрушающий контроль

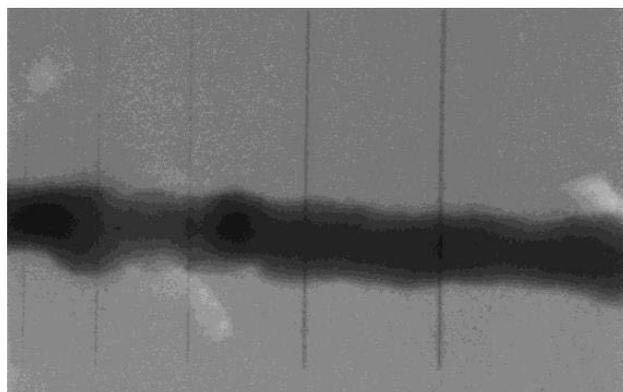
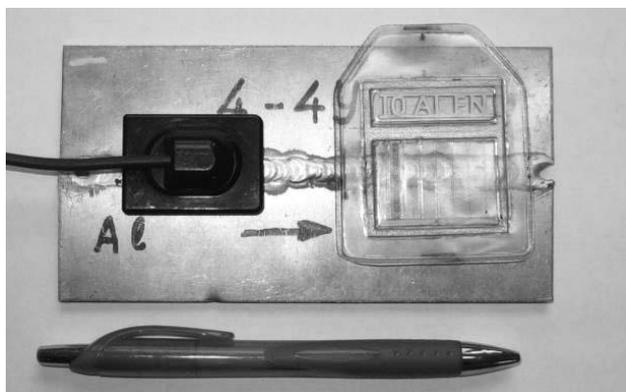


Рис. 4. Контроль сварного соединения (алюминий, толщина 2 мм) с использованием рентгеновской ПЗС матрицы

тора используется смартфон. В настоящее время ведутся работы по созданию малогабаритной дистанционно управляемой подвижной платформы-робота для НК конструкций в труднодоступных местах, которая комплектуется системой автоматизированного визуального контроля.

Флэш-радиография использует твердотельные, электронно-оптические, сцинтилляционные рентгеновские преобразователи, обеспечивающие «мгновенное» считывание (флэш) рентгеновских изображений с последующей их цифровой обработкой. В отличие от пленочной радиографии здесь результаты НК получают на экране монитора, которые сохраняются на электронном носителе информации и могут передаваться по интернету.

Мобильные рентгентелевизионные системы имеют размер рабочего поля 120-200 мм, обеспечивают чувствительность контроля 0,8-1 % и разрешающую способность до 5 пар лин./мм (рис. 3).

Для радиационного контроля тонкостенных металлоконструкций и изделий предложено использовать миниатюрные твердотельные рентгентелевизионные сенсоры S10811-11 японской фирмы Hamamatsu Photonics (зона контроля 24 x 34 мм, разрешающая способность 25 мкм) (рис. 4). Суммарная радиационная толщина контролируемых изделий ограничена предельно допустимым значением напряжения на рентгеновской трубке (70 кВ) для данного типа рентгеновского преобразователя. Для алюминиевых сплавов это составляет 4-5 мм, для стали – 2 мм.

Для контроля протяженных объектов в ИЭС им. Е.О. Патона на основе указанного детектора был разработан недорогой прецизионный рентгентелевизионный сканер. Предлагаемая технология контроля с использованием сканера на порядок дешевле известных в настоящее время технологий на основе полноформатных цифровых панелей.

Тангенциальное рентгеновское просвечивание, т. е. просвечивание по касательной (рис. 5), позволяет определять остаточную толщину металла труб, (коррозии / эрозии на внешней или внутренней поверхности стальных труб), зазоры между обшивкой и телом, без снятия внешней изоляции. Разработана цветовая селекция границ радиационного изображения стенок трубы и последующих наслоений, например, теплоизоляции, защитного кожуха и т. п. Точность определения толщины стенки

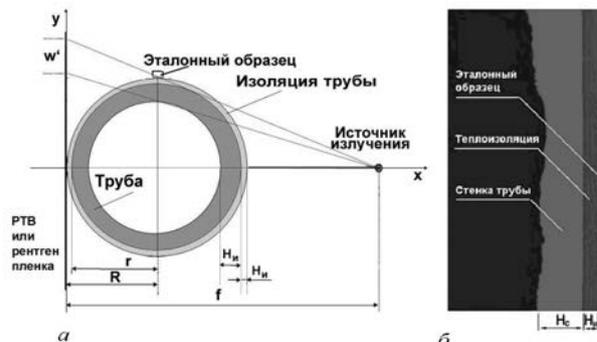


Рис. 5. Тангенциальное просвечивание трубы: а – схема просвечивания, б – цветовая селекция результатов контроля толщины стенки трубы

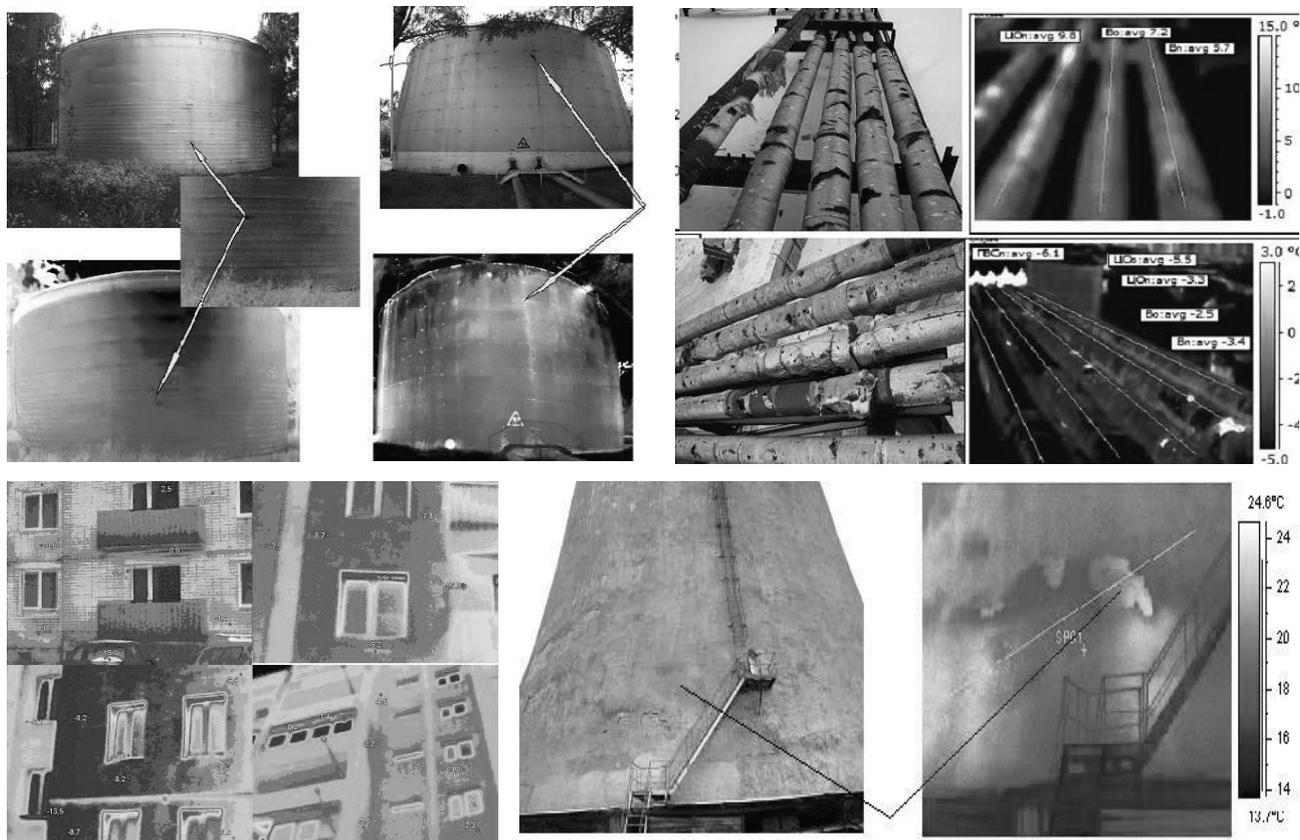


Рис. 6. Примеры термограмм контролируемых объектов

для труб \varnothing до 100 мм составляет $\pm 0,2$ мм. Эта уникальная технология внедрена при НК тонкостенных труб из аустенитных сталей атомных электростанций Украины.

Лазерная термография. В настоящее время термография широко используется для дистанционного обследования ответственных объектов, но пока что нет технологий для дистанционных измерений размеров обнаруженных площадей, зон потери тепла, глубины поражения. Созданные в ИЭС лазерно-термографические измерительные системы позволяют определять дистанционно координаты и геометрические размеры потенциально опасных дефектов, обнаруженных при термографии.

Комплекс прост в эксплуатации, может исполь-

зоваться в атомной, химической и нефтехимической, нефтегазодобывающей промышленности, для объектов газотранспортной системы, электрических систем и машин, жилых зданий, домен, промышленных и гражданских сооружений (рис. 6).

Низкочастотный ультразвуковой контроль (НЧ УЗК) позволяет контролировать длинномерные конструкции без сканирования их поверхности. В его основу положен принцип анализа отраженных низкочастотных направленных волн, способных распространяться на большие расстояния. Это позволяет обнаруживать коррозионные поражения стенок трубы на расстоянии до 100 м. При этом доступ к трубе необходим только в месте установки акустической антенны. Обследование может вы-



а



б

Рис. 7. НЧ УЗК «Универсал-2П» 16 кГц (а), НЧ УЗК «Универсал-1П» 36 кГц (б)

полняться в процессе эксплуатации труб при повышенных температурах без снятия изоляции.

Разработанные в ИЭС приборы работают на частотах 16 и 36 кГц, \varnothing контролируемых труб от 54 до 330 мм (рис. 7).

Технология оценки размеров трещиноподобных несплошностей, осуществляемая дифракционно-временным ультразвуковым методом, известна за рубежом как метод TOFD. Погрешность измерения размеров трещин составляет 1-2 мм в диапазоне толщин металла 10-50 мм. Традиционные амплитудные методы УЗК имеют значительно более высокие погрешности. Периодическое использование оборудования для точного измерения трещиноподобных дефектов позволяет наблюдать за развитием дефекта без прекращения эксплуатации ответственного объекта.

Технология TOFD (рис. 8) использовалась на различных предприятиях Украины, в частности, на нефтеперерабатывающих заводах, магистральных трубопроводах, АЭС и др.

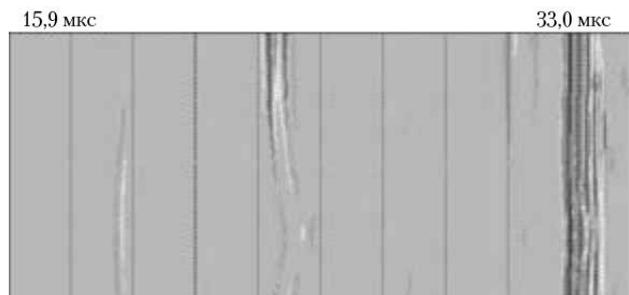
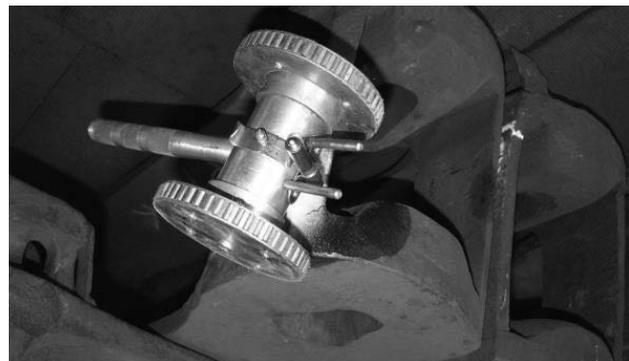


Рис. 8. Пример измерения в сварном соединении трещины методом TOFD



Технология подвижного локального намагничивания существенно расширила возможности применения магнитопорошковой дефектоскопии, обеспечила переход от традиционных способов однонаправленного намагничивания к разнонаправленному, т. е. к активному поиску дефектов. В ИЭС им. Е.О. Патона выпущена серия таких намагничивающих устройств (НУ) под разные геометрические формы контролируемых объектов с широкими функциональными возможностями (рис. 9). Имеется большой практический опыт внедрения подвижных НУ для НК объектов железнодорожного транспорта.

Ультразвуковой контроль зоны термического влияния сварного шва. Для отдельной регистрации дефектов шва и зоны термического влияния при сварке труб для магистральных трубопроводов разработана система автоматизированного УЗК (рис. 10). Эта система внедрена на трубных заводах Украины.

Капиллярный контроль (КК). Разработаны новые технологические процедуры КК сварных соединений и литых изделий различных узлов машин, механизмов и промышленных объектов. КК может осуществляться цветоконтрастным или люминесцентным методами с использованием дефектоскопических материалов. Для выполнения КК создан передвижной стенд, оборудованный вытяжкой и др. средствами для эффективного контроля (рис. 11). Стенд изготавливается по индивидуальным заказам ЦЗЛ и экспертно-технических организаций.

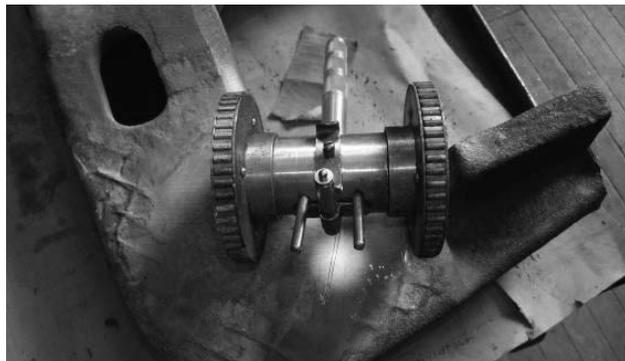


Рис. 9. Подвижные намагничивающие устройства

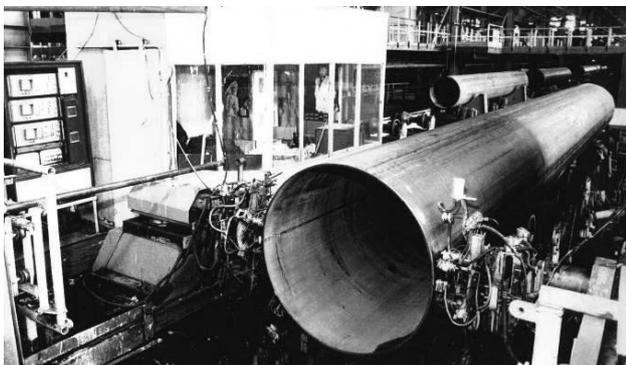


Рис. 10. Система автоматизированного ультразвукового контроля труб



Рис. 11. Стенд капиллярного контроля



Рис. 12. Старая и новая вентиляционные трубы. Капиллярный контроль элементов каркаса новой вентиляционной трубы Чернобыльской АЭС

На рис. 12 показан пример КК элементов каркаса новой вентиляционной трубы Чернобыльской АЭС.

Обследования резервуаров различного назначения для хранения нефтепродуктов, жидкого аммиака, спиртов и др. жидкостей (рис. 13) требует применения разных методов НК.

Технический регламент по их обследованию включает визуальный контроль, измерение толщины листов стенки, днища и кровли, контроль герметичности днища, измерение отклонений стенки от вертикали, измерение проседания днища, а также оценку коррозионных повреждений, расчет внутренних механических

напряжений. Поэтому подготовка и выдача заключений в соответствии с требованиями «Правил технической эксплуатации резервуаров» является ответственной и длительной процедурой, за которой обычно следуют ремонтные работы.

Среди наиболее интересных практических применений методов НК за последнее время можно выделить следующие работы отдела:

- НК проникающими веществами для технического диагностирования резервуара РВС-200 на украинской антарктической станции «Академик Вернадский»;
- НК УЗК трубопроводов теплотрассы в Институте химии высокомолекулярных соединений;



Рис. 13. Контроль резервуаров

- техническая диагностика конструкции левой руки монумента «Родина-мать»;
- рентгентелевизионный контроль керамических пластин бронезилов;
- внедрение новых сцинтилляционных экранов для изготовления R-детекторов промышленной радиационной дефектоскопии;
- внедрение современных технологий НК на предприятиях Укрзалізниця.

Перспективные направления работ ИЭС им. Е.О. Патона в области НК.

1) Разработка средств цифровой радиографии с использованием твердотельных радиационных преобразователей, микроконтроллеров, компьютерной техники и средств автоматики.

2) Совершенствование УЗК с использованием цифровых методов обработки информации для воспроизведения реальных параметров внутреннего дефекта.

3) Разработка и внедрение сканирующих устройств локального намагничивания для контроля конструкций железнодорожного транспорта.

4) Разработка и внедрение новых технологий и нормативно-методических документов в области теплового контроля объектов длительной эксплуатации.

5) Объединение результатов различных видов диагностик магистральных трубопроводов за счет перехода от по-километровой к по-трубной системе их учета.

6) Совершенствование технического обслуживания агрегатов аэрокосмической техники на основе X-ray mini технологии.

7) Разработка технических средств и технологий визуально-измерительного контроля на основе лазеров, оптоэлектронных регистраторов.

8) Создание преобразователей и технологии для одностороннего R-просвечивания композитов, элементов авиационной техники.

Подготовка дефектоскопистов. При ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ работают Межотраслевой учебный центр, Центр сертификации и Аттестационный центр НК, которые готовят специалистов по НК сварных соединений и обследованию объектов промышленного и гражданского строительства с выдачей международных сертификатов в соответствии с национальным (ДСТУ EN ISO 9712), американским (ASNT SNT-TC-1A), европейским EN-473 стандартами, по стандарту УОНКТД (СТТУ УТНКТД 01-2013) по следующим методам НК: ультразвуковому (UT), радиационному (RT), магнитному (MT), капиллярному (PT), вихрековому (ET), визуальному (VT), контролю герметичности (LT), акустико-эмиссионному (AT), тепловому (TT) и вибродиагностическому (VA). По основным методам НК в ИЭС им. Е.О. Патона выпущены учебные пособия, издается бюллетень «НК-информ», журнал «Техническая диагностика и неразрушающий контроль».

Международное сотрудничество. Специалисты отдела № 4 ведут большую работу в области НК в сотрудничестве с Европейской федерацией по неразрушающему контролю (EFNDT), Международным комитетом по неразрушающему контролю (ICNDT), Международной академией неразрушающего контроля (IINDTA), Международным обществом по мониторингу технического состояния (ISCM), американским обществом по неразрушающему контролю (ASNT), а также национальными обществами неразрушающего контроля др. стран (Германия, Япония, Великобритания, Польша, Чехия, Болгария, Хорватия, Италия, США, Корея, Россия, Белоруссия, Молдова и др.), являются членами ТК-135 ISO.

В рамках 6-й Рамочной программы ЕС специалисты отдела № 4 совместно с организациями из Великобритании, Италии, Испании, Германии, Греции, Болгарии, Бельгии приняли участие в Европейском научном проекте «SHIP INSPECTOR», посвященном выявлению опасных трещин и коррозионных поражений в корпусах судов на основе использования новых технологий дальнего действия НЧ УЗК и ультразвуковых фазированных решеток.

Специалисты отдела № 4 в течение 2012-2016 гг. участвовали в выполнении Европейского научного проекта «INNOPIPES», посвященного развитию современной технологии дальнего действия УЗК для выявления коррозионных поражений трубопроводов и разработке новых композитных материалов для их ремонта (7-я рамочная программа ЕС). В проекте принимали участие организации из Латвии, Болгарии, Польши, Румынии, Украины, России, Республики Беларусь.

Руководитель отдела № 4 проф., д.т.н. Троицкий В.А. является членом Международной академии по НК, членом Американского общества по НК, почетным членом национальных обществ НК ряда европейских стран, членом редколлегий журналов «Техническая диагностика и неразрушающий контроль», «Методы и приборы контроля качества» (Украина), «Территория NDT» (Россия), «INSIGHT» (Великобритания).

Результаты научных исследований отдела опубликованы в ведущих научных журналах Англии, Германии, Японии, США, Польши, России, Беларуси и др., докладывались на международных конференциях в Праге (2012 г.), Германии (2016 г.).

Признанием заслуг ИЭС им. Е.О. Патона в области НК является регулярное присутствие специалистов из разных стран, желающих повысить свой уровень знаний в НК. В отделе № 4 проходили стажировку по методам неразрушающего контроля специалисты из Грузии, Армении, Молдовы, Казахстана, Узбекистана, Таджикистана, Польши, Словении, Ирака.

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

Fronius



TRANSSTEEL 2200 / 2700 / 3500C СЕРІЯ БАГАТОПРОЦЕСНИХ ДЖЕРЕЛ СТРУМУ MIG/MAG, TIG, MMA



/ ТОВ «ФРОНІУС УКРАЇНА»
/ тел./факс: +38 044 277-21-41(44)
/ sales.ukraine@fronius.com
/ www.fronius.ua

НАВКО- ТЕХ

Automatic machines and robots for arc welding



АВТОМАТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И РОБОТЫ ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ И НАПЛАВКИ



**УСТАНОВКИ ДЛЯ СВАРКИ
ПРЯМОЛИНЕЙНЫХ ШВОВ
УСТАНОВКИ ДЛЯ СВАРКИ
КОЛЬЦЕВЫХ ШВОВ
РОБОТОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ СВАРКИ
СВАРОЧНАЯ АППАРАТУРА**



Украина, Киев

Тел.: +38 044 456-40-20

Факс: +38 044 456-83-53

e-mail: info@navko-teh.kiev.ua

www.navko-teh.kiev.ua

Восстановление деталей металлургического оборудования с применением электродуговой металлизации

С.В. Крылов, канд. техн. наук, А.Н. Шалашный, НТЦ «Промавтосварка» (Мариуполь)

В процессе эксплуатации машин и механизмов происходит физический износ деталей, входящих в их состав. Этот процесс касается и оборудования цехов металлургических предприятий.

На наше предприятие НТЦ «Промавтосварка» обратились представители эксплуатационной службы «ЛПЦ 1700» ЧАО «ММК им. Ильича» с просьбой рассмотреть возможность восстановления геометрических размеров «Втулки нажимной», которая работает в гидроцилиндре подушки уравнивания рабочих валков черновой группы стана. Материал втулки – бронза марки Бр. АЖ9-4 ГОСТ 18175. Предоставленная для восстановления втулка имела износ по внутреннему диаметру 3 мм (по 1,5 мм на сторону), что превышает допустимые нормы, установленные эксплуатационной документацией.

Отработка технологии восстановления втулки с применением процесса электродуговой металлизации (ЭДМ) была проведена на опытных образцах, которые прошли металлографические исследования и прочностные испытания. Испытания показали достаточно высокий уровень адгезионной проч-



Рис. 1. Комплекс КЭМ-1



Рис. 2. Втулка нажимная

ности покрытия (до 30 МПа) и твердость наносимого слоя на уровне основного металла – 20-21 HRC.

Восстановление внутреннего диаметра втулки было выполнено с применением оборудования для электродуговой металлизации собственного производства – **комплекса КЭМ-1** (рис. 1).

Комплекс КЭМ-1 предназначен для нанесения антикоррозионных покрытий способом газотермического напыления согласно ГОСТ 9.304-87. Он позволяет производить работы по восстановлению изношенных поверхностей, нанесению защитных покрытий, декоративной отделке и т. д.

С помощью комплекса КЭМ-1, после предварительной механической обработки, на изношенную поверхность было нанесено методом газотермического напыления несколько слоев алюминиевой бронзы общей толщиной 2,0-2,5 мм. По окончании процесса металлизации восстановленная втулка (рис. 2) была передана Заказчику, и, после чистой механической обработки, была установлена в штатное оборудование для опытной эксплуатации.

При проведении регламентных работ после трех месяцев эксплуатации, восстановленная втулка была осмотрена техническими специалистами цеха. При ее осмотре было установлено, что внутренний диаметр втулки не претерпел изменений, что послужило основанием для принятия решения о продолжении ее эксплуатации еще и на следующий межрегламентный период. Объем стального проката по ЛПЦ-1700 за эти три месяца опытной эксплуатации составил около 80 000 тыс. тонн.

По предварительной оценке, масштабное применение технологии ЭДМ для восстановления аналогичных бронзовых деталей, работающих в различных машинах и механизмах металлургического производства, позволит сэкономить более 50 % финансовых средств, выделяемых на приобретение новых деталей.

Публикуется на правах рекламы

● # 1853



НТЦ «Промавтосварка», Мариуполь
т./ф.: (0629) 37-97-31; (044) 222-90-26,
м. (067) 627-41-51, (099) 743-18-43
e-mail: 379731@promavtosvarka.com.ua
www.promavtosvarka.com.ua

Обладнання для термічної обробки з Ессена



«Ваш партнер для проведення термообробки»



ВЕЛДОТЕРМ - УКРАЇНА
Філіал Weldotherm® GmbH Essen, Німеччина

Україна, 77311, Івано-Франківськ, м. Калуш-11, а/с 18
Т./ф. (03472) 6-03-30.

E-mail: weldotherm@ukr.net, www.weldotherm.if.ua



MasterTig

Далеко за рамками привычного



Очередная инновация от KEMPPИ теперь и в TIG сварке. Новый флагман на рынке сварочных аппаратов TIG для переменного и постоянного тока **MasterTig** задает новые стандарты качества сварки, практичности и энергоэффективности. Среди этого модульного семейства можно найти модели с силой тока до 300 А (в скором времени и до 500А), в которых отличная эргономика и удобство сочетаются с расширенными и далеко не ординарными возможностями сварки. **MasterTig** – это передовая высококачественная система для TIG сварки с непревзойденным удобством использования благодаря различным панелям и пультам дистанционного управления. Усовершенствованный **MasterTig** характеризуется новыми оптимизированными сварочными процессами для различных материалов и областей применения, а также синергетическими настройками.

Gamma GTH3

Безопасность и комфорт вашей работы



Маски **Gamma GTH3** с активным светофильтром высокого класса (1-1-1) и сварочные респираторы **Gamma GTH3** сочетают комфорт с защитой органов дыхания высочайшего уровня. Новая технология Complex позволяет создавать для различных видов деятельности инновационные и практичные решения, такие как светодиодное рабочее освещение BriteSafe, цветные защитные стекла LiFE+, быстро заряжаемые аккумуляторы и защитные щитки ClickLenz. Выберите одну из пяти моделей **Gamma GTH3**. Все они созданы на основе последних инноваций для обеспечения максимального комфорта и удобства. **Gamma** – это надежная и практичная защита для сварщиков.

ООО «САММИТ»

49089, г. Днепр, ул. Суворова, 35

Тел./факс: (056) 767-15-77, (067) 561-32-24

E-mail: dnepr@kemppi.in.ua, office@sammit.dp.ua

www.sammit.dp.ua, www.kemppi.in.ua



ЧПКП

«СЕВИД»



основано в 1997 г.



OMAX WATERJETS

Оборудование для гидроабразивной резки

Украина, 73025, г. Херсон, ул. Корабельный спуск, 2
тел./факс: (0552) 32-84-31, 32-84-35
e-mail: info@sevid.com.ua
www.sevid.com.ua

ЧПКП «СЕВИД» — официальный представитель концерна ESAB в Украине с 2002 г.,



официальный представитель концерна «ПЛЮМОН» - промышленные вытяжные пылесосы и системы рециркуляции воздуха и ООО «Сумы-Электрод»



- Качественное гарантийное и постгарантийное обслуживание
- Оптимальный склад
- Рекомендованные цены
- Принцип лояльности
- Доставка транспортом продавца (от 1 т)

МТІ МІГАТЕХ індустрія

ТЕХНОЛОГІЇ ЩО ЗБЕРІГАЮТЬ ЕНЕРГІЮ

Зварювальні колони, обертачі, лінії, комплекси

Нестандартне обладнання



044 360-2521 044 277-9339 www.migateh.com.ua



«ТЕХНОЛАЗЕР-ЗВАРЮВАННЯ»

- **Електрозварочне обладнання і запчасті.**
- **Газозварочне обладнання.**
- **Сварочні матеріали.**
- **Ремонт і модернізація зварочного обладнання.**
- **Авторизований сервісний центр ESAB.**



Україна, 54055, г. Николаев, ул. Садовая, 50/3
тел./факс: (0512) 50-10-01, 57-21-27
e-mail: tehnolazer-zv@ukr.net
www.tehnolazer-zv.prom.ua



Сварочные электроды ET-02 с рутил-целлюлозным покрытием

Тел.: (044) 200 80 56 (многокан.),
м. (050) 352 58 67, (050) 310 58 63
e-mail: sales@et.ua, www.welderbest.com.ua

- ✓ легкий поджиг
- ✓ устойчивое горение дуги
- ✓ легкий повторный поджиг
- ✓ сварка во всех пространственных положениях!!!
- ✓ идеальный шов
- ✓ легкое отделение шлака
- ✓ высокий коэффициент наплавки
- ✓ надежное сварное соединение!!!

ВАШ ЛУЧШИЙ ВЫБОР!

Не требуют от сварщика высокой квалификации. Электроды производят качественную сварку даже от источников питания с пониженным напряжением холостого хода. Не требуют тщательной подготовки свариваемых поверхностей. Электрод предназначен для ручной дуговой сварки на постоянном или переменном токе рядовых и ответственных конструкций из низкоуглеродистых марок сталей.

ПРОИЗВОДИТЕЛЬ

«Сумы-электрод» — ведущее предприятие Украины по производству сварочных электродов специального назначения.

ХVІІІ МІЖНАРОДНИЙ ПРОМИСЛОВИЙ ФОРУМ – 2019

МІЖНАРОДНІ СПЕЦІАЛІЗОВАНІ ВИСТАВКИ



МЕТАЛО-
ОБРОБКА



УКРЗВАРЮВАННЯ



УКРВТОР
TECH



УКРПРОМ
АВТОМАТИЗАЦІЯ



БЕЗПЕКА
ВИРОБНИЦТВА



ГІДРАВЛІКА
ПНЕВМАТИКА



ПІДШИПНИКИ



УКРЛИТВО



ЗРАЗКИ, СТАНДАРТИ
ЕТАЛОНИ, ПРИЛАДИ



ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНЕ
СКЛАДСЬКЕ ОБЛАДНАННЯ

ufi
Approved
Event



ОРГАНІЗАТОР:

Міжнародний виставковий центр

Генеральний
інформаційний партнер:

ОБОРУДОВАННЯ
ІНЖЕНЕРИ

Ексклюзивний
медіа партнер:

ЖУРНАЛ
ГОЛОВНОГО
ІНЖЕНЕРА

Технічний
партнер:

RentMedia

19-22
ЛИСТОПАДА



+38 044 201-11-65, 201-11-56, 201-11-58
e-mail: alexk@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua, www.мвц.укр
www.tech-expo.com.ua

МІЖНАРОДНИЙ
ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР
Україна, Київ, Броварський пр-т, 15
М "Лівобережна"

Устройство для быстрого и точного визуального контроля протяженных металлоконструкций

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

В данной статье предлагается применять для визуально-измерительного контроля (ВИК) сварных швов протяженных металлоконструкций видеокамеры, лазерные измерители ширины и формы шва, различные электронные средства записи с цифровой обработкой изображения, беспроводной передачи информации для принятия решений по проблемным зонам.

Визуально-измерительный контроль (ВИК) присутствует всем видам неразрушающего контроля (НК), всем технологическим операциям. После этого формируются требования к подготовленным работам, оборудованию, решаются организационные вопросы выполнения других методов НК. ВИК является оперативным методом НК, при помощи простого, на первый взгляд, внешнего осмотра контролируют все сварные металлические изделия, а также др. металлические изделия, которые находятся в зонах повышенных нагрузок независимо от применения других видов контроля. Для достоверного визуального метода контроля металлических изделий, сварных конструкций, хребтовых балок и др. объектов, необходимо иметь шаблоны, лупы, и др. измерительные средства, при помощи которых находят и измеряют трещины, размеры швов и т. п.

Наличие грубых поверхностных дефектов может указать на характер и место возможного разрушения конструкции. Учитывая, что различные дефекты имеют определенные доминирующие причины их образования, по результатам визуально-измерительного контроля можно ориентировочно оценить качество и стабильность технологического процесса изготовления или ремонта конструкций.

По внешнему виду сварного шва можно судить о внутреннем качестве шва. Превышение усиления сварного шва характерно для неполного проплавления кромок. Подрез на одной стороне сварного шва и наплыв на другой указывают на возможность непроваров по кромке со стороны напльва. При наличии поверхностных пор и грубой чешуйчатости шва, как правило, имеются и внутренние поры.

Преимуществом визуального контроля сварных соединений является простота использования данного метода, достоверность полученной информации, а также легкая повторная проверка при необходимости. К главному же недостатку этого метода диагностики нельзя не отнести высокую вероятность человеческого фактора и общую субъектив-

ность исследования. Для устранения этого недостатка разработан подвижный опто-электронный прибор, записывающий информацию ВИК.

С помощью применения предложенного устройства упрощается и ускоряется визуальный контроль. Данное устройство легко перемещается вдоль сварного шва. Он комплектуется видеокамерой, подсветкой, лазерными указателями и программным обеспечением (рис. 1). Конструкция платформы прибора может изготавливаться с учетом геометрических особенностей объекта. Прибор позволяет записывать с комментариями всю информацию о поверхности сварного шва с дальнейшим архивированием и передачей этой информации по Интернету.

Подвижной платформой для этого прибора является намагничивающее устройство типа ТВА, конструктивные схемы которого показаны на рис. 2.

Устройство для визуального контроля может быть оборудовано монитором, в качестве которого на рис. 1 использован смартфон.

Представленный на рис. 1 прибор визуального контроля имеет USB Веб-камеру и смартфон (планшет) в качестве монитора для наблюдения, отображения, записи и для передачи информации по Интернету, если это необходимо. Устройство (рис. 1) имеет камеру эндоскопа и кабель (5 м) для разделения функций сканирования и наблюдения, т. е. наблюдение труднодоступных мест можно вести, находясь на расстоянии до 5 м. На сегодня процедуры визуальной диагностики связаны с монотонными однотипными действиями, что приводит к пропускам дефектов. Достоверность визуального кон-



Рис. 1. Внешний вид предложенного устройства визуального контроля с двумя лазерными указателями, с подсветкой околошовной зоны и USB Веб-камерой

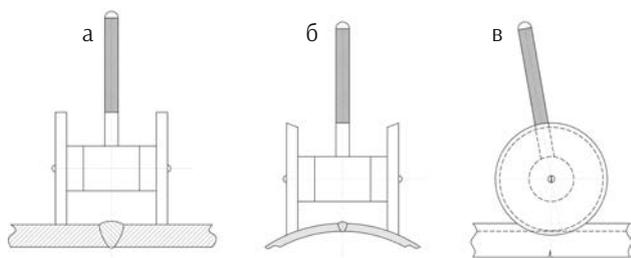


Рис. 2. Конструктивные схемы намагничивающего устройства TVA, на которых могут размещаться опто-электронные средства визуального контроля для плоских (а) и круглых объектов (б, в)

троля в значительной степени зависит от человеческого фактора – внимательности, утомляемости, а также зависимости, заинтересованности, т.е. нет объективности. Применение данного устройства поможет классифицировать швы по стандартам ДСТУ EN ISO 6520-1:2015 и ДСТУ EN ISO 17637:2017.

Совершенствование качества визуального контроля увеличивает его точность, производительность и простоту отчетности, что очень важно для ответственных сварных металлоконструкций. ВИК мостов, металлургических объектов, кораблей, магистральных трубопроводов, резервуаров нуждается в архивируемых результатах для анализа и сравнения с предыдущими результатами контроля.

На рис. 3 в качестве монитора и регистратора показан смартфон, который удерживается на приборе с помощью магнитной пластины, вмонтированной в его чехол. На рис. 3 обозначено: 1 а, 1 б – свето-лазерная подсветка ширины сварного шва околошовной зоны; 2 а, 2 б, 2 в – регулировочные винты для регулировки ширины и высоты свето-лазерной подсветки; 3 – видеочасть с подсветкой, расположение которой регулируется по высоте; 4 – тумблер включения свето-лазерной подсветки; 5 – разъем для зарядки аккумулятора; 6 – магнитный держатель для смартфона (планшета) (7); 8 – разъем USB/microUSB с включаемой подсветкой; 9 – ручка-контейнер, внутри которой находятся аккумуляторы.

Визуальный контроль применяется в самом начале, при рождении металлоизделия, по завершению его изготовления и при эксплуатации металлокон-

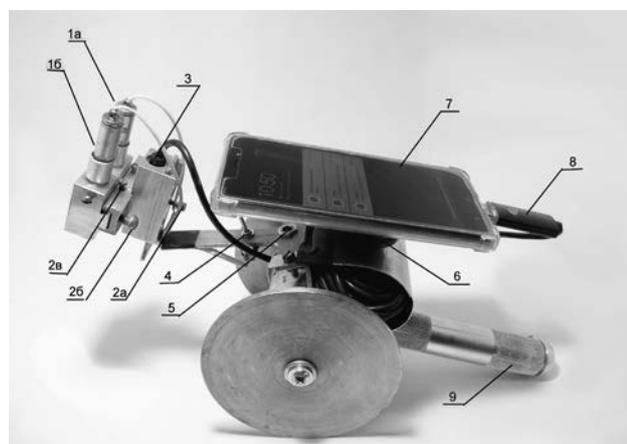


Рис. 3. Устройство для визуального контроля ВИК/ТВА-1

струкций. Поэтому, создание механизированных точных средств ВИК включает в себя также магнитопорошковую диагностику, которая является актуальной задачей для всех ответственных металлоизделий. В этом случае магнитная платформа может быть использована как намагничивающее устройство.

Работа с устройством: перед работой необходимо зарядить устройство через разъем (5), а также необходимо поддерживать в заряженном состоянии смартфон (монитор). Одной зарядки хватает для обеспечения непрерывной работы устройства на протяжении 6-8 ч. Предварительно включается свето-лазерная подсветка (1 а, 1 б) и программа на смартфоне AN 97; в Веб-камере имеется внутренняя подсветка.

Запись фото и видео контрольно-диагностического процесса происходит с помощью стандартной программы смартфона (планшета). При выполнении сбора данных, камера находится на расстоянии от поверхности сварного шва около 5-8 см, при этом изображение шва имеет двукратное увеличение. Удовлетворительная видео запись поверхности объекта происходит при скорости не более 3 м/мин с лазерными измерителями ширины сварного шва.

Освещенность поверхности должно быть не менее 500 люкс при визуальном контроле, и не менее 1000 люкс при магнитопорошковом контроле, который в случае необходимости может быть выполнен с помощью намагничивающего устройства TVA, на основе которого создан этот прибор.

Данный прибор имеет камеру высокого разрешения с комбинированным разъемом USB/microUSB, поэтому ему не требуются переходники.

Устройство ВИК/ТВА-1 имеет следующие характеристики:

- скорость записи ВИК информации 3 м/мин;
- матрица камеры - CMOS 2,0 Мп;
- разрешение (видео или фото): 1280x960, 1280x720, 640x480;
- допустимая скорость видеопотока: до 30 кадров/сек;
- LED-подсветка (управление подсветкой с помощью кнопки);



Рис. 4. Разработанное устройство в процессе записи на сварном шве обечайки Ø 1020 мм газовой трубы. Фиксируются неравномерности сварного шва, подрезы и поры, выходящие на поверхность

- наружный Ø головки камеры 8 мм, провода – 4 мм;
- фокусное расстояние: от 25 мм;
- угол обзора: 67 градусов;
- интерфейс: USB/microUSB;
- поддержка системы: Android 4.2 и выше /MacOS / Windows XP или выше;
- температура рабочая: от –10 до +60 °С
- длина кабеля для автономной работы с видеокамерой: 5 м.

Для работы камеры на Android-устройстве, необходимо, чтобы устройство поддерживало OTG и UVC (подключение внешней камеры) и отвечало требованиям изготовителя.

Таким образом, теперь с помощью устройства (рис. 1–4), ВИК из сугубо субъективного процесса, зависящего от состояния и добросовестности оператора, превращается в объективный вид контроля качества, ценность результатов которого со временем растут, поскольку позволяют сравнивать их с новыми результатами ВИК. Электронные записи изображений сварных швов, полученные с помощью данного прибора, могут обрабатываться с помощью цифровых программ анализа изображений, которые позволяют на большом экране компьютера увеличить масштаб изучаемой зоны, давать информативную оценку дефектам по ДСТУ EN ISO 6520-1:2015.

Существует также возможность комплектации прибора другими измерительными средствами, которые позволяют оценивать, например, напряжённое состояние локальных зон.

Для освоения оптико-электронных возможностей визуального контроля, всем организациям предоставляется бесплатно, для опытно-промышленных испытаний, устройство ВИК/ТВА.

На основании изложенного выше можно сделать следующие выводы.

От совершенства ВИК в значительной мере зависит продолжительность работоспособности долго эксплуатируемых ответственных металлоконструкций, правильность определения потенциально опасных зон для дальнейших оценок с помощью ультразвуковых, магнитных, радиационных методов НК.

Подвижной базой для расположения видеокамер, лазерных измерителей сварного шва, свето-лазерной подсветки, одометров, мониторов, уровнемеров и др. технических средств для визуально-измерительной диагностики, могут быть использованы магнитные платформы, легко перемещаемые по поверхности металлоконструкций, например, типа ТВА, которые хорошо зарекомендовали себя при магнитопорошковом контроле трубопроводных магистралей, хребтовых балок железнодорожных вагонов, металлоконструкций и др. протяженных объектов.

Такое устройство для визуального и магнитопорошкового НК изготавливается в ИЭС им. Е.О. Патона с учетом пожеланий заказчика, по согласованным техническим заданиям на прибор.

Предлагается три варианта комплектации изделия ВИК/ТВА:

- видеокамера эндоскопа, укрепленная на подвижном НУ и кабель 5 м с USB разъемом для подключения к компьютеру;
- комплектация по п. 1, дополненная двумя лазерными указателями для оценки ширины сварного шва и др. элементов (дефектов), конструкция с подсветкой околошовных зон с двух сторон от шва;
- полная комплектация (рис. 3) со смартфоном и т. п.

В первом варианте исполнения ВИК/ТВА съемная эндоскопическая камера позволяет осматривать закрытые полости, включая баки, цистерны и др. объекты. Во втором варианте обеспечивается измерение ширины шва округлых элементов конструкции с помощью двух параллельных лазерных лучей. При этом обеспечивается подсветка наиболее опасных околошовных зон.

Литература:

1. Патон Б.Е., Троицкий В.А. Основные направления работ ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ по совершенствованию неразрушающего контроля сварных соединений. // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2013. - № 4. – С. 13-29.
2. Troitskiy V.A. Devices for the movable local multidirection magnetization of metal structures in magnetic particle testing. // Materials Evaluation. – 2015. – V. 73. - N. 6. - P. 676-683.
3. Troitskiy V.A. Multidirection magnetization of extended metal structures. // The Japanese Society journal for NDT. – 2015. – V. 64. – N. 2. – P. 79-85.
4. Троицкий В.А. Подвижное намагничивающее устройство для дефектоскопии протяженных конструкций. Украина: Пат. 82447 от 12.08.2013.
5. Троицкий В.А. Визуальный измерительный контроль деталей машин, металлоконструкций, сварных соединений. – Киев: Феникс, 2009. – с.
6. ДСТУ EN ISO 17637:2017: Неразрушающий контроль сварных швов. Визуальный контроль соединений, выполненных сваркой плавлением (EN ISO 17637:2016, IDT; ISO 17637:2016, IDT).
7. ДСТУ EN ISO 6520-1:2015: Сварка и родственные процессы. Классификация геометрических дефектов в металлических материалах. Ч. 1. Сварка плавлением (EN ISO 6520-1:2007, IDT; ISO 6520-1:2007, IDT).

●# 1854

Развитие теории горения при выполнении сварочных газопламенных процессов

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

Термическая резка и правка конструкций, в т. ч. и газопламенная обработка металлов, создавались в полном соответствии с развитием человеческой цивилизации. Люди во многом обязаны огню, начиная с раннего периода истории человечества, с ним связаны многие мифы (о Прометее, похитившем огонь у богов и отдавшем его людям и др.) и легенды. Археологи установили, что люди начали пользоваться огнем 60 000 лет назад, а научились получать огонь около 30 000 лет назад.

Теория горения газокислородного пламени имела длительный путь развития. И здесь огромную роль сыграли выдающиеся философы, химики и физики [1-4]. Так, например, Майкл Фарадей (1791-1867 гг.) по результатам своих исследований опубликовал книгу «История свечи», представляющую собой цикл лекций, переведенную на многие языки еще при жизни великого ученого.

В дальнейшем ученые и инженеры Европы и США заложили фундамент науки о горении [5], которая в наши дни получила дальнейшее развитие.

Огонь был первым источником энергии первобытного человека. По мере эволюции человек познавал процессы горения, находил и применял новые виды горючего, открывал технологические процессы, протекающие под воздействием теплоты горения, необходимые ему для удовлетворения своих нужд – приготовления пищи, выплавке металлов и многое др. Поэтому огонь привлекал внимание ученых, начиная с глубокой древности. Так, еще в V веке до нашей эры (н. э.) Эмпедокл – древнегреческий философ, государственный деятель, врач, жрец [6] создал свое учение, основу которого составляет утверждение, что существуют 4 начала всех вещей – огонь, воздух, вода и земля.

Эмпедокл внес большой вклад в развитие естественных наук. Ему принадлежит наблюдение факта центробежной силы: если вращать чашу с водой, привязанную на конце веревки, вода не выльется. Он писал, что свету требуется определенное время для своего распространения, т. е. скорость света является очень большой, но все же конечной величиной; признавал закон сохранения энергии, трактовал воздух, как особую субстанцию; говорил, что Луна светит отраженным светом. Также замечательной была идея Эмпедокла о выживаемости биологических видов. Он полагал, как врач, что

знать врачебное искусство невозможно тому, кто предварительно не исследовал, что такое человек.

В IV веке до н. э. древнегреческий философ Аристотель [7] – учитель и воспитатель Александра Македонского, признавал наличие четырех первоначальных «стихий» (начала Эмпедокла), образуемых четырьмя возможными сочетаниями двух главных материальных противоположностей: холода – тепла и сухости – влажности. К теплой и сухой стихии отнесен огонь; к теплой и влажной стихии – воздух; к холодной и влажной стихии – вода; к холодной и сухой стихии – земля. По мнению Аристотеля, огню и воздуху просто изначально свойственно стремление вверх, а воде и земле – вниз. Путем этого своего разнонаправленного движения стихии смешиваются, порождая все многообразие предметов и мира.

Воззрения греческих философов сменила алхимия, зародившаяся еще до н. э. Ее представители считали, что нагрев благородных металлов и превращение их в золото осуществляется с помощью эфира (происходящего от латинского слова *aether*, которое, в свою очередь, произошло от древнегреческого слова αἰθήρ – «верхний слой воздуха», т. е. горючего вещества). В 1260 г. английский естествоиспытатель, философ, монах-францисканец Р. Бэкон (1214-1292 гг.) описал прекращение горения в закрытом сосуде. В 1380 г. Исаак Голландский получил хлорид кальция нагреванием нашатыря с известью. Монах-алхимик Василий Валентин в XV веке получил соляную кислоту нагреванием поваренной соли с купоросным маслом.

Тем не менее, именно алхимия дала толчок к развитию современной физикохимии, и не только ей, но и медицине, психологии и др. Арабский алхимик Джабир ибн-Хайян (Гебер) и его ученики изобрели и описали процессы кристаллизации, фильтрования, получения серной, азотной, уксусной кислот и «царской водки», приготовили нитрат серебра, сулему, нашатырь и др.

Персидский ученый-энциклопедист, врач, алхимик и философ Абу Бакр Мухаммад ибн Закария ар-Рази (ок. 865 - 925 гг.) описал различные химические процессы – обжиг металлов, возгонку и др. Многие его сочинения были переведены на латинский язык и получили широкую известность и признание среди западноевропейских врачей и алхимиков.

Однако выдающиеся личности наблюдали явления, которые не могли объяснить с позиций теории горения, принятой в классической теории алхимии. Великий Леонардо да Винчи (1452-1519 гг.) при сжигании свечи под опрокинутым над водой сосудом, полагал, что при горении расходуется часть воздуха. Теофраст Парацельс (1493-1541 гг.) наблюдал, что для горения нужен воздух. Химики XVI-XVIII веков достаточно часто упоминали о выделении газа при воздействии кислот на металлы (в 1745 г. М.В. Ломоносов наблюдал выделение водорода – «горючего пара», при действии серной кислоты на железные опилки).

Долгое время представления об огне и горении оставались столь же наивными, как и у древних греков. Тем не менее, в 1732 г. нидерландский ботаник и химик, один из знаменитейших врачей своего времени Г. Бургава (1668-1738 гг.) в учебнике «Основания химии» систематизировал химические знания того времени и выступил с резкой критикой алхимических воззрений.

Только к концу XVII века отчетливо стала проявляться потребность свести многообразные изменения веществ, которые происходят в процессе горения, к одному общему принципу.

Начало научных разработок и исследования процессов горения газокислородного пламени следует отнести к 1660 г. к экспериментам представителей оксфордской школы (в те времена – ведущего мирового центра) во главе с Робертом Бойлем (1627-1691 гг.).

В 1723 г. немецкий врач и химик Г.Э. Шталь (1659-1734 гг.) предложил теорию о флогистоне, как о материальном начале горючести. Согласно этой теории в каждом веществе был невидимый элемент «флогистон» (термин происходит от греческого слова *φλογιστός* – горючий, воспламеняемый) – гипотетической «сверхтонкой материи» или «огненной субстанции», якобы наполняющей все горючие вещества и высвобождающейся из них при горении и благодаря которому происходило горение (окисление).

Первое упоминание об участии флогистона в процессах горения металлов находится в работах немецкого химика и врача И.И. Бехера (1635-1682 гг.), который наблюдал в 1669 г. выделение горючего газа этилена при действии серной кислоты на винный спирт. Шталь еще в 1702 г. считал, что все горючие тела, как органические, так и металлы, претерпевают под влиянием огня одно и то же превращение, обусловленное присутствием в них одной общей составной части – «флогистона».

Шталь также предполагал, что при нагревании сложных тел флогистон улетучивается и, соединяясь с воздухом, воспламеняется. Однако этому противоречили факты об увеличении массы металлов при их нагревании на воздухе. Последователи флогистона объясняли это тем, что флогистон имеет отрицательный вес, поэтому при прокаливании ме-

таллов в воздухе, когда удаляется флогистон, остаток обжигаемого металла становится более тяжелым. Считалось, что флогистон покидает горящее тело и поглощается воздухом. Остаток воздуха, оставленного после горения, упоминался как «phlogisticated air» (флогистированный воздух).

Несмотря на все отмечаемые и др. противоречия, теория флогистона просуществовала более 100 лет. Гипотеза флогистона позволила обобщить множество явлений науки. Учение о флогистоне имело громадное значение в истории развития химии, это было заметным шагом на пути становления химии как науки.

В своих работах М.В. Ломоносов (1711-1765 гг.) одним из первых показал, что горение – это реакция химического взаимодействия вещества с кислородом, в частности, с кислородом воздуха. После опытов, связанных с процессом горения, им в 1760 г. был сформулирован закон сохранения вещества, который стал основой современной химии.

Теория флогистона была окончательно опровергнута благодаря работам Антуана Лавуазье, выполненных в 1772-1777 гг. и посвященных выяснению роли кислорода в процессах горения и дыхания при сжигании различных веществ. В частности, он установил, что при горении вес золы превышал первоначальный вес элемента, что дало Лавуазье право утверждать, что при горении происходит химическая реакция вещества (окисление).

В этих работах были сформулированы основы кислородной теории горения. Хотя доказательства Лавуазье были абсолютно понятны, его идеи встретили упорное сопротивление среди некоторых ученых (Р. Кирван, сэр Г. Кавендиш, Дж. Пристли и др.).

В 1818 г. великий французский химик и физик, ученик К. Бертолле, Ж. Гей-Люссак (1778-1850 гг.) и Л. Тенар (1777-1857 гг.) создали прибор для сжигания органических веществ с целью их анализа, что позволило установить закономерности теплового расширения газов.

Немецкий химик – экспериментатор Р.В. Бунзен (1811-1899 гг.) создал теоретические основы газового анализа и в 1857 г. разработал лабораторную воздушно-газовую горелку.

При производстве горючих газов происходит либо повышение (при неполном или полном их сгорании) либо понижение температуры (при производстве карбида кальция). Значение этих факторов становится ясным для процессов газопламенной обработки после того, как Бертолле (Бертло) в 1879 г. ввел термины «экзотермическая» и «эндотермическая» реакции.

Понятия «теплоемкость» и «температура» широко употребляются при описании технологических процессов термической резки и правки [8, 9], оба этих термина изучает раздел физики – термодинамика (этот термин происходит от греческих слов *θερμη* – «тепло», *δύναμις* – «сила»), со-

временные основы которой заложил австрийский ученый Р. Клаузиус (1822-1888 гг.). Под температурой {от латинского слова *temperatura* – смешение (холодного и горячего)}, понимается физическая величина, характеризующая термодинамическую систему и количественно выражающая понятие о различной степени нагретости.

Считается, что первый прибор для наблюдения за измерениями температуры был изобретен примерно в 1597 г. итальянским ученым Г. Галилеем. Назывался он термоскоп. В 17-м веке термоскоп был усовершенствован флорентийскими учеными за счет свойства спирта расширяться при нагревании. В 1714 г. голландский ученый Г. Фаренгейт изготовил ртутный термометр (шкала которого популярна в Англии и, особенно, в США). В 1730 г. французский ученый Р.А. Реомюр (1683-1757 гг.) описал изобретенный им спиртовой термометр. В 1742 г. шведский ученый А. Цельсий создал свою шкалу (за 0 градусов он принял температуру кипения воды, а за 100 градусов принял температуру таяния льда). В 1750 г. тоже шведский ученый М. Штремер «перевернул» эту шкалу, и она приняла современный вид. Однако наименование «градус Цельсия» осталось.

Понятие абсолютной температуры было введено У. Томсоном (лордом Кельвином, 1824-1907 гг.), в которой начало отсчета ведется от абсолютного нуля. Единицей абсолютной температуры является кельвин (К), равный 273,15 °С (по шкале Штремера) и 459,67 °F (по шкале Фаренгейта).

С точки зрения классической термодинамики процессы термической резки и правки представляют последовательную смену перехода неравновесной системы (период нагрева основного металла) в равновесную (процесс непосредственной резки) [8, 9].

Химические реакции (получение горючих газов, состав газового пламени и др.) и фазовые переходы (в зоне термического влияния при нагреве основного металла) также входят в предмет изучения классической термодинамики. Однако изучение термодинамических систем, в которых существенную роль играют химические превращения, составляет предмет химической термодинамики, а техническими приложениями занимается теплотехника. В качестве примера можно привести следующий факт. В 1889 г. шведский инженер К.Г. П. де Лаваль (1845-1913 гг.) получает в Англии патент на расширяющееся сопло, которое в последствии стало применяться в газорезательной аппаратуре вместо суживающегося сопла [9].

В термодинамике термин «теплоемкость» ввел У. Томсон в 1854 г. Это понятие обязано тому, что французские физики П.Л. Дюлонг (1785-1838 гг.) и А.Т. Пти (1741-1820 гг.) определили удельные теплоемкости большого числа тел. Метод измерения удельной теплоемкости, основанный на таянии льда, был применен в совместной работе фран-

цузских физиков А. Лавуазье и П.С. Лапласа. Сведения о ней приведены в исследовании, опубликованном в 1784 г. в «Мемуарах Парижской академии наук». Лавуазье и Лаплас сконструировали прибор, названный ими калориметром (это название до сих пор осталось в науке). Они открыли, что удельная теплоемкость тела не постоянна, а зависит от температуры, которая, сама по себе, играет существенную роль в химии, биологии и др. разделах науки.

При газопламенной обработке нагрев изделий производится до высоких температур и при охлаждении тел, подвергаемым различным технологическим процессам, они могут излучать энергию в виде электромагнитных волн различной длины. На атомарном уровне излучение становится следствием испускания фотонов возбужденными атомами. Закон, описывающий зависимость энергии теплового излучения от температуры, был получен на основе анализа экспериментальных данных австрийским физиком Й. Стефаном (1835-1893 гг.) и теоретически обоснован его учеником Л. Больцманом (1844-1906 гг.).

При термической правке искажения формы заготовки или сварной конструкции температуру нагрева тела возможно определить по цветам каления, изменения их цвета при различных температурах наблюдал Д.К. Чернов в середине XIX в.

Продолжение в след. номерах

Литература

1. Фигуровский Н.А. Очерк общей истории химии. От древнейших времен до начала XIX века. – М.: Наука, 1969. – С. 414.
2. Биографии великих химиков. Перевод с нем. под ред. Быкова Г.В. – М.: Мир, 1981. – 320 с.
3. Волков В.А., Вонский Е.В., Кузнецова Г.И. Выдающиеся химики мира / М.: Высшая школа, 1991. – 656 с.
4. Кудрявцев П.С. Курс истории физики / М.: Просвещение, 1982. – 448 с.
5. Льюис Б., Эльбе Г. Горение, пламя и взрывы в газах. Пер. с нем. / М.: Мир, 1968. – 592 с.
6. Асмус В.Ф. Эмпедокл / Античная философия. – 2-е изд. – М.: Высшая школа, 1976. – С. 58-73.
7. Аристотель. Большая Советская Энциклопедия. 3-е изд. // гл. ред. А.М. Прохоров. – М.: Советская Энциклопедия, 1970. – Т. 2. – С. 195-196.
8. Рыкалин Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке / М.: Машгиз. 1951. – 296 с.
9. Полевой Г.В., Сухинин Г.К. Газопламенная обработка металлов / М.: Машиностроение, 2005. – 333 с.

● # 1855

Наплавление тонкостенных цилиндрических оболочек аддитивным методом

В.А. Костин, д.т.н., **Г.М. Григоренко**, акад. НАНУ, ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ (Киев)

В статье представлены результаты моделирования температурных полей, напряжений и деформаций при формировании аддитивной многослойной конструкции из алюминиевого сплава 1561, низколегированной конструкционной стали марки 09Г2С и титанового сплава марки Grade 2. На основании экспериментальных результатов, полученных ранее в ИЭС им. Е.О. Патона при нанесении аддитивных наплавов из данных материалов, было проведено компьютерное моделирование для улучшения технологии проведения аддитивного процесса. В ходе расчетов было проанализировано влияние алгоритма последовательности нанесения аддитивных слоев - наплавление цилиндрической оболочки по кольцу или по спирали - на распределение температур в наплавке и ее устойчивость к внешним нагрузкам. Установлено, что при формировании цилиндрических оболочек аддитивным методом целесообразно использовать технологию наплавления по спирали и применять менее теплопроводные конструкционные материалы – конструкционные стали и титановые сплавы.

Аддитивные технологии – новый высокоэффективный металлургический метод создания конструкций в современном промышленном производстве.

Аддитивные технологии или технологии послойного нанесения материала путем наплавления, напыления или синтеза, сегодня являются наиболее динамично развивающимися направлением «цифрового» производства.

В современном строительстве, авиационной и космической технике, а также в ряде др. областей промышленного производства большое значение имеет использование тонкостенных оболочек из различных материалов. Такие оболочки могут использоваться как корпуса ракетных двигателей твердого топлива, строительные куполообразные сооружения, резервуары для хранения активных и криогенных жидкостей, т. е. как конструкции, работающие при высоких внутренних давлениях при осесимметричной внешней нагрузке.

Использование тонкостенных оболочек позволяет значительно снизить вес конструкции при сохранении максимального объема, обеспечить необходимую прочность и жесткость конструкции, позволяет использовать самые разнообразные слож-

ные формы при проектировании конструкций различных типов.

Такие оболочки традиционно получают методом инструментальной или магнито-импульсной штамповки, электрогидравлической штамповкой или штамповкой взрывом, ротационной вытяжки, изгиба тонколистового проката и последующего соединения его краев сваркой.

В случае использования оболочек переменной толщины возникает проблема удаления излишков материала. Это достигается путем механической обработки или химического травления, что значительно увеличивает продолжительность процесса и стоимость производства. Механические дефекты, возникающие в ходе этих операций, делают его непригодным для восстановления путем ремонта.

Интерес к изучению тонкостенных конструкций обусловлен не только появлением новых материалов и сплавов, развитием компьютерных технологий, но и возможностью использования новых методов получения деталей и их компонентов с помощью аддитивных технологий.

В настоящее время многие мировые компании начали использовать аддитивную технологию для 3D-печати при изготовлении своей продукции. В начале 2018 г. известная американская аэрокосмическая корпорация Lockheed Martin представила первый напечатанный на 3D-принтере бак для ракетного топлива из титанового сплава (рис. 1).

Выбор титана был обусловлен его высокой удельной прочностью, термостойкостью и коррозионной стойкостью. Новый способ печати от Lockheed Martin позволяет в значительной степени (до 87 %) экономить на производстве этих баков.

Цилиндрические топливные баки – не единственное изделие Lockheed Martin, напечатанное на 3D-принтере. Компания уже использовала эту технологию для создания спутниковой системы связи и компонентов для межпланетной станции NASA Juno. Компания планирует также изготовить внешнюю оболочку для космического корабля «Орион» с использованием технологии 3D-печати.

Аддитивные технологии – это новый высокоэффективный метод создания деталей и конструкций, основанный на добавлении небольших порций материала. Изделия создаются путем плавления металлического порошка, сплошной проволоки



Рис. 1. Бак ракетного топлива (а) и электронно-лучевая камера для 3D-печати (б)

или порошковой проволоки концентрированными источниками нагрева.

Выбор материалов для использования их в аддитивных процессах достаточно широк. Материалы, которые используются в аддитивных процессах, представлены на рис. 2. Для процессов, использующих порошки, это: нержавеющие стали (ст. 1.2083, 1.2709, 1.4540), никелевые сплавы (Inconel 625, Inconel 718, Hastelloy X), титановые сплавы (Ti6Al4V, TiAl6Nb7), силумины (AlSi12) и авиали (деформируемые сплавы системы Al-Si-Mg).

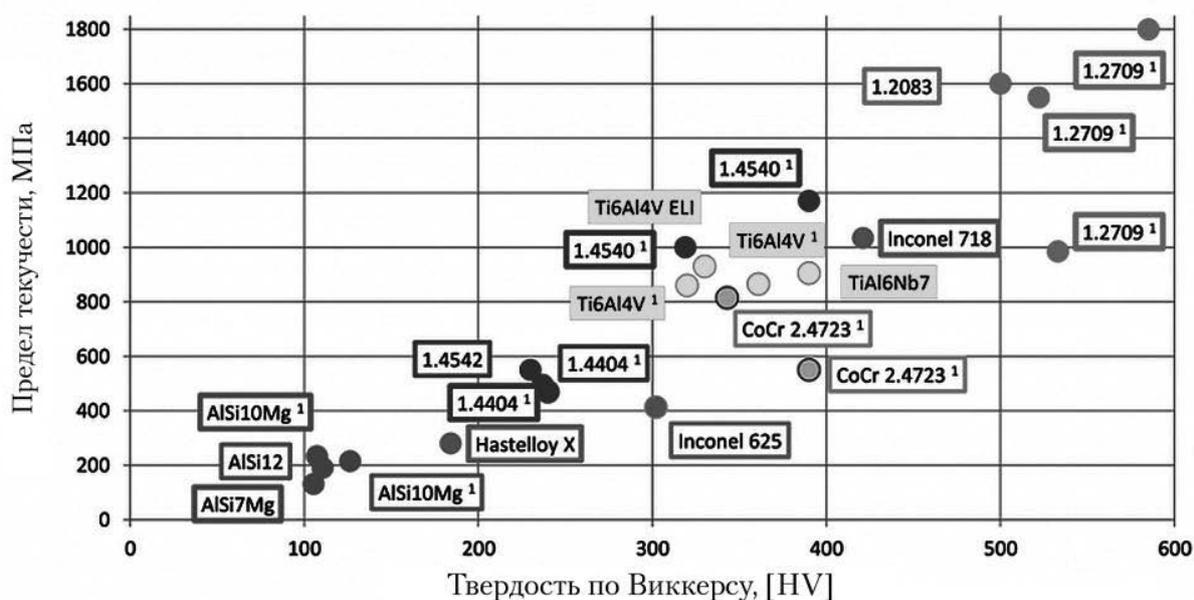
Как видно из рис. 2, наиболее высоких значений твердости и предела прочности с использованием порошковых материалов можно достичь при использовании мартенситостареющей стали (т. н. «maraging steels») 1.2709, состоящей из Ni (17-19 %),

Co (8,5-9,5 %), Mo (4,5-5,2 %), Ti (0,6-0,8 %) при низком содержании углерода $C < 0,03 \%$.

Для процессов, использующих проволоку, это: титановые сплавы (Ti6Al4V), нержавеющие аустенитные (304, 308, 316L) и мартенситные (420) стали, алюминиевые сплавы серий 2xxx содержащие (Al-Cu) и 7xxx (Al-Zn), цинковые сплавы (AZ31, AZ61, AZ91D), а также др. материалы и сплавы, представленные на рис. 2.

Целью настоящей работы был анализ и разработка рекомендаций по усовершенствованию технологии создания тонкостенных оболочек, получаемых аддитивным методом.

В связи с тем, что сама аддитивная технология, используемые материалы и создание полномасштабной тонкостенной конструкции являются



¹Производители различных машин

Рис. 2. Влияние типа материала для аддитивного процесса на сочетание механических свойств

достаточно дорогостоящим процессом, на первом этапе работы было решено провести компьютерное моделирование процесса создания тонкостенных оболочек, с применением процесса, использующего дугу и сварочную проволоку (WAAM процессы), для различных материалов и геометрии изделий.

Для моделирования процесса создания аддитивной тонкостенной конструкции было выбрано три типа материала: конструкционная сталь марки 09Г2С, титановый сплав марки Grade 2 и алюминиевый сплав 1561.

В связи с особенностями формирования конструкций из титановых сплавов (высокая мощность источника нагрева, наличие высокого вакуума в камере нанесения) использовали специализированную систему аддитивного наплавления xBeam 3D Metal Printing (ЧП «Червона хвиля», Украина), разработанную под руководством Д.В. Ковальчука. Система основана на применении полого конического электронного луча в качестве источника нагрева и использовании проволоки в качестве расходного материала. Это создает благоприятные условия для расплавления расходного материала и его послойного контролируемого наплавления.

Для наплавки изделий из конструкционной стали использовалась дуговая система для создания аддитивных структур; она основана на использовании сварочного робота «ABB IRB-1600». В ИЭС им. Е.О. Патона под руководством к.т.н. Е.В. Шаповалова разработано программное обеспечение для создания трехмерной модели, основанной на сканировании аддитивного покрытия, планировании траектории движения сварочной горелки с учетом коррекции данных лазерно-телевизионных и видео-пирометрических датчиков.

Тонкостенные изделия из исследованных материалов показаны на рис. 3. В качестве материала для аддитивной наплавки трехмерных изделий использовались сварочные проволоки соответствующего состава и толщины.

В связи с тем, что в практике создания цилиндрических оболочек для аэро- и ракетно-космической техники широко распространено исполь-

зование высокопрочных алюминиевых сплавов, то было целесообразно применить разработанные подходы к анализу создания аддитивных оболочек из данных сплавов. В связи с ограничением доступа к экспериментальным результатам в этой отрасли, в качестве тестируемого варианта было проведено моделирование электродуговой наплавки тонкостенного изделия проволокой из деформируемого алюминиевого сплава марки 1561 (АМг61) в защитной среде аргона.

Технологические параметры аддитивного процесса представлены в табл. 1.

В результате моделирования были рассчитаны поля температур, напряжений, деформаций и перемещений при формировании цилиндрических оболочек аддитивным методом.

Температурные поля в оболочке из титанового сплава Grade 2 в зависимости от времени показаны на рис. 4. Анализ показал практически равномерное распределение температуры по толщине нанесенного слоя. Распределение температуры по высоте оболочки показало, что оно не изменяется после наплавки 9-10 слоев. Температура подложки не превышает 200-230 °С, и, следовательно, ее структурно-фазовое состояние не меняется.

Анализ распределения температуры показывает (рис. 4), что в зависимости от типа используемого материала влияние жидкой ванны на уже нанесенные слои наплавки различно. Так, наибольшее влияние на предыдущие слои достигается при наплавке алюминиевого сплава 1561, которое распространяется на нижележащие 8-10 слоев (рис. 4, а). При нанесении наплавки из стали 09Г2С или титанового сплава Grade 2 это влияние существенно меньше. Для стали оно составляет 3-4 слоя, для титанового сплава – 1-2 слоя (рис. 4, б). Полученные результаты объясняются заметно более высокой теплопроводностью алюминиевого сплава (100-150 Вт/м·К) по сравнению со сталью (23-28 Вт/м·К) или титановым сплавом (17-25 Вт/м·К).

Цилиндрическая конструкция из алюминиевого сплава 1561 остывает заметно быстрее и повторный

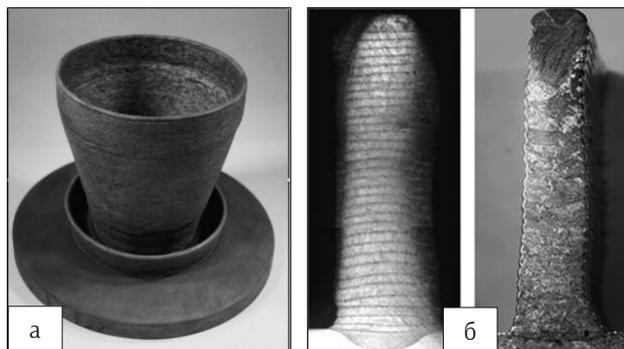


Рис. 3. Аддитивные наплавки из исследуемых материалов: низколегированная сталь марки 09Г2С – а, титановый сплав марки Grade 2 – б

Таблица 1. Технологические параметры аддитивного наплавления

Параметр	Значение
Мощность источника нагрева (Al/Fe/Ti), кВт	0,6/1/5
Толщина пластины, мм	5
Толщина наплавленного слоя, мм	2
Ширина наплавки, мм	2
Радиус наплавки, мм	20
Высота наплавки, мм	40
Количество слоев	20
Скорость перемещения дуги, об/с	0,1; 0,2; 1
Количество наплавленных слоев	20-30

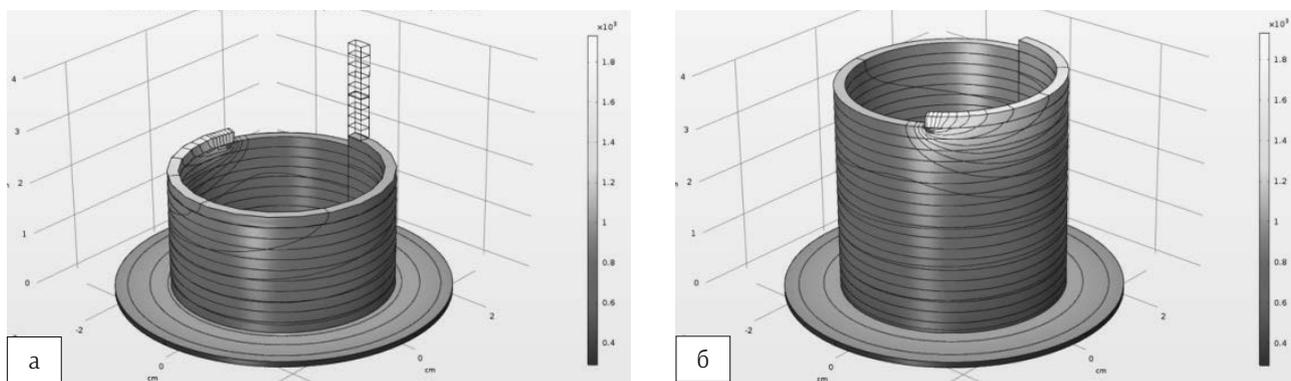


Рис. 4. Распределение температуры в цилиндрической оболочке из титанового сплава Grade 2, полученной со скоростью 0,1 об/с, по времени: а – 35 с; б – 194 с

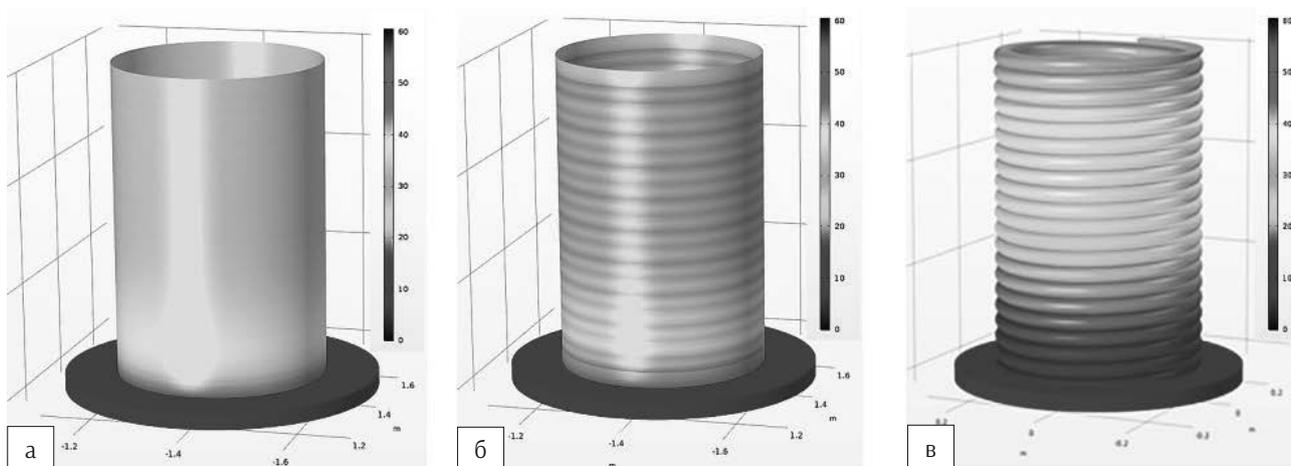


Рис. 5. Распределение напряжений в цилиндрической оболочке из титанового сплава Grade 2 под действием осевой внешней нагрузки 50 МПа, полученной различными методами: а – традиционным из листа; б – многослойной наплавкой по кольцу; в – многослойной наплавкой по спирали

разогрев достигает более глубоких слоев, что приводит к росту размера зерна и снижению механических свойств из этих сплавов. При использовании в аддитивном процессе проволоки из стали 09Г2С и титанового сплава Grade 2 – это приводит к формированию более однородной структуры наплавки и снижает остаточные напряжения, образующиеся при формировании цилиндрической оболочки.

В ходе расчетов было проанализировано влияние алгоритма нанесения аддитивной цилиндрической наплавки – наплавление по кольцу или по спирали – на температуру наплавки и параметры устойчивости аддитивной оболочки к внешним нагрузкам.

Анализ полученных результатов показал, что спиралевидная наплавка нагревается до более высоких температур по сравнению с кольцевой наплавкой. При этом наплавка быстрее остывает, что определяется большей площадью охлаждаемой поверхности.

В данной работе было проанализировано различие в механической устойчивости цилиндрических аддитивных оболочек, полученных различными методами.

При анализе устойчивости цилиндрических оболочек, полученных аддитивным методом, необходимо принимать во внимание наличие остаточных напряжений, которые формируются на границе нанесенных

слоев. В случае нанесения слоев по кольцу остаточные напряжения на границах составляют 40-50 МПа, в то время, как при нанесении слоев по спирали остаточные напряжения оказываются несколько ниже и составляют 10-30 МПа. При этом наибольший уровень напряжений наблюдается на границе аддитивных слоев и подложки, он составляет 100-150 МПа.

Характер распределения напряжений в цилиндрических оболочках, полученных различными методами, под действием осевой сжимающей нагрузки $P = 50$ МПа приведен на рис. 5. Как видно из приведенных результатов, наличие напряжений, образующихся в процессе аддитивного наплавления, в целом изменяет характер распределения напряжений в оболочках под действием осевой сжимающей нагрузки.

Таким образом, на основании проведенной работы можно заключить, что при формировании цилиндрических оболочек аддитивным методом целесообразно использовать технологию аддитивного наплавления по спирали и применять менее теплопроводные конструкционные материалы – стали и титановые сплавы.

● # 1856

Испытания ручных горелок и резаков после ремонта

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

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

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

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

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

Условия проведения испытаний.

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

На каждое рабочее место помимо площади, занимаемой оборудованием и проходами, должно быть отведено не менее 4 м².

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

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

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

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

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

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

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

Наибольший отбор газа от одного баллона:

- ацетилена – 1 м³/ч;
- пропан-бутана – 1 м³/ч;
- кислорода – 10 м³/ч.

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

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

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

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

Закрыть вентиляхные устройства на контрольно-измерительной аппаратуре.

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

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

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

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

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

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

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

К сопутствующему оборудованию относятся:

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

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

Испытания должны быть обеспечены:

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

В табл. 1 представлены необходимые при испытании

Таблица 1. Необходимые измерительные приборы при испытаниях

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

таниях измерительные приборы.

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

Программа испытаний. Программа испытаний изделий содержит проверки:

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

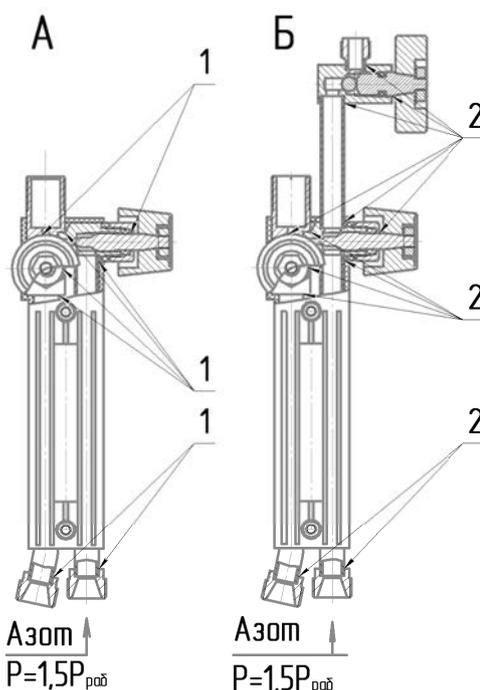
Методы испытаний.

Внешний осмотр и проверка комплектности.

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

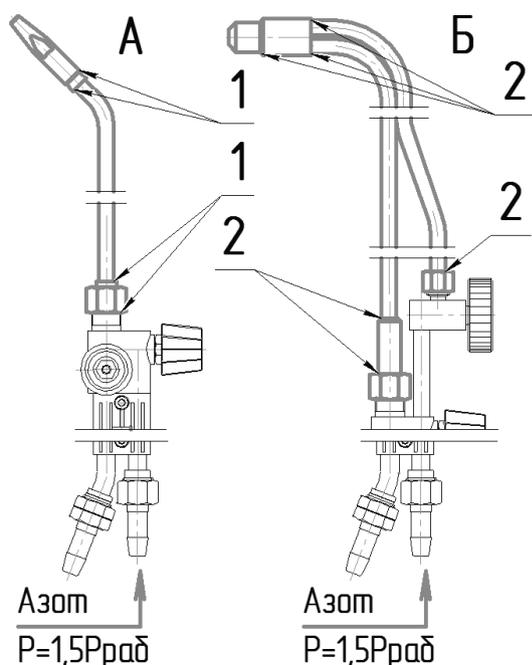
Комплектность изделия должна соответствовать паспортным данным. При утере паспорта в процессе эксплуатации его необходимо восстановить.

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



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

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



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

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

тым воздухом, не содержащем частиц масла и влаги.

При испытаниях необходимо проверять герметичность вентилях, уплотняющих элементов и всех соединений изделия.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Таблица 2. Условия испытаний

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

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

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

Последовательность действий следующая:

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

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

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

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

Результаты испытаний считаются положительными, если:

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

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

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

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

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

где F_0 – усилие по показанию динамометра.

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

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

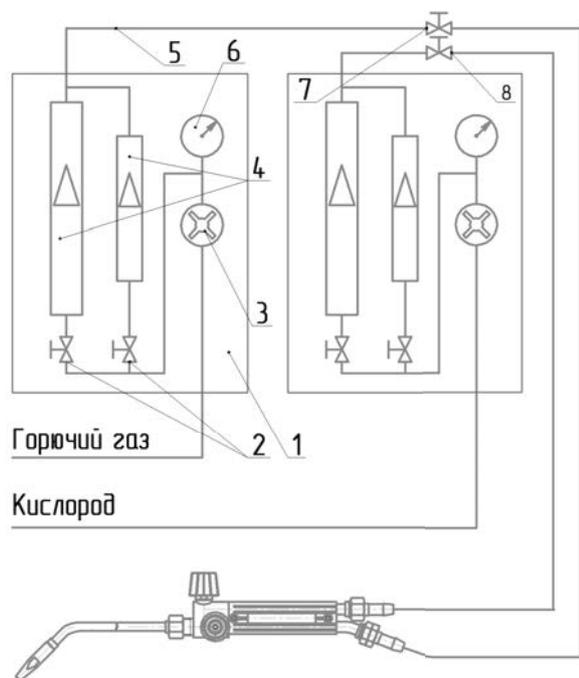


Рис. 3. Схема стенда для испытания горелок и резаков на горение

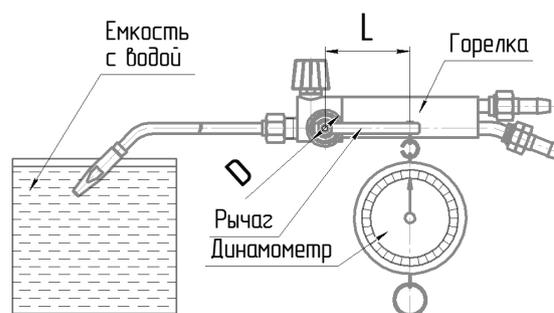


Рис. 4. Проверка усилий запираения вентиля и усилий вращения маховичков

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

Обработка, анализ и оценка результатов испытаний.

Фактический расход газа вычисляется по формуле:

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

где: K_r – коэффициент газа; $Q_{рот}$ – расход воздуха, определенный по тарировочной кривой расходомера (равный делению шкалы расходомера) в л/ч; P_r – избыточное давление газа перед резаком или горелкой, определяемое по манометру, в кгс/см².

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

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

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

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

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

Литература

1. Литвинов В.М., Лысенко Ю.Н., Чумак С.А. Ремонт ручных горелок и резаков // Сварщик. – 2019. – № 3. – С. 21-27.

2. Литвинов В.М., Лысенко Ю.Н., Чумак С.А. Ручные газокислородные инжекторные горелки для сварки, пайки и нагрева // Сварщик. – 2018. – № 6. – С. 44-46.

3. Литвинов В.М., Лысенко Ю.Н., Чумак С.А. Ручные инжекторные газокислородные резаки // Сварщик. – 2019. – № 1. – С. 41-44.

4. Литвинов В.М., Лысенко Ю.Н., Чумак С.А. Керосинорез РК-32 // Сварщик. – 2018. – № 4. – С. 14-18.

5. Литвинов В. М., Лысенко Ю.Н., Чумак С. А. Керосинорезы «ЛУЧ» и «ЛУЧ-1» // Сварщик. – 2018. – № 5. – С. 38-40.

● # 1857

Наименование	Ед. изм.	Цена, грн.	Телефон	Предприятие
--------------	----------	------------	---------	-------------

I. СВАРОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

I.0100. Оборудование для дуговой сварки и родственных процессов

I.0110. Генераторы, агрегаты и преобразователи сварочные

Свар.агрег. DENYO DLW-300LS, одноп., диз.дв., вод. охл., 30-280А, 10,4кВА	шт.	договорная	(044) 383 18 12, (095) 899 18 22	Рентстор 000
Свар.агрег. DENYO DLW-400LSW, одноп., диз.дв., вод. охл., 60-380А, 15кВА	шт.	договорная	(044) 383 18 12, (095) 899 18 22	Рентстор 000
Свар.агрег. DENYO DCW-480ESW Evo III Limited Edition CC/CV, двухпост., диз.двиг., вод. охл., на одном посту 60-480А, на двух 30-280А, 15кВА	шт.	договорная	(044) 383 18 12, (095) 899 18 22	Рентстор 000

I.0120. Выпрямители сварочные

ВДМ-630, 1202, 1601, 2001	шт.	договорная	(0512) 581-208, 230-108	Амити НПФ
ВДГ, ВДУ-302, 401, 506, 630, 1202, 1601	шт.	договорная	(0512) 581-208, 230-108	Амити НПФ
Инверторы для MMA/TIG сварки 160, 200, 315, 400 А	шт.	договорная	(0512) 581-208, 230-108	Амити НПФ
Сварочное оборудование «FRONIUS», заряд. уст-ва для любых типов аккумулят.	шт.	от 600	(044) 277-2141, 277-2144	Фрониус-Украина 000
CUPEL-175 G, для MMA/TIG сварки 120, 160, 200, 250, 315 А, SW - 333 («Семонт»)	шт.	договорная	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона
Инверторы ВДИ / 60-250 А (5 лет гарантии)	шт.	договорная	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона

I.0121. Установки аргонодуговой сварки и напыления

Установки для аргонодуговой сварки Kemppi OY	шт.	договорная	(056) 767-1577, (094) 910-8577	Саммит 000
ТТ-1600, МВ-2200 (в т.ч. сварка алюминия) универ. ап-т WIG/TIG	шт.	от 6 500	(044) 277-2141, 277-2144	Фрониус-Украина 000
TIG-200P AC/DC	шт.	21 000	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона

I.0130. Трансформаторы сварочные

Трансформатор для сварки ТДФЖ-2001, ТДМ-250, 305, 403, 503	шт.	договорная	(0512) 581-208, 230-108	Амити НПФ
БСН-04-500Т (питание от источника сварочной дуги)	шт.	договорная	(0512) 581-208, 230-108	Амити НПФ
СТШ-250, СТШ-252, ТДМ-403	шт.	от 4 635	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона

I.0140. Сварочные механизированные аппараты (полуавтоматы для дуговой сварки)

П/м А25-001 с ВДГ или ВДУ, БУ встроен. в ИП, Ø 0,8-3,0 мм, плав. регул.	шт.	договорная	(0512) 581-208, 230-108	Амити НПФ
Проф. инверт. комплекс для MIG/MAG сварки DIGITAL MIG 500	шт.	договорная	(0512) 581-208, 230-108	Амити НПФ
Инверт. свар. комплексы HC 500D, HC350 для MIG/MAG, MMA, TIG сварки	шт.	договорная	(0512) 581-208, 230-108	Амити НПФ
Инвер. п/а MIG 188P, Ø 0,6-1,2 мм	шт.	договорная	(0512) 581-208, 230-108	Амити НПФ
Сварочн. механиз. аппараты (полуавтом. для дуговой сварки) Kemppi OY	шт.	договорная	(056) 767-1577, (094) 910-8577	Саммит 000
ТР-1100, 1500 малагаб. моб. ап-ты двойн. действ., 4,2 кг, 220 В, 10-150 А	шт.	от 2700	(044) 277-2141, 277-2144	Фрониус-Украина 000
П/а промышл. «Варио Стар» (160-400 А) «FRONIUS»	шт.	от 4500	(044) 277-2141, 277-2144	Фрониус-Украина 000
Инверторные п/а, 160-350 А, горелки к п/а и расходные материалы	шт.	договорная	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона
КП 006 с КИГ 401, ПДГ-215, 216	к/шт.	от 10 800	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона
П/автомат FAN MIG 404 GP (Synergy) 400 А, сварка всех сталей и Al	шт.	27 000	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона

I.0150. Автоматы для дуговой сварки

Свар. трактор HS-1000 с инверт. ИП для одно- и двухдуговой сварки	шт.	договорная	(0512) 581-208, 230-108	Амити НПФ
Сварочные трактора TC-18M, TC-77A, A-1698, TC-17	шт.	договорная	(0512) 581-208, 230-108	Амити НПФ
Установка для приварки шипов (шпилек) УПШ-1202-2	шт.	договорная	(0512) 581-208, 230-108	Амити НПФ
Аппараты для дуговой сварки Kemppi OY	шт.	договорная	(056) 767-1577, (094) 910-8577	Саммит 000
Сварочные тракторы А1698, автоматы АД 231, АД 321	шт.	договорная	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона

Наименование	Ед. изм.	Цена, грн.	Телефон	Предприятие
--------------	----------	------------	---------	-------------

PLASMA

Витратні деталі, що є сумісні більш ніж з 100 системами плазмової різки відомих світових виробників таких як HYPER THERM®, ESAB®, KJELLBERG®, SEBORA®, TRAFIMET®, THERMAL DYNAMICS®, SAF®, DAIHEN®, KOMATSU®, MILLER®, AJAN® и т. д.

LASER

Витратні деталі та аксесуари сумісні з TRUMPF®, BYSTRONIC®, PRECITEC®, AMADA®, MAZAK®, PRIMA POWER®, LVD®, MITSUBISHI® и т. д.



THERMACUT®
THE CUTTING COMPANY®



OXY-FUEL

Витратні деталі сумісні з системами газової різки відомих світових виробників MESSER®, HARRIS®, ESAB®, TANAKA®

АПАРАТИ ПЛАЗМОВОГО РІЗАННЯ

- EX-TRAFIRE®30H
- EX-TRAFIRE®30SC
- EX-TRAFIRE®40SD
- EX-TRAFIRE®55SD
- EX-TRAFIRE®75SD
- EX-TRAFIRE®105SD.

Плазмотрони FHT-EX розробки THERMACUT.

ТОВ «Термакат Україна ГмБХ»
вул. Петропавлівська, 24
08130, с. Петропавлівська Борщагівка
тел/факс: (044) 403-16-99
e-mail: info@thermacut.ua

м. Київ: (050) 336-33-91
(050) 444-22-45
м. Миколаїв: (050) 333-81-61
м. Харків: (050) 417-60-68
м. Львів (050) 382-46-68

www.thermacut.com

HYPER THERM®, ESAB®, KJELLBERG®, SEBORA®, TRAFIMET®, THERMAL DYNAMICS®, SAF®, DAIHEN®, KOMATSU®, MILLER®, AJAN®, TRUMPF®, BYSTRONIC®, PRECITEC®, AMADA®, MAZAK®, PRIMA POWER®, LVD®, MITSUBISHI®, MESSER®, HARRIS® є зареєстрованими торговими марками. THERMACUT ніяким чином не пов'язані з даними виробниками.

I.0160. Аппараты для воздушно-плазменной резки металлов и сплавов, запасные части

Плазмотроны ВПР-9, ВПР-15, ПВР-402, расход. материалы, комплект. (Binzel) Киев-1 (толщ. реза до 8 мм), Киев-4 (толщ. реза до 80 мм)	шт.	договорная	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона
CUT 70, CUT 100, CUT 120, CUT 160	шт.	договорная	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона

I.0170. Сварочные роботы и системы автоматизации сварки

Сварочные роботы Fanuc	шт.	договорная	(056) 767-1577, (094) 910-8577	Саммит ООО
Системы автоматизации сварки Kemppi OY	шт.	договорная	(056) 767-1577, (094) 910-8577	Саммит ООО

I.0180. Аппаратура управления к сварочному оборудованию

Пневмораспределитель	шт.	58,20	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона
----------------------	-----	-------	--------------------------	------------------------------

I.0200. Машины контактной сварки и комплектующие

Машины стык. и точ. св. МТ 2202, МСО 606, МТ 1928, МТ 4224, МСС 1901, МТМ-289 (сварка сеток), точ. маш. - АI (до 4 мм) МТВР-4801	шт.	договорная	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона
КРАБ-01 (малогабарит., свар. клещи), маш. подвесная МТП 1110 (сварка сеток), маш. шовной сварки МШ 2201, МШ 3207	шт.	договорная	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона
Ремонт и восстановление машин контактной сварки, купим машины контактные	шт.	договорная	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона

I.0300. Машины, оборудование, комплектующие для газопламенной сварки, резки и металлизации

I.0310. Машины для термической резки металлов

Машины газорезательные - «Огонек», «Гугарк», «Орбита», «Радуга-М», «Смена-2М», «АСШ-70», «ДОНМЕТ», «ESAB», «MESSER Grissheim»	шт.	договорная	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона
---	-----	------------	--------------------------	------------------------------

I.0320. Комплексы для электродуговой металлизации

I.0330. Горелки и резаки газокислородные

Горелки ацетиленовая Г2А, пропановая ГЗУ, Г2 МАФ (након. №2-4), ЗИПы	шт.	от 126	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона
Комплекты газосварщика, кислор.-флюс. резки, клапана предохран., огнепреград., пост газосварщика (П)	шт.	от 360	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона
Резаки машинные, пропановые, ацетилен. ручн. резки, МАФ-газ (до 100 мм), жидкотопл. (бензин, керосин, ДТ) до 300 мм, ЗИПы	шт.	от 168	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона

I.0340. Генераторы ацетиленовые

Генераторы (Воронеж, Россия) АСП-10, АСП-15, АСП-14, (сухой и водяной затворы), зап. части к АСП	шт.	договорная	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона
--	-----	------------	--------------------------	------------------------------

I.0350. Редукторы, вентили, смесители, затворы, клапаны

Редукторы, регуляторы, балл. в ассорт., вентиль ВК-94 (Россия) кислород., пропановый ВБ-2, ВБ-2-1 (Б) (Беларусь), подогрев. углекислотный	шт.	договорная	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона
---	-----	------------	--------------------------	------------------------------

I.0360. Установки для газотермического напыления

I.0370. Карбид кальция

Карбид кальция (Словакия) по 100 кг, по 3, 5, 10 кг (пластик. ведра)	кг	договорная	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона
--	----	------------	--------------------------	------------------------------

Наименование	Ед. изм.	Цена, грн.	Телефон	Предприятие
--------------	----------	------------	---------	-------------

- Сварочные горелки для механизированной и автоматической сварки в среде CO₂ и смесях (MB EVO PRO, RF GRIP, ABIMIG® GRIP A, ABIMIG® AT, AUT / 60-750 А, газовое и жидкостное охлаждение)
- Сварочные горелки для ручной и автоматической сварки неплавящимся электродом (ABITIG®, ABITIG® GRIP, ABITIG® GRIP Little / 80-500 А, газовое и жидкостное охлаждение).
- Электродержатели для сварки штучным электродом (DE 2200-2800 / 200-800 А).
- Блоки принудительного охлаждения (WK 23, WK 43, ABICOOL L1000, ABICOOL L1250).
- Редукторы газовые.

ПИИ ООО
«Бинцель Украина ГмБХ»

Тел./факс:
(044) 290-90-89, 403-13-99
(044) 403-14-99, 403-15-99

г. Киев: **(050) 462-72-30**
г. Николаев: **(050) 333-81-61**
г. Харьков: **(050) 417-60-68**
г. Львов: **(050) 382-46-68**
e-mail: info@binzel.kiev.ua



www.binzel-abicor.com

- Плазматроны (ABIPLAS® CUT, ABICUT / 30-200 А, воздушное и жидкостное охлаждение).
- Установки ВПР JÄCKLE Plasma (25-300 А).
- Строгачи для строжки графитовым электродом (K10-K20 / 500-1500 А).
- Графитовые электроды ABIARC, вольфрамовые электроды WR2, WP, E3®.
- Средства защиты обрабатываемой поверхности ABIBLUE.
- Маски сварщика.
- Керамические подкладки.
- Весь спектр расходных материалов и другие принадлежности сварочного поста.

I.0380. Рукава и шланги

Рукав кислородный (Беларусь), ацетиленовый и кислород. цветной	м	от 6,30	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона
--	---	---------	--------------------------	------------------------------

I.0390. Баллоны газовые

Баллоны: кислород, аргон, ацетилен, азот, углекислота и др. (40 л, 10л, 2 л), новые (пропан, кислород, аргон, сж. воздух, CO₂) 50, 27, 12, 5 л

	шт.	от 144	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона
--	-----	--------	--------------------------	------------------------------

I.0400. Оборудование сварочное механическое и приспособления

I.0500. Комплектующие изделия к сварочному оборудованию

I.0510. Электрододержатели для ручной дуговой сварки

Электрододержатели, клеммы массы (Германия, Польша, Китай)	шт.	от 19,8	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона
--	-----	---------	--------------------------	------------------------------

I.0520. Горелки сварочные для ручной, механизированной и автоматической сварки и комплектующие к ним

Горелки для MIG/MAG, WIG/TIG «FRONIUS»	шт.	от 400	(044) 277-2141, 277-2144	Фрониус-Украина ООО
Горелки для аргонодуговой, MIG/MAG, TIG сварки и комплект. к ним	шт.	от 870	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона

I.0530. Реостаты балластные

Реостаты балластные	шт.	договорная	(056) 767-1577, (094) 910-8577	Саммит ООО
---------------------	-----	------------	--------------------------------	------------

I.0540. Инструменты

Маркеры «MARKAL B», «MARKAL M-10», «MARKAL M», «MARKAL K», «MARKAL H, HT», BALL PAINT, DURA BALL, Red Ritter / Silver Streak	шт.	договорная	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона
Комплект сменных стержней для SILVER STREAK, RED RITTER, маркировка и разметка LUMBER CRAYON и TYRE MARQUE	шт.	договорная	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона

I.0550. Электроинструменты

I.0560. Кабельно-проводниковая продукция

Кабель сварочный, силовой КГ, КОГ, наконечники каб. луженые 16, 25, 35, 50 мм ²	м/шт.	договорная	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона
--	-------	------------	--------------------------	------------------------------

I.0570 Прочие комплектующие

Контакты КМ-600ДВ, КМ-400ДВ, клеммы массы	шт	от 840	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона
---	----	--------	--------------------------	------------------------------

I.0600. Оборудование для термической обработки

I.0700. Средства для защиты металла и оборудования

Спрей «Binzel», 400 мл, паста «Дюзофикс», 300 г, для травл. нерж. стали.				
TSK-2000, 2 кг	емк./балл.	от 30,18	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона
Защита: от налип. брызг, антикорр. «АРК/МРС», 10 л, «Black Jack», 500 мл, «Autravit®VA» обезжир. нерж. стали, 400 мл,	емк./балл.	от 27	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона
«Antiperl EMU #1», «Antiperr 2000», 400 мл, канистра, 10 л, «Cromalux®VA», 400 мл	балл.	от 18	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона

Наименование	Ед. изм.	Цена, грн.	Телефон	Предприятие
--------------	----------	------------	---------	-------------

II. СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

II.0100. Электроды покрытые металлические

II.0110. Для сварки углеродистых и легированных сталей

Сварочные электроды Buehler, HYUNDAI WELDING	кг	договорная	(056) 767-1577, (094) 910-8577	Саммит ООО
АНО-4 (346), МР-3 (346), АНО-21 (346), УОНИ-13/55 (350А), УОНИ 13/45 (342А), повыш. кач.	кг	договорная	(044) 200-8056, 248-7336	Экотехнология ДП ООО
ЦЛ-39 (Э-09Х1МФ), ЦУ-5 (Э-50А), ТМЛ-3У (Э-09Х1МФ), ТМЛ-1У (Э-09Х1М), ТМУ-21У (350А)	кг	договорная	(044) 200-8056, 248-7336	Экотехнология ДП ООО

II.0120. Для сварки нержавеющей сталей

Сварочные электроды Buehler, HYUNDAI WELDING	кг	договорная	(056) 767-1577, (094) 910-8577	Саммит ООО
ОЗЛ-6, ЦЛ-11, ОЗЛ-8, ОЗЛ-17У, ЗИО-8, НИИ-48Г, НЖ-13	кг	договорная	(044) 200-8056, 248-7336	Экотехнология ДП ООО
ЗА-395/9 (Э-11Х15Н25М6АГ2), ЗА-400/10У (Э-07Х19Н11М3Г2Ф)	кг	договорная	(044) 200-8056, 248-7336	Экотехнология ДП ООО

II.0130. Для сварки цветных металлов и сплавов

II.0140. Для сварки чугуна

МНЧ-2, ЦЧ-4	кг	от 102	(044) 200-8056, 248-7336	Экотехнология ДП ООО
-------------	----	--------	--------------------------	----------------------

II.0150. Для наплавки

Т-590, Т-620, ЭН-60М; ОЗН-6, ОЗН-300, ОЗН-400, НР-70, ЦН-6Л, ЦН-12М	кг	договорная	(044) 200-8056, 248-7336	Экотехнология ДП ООО
---	----	------------	--------------------------	----------------------

II.0160. Для резки

АНР-2М, АНР-3 Ø 4; 5 мм	кг	договорная	(044) 200-8056, 248-7336	Экотехнология ДП ООО
-------------------------	----	------------	--------------------------	----------------------

II.0200. Электроды неплавящиеся

Электроды вольфрамовые (Германия, Китай)	шт.	от 10,0	(044) 200-8056, 248-7336	Экотехнология ДП ООО
--	-----	---------	--------------------------	----------------------

II.0300. Проволока сварочная сплошная и прутки

II.0310. Для сварки углеродистых и легированных сталей

Сварочная проволока Buehler, HYUNDAI WELDING	кг	договорная	(056) 767-1577, (094) 910-8577	Саммит ООО
Проволока Св-08Г2С омед., в бухтах, на касс. 5,15 кг, Китай	кг	от 15,0	(044) 200-8056, 248-7336	Экотехнология ДП ООО
Проволока Св-08А	кг	9,30	(044) 200-8056, 200-8049	Экотехнология ДП ООО

II.0320. Для сварки нержавеющей сталей

Сварочная проволока Buehler, HYUNDAI WELDING	кг	договорная	(056) 767-1577, (094) 910-8577	Саммит ООО
Св-07Х25Н13 Ø 1,2, 1,6, 3,0 мм, Св-08Х14Н8С3Б (ЭП-305) Ø 2,0 мм, Св-08Х20Н9Г7Т Ø 1,6, 3,0, 4,0 мм	кг	69-75	(044) 200-8056, 248-7336	Экотехнология ДП ООО

II.0330. Для сварки цветных металлов и сплавов

Проволоки д/сварки алюминия на кат., в бухтах, прутках, Ø 0,8-4,0 мм	кг	от 87	(044) 200-8056, 248-7336	Экотехнология ДП ООО
--	----	-------	--------------------------	----------------------

II.0340. Для сварки чугуна

ПАНЧ-11, МНЖКТ Ø 1,2-3,0 мм	кг	договорная	(044) 200-8056, 248-7336	Экотехнология ДП ООО
-----------------------------	----	------------	--------------------------	----------------------



Сварочные электроды ET-02 с рутил-целлюлозным покрытием

Тел.: (044) 200 80 56, м. (050) 352 58 67, (050) 310 58 63
e-mail: sales@et.ua , www.welderbest.com.ua

- ✓ легкий поджиг
- ✓ устойчивое горение дуги
- ✓ легкий повторный поджиг
- ✓ сварка во всех пространственных положениях!!!
- ✓ идеальный шов
- ✓ легкое отделение шлака
- ✓ высокий коэффициент наплавки
- ✓ надежное сварное соединение!!!

ВАШ ЛУЧШИЙ ВЫБОР!

Наименование	Ед. изм.	Цена, грн.	Телефон	Предприятие
--------------	----------	------------	---------	-------------

ФЛЮС СВАРОЧНЫЙ АН-348А

Оптом и в розницу
всегда на складе в Киеве –
от дистрибьютора (доставка заказчику),
фасовка мешок 50 кг, полипропилен.



ДП «Экотехнология»

тел. (044) 200-80-42
м. (050) 311-34-41

II.0400. Проволока порошковая

II.0410. Для сварки углеродистых и легированных сталей

Сварочная проволока Boehler, HYUNDAI WELDING	кг	договорная	(056) 767-1577, (094) 910-8577	Саммит ООО
ПП-АН1 Ø 2,8 мм, ППР - ЭК1 (для подводной сварки)	кг	договорная	(044) 200-8088, 200-8056	Экотехнология ДП ООО

II.0420. Для наплавки

ПП-Нп-30ХГСА	кг	договорная	(044) 200-8056, 248-7336	Экотехнология ДП ООО
--------------	----	------------	--------------------------	----------------------

II.0430. Для резки

ППР - ЭК4	кг	договорная	(044) 200-8056, 248-7336	Экотехнология ДП ООО
-----------	----	------------	--------------------------	----------------------

II.0500. Флюсы плавные и керамические

II.0510. Для сварки углеродистых и легированных сталей

АН-47, АН-348А, АН-26	кг	договорная	(044) 200-8056, 248-7336	Экотехнология ДП ООО
-----------------------	----	------------	--------------------------	----------------------

III. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ГАЗЫ

III.0100. Инертные газы (аргон, гелий)

III.0200. Активные газы (кислород, углекислый газ, водород, азот)

Кислород, углекислота, азот	балл.	договорная	(044) 200-8056	Экотехнология ДП ООО
-----------------------------	-------	------------	----------------	----------------------

III.0300. Газовые смеси

Аргон, азот, ацетилен, спец.свар. смеси	балл.	договорная	(044) 200-8056, 200-8051	Экотехнология ДП ООО
---	-------	------------	--------------------------	----------------------

IV. СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ СВАРЩИКОВ

IV.0100. Щитки маски и очки защитные, комплектующие

Маски сварщика в ассорт., АСФ маска («Speedglass»), щитки свар. и очки защитные в ассорт., шлем пескоструйщика «Кивер», дробеструйщика	шт.	от 18	(044) 200-8056, 200-8051	Экотехнология ДП ООО
--	-----	-------	--------------------------	----------------------

IV.0200. Специальная одежда и обувь

Щитки защитные НБТ, костюм, перчатки, краги и рукавицы сварщика, обувь раб. в ассорт.	шт.	от 18	(044) 200-8056, 200-8051	Экотехнология ДП ООО
---	-----	-------	--------------------------	----------------------

IV.0300. Средства индивидуальной защиты

Фильтры сменные, респираторные маски (с клапаном, без клапана) и полумаски	шт.	договорная	(044) 200-8056, 200-8051	Экотехнология ДП ООО
--	-----	------------	--------------------------	----------------------

V. ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИБОРЫ, МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ

V.0100. Приборы и материалы неразрушающего контроля

Термоиндикаторные карандаши на 50-1200 °С «LA-CO» (США)	шт.	договорная	(044) 200-8056	Экотехнология ДП ООО
Любые приборы контроля и диагностики под заказ	шт.	договорная	(044) 248-7336, 200-8056	Экотехнология ДП ООО

VI. УСЛУГИ

VI.0100. Услуги

Разработка и внедрение технологии ремонта сваркой и наплавкой деталей, узлов и металлоконструкций из стали и чугуна	шт.	договорная	(044) 287-2716, 200-8056	Экотехнология ДП ООО
---	-----	------------	--------------------------	----------------------

**Алфавитный указатель
компаний-участников журнала «Сварщик»**

Voestalpine Bohler Welding GmbH.....т. +43 50304 15 0, info@voestalpine.com, www.voestalpine.com/welding	
Амити ООО.....т. (0512) 23 01 08, ф. 58 12 08	
Бинцель Украина ГмБХ ПИИ ООО.....т./ф. (044) 290 90 89, 403 13 99, 403 14 99, 403 15 99, www.voestalpine.com/welding	
Велдотерм-Україна ТОВ.....т./ф. (03472) 60 330, weldotherm@ukr.net	
Велтек ТМ ООО.....т./ф. (044) 200 86 97, 200 84 85, 200 82 09, 200 87 27	
Витаполис ООО, ТОДО+ ООО.....т./ф. (044) 401 64 06, м. (096) 003 03 03, (096) 462 97 03	
Джейсик Украина ООО.....т. (044) 200 16 55, м. (067) 486 96 37	
Интерхим-БТВ ООО.....т. (044) 527 98 52, 527 98 53, ф. 527 98 62	
Линде Газ Украина ЧАО.....т./ф. (0562) 35 12 25, 35 12 28, (056) 790 03 33, (0 800) 30 51 51	
МВЦ ООО.....т. (044) 201 11 65, 201 11 56, 201 11 58	
Мигатехиндустрия ООО.....т. (044) 360 25 21, 500 58 59	
НАВКО – ТЕХ НПФ ООО.....т. (044) 456 40 20, ф. 456 83 53	
Промавтосварка НТЦ ЧП.....т./ф. (0629) 37 97 31, (044) 222 90 26, м. (067) 627 41 51	
Рентстор ООО.....т. (044) 383 18 12, м. (095) 899 18 22	
Саммит ООО.....т./ф. (056) 767 15 77, м. (094) 910 85 77, м. (067) 561 32 24	
Сварка-Трейддинг ЛТД ООО.....т. (044) 289 40 47, 287 08 99, 338 94 38	
СЕВИД ЧП КП.....т. (0552) 32 84 31, 32 84 35, м. (067) 550 11 87	
Сумы-Электрод ООО.....т. (0542) 22 54 37, ф. 22 54 38, 22 13 42	
Термакат Украина Гмбх ООО.....т./ф. (044) 403 16 99, м. (050) 336 33 91	
Технолазер-Сварка ООО.....т. (0512) 50 10 01, 57 21 27, т. 36 91 20	
Технопарк ИЗС им. Е.О. Патона ООО.....т. (044) 287 27 16, 200 80 42	
Фрониус Украина ООО.....т. (044) 277 21 41, 277 21 40, ф. 277 21 44	
Экотехнология ДП ООО.....т./ф. (044) 200 80 56 (многокан.) 287 26 17, 287 27 16, 200 80 42, 248 73 36	

**Подписка-2019 на журнал «Сварщик»
подписной индекс 22405. Подписку на журнал
можно оформить у региональных представителей:**

Город	Название подписного агентства	Телефон
Днепр	ООО «Меркурий»	(056) 778-52-86
Киев	ООО «Бизнес Пресса»	(044) 248-74-60
	ООО «Периодика»	(044) 449-05-50
	ООО «Пресс-Центр»	(044) 252-94-77
Львов	«Фактор»	(0322) 41-83-91
Николаев	ООО «Ню Хау»	(0512) 47-20-03
Харьков	ДП «Фактор-Пресса»	(0572) 26-43-33
	«ФорТ» Издательство	(0572) 14-09-08



ТЕХНИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА

Название книги Цена (грн.)*

В. М. Литвинов, Ю. Н. Лысенко. Кислородная резка и внепечной нагрев в тяжелом машиностроении. 2017.— 368 с. 120
В. И. Лакомский, М. А. Фридман. Плазменно-дуговая сварка углеродных материалов с металлами. 2004.— 196 с. 70
А. А. Кайдалов. Электронно-лучевая сварка и смежные технологии. Издание 2-е, переработанное и дополненное. 2004.— 260 с. ... 70
О. С. Осика та ін. Англо-український та українсько- англійський словник зварювальної термінології. 2005.— 256 с. 70
В. М. Корж. Газотермічна обробка матеріалів: Навчальний посібник. 2005.— 196 с. 70
В. Я. Кононенко. Газовая сварка и резка. 2005.— 208 с. 70
С. Н. Жизняков, З. А. Сидлин. Ручная дуговая сварка. Материалы. Оборудование. Технология. 2006.— 368 с. 100
А. Я. Ищенко и др. Алюминий и его сплавы в современ- ных сварных конструкциях. 2006.— 112 с. 70
П. М. Корольков. Термическая обработка сварных соединений. 3-е изд., перераб. и доп. 2006.— 176 с. 70
А. Е. Анохов, П. М. Корольков. Сварка и термическая обработка в энергетике. 2006.— 320 с. 70
Г. И. Лашенко. Способы дуговой сварки стали плавящимся электродом. 2006.— 384 с. 70
А. А. Кайдалов. Современные технологии термической и дистанционной резки конструкционных материалов. 2007.— 456 с. ... 70
П. В. Гладкий, Е. Ф. Переплетчиков, И. А. Рябцев. Плазменная наплавка. 2007.— 292 с. 70
А. Г. Потатьевский. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Часть 1. Сварка в активных газах. 2007.— 192 с. 70
Г. И. Лашенко, Ю. В. Демченко. Энергосберегающие технологии послесварочной обработки металлоконструкций. 2008.— 168 с. 70
Б. Е. Патон, И. И. Заруба и др. Сварочные источники питания с импульсной стабилизацией горения дуги. 2008.— 248 с. 70
З. А. Сидлин. Производство электродов для ручной дуговой сварки. 2009.— 464 с. 120
В. Н. Радзиевский, Г. Г. Ткаченко. Высокотемпературная вакуумная пайка в компрессоростроении. 2009.— 400 с. 100
В. Н. Корж, Ю. С. Попиль. Обработка металлов водородно-кислородным пламенем. 2010 — 194 с. ... 70
**Г. И. Лашенко. Современные технологии сварочного производства. 2012. — 720 с. 80

* Цены на книги указаны без учета стоимости доставки

** Продается только в электронной версии.

Электронные версии книг стоят в два раза дешевле.

**Подписка-2019
на журнал «Сварщик»
в каталоге «Укрпочта»
Подписной индекс
22405**

Сервисная карточка читателя

Без заполненного
формуляра
недействительна

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

- обведите в Сервисной карточке индекс, соответствующий интересующей Вас продукции/услуге (отмечен на страницах журнала после символа «#»);
- заполните Формуляр читателя;
- укажите свой почтовый адрес;
- отправьте Сервисную карточку с Формуляром по адресу: **03150, Киев-150, а/я 337, «Сварщик».**

1844	1845	1846	1847	1848	1849	1850
1851	1852	1853	1854	1855	1856	1857
1858	1859	1860	1861	1862	1863	1864
1865	1866	1867	1868	1869	1870	1871
1872	1873	1874	1875	1876	1877	1878
1879	1880	1881	1882	1883	1884	1885
1886	1887	1888	1889	1890	1891	1892

Заполняется печатными буквами

Ф. И. О. _____

Должность _____

Тел. (_____) _____

Предприятие _____

Подробный почтовый адрес: _____

« _____ » _____ 2019 г.

подпись

Формуляр читателя

Ф. И. О. _____

Должность _____

Тел. (_____) _____

Предприятие _____

Виды деятельности предприятия _____

Выпускаемая продукция / оказываемые услуги _____

Руководитель предприятия (Ф. И. О.) _____

Тел. _____ Факс _____

Отдел маркетинга / рекламы (Ф. И. О.) _____

Тел. _____ Факс _____

Отдел сбыта / снабжения (Ф. И. О.) _____

Тел. _____ Факс _____

Тарифы на рекламу в 2019 г.

На внутренних страницах		
Площадь	Размер, мм	Грн.*
1 полоса	210×295	5000
1/2 полосы	180×125	2600
1/4 полосы	88×125	1300
На страницах основной обложки		
Страница	Размер, мм	Грн.*
1 (первая)	215×175	12000
8 (последняя)	210×295 (после обрезки)	8000
2 и 7	205×285)	7000
На страницах внутренней обложки		
Стр. (площадь)	Размер, мм	Грн.*
3-4 (1 полоса)	210×295	6000
5-6 (1 полоса)	210×295	5500
5-6 (1/2 полосы)	180×125	2800
Визитка или микромодульная реклама		
Площадь	Размер, мм	Грн.*
1/16	90×26	360

* (все цены в грн. с НДС):

Рекламно-техническая статья: 1 полоса (стр.) — 2100 грн.

Блочная ч-б реклама и строчные позиции на страницах рекламного-информационного приложения «Все для сварки. Торговый ряд»

Часть площади стр.	Размер, мм (гор. или верт.)	Цена, грн. с НДС
1/2	180×125	700
1/3	180×80 или 88×160	600
1/4	180×60 или 88×120	500
1/6	180×40 или 88×80	400
1/8	180×30 или 88×60	300
1/16	180×15 или 88×30	200

Строчные ч-б позиции

Кол-во позиций	Обычные позиции, грн.	Выделенные позиции, грн.
10	400	500
15	600	750
20	800	1000

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, PNG, WMF PSD, EPS, CDR 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.

Подача материалов в очередной номер — до 15-го числа нечетного месяца (например, в № 4 — до 15.07)

Зам. гл. ред., рук. ред., **В. Г. Абрамишвили**, к.ф.-м.н.:
тел./факс: (044) **200-80-14**, м. (050) **413-98-86**, (095) **146-06-91**
e-mail: welder.kiev@gmail.com

Ред., зам. рук. ред., **О. А. Трофимец**:
тел.: (044) **200-80-18**
e-mail: trofimets.welder@gmail.com

www.welder.stc-paton.com