

СОДЕРЖАНИЕ**Новости техники и технологий** 4**Технологии ремонтной сварки**

Структурная схема ремонтной сварки.

В.И. Панов, С.В. Кандаков 6**Технологии ремонтной наплавки**

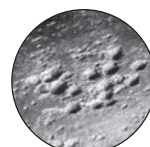
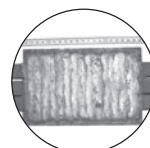
Многослойные наплавленные образцы для экспериментальной оценки усталостной долговечности наплавленных деталей.

И.А. Рябцев, В.В. Кныш, А.А. Бабинцев, С.А. Соловей, И.И. Рябцев, И.К. Сенченков 9**Вклад отделов ИЭС им. Е.О. Патона в научно-технический прогресс.****К 85-летию ИЭС им. Е.О. Патона**Направления научных исследований и разработки отдела
«Сварка легированных сталей» ИЭС им. Е.О. Патона.*В.Д. Позняков* 14**Технологии электрошлаковой сварки**Электрошлаковая сварка заготовки корпуса тягового электродвигателя
на ЧАО НПО «Днепропресс».*Ю.Н. Ланкин, Ю.В. Демченко, А.А. Москаленко, В.Г. Тюкалов,
С.А. Тонкошкур, В.Н. Панибратец* 20**Критерии допустимости дефектов трубопроводных систем**Обзор критериев допустимости поверхностных коррозионных дефектов
(локальная потеря металла) сухопутных магистральных трубопроводов.*А.С. Миленин* 22**Перспективные материалы**Получение металлических порошковых материалов распылением из проволок-анодов
дуговой плазмой.*А.В. Демчишин, М.А. Полещук, В.И. Зеленин, И.В. Доценко, И.М. Попович, В.М. Теплюк* 28**Наши консультации** 30**Оборудование для производства**

Эксплуатация и обслуживание аппаратуры для газопламенной обработки металлов.

В.М. Литвинов, Ю.Н. Лысенко, С.А. Чумак 34**Стандартизация**

Аттестация технологии сварки.

Г.И. Лашенко, Ю.А. Никитюк 37

News of technique and technologies 4

Technologies of repair welding

Structural scheme of repair welding.
V.I. Panov, S.V. Kandalov 6

Technologies of repair surfacing

Multilayer surfaced samples for the experimental evaluation of the fatigue life of surfaced parts.
I.A. Ryabtsev, V.V. Knysh, A.A. Babinets, S.A. Solovey, I.I. Ryabtsev, I.K. Senchenkov 9

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 and development of the department «Welding of alloyed steel» of the E.O. Paton EWI.
V.D. Poznyakov 14

Technologies of electroslag welding

Electroslag welding of the body of the traction motor case blank at PJSC NPO «Dnepropress».
Yu.N. Lankin, Yu.V. Demchenko, A.A. Moskalenko, V.G. Tyukalov, S.A. Tonkoshkur, V.N. Panibratets 20

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.
A.S. Milenin 22

Perspective materials

Production of metallic powder materials by spraying from the wire-anodes with arc plasma.
A.V. Demchishin, M.A. Poleshchuk, V.I. Zelenin, I.V. Dotsenko, I.M. Popovich, V.M. Teplyuk 28

Our consultations 30

Equipment for the production

Operation and maintenance of equipment for gas-flame treatment of metals.
V.M. Litvinov, Yu.N. Lysenko, S.A. Chumak 34

Standardization

Certification of welding technology.
G.I. Lashchenko, Yu.A. Nikityuk 37

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

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

Тел. моб. +7 903 795 18 49

E-mail ctt94@mail.ru

Главный редактор В. Д. Позняков

Зам. главного редактора В. Г. Абрамишвили

Редактор О. А. Трофимец

Верстка и дизайн В. Г. Абрамишвили

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

Рукописи не рецензируются и не возвращаются. Редакция оставляет за собой право редактировать и сокращать статьи. Переписка с читателями — только на страницах журнала. При использовании материалов в любой форме ссылка на «Сварщик в России» обязательна.

Подписано в печать 14.05.2019. Формат 60×84 1/8. Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура PetersburgC. Отпечатано в ЗАО «ТДДС-Столица-8». Заказ № NNNN от дд.мм.2019. Тираж 1000 экз.

Издание выходит при содействии производственно-технического журнала «Сварщик»

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

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

Главный редактор В. Д. Позняков

Зам. главного редактора В. Г. Абрамишвили

Редакционная коллегия В. А. Белинский, Ю. К. Бондаренко, А. В. Вавилов, Ю. В. Демченко, В. М. Илюшенко, Г. И. Лащенко, О. Г. Левченко, В. М. Литвинов, Л. М. Лобанов, А. А. Мазур, В. И. Панов, П. П. Проценко, С. В. Пустойт, И. А. Рябцев, А. А. Сливинский

Адрес редакции 03150, Киев, а/я 337

Телефон +380 44 200 53 61, 200 80 18

Тел./факс +380 44 200 80 14

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

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

Подписка-2019

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

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

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

Структурная схема ремонтной сварки.

В.И. Панов, С.В. Кандапов

Изготовление металлических (сварных, лито-сварных, ковано-сварных) конструкций осуществляется путем обработки заготовок в ходе технологических процессов металлургического, механического, сборочно-сварочного и сборочного производств, которые могут оказать влияние на свойства основного металла вплоть до эксплуатации конструкции. А дефекты (их природа, значимость, местонахождение и др.) в основном металле или в сварной конструкции могут повлиять на технологию ремонтной сварки.

Многослойные наплавленные образцы для экспериментальной оценки усталостной долговечности наплавленных деталей.

И.А. Рябцев, В.В. Кныш, А.А. Бабинец, С.А. Соловей, И.И. Рябцев, И.К. Сенченков

Разработаны конструкция образцов и методики экспериментальной оценки усталостной долговечности многослойных наплавленных образцов при циклическом механическом нагружении. Методики исследований целесообразно использовать для оценки усталостной долговечности различных деталей при выборе материалов, техники и технологии их восстановительной или изготовительной многослойной наплавки.

Направления научных исследований и разработки отдела «Сварка легированных сталей» ИЭС им. Е.О. Патона.

В.Д. Позняков

Отдел «Сварка легированных сталей» ИЭС им. Е.О. Патона организован с целью развития работ ИЭС в области создания технологических процессов сварки для изготовления и ремонта металлоконструкций механизмов, машин и инженерных сооружений, которые изготавливаются из высокопрочных сталей с пределом текучести от 350 до 1400 МПа и эксплуатируются при повышенных нагрузках при умеренных и низких температурах. В отделе разработаны технологии ручной дуговой, механизированной в среде защитных газов и автоматической под слоем флюса сварок, внедренных в производство для изготовления сварных металлоконструкций ж/д транспорта, экскаваторов, автомобилей (от 75 т), автокранов, уникальных сооружений, в т. ч. спортивных арен и стадионов. В отделе с 2000 г. ведутся работы по созданию ремонтно-сварочных технологий, в т. ч. по ремонту цельнолитых изделий из средне- и высокоуглеродистых сталей, которые успешно внедрены при ремонте уникальных конструкций.

Электрошлаковая сварка заготовки корпуса тягового электродвигателя на ЧАО НПО «Днепропресс».

Ю.Н. Ланкин, Ю.В. Демченко, А.А. Москаленко, В.Г. Тюкалов, С.А. Тонкошкур, В.Н. Панибратец

Представлена технология электрошлаковой сварки (ЭШС) продольного шва заготовок корпусов тяговых электродвигателей, а также промышленная установка для ее осуществления, включающая аппарат АД-381Ш и тележку для размещения свариваемого изделия. Правильный выбор способа сварки и сварочного оборудования, тщательная подготовка и отработка технологии и техники выполнения работ, методика обучения технического персонала позволили успешно и в срок освоить новый для предприятия способ сварки – ЭШС.

Получение металлических порошковых материалов распылением из проволок-анодов дуговой плазмы.

А.В. Демчишин, М.А. Полещук, В.И. Зеленин, И.В. Доценко, И.М. Попович, В.М. Теплюк

Одним из направлений повышения эффективности использования материалов и расширения технологических возможностей в машиностроении является использование 3D аддитивных технологий, что увеличивает спрос на металлические сферические порошки для этих целей. Для 3D технологий используются следующие методы распыления порошков: газовое и плазменное распыление специальных электродов; индукционное плавление электродов с газовым распылением; плазменно-дуговое плавление слитков с центробежным распылением. Разработана новая технология плазменно-дугового распыления проволок в порошки, где проволоки используются в качестве анода. Способ позволяет получать порошки сферической формы из широкого ассортимента стандартных проволок.

Эксплуатация и обслуживание аппаратуры для газопламенной обработки металлов.

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

Рассмотрены основные правила эксплуатации и обслуживания аппаратуры для газопламенной обработки металлов (ручные газокислородные горелки и резаки, жидкотопливные резаки). Представлены особенности обслуживания жидкотопливных резаков, в частности керосинорезов РК-32 и РК-02М.



Международная конференция «Сварка в России – 2019: Современное состояние и перспективы», посвященная 100-летию со дня рождения Б.Е. Патона

С 3 по 7 сентября 2019 г. в Томске состоится Международная конференция «Сварка в России – 2019: Современное состояние и перспективы», посвященная 100-летию со дня рождения Б.Е. Патона. Это первая на постсоветском пространстве научно-техническая конференция, которая охватывает все направления развития сварочного производства, в т. ч. международного сотрудничества, направленного на укрепление связей между ведущими учеными и специалистами в области сварки и родственных технологий.

На конференции планируется обсудить широкий спектр научно-технических вопросов, в т. ч. создания нового класса материалов, предназначенных для производства и ремонта высокоответственных конструкций, техники специального назначения, эксплуатируемых в условиях экстремальных нагрузок и естественно низких климатических температур Крайнего Севера и Арктики, нового поколения сварочного оборудования и инновационных технологий монтажа и ремонта. Большое внимание будет уделено вопросам надежности конструкций и техники при ее эксплуатации в условиях низких климатических температур.

Тематика конференции:

- Современное состояние и перспективы развития сварочного производства России.
- Физика и механика прочности материалов при низких температурах, надежность и ресурс конструкций в условиях холодного климата. Механизмы деформации и разрушения твердых тел при статических, циклических и динамических нагрузках.
- Фундаментальные и прикладные аспекты создания новых материалов и критических технологий для повышения эксплуатационной надежности неразъемных соединений высокоответственных конструкций и техники специального назначения при эксплуатации в эк-

стремальных условиях и низких климатических температурах, как основы развития промышленного потенциала и безопасности России.

- Лазерные технологии и оборудование: фундаментальные исследования, разработка технологий и оборудования, опыт промышленного применения.
- Технологии и оборудование для электронно-лучевой обработки.
- Новые методы исследования структуры, механических и специальных свойств неразъемных соединений материалов.
- Сварочно-технологические свойства материалов и оборудования: методы регистрации, оценка достоверности, экспертная оценка.
- Перспективные материалы, их производство, технологии и оборудование для сварки и родственных технологий.
- Инновационные аспекты применения новых технологий для развития промышленных производств: в судостроении, энергетике и транспорте, машиностроении.

К участию в работе конференции приглашены ведущие корпорации и промышленные объединения (ПАО «Газпром», АО «Объединенная судостроительная корпорация», ПАО «Транснефть», АО «Трансмашхолдинг», Госкорпорация по атомной энергии «Росатом» и др.), ведущие научно-исследовательские и производственные организации России.

Регистрация участников Конференции осуществляется на сайте: <http://www.ispms.ru>

Контактная информация: тел.: +7 (3822) 286-833, 492-942, факс: 492-576

E-mail: mv_perovskaya@inbox.ru, wr2019@ispms.tsc.ru, litsin@ispms.tsc.ru

www.ritm-magazine.ru

●#1147

В ПНИПУ осваивают производство слоистых материалов при помощи плазмы

Разработку научных и технологических основ получения слоистых и композиционных материалов с использованием плазменных технологий ведёт коллектив кафедры «Сварочное производство, метрология и технология материалов» Пермского национального исследовательского политехнического университета (ПНИПУ). Об этом сообщает пресс-служба вуза.

Готовые изделия получают свойства, которые недостижимы при производстве традиционными способами.

Отмечается, что полученные изделия позволят создавать заготовки с градиентными свойствами методом 3D наплавки.

Учёные университета предлагают использовать уникальное плазменное оборудование для придания специальных свойств не только поверхности изделия, но и возможности получения «слоеного пирога»

с комплексом свойств, которые недостижимы традиционными способами. Использование указанных технологий, по мнению специалистов, позволит решить такие важные проблемы, как сплавление разнородных материалов и бездефектность полученных слоев.

Другим преимуществом разрабатываемых технологий является возможность использования нескольких проволок различных составов одновременно, что позволяет управлять химическим составом и свойствами получаемой заготовки прямо во время наплавки.

В настоящее время проект находится на этапе научно-исследовательских работ в области поиска оптимальных сочетаний материалов, подбор режимов обработки и изучения полученных свойств слоистых материалов.

www.regnum.ru

●#1148

Новочеркасский электродный завод запустил новый роботизированный комплекс

18 апреля 2019 г., на ЭПМ-Новочеркасский электродный завод (Ростовская обл., входит в Группу ЭПМ) состоялся запуск в работу современного роботизированного комплекса по производству ниппелей для графитированных электродов. Мероприятие приурочено к 65-летию завода.

Группа ЭПМ производит высокотехнологичную углеграфитовую продукцию (графитовые электроды) для предприятий сталелитейной, алюминиевой, ферросплавной, кремниевой, химической, атомной и машиностроительной отраслей. Компания была создана в 2007 г.

Стоимость проекта составила порядка 200 млн рублей. Проект является частью инвестиционной

программы Группы ЭПМ по расширению производственных мощностей и повышению качества выпускаемой продукции.

Современный комплекс по производству ниппелей позволит выполнять механическую обработку на более высоком уровне, а также увеличить точность геометрических размеров ниппелей в 5 раз – до 0,02 мм.

В составе нового роботизированного комплекса входит оборудование мирового уровня, в т. ч. станки ROMI и роботы-манипуляторы, последние используются для высокоточных операций международными компаниями, такими как Apple, Boeing, Toyota, General Motors, BMW, Ford, Chrysler, Mitsubishi и др.

В состав комплекса входит робот нового поколения для перемещения грузов грузоподъемностью 500 кг. Он обладает компактной конструкцией, улучшенной производительностью, имеет уникальную конструкцию захвата изделия и увеличенное рабочее пространство. Комплекс автоматизирован, что дает возможность провести сверхточное измерение геометрии производимой продукции, позволяет обеспечить сквозной сверхточный контроль геометрии всех выпускаемых ниппелей.

www.sdelanounas.ru

● #1149



Запуск наплавочного комплекса с технологией SpeedClad в Петрозаводске

На Петрозаводской производственной площадке АО «АЭМ-технологии» установили новый наплавочный комплекс Fronius ETR (Австрия). С помощью нового оборудования на заводе будут осваивать технологию наплавки внутренних поверхностей корпусов насосов ГЦН, в т. ч. и для строящейся в Финляндии АЭС «Ханхикиви».

Комплекс оборудован скоростной наплавочной головкой SpeedClad, которая одновременно подает

две изолированные сварочные проволоки в наплавочную ванну, где температуру поддерживают два вольфрамовых катода. Для повышения скорости наплавки проволоку предварительно разогревают. Такое оборудование позволяет производить экономичную наплавку толстостенных изделий, одновременно отвечая самым высоким требованиям качества и производительности, гарантирует стабильную эффективность наплавки и обеспечивает длительные сроки эксплуатации изделий. Манипулятор и поворотный стол комплекса полностью автоматизируют наплавку как наружных, так и внутренних цилиндрических и сферических поверхностей оборудования. Для наблюдения за процессом наплавки внутри изделия горелка оснащена системой видеомониторинга.

Наплавочный комплекс смонтирован на сварочном производстве «Петрозаводскмаша». В настоящее время специалисты отдела главного сварщика заканчивают его наладку, отстройку скоростных режимов в зависимости от ширины и массы наплавленного слоя, проводят визуальный и измерительный контроль тестовых наплавов.

www.vestnik-aem.ru

● #1150



Структурная схема ремонтной сварки

В.И. Панов, УрФУ им. Б.Н. Ельцина, **С.В. Кандалов**, ПАО «Уралмашзавод» (Екатеринбург)

В машиностроительном производстве изготовление металлоконструкций осуществляется путем обработки заготовок в ходе технологических процессов металлургического, механического, сварочного и сборочного производств. Особенности технологических переделов оказывают влияние на свойства металлов, их пороки могут появляться еще в металлургическом производстве и сохраняться вплоть до эксплуатации конструкции. Учет этапов жизненного цикла конструкции позволяет уменьшить издержки на ее доработку или даже предотвратить возможную катастрофу вследствие действия «непредусмотренных» обстоятельств.

Ремонтная сварка изделий тяжелого машиностроения практически возможна в процессе изготовления металлической конструкции или изделия, при монтаже, последующей эксплуатации. Технология ее выполнения включает в себя очистку места расположения дефекта, как правило, подлежащего удалению, сам процесс удаления дефекта, последующая ремонтная сварка, зачистка (слесарная или механическая) места сварки.

В качестве основных структурных составляющих схемы технологических процессов при ремонтной сварке выделены источник энергии, инструмент, предмет обработки (изделие), среда, в которой осуществляется ремонтная сварка. Источником термической энергии выступают резец (фреза, сверло), тепловой источник резака (пламя, плазма, луч лазера), наждачный круг, электрическая дуга, теплоноситель при термической обработке.

Специалистами в области проектирования, изготовления и эксплуатации различных тяжело нагруженных конструкций осознан факт влияния стадий жизненного цикла подобных изделий на состояние их металла как в процессе их изготовления, монтажа, так и в период последующей эксплуатации. Габариты изделий и другие факторы делают невозможным 100% контроль качества основного металла. При изготовлении крупногабаритной конструкции, ее монтаже, в первые годы эксплуатации оборудования выявляется множество дефектов, проявляются неучтенные факторы, приводящие в определенных условиях к возможному снижению долговечности и преждевременной утрате работоспособности.

Рассмотрение технологических процессов изготовления заготовок изделий тяжело нагруженного оборудования позволяет установить причины брака, который надо устранять с помощью ремонтной сварки. Ремонтной сварке наиболее часто подвергаются

фасонные отливки и толстостенные поковки, изделия из проката, поэтому при их изготовлении используются множество соответствующих технологий. В технической литературе (теория и практика литейного дела, обработка металлов давлением, механическая обработка, усталостная прочность, механика разрушения и др.) это явление обычно называют технологической наследственностью (ТН).

Современное металлургическое производство представляет собой замкнутый цикл разнообразных технологических процессов, объединенных в единый комплекс: шихтовый двор, чугуно-плавильное и сталеплавильное производства. Большое значение имеют исходный химический состав, размер кусков скрапа, тип футеровок плавильных агрегатов (кислая или основная), ведение плавки металла, процессы легирования, раскисления и др., регулирование температуры, удаление продуктов окисления, температура металла перед разливкой, способ разливки (струйный, сифонный и др.), величина слитков (их структура, величина усадочной рыхлоты) для последующейковки или прокатки. При большой толщине стенок сложно выдержать химический состав, равномерность механических свойств. Они могут отличаться в зависимости от вида заготовок – отливка, поковка, прокат. В процессе многочисленных технологических процессов возможно образование разнообразных дефектов. Опасность этих дефектов обусловлена тем, что они являются концентраторами напряжений, приводящим к значительному локальному перенапряжению конструкции.

Роль технологического наследования свойств металла в течение ЖЦК можно трактовать как процесс накопления повреждений, приводящем при определенном сочетании напряженно-деформированного состояния (НДС) к выходу конструкции (изделия, базовой детали) из строя [1].

ТН сопровождается такими сопутствующими явлениями, как образование несплошностей, временных и остаточных напряжений, изменение фазового и структурного состава, возникновение новых химических соединений, внедрение инородных веществ и элементов, изменение исходной геометрической формы, развитие анизотропии свойств и многое др. ТН следует рассматривать как функцию, во многом влияющую на жизненный цикл конструкции (ЖЦК), существующие взаимосвязи между ЖЦК и ТН металла конструкции носят сложный характер. Конструктору и технологу (металлургу, специалистам по холодной обработке материалов, сварке и т. д.) важно учитывать, как технологические

процессы связаны с формированиями конкретного НДС. В процессе изготовления конструкции возможно изменение (особенно при технологических операциях отделки фасонных отливок), это может привести к тому, что НДС изделия в любой момент времени может отличаться от состояния в другой момент времени. В зависимости от воздействия на материал технологического процесса в разных частях крупногабаритной массивной заготовки могут возникать разные по величине и по знаку напряжения.

Для ремонтной сварки существенным фактором является установление общих закономерностей проявления ТН металла. Для этого требуется изучение физических механизмов наследственности для управления ею в каждом отдельном случае. В качестве примера можно привести конус засыпного аппарата доменной печи. В ходе механической обработки эта деталь, имеющая разнотолщинность рабочей поверхности, получает неравновесное состояние (часть поверхности остается необработанной), что приводит к ползучести металла и отрыву ребер жесткости от внутренней поверхности конуса. Обработка наплавленного металла абразивным инструментом создает в выступах неровностей поверхности шва тепловые удары, вызывающие мгновенный нагрев и структурные изменения металла поверхностного слоя. На участках обработанной поверхности, расположенных под выступами микронеровностей, возникают зоны отпущенного металла, имеющие пониженную твердость. На границах разных структур возникают значительные остаточные напряжения, вызывающие появление трещин типа шлифовочных.

При производстве конструкций и изделий широко используются технологические операции, приводящие к предварительной пластической деформации (ППД) материалов. К этим операциям относятся электрогидравлическая очистка поверхности литых заготовок (ЭГОЛ) или дробеструйная очистка, правка, механическая обработка крупногабаритных изделий, совмещение кольцевых стыков достаточно тонких крупногабаритных обечаек при их сборке под сварку и др. Как известно, ППД может значительно увеличить предел текучести σ_T материала и снизить его пластические свойства. Кроме того, ППД может сопровождаться деформационным старением, повышающим временное сопротивление σ_B . Изменение механических характеристик может существенно изменить вероятность неразрушения конструкции [1].

На крупных литейных деталях (корпуса гидравлических генераторов) под влиянием технологических напряжений механической обработки возможно формоизменение детали. Такие процессы формоизменения, как гибка, отбортовка, окантовка, вытяжка, обжатие, также вызывают пластичные деформации, что изменяет характер поведения материала.

В процессе стадий изготовления изделия могут происходить отклонение формы и размеров конструктивных элементов от проектных значений. Заготовки, имеющие различную степень жесткости или температурную деформацию, в различных точках под действием сил резания [2] или нагрева [3] могут иметь неодинаковые перемещения.

Металлические материалы могут стареть под влиянием термических, термдеформационных и деформационных нагрузок. Для ремонтной сварки немаловажным фактором является возраст металла конструкции (изделия, базовой детали и т. п.). Старение металла влияет на повышение его прочности (до 30 %) и снижение сопротивления хрупкому разрушению и порога хладноломкости.

Как показали наши исследования, в процессе ремонтной сварки корень многопроходного шва с односторонней разделкой подвержен термдеформационному старению. Аналогичный участок – участок синеломкости, нагреваемый до интервала температур 200–450 °С, имеется и в зоне термического влияния сварного соединения. На обоих участках наблюдаются снижение пластических свойств и ударной вязкости.

Наследование свойств металла в течение ЖЦК является как вероятностным, так и детерминированным процессом. Флуктуации механических свойств конструкционных материалов и местных напряжений, как правило, носят случайный характер, поэтому есть вероятность неблагоприятного сочетания «нагрузки» (напряжений) и «прочности» (механических свойств), что может привести к локальному перенапряжению и образованию сплошности (повреждения).

Параметры ТН могут характеризоваться неопределенностью, носить случайный характер (неизбежное изменение режима механической обработки крупногабаритного изделия под влиянием токовой нагрузки, износ режущего инструмента или технологической оснастки и др.). Поэтому распределение дефектов и НДС может носить стохастический характер.

При выполнении ремонтной сварки должна учитываться окружающая среда, которая может быть различной – от цеховых условий производителя до полевых условий.

Подводя итоги сказанному выше, следует отметить, что перед разработкой стратегии и тактики выполнения восстановительных работ надо знать предысторию изготовления изделия, подвергаемого ремонтной сварке, поскольку наследование свойств металла в течение ЖЦК является как детерминированным, так и вероятностным процессом. Дефекты (овальность заготовок, непровары и др.) могут носить случайный характер, и к учету их влияния на ресурс оборудования также может быть применен вероятностный подход. Важным

этапом успешного выполнения ремонтной сварки является прогнозирование развития событий с учетом ТН еще на стадии проектирования технологии ремонтной сварки. При ремонтной сварке массивных конструкций для восстановления работоспособности одной детали может использоваться несколько источников энергии, при этом может происходить сочетание энергий разных видов (резец, фреза, сверло, газокислородное пламя, плазма, луч лазера, электрическая дуга). Поэтому нужна дополнительная информация о технических и технологических возможностях предприятия, где будет выполняться ремонтная сварка. При создании технологического процесса ремонтной сварки необходима оценка энергетических характеристик (оценка технических и технологических возможностей предприятия, выполняющего восстановительные работы). Необходимо учитывать, что часть энергии тратится на устранение несоответствия, часть вводимой энергии поглощается внутри изделия (базовой детали), частично преобразуясь в потенциальную энергию внутренних напряжений, другая часть выделяется в виде тепла в окружающее пространство. Учитывая последний фактор, при проведении ремонтной сварки следует избегать сквозняков, место выполнения восстановительных работ надо ограждать от внешних осадков и т. д. Знание особенностей технологической наследственности в течение жизненного цикла позволяет сформировать

принципиальное решение выполнения ремонтной сварки, разработать модели и чертежи, выполнить необходимые расчеты, смоделировать процессы выполнения восстановительных работ, определить их оптимизацию и т.п., что позволяет управлять процессом ремонтной сварки массивных изделий.

Настоящая работа является продолжением статьи [4]. Ориентированный граф ремонтной сварки также имеет вид $G = (V, E)$, схемы технологического процесса металлообработки, вершинами которого являются составляющие технологического процесса восстановительных работ:

$$V = \{v1, v2, v3, v4\},$$

а дуги между ними: $E = \{e1, e2, e3, e4\}$ - характеризуют энергетическое взаимодействие между ними.

Литература

1. Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением: Учебник для ВУЗ-ов. – М.: Металлургия. – 1986. – 688 с.
2. Суслов А.Г., Дальский А.М. Научные основы технологии машиностроения. – М.: «Машиностроение». – 2002. – 684 с.
3. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Металловедение: Учебник – 2 изд., перераб. и доп. / М.: Металлургия. – 1980. – 493 с.
4. Лашенко Г.И. Структурные схемы технологических процессов изготовления сварных конструкций. / Автомат. сварка. – 1996. – № 4. – С. 32-35, 47.

●# 1151

Компания АЗСМ «Прогресс» представила новый сварочный передвижной агрегат

Производственное предприятие Алтайский завод самоходных машин «Прогресс», которое занимается проектированием, разработкой и испытанием спецтехники на гусеничном ходу для различных отраслей российской промышленности, изготовило новую модель сварочного передвижного агрегата МСН-10 АПС «Синтез» с надстройкой крано-манипулятора АНТ 7.5-2.

Ранее АПС МСН-10 оснащались манипуляторами «Соломбалец» СФ62С, изготавливаемых ЗАО «Подъемные машины».

Сварочный передвижной агрегат изготовлен на шасси лесопромышленного трелевочного трактора МСН-10 с дизельным четырехтактным шестицилиндровым двигателем А-01 МРСИ-1 130 л.с. производства ОАО «Алтайский моторный завод», являющегося усовершенствованным аналогом трактора ТТ-4М, на который устанавливается утепленный КУНГ для размещения дизельной электростанции АД-100С-Т400-1Р с двигателем Ярославского моторного завода ЯМЗ-238М2 (100 кВт) и сварочное оборудование, а также крано-манипуляторная установка АНТ 7.5-2 с двумя выдвижными секциями (максимальный вылет стрелы 6,8 м) и грузоподъемностью 3000 кг (грузоподъемность на максимальном вылете 1100 кг), углом поворота колонны 390°, имеющая гидравлическое управление, предназначенная для перемещения сварочной палатки и др. вспомогательных работ.

www.arms-expo.ru

●# 1152



Многослойные наплавленные образцы для экспериментальной оценки усталостной долговечности наплавленных деталей

И.А. Рябцев, д.т.н., **В.В. Кныш**, д.т.н., **А.А. Бабинец**, к.т.н., **С.А. Соловей**, к.т.н.,
И.И. Рябцев, к.т.н., «ИЭС им. Е.О. Патона» НАНУ, **И.К. Сенченков**, д.ф.-м.н.,
 «Институт механики им. С.П. Тимошенко» НАНУ (Киев)

Разработаны конструкция образцов и методики экспериментальной оценки усталостной долговечности многослойных наплавленных образцов при циклическом механическом нагружении. Методики исследований целесообразно использовать для оценки усталостной долговечности различных деталей при выборе материалов, техники и технологии их восстановительной или изготовительной многослойной наплавки.

Показатели усталостной долговечности являются одной из важнейших характеристик наплавленных деталей, которые эксплуатируются в условиях циклических механических нагрузок. Однако, как показывает анализ, стандартные образцы и методики испытаний усталостной долговечности [1-4] практически невозможно адаптировать к условиям эксплуатации, которые характерны для многих наплавленных деталей. В частности, стандартные образцы имеют цилиндрическое сплошное (толщина до 25 мм) или полое (толщина стенки 2 мм) сечение, либо представляют собой плоские образцы толщиной до 10 мм. Образцы такой формы и относительно небольших размеров не позволяют исследовать влияние химического состава и конструкции наплавленных слоев в многослойных наплавленных деталях на их циклическую долговечность.

На стандартных образцах невозможно также оценить влияние особенностей выполнения ремонтно-восстановительной и изготовительной наплавки на характеристики циклической долговечности деталей. В результате испытания, как правило, проводятся на специализированных экспериментальных установках и на образцах различной конструкции, редко имитирующих работу натуральных деталей в процессе эксплуатации, что приводит к результатам, которые существенно отличаются для одного и того же материала, и технологии наплавки [5-9 и др.].

Целью данной статьи является – разработка конструкции наплавленных образцов и соответствующих методик для сравнительных исследований сопротивления усталости деталей с многослойной наплавкой.

Все детали машин и механизмов, о которых идет речь в данной статье, условно разделены на две группы. К первой группе отнесены детали, у которых зона интенсивного изнашивания совпадает с зоной максимальных напряжений от циклических механических нагрузок. К этой группе относятся прокатные валки, ролики машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) и т. п. Ко второй – те детали, у которых зона интенсивного изнашивания не совпадает с зоной максимальных напряжений от циклических механических нагрузок. Это крупномодульные зубчатые колеса, крупная упорная резьба и т. п.

Группа 1. Для образцов, имитирующих наплавленные детали типа прокатных валков, роликов МНЛЗ и т. п., мы предлагаем использовать нагружение образцов по схеме трехточечного изгиба с приложением отнулевой циклической нагрузки по центру образца (рис. 1, а, б). Испытания по данной схеме с определенными допущениями воспроизводят силовые нагрузки, характерные для указанных деталей и, кроме того, в этом случае в процессе испытаний можно проводить визуальную оценку характера распространения усталостной трещины.

При выборе размеров образца необходимо учитывать влияние масштабного фактора на характеристики сопротивления усталости, т.е. ширину образца следует выбирать исходя из условия сохранения одноосного напряженного состояния во всех точках образца [1]. При этом наплавленный образец должен в достаточной степени имитировать наплавленную многослойную конструкцию реальной детали. Поскольку наплавка на образец про-

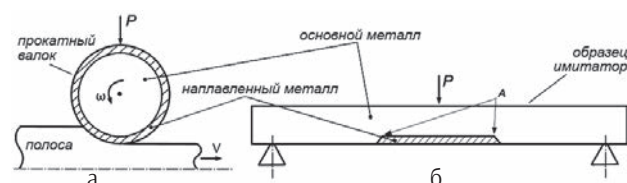


Рис. 1. Схема прокатки полосы (а) и нагружение образца-имитатора по схеме трехточечного изгиба (б). Стрелками (А) указаны места перехода от основного металла к наплавленному металлу

изводится только с одной стороны, то его размеры должны быть такими, чтобы деформации образца после наплавки были минимальными. Исходя из имеющегося опыта [10, 11] и результатов предварительных экспериментов, разработана конструкция

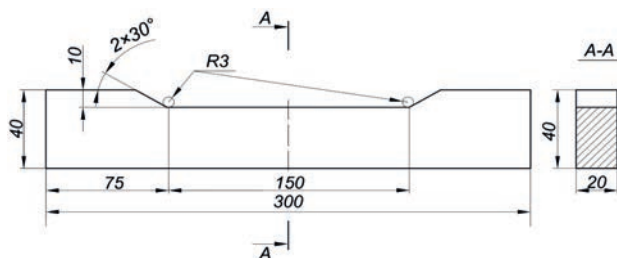


Рис. 2. Эскиз заготовки образца для исследования усталостной долговечности с разделкой под наплавку размерами 10х20х150 мм

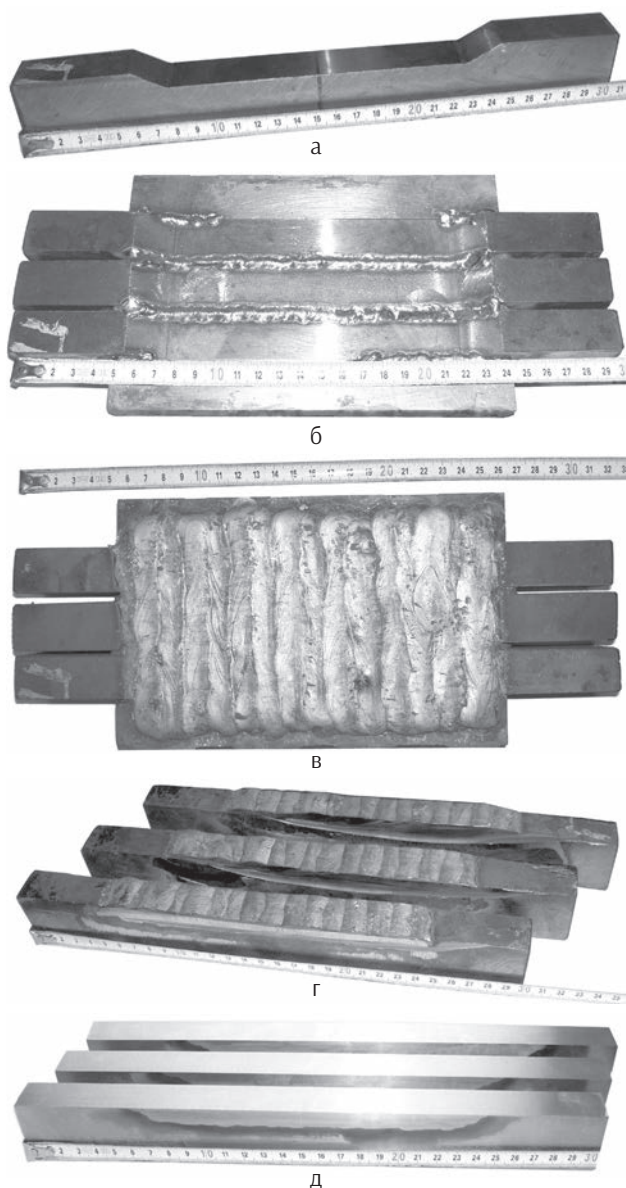


Рис. 3. Этапы изготовления наплавленных образцов: заготовка с разделкой под наплавку (а); заготовки, собранные в пакет (б), после наплавки (в), порезки (г) и финишного шлифования (д)

образцов в форме прямоугольного параллелепипеда размерами 20х40х300 мм с разделкой под наплавку шириной 150 мм и глубиной 10 мм (рис. 2).

При необходимости изготовления образцов, отличных по геометрическим размерам от образцов, приведенных на рис. 2, для расчета размеров разделки под наплавку рекомендуется использовать результаты работы [10]. Главное требование – места перехода от наплавленного к основному металлу (указаны стрелками А на рис. 1, б) не должны быть потенциальным местом зарождения усталостных трещин, вследствие слишком близкого расположения к месту приложения внешней циклической нагрузки.

Учитывая высокую твердость наплавленного металла (46-50 HRC), разработана следующая технология изготовления образцов. Заготовки образцов с небольшим припуском на последующую механическую обработку собирают в пакет из 3-5 штук при помощи технологических вставок толщиной 5 мм. По бокам такого пакета приваривают выводные планки и выполняют автоматическую электродугую многослойную наплавку пакетов соответствующими наплавочными материалами (рис. 3, а-д).

После наплавки пакет заготовок разрезается абразивными кругами по технологическим вставкам на отдельные заготовки и на шлифовальном станке снимается перегретый в процессе резки слой металла (в процессе механической обработки образцов не допускается их нагрев выше 50 °С). После финишного шлифования всех четырех сторон образцы готовы для испытаний на усталость. Такая технология обеспечивает сохранение постоянных поперечных размеров образцов, не допускает искривления по какой-либо из осей, обеспечивает шероховатость поверхности по 9-10 классу чистоты по ГОСТ 2789-73.

Группа 2. Для образцов, имитирующих наплавленные детали сложной формы (зубья крупномодульных шестерен, крупная резьба нажимных винтов прокатных станов, упорная резьба подвесных конусов конусных дробилок, шатунные шейки коленчатых валов и т. п.), разработана конструкция образцов, учитывающая особенности изнашивания и приложения силовых нагрузок у деталей

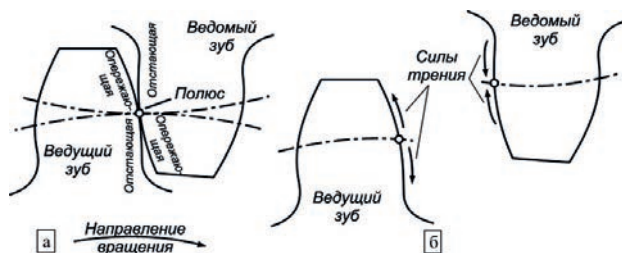


Рис. 4. Расположение отстающих и опережающих поверхностей (а) и направление сил трения (б) на ведущем и ведомом профилях зубьев [10]

этой группы. Как указывается выше, у деталей этой группы зона изнашивания и приложения циклической нагрузки не всегда совпадает с зоной максимальных напряжений и наиболее вероятного появления усталостных повреждений (рис. 4, а, б). Например, силы трения, возникающие в процессе эксплуатации зубчатых колес, приводят к их износу и образованию впадин вдоль их полюсной линии (рис. 4, б). При этом, в процессе эксплуатации, циклические напряжения достигают максимальных значений в корне зуба, а зона максимального износа располагается выше. Кроме того, переход от корня зуба к впадине является концентратором напряжений [10].

На практике возможны две схемы наплавки изношенных областей подобных деталей: первая – восстановительная (рис. 5, б), при которой наплавляется только изношенная область; вторая – восстановительно-упрочняющая (рис. 5, в), при которой предварительно механически удаляется поврежденная часть материала в зоне максимальных напряжений, а затем полностью восстанавливается геометрическая форма детали.

Исходя из того, что разрушение зуба шестерни происходит вследствие образования усталостной трещины у его основания, то для экспериментальной оценки усталостной долговечности разработана конструкция образцов, имеющих аналогичный концентратор напряжений (рис. 6). Величина радиуса перехода в образцах выбирается исходя из определяющих размеров зубьев реальных крупномодульных шесте-



Рис. 5. Форма изношенного зуба (а) и возможные схемы его наплавки: б – восстановление первоначальных размеров зуба (схема 1); в – восстановительно-упрочняющая наплавка с заменой поврежденного материала в зоне концентрации напряжений у корня зуба (схема 2)

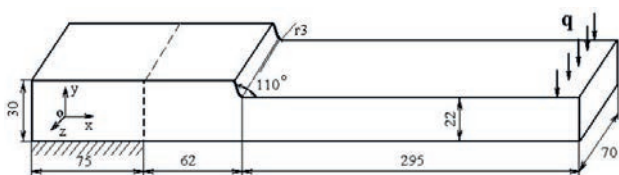


Рис. 6. Схема нагружения модельного образца для исследования циклической долговечности зуба шестерни (q – приложенная внешняя циклическая отнулевая нагрузка)

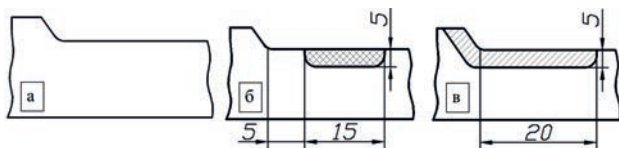


Рис. 7. Схемы восстановительной наплавки образцов для испытаний на усталостную долговечность: исходная с концентратором напряжений (а), с разделкой под наплавку по схеме 1 (б) и с разделкой под наплавку по схеме 2 (в)

рен. Испытания на усталостную долговечность, с учетом приложения реальных нагрузок на деталь, следует проводить при консольном отнулевом изгибе.

В зависимости от применяемой схемы наплавки (рис. 5) изготавливали следующие образцы: с концентратором напряжений (рис. 7, а), с разделкой под наплавку по схеме 1 (рис. 7, б) или с разделкой под наплавку по схеме 2 (рис. 7, в).

Были проведены исследования усталостной долговечности наплавленных образцов двух предложенных конструкций. Изготовили две партии образцов, соответственно, для исследования циклической долговечности деталей первой (прокатные валки и т. п.) и второй (зубья крупномодульных шестерен и т. п.) групп.

Партия образцов первой группы (рис. 2) состояла из трех серий (по 3 образца в каждой серии) для испытаний по схеме трехточечного изгиба (рис. 1, б). Первую серию образцов из стали 40Х испытывали в исходном состоянии (без наплавки); образцы второй серии – после наплавки порошковой проволокой ПП-Нп-25Х5ФМС $\varnothing$ 2,0 мм под флюсом АН-26П (режим наплавки: напряжение 24-26 В; ток 230-250 А; скорость наплавки 20 м/ч); образцы третьей серии – после наплавки на тех же режимах промежуточного слоя (подслоя) сплошной проволокой Св-08 $\varnothing$ 2,0 мм под флюсом АН-348А и последующей наплавки порошковой проволокой ПП-Нп-25Х5ФМС $\varnothing$ 2,0 мм под флюсом АН-26П. Порошковая проволока ПП-Нп-25Х5ФМС была выбрана исходя из того, что она широко применяется для наплавки прокатных валков [10].

Партия образцов второй группы (рис. 7) состояла из четырех серий (по 3 образца в каждой серии) для испытаний по схеме консольного изгиба (рис. 6). Первую серию образцов из стали 35ХМ испытывали в исходном состоянии (без наплавки); образцы второй серии – после наплавки сплошной проволокой Нп-30ХГСА $\varnothing$ 2,2 мм под флюсом АН-26П по схеме 1; образцы третьей серии – после предварительной наработки 10^5 циклов и последующей разделки и наплавки сплошной проволокой Нп-30ХГСА $\varnothing$ 2,2 мм под флюсом АН-26П по схеме 1; образцы четвертой серии – после предварительной наработки 10^5 циклов и последующей разделки и наплавки сплошной проволокой Нп-30ХГСА $\varnothing$ 2,2 мм под флюсом АН-26П по схеме 2. Режим наплавки проволокой Нп-30ХГСА во всех сериях был одинаковый: напряжение 32 В; ток 300 А; скорость наплавки 18 м/ч.

Расчет предельных нагрузок и количества циклов до разрушения выбирался из следующих предпосылок. Поскольку испытания носили сравнительный характер, то для сокращения времени испытаний за базу было выбрано относительно небольшое количество циклов – $2 \cdot 10^5$ [11]. Был произведен расчет нагрузок, которые бы обеспечива-



Рис. 8. Внешний вид боковой поверхности образца с участками, где зародились усталостные трещины: о. м. – основной металл, н. м. – наплавленный металл

ли именно такое количество циклов до появления усталостной трещины в образце. Для образцов из сталей 40Х и 35ХМ такому количеству циклов соответствуют максимальные прикладываемые напряжения равные 500 МПа. Результаты испытаний двух партий образцов приведены в *табл. 1*.

В процессе испытаний каждый образец находился под постоянным визуальным контролем (осмотр каждые 15-30 мин), в ходе которого боковые шлифованные протравленные поверхности образца смазывались керосином для проявления места зарождения трещины. В протоколе испытаний фиксировались количество циклов нагружения образца до момента появления одной или нескольких трещин длиной 1,0-1,5 мм, после чего испытания останавливались. Для примера, на *рис. 8* показан внешний вид образца с выявленными местами зарождения трещин усталости.

Испытания образцов (*табл. 1*), изготовленных из основного металла без и с наплавкой, подтвердили обоснованность принятых расчетных нагрузок и показали, что разработанные методики и образцы могут успешно применяться для сравнительной оценки усталостной долговечности деталей, наплавленных различными материалами и по различным технологиям.

Полученные экспериментальные результаты (*табл. 1*) наглядно иллюстрируют влияние химического состава наплавочных материалов, кон-

струкции наплавленных слоев и схемы наплавки на циклическую долговечность образцов.

Циклическая долговечность образцов первого типа из стали 40Х с наплавленным износостойким слоем из стали 25Х5ФМС снизилась примерно на 38 % по сравнению с циклической долговечностью образцов из основного металла без наплавки. Наплавка подслоя из пластичного материала (типа низкоуглеродистой стали 08пс), позволила существенно повысить циклическую долговечность по сравнению с образцами, наплавленными без подслоя. Снижение долговечности по сравнению с не наплавленными образцами в этом случае не превысило 14 % (*табл. 1*).

Усталостные испытания образцов из стали 35ХМ, имитирующих зубья крупномодульных шестерен, показали, что предварительная циклическая наработка на 10^5 циклов, оказывает существенное влияние на долговечность наплавленных образцов (*табл. 1*), поскольку приводит к накоплению усталостных повреждений в зоне концентратора напряжений у корня зуба. Выполнение восстановительной наплавки по схеме 1 без удаления основного металла, имеющего усталостные повреждения, нецелесообразно, поскольку фактически приводит к значительному снижению остаточной циклической долговечности. Выполнение восстановительно-упрочняющей наплавки по схеме 2, с удалением поврежденного слоя металла у концентратора напряжений, позволяет увеличить остаточную усталостную долговечность восстановленных наплавкой зубьев в 1,2 раза по сравнению с исходным состоянием (*табл. 1*).

На основании изложенного выше можно сделать следующие выводы.

1. Разработаны конструкции двух типов многослойных наплавленных образцов и соответствующие методики испытаний для оценки их усталостной долговечности при циклическом механическом нагружении. Данные образцы и методики позво-

Таблица 1. Результаты испытаний усталостной долговечности образцов при циклическом механическом нагружении

Тип и размеры образца	Материал образца	Количество циклов до появления трещины в образцах:			Среднее кол-во циклов до появления трещины
		1	2	3	
Образцы размерами 20x40x300 мм для испытаний по схеме трехточечного изгиба					
Сплошной без разделки и наплавки	Сталь 40Х	190500	199750	215300	201850
С наплавкой без подслоя	Сталь 40Х + 25Х5ФМС	120100	134300	124800	126400
С наплавкой с подслоем	Сталь 40Х + 08пс + НП-25Х5ФМС	179300	165100	180600	175000
Образцы размерами 30x70x432 мм для испытаний по схеме консольного изгиба					
Сплошной без разделки и наплавки	Сталь 35ХМ	185700	176900	178900	180500
С разделкой и наплавкой по схеме 1	Сталь 35ХМ+ Нп-30ХГСА	111350	126800	134450	124200
С разделкой и наплавкой по схеме 1*	- « -	17200	20100	18800	18700
С разделкой и наплавкой по схеме 2*	- « -	214800	220100	234700	223200

* образцы перед разделкой и наплавкой были нагружены на 10^5 циклов.

ляют производить сравнительную оценку влияния многослойной наплавки, химического состава наплавленных слоев, их геометрических размеров, технологии и техники наплавки на усталостную долговечность наплавленных деталей.

2. Установлено, что использование в качестве подслоя пластичного материала типа низкоуглеродистой стали 08пс при износостойкой наплавке образцов из стали 40Х, имитирующих условия эксплуатации прокатных валков, позволило значительно повысить их циклическую долговечность по сравнению с образцами, выполненными без подслоя.

3. При восстановительно-упрочняющей наплавке изношенных зубьев крупномодульных шестерен и др. подобных деталей, у которых зона интенсивного изнашивания не совпадает с зоной максимальных напряжений от циклических механических нагрузок, рекомендуется выполнять наплавку с предварительным удалением поврежденного слоя основного металла у корня зуба. Такая технология позволяет увеличить долговечность восстановленных наплавкой зубьев в 1,2 раза по сравнению с исходным состоянием.

Список литературы

1. Школьник Л.М. Методика усталостных испытаний. – М.: Металлургия. – 1978 – 304 с.
2. Трощенко В.Т. Прочность металлов при переменных нагрузках. – К.: Наукова думка. – 1978. – 176 с.
3. ГОСТ 25.502-79. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость. – 1979.

4. Трощенко В.Т., Сосновский Л.А. Сопротивление усталости металлов и сплавов. Ч. 1. – К.: Наукова думка. – 1987 – 347 с.

5. Marek A., Junak G., Okrajni J. Fatigue life of creep resisting steels under conditions of cyclic mechanical and thermal interactions. Archives of Materials Science and Engineering, 2009. – 40. – №1. – Р. 37-40.

6. Домбровский Ф.С., Лещинский Л.К. Работоспособность наплавленных роликов машин непрерывного литья заготовок. – К.: ИЭС им. Е.О.Патона. – 1995. – 197 с.

7. Опарин Л.И., Васильев В.Г., Бондарчук Е.П. Повышение усталостной прочности наплавленного металла типа 15Х13. Сб. Наплавленный металл. Состав, структура, свойства. – 1992. – С. 51-54.

8. Махненко В.И., Шекера В.М., Кравцов Т.Г., Севрюков В.В. Влияние последующей деформационной обработки на перераспределение остаточных напряжений в наплавленных валах. // Автомат. сварка. – 2001. – № 7. – С. 3-6.

9. Бизик Н.К., Дарчиашвили Г.И., Трапезон А.Г., Письменный Н.Н. Влияние наплавки оловянистой бронзы на сопротивление усталости сталей 40ХФМА и 10ХСНД. Сб. Наплавка при изготовлении деталей машин и оборудования. 1986. – С. 100-103.

10. Рябцев И.А., Сенченков И.К., Турык Э.В. Наплавка. Материалы, технологии, математическое моделирование. Gliwice, Wydawnictwo politechniki slaskiej, 2015. – 590 с.

11. Babinets A.A., Ryabtsev I.A. Fatigue life of multilayer hard-faced specimens. Welding International, 2016. – 30 – № 4. – С. 305-309.

●# 1153

Gamma устанавливает новый стандарт безопасности сварки

С 1 мая 2019 г.в продаже появятся новые средства индивидуальной защиты (СИЗОД) для сварщиков – Gamma от компании Kemppi. Маски и др. СИЗОД этой серии снижают утомляемость сварщиков и минимизируют влияние негативных факторов на здоровье.

Флагманские маски Gamma обеспечивают не только высочайший уровень защиты глаз, лица и органов дыхания, но и дополнительное рабочее освещение, благодаря которому улучшается обзор и повышается комфорт и безопасность сварочных работ.

Модели Gamma установили новый стандарт безопасности и защиты для сварщиков во всем мире. Вредные производственные факторы неизбежны в сварочных цехах и представляют серьезную проблему, как для работодателей, так и для работников. Помимо очевидных угроз, таких как яркий свет и высокая температура сварочной и режущей дуги, есть и не столь заметный фактор — загрязнение воздуха в производственном помещении. Пары, возникающие при сварке и резке, состоят из элементов, опасных для здоровья человека. Как правило, сварщики вдыхают 4000 литров воздуха за 8-часовую рабочую смену, и если дыхательная система не защищена, загрязненный воздух представляет серьезную опасность для здоровья, как при длительном, так и при кратковременном воздействии.

«Важно помнить, что опасные вещества представляют угрозу для здоровья, только попадая в тело человека, — говорит Джон Фрост, начальник производства средств индивидуальной защиты компании Kemppi Oy. — Наша новая продукция серии Gamma задала новый стандарт уровня защиты. При использовании с новым блоком фильтрации воздуха продукция Gamma соответствует наивысшей европейской классификации (класс ТН3) по коэффициенту проникновения для средств защиты органов дыхания. Это означает, что она обеспечивает защиту от 99,8 % находящихся в воздухе газообразных и механических загрязнений».

www.ritm-magazine.ru

●#1154



Направления научных исследований и разработки отдела «Сварка легированных сталей» ИЭС им. Е.О. Патона

В.Д. Позняков, чл.-корр. НАНУ, д. т. н., ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ (Киев)

Отдел сварки легированных сталей был создан 1 апреля 1982 г. в связи с необходимостью развития научных исследований в области сварки легированных сталей и расширением работ по созданию и освоению в производстве новых сварочных технологий, материалов и оборудования для изготовления из этих сталей высокоэффективных сварных конструкций ответственного назначения. В состав отдела были включены лаборатории В.Ф. Мусияченко (отдел № 5), В.И. Кирьякова (отдел № 15) и группа В.Г. Гордонного (отдел № 11).

Основные научные направления тематики отдела «Сварка легированных сталей» были сориентированы на:

- развитие теоретических основ сварки легированных высокопрочных сталей специального и общего назначения;
- исследование и разработку эффективных металлургических процессов сварки легированных высокопрочных сталей в защитных газах сплошными и порошковыми проволоками, под плавными и керамическими флюсами, штучными электродами и др.;
- разработку специальных сварочных материалов и технологий изготовления из легированных высокопрочных сталей экономичных и надежных в эксплуатации сварных конструкций, подвижного транспорта специального назначения, карьерных, шагающих экскаваторов и др. горной техники, автомобилей особо большой грузоподъемности, высокопроизводительных строительных и дорожных машин, уникальных инженерных сооружений.

Создателем и первым руководителем отдела был д.т.н. В.Ф. Мусияченко. С 1989 по 2001 гг. отдел возглавлял к.т.н. В.Г. Гордонный, а с 2001 по 2002 гг. д.т.н. Л.И. Миходуй. С 2002 г. отделом руководит чл.-корр. НАН Украины, д.т.н. В.Д. Позняков.

Вопросами сварки высокопрочных конструкционных сталей, используемых в тяжелом машиностроении, в отделе занимается группа сотрудников, которую в разные годы возглавляли В.Ф. Мусияченко и Л.И. Миходуй. В 1980-1990-е гг. прошлого столетия в отделе получили дальнейшее развитие работы по изучению, созданию технологических процессов и разработке материалов для дуговой сварки хладостой-

ких бейнитно-мартенситных высокопрочных сталей с пределом текучести 590-860 МПа.

Разработанные на основе этих исследований технологические процессы сварки широко использовались при изготовлении металлоконструкций: стрел и опорных частей автокранов большой грузоподъемности из стали 14ХГН2МДАФБ на ПО «Краян» (Одесса), гидropодъемников из экономнолегированной стали 17Х2М на Мелитопольском заводе «Гидромаш»; шахтных крепей из стали 14ХГ2САФД на Дружковском машиностроительном заводе. Опыт эксплуатации металлоконструкций из высокопрочных сталей свидетельствует об их высокой надежности и работоспособности. Не забыты были и ранее налаженные производственные связи с предприятиями РФ. Так, для изготовления металлоконструкций рабочих органов экскаваторов большой единичной мощности из стали 12ГНЗМФАЮДР на ПО «Уралмаш» (Екатеринбург) в ИЭС им. Е.О. Патона была разработана проволока сплошного сечения Св-10ХГН2СМ-ФТЮ Ø 1,2 мм для механизированной сварки в защитных газах.

Потребность в снижении веса металлоконструкций автокранов и строительно-дорожной техники вызвала необходимость применения при их изготовлении высокопрочных сталей с пределом текучести до 1000 МПа. Остро встал вопрос о создании сварочных материалов и технологии сварки таких сталей. Учитывая это, в середине 1990-х гг. в отделе в сжатые сроки была разработана и апробирована в промышленных условиях новая сварочная проволока сплошного сечения марки Св-10ХН2Г2СМТ для механизированной сварки в смеси газов (82 % Ar + 18 % CO₂). Созданная на ее основе технология сварки нашла применение при изготовлении крановых металлоконструкций из стали StE-960 на Одесском СП «Кранлод».

Предложенные технологические процессы сварки с учетом оптимальных условий охлаждения металла сварных соединений позволили получить качественные металлоконструкции с высокими эксплуатационными и технологическими свойствами благодаря образованию структур с высокой сопротивляемостью хрупкому разрушению.

В начале XXI века продолжались работы по внедрению новых технологий сварки при изготовле-

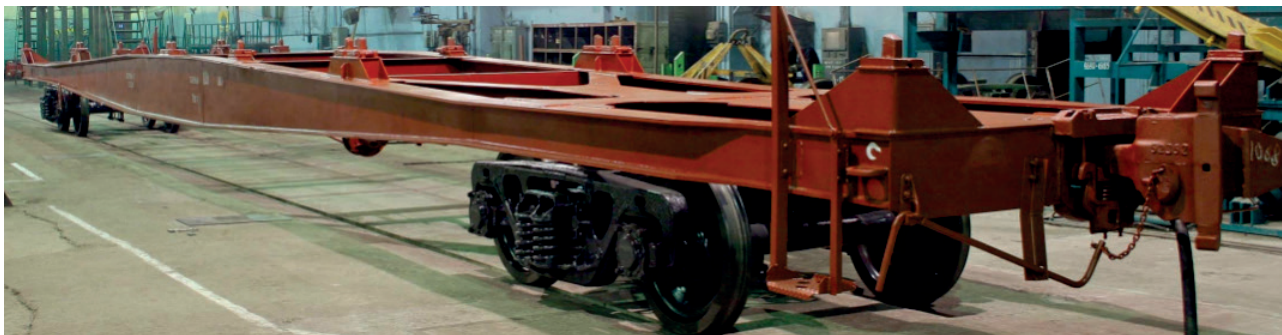


Рис. 1. Железнодорожная платформа модели 13-7024

нии строительных металлоконструкций и металлоконструкций подвижного состава железнодорожного транспорта из высокопрочных сталей с пределом прочности 560-590 МПа. В 2000 г. проведен комплекс работ по исследованию свариваемости микролегированных с карбонитридным упрочнением сталей таких, как 10Г2ФБ, 06ГБ, 06Г2Б и S 355. Разработанные на основе проведенных исследований технологические процессы дуговой сварки внедрены при изготовлении уникальных механизмов и сооружений.

Так, на ОАО «Крюковский вагоностроительный завод» налажен серийный выпуск платформ контейнеровозов из стали 10Г2ФБ. Замена в платформах стали 09Г2С на новый микролегированный материал с карбонитридным упрочнением обеспечит ресурс эксплуатационной прочности платформ модели 13-7024 до 32 лет (рис. 1).

В 2007 г. разработана технология и осуществлен авторский надзор за сваркой замыкающего стыка спиральной камеры и напорного водовода гидроагрегата № 1 Днестровской ГАЭС (г. Новоднестровск) (рис. 2). Выполняли это стыковое соединение толщиной 32 мм с V-образным раскрытием кромок из стали 09Г2С ручной дуговой сваркой покрытыми электродами с применением способа «поперечная горка».



Рис. 2. Спиральная камера гидроагрегата № 1 Днестровской ГАЭС

Из стали 06ГБ класса прочности С390 толщиной 20-30 мм с применением механизированной сварки в смеси газов (82 % Ar + 18 % CO₂) проволокой сплошного сечения изготовлены металлоконструкции резервуара емкостью 50 000 м³ при модернизации резервуарного парка в г. Мозырь (Республика Беларусь) на участке магистральных нефтепроводов.

В рамках подготовки к проведению футбольного чемпионата ЕВРО-2012 сотрудники отдела «Сварка легированных сталей» принимали активное участие в разработке и внедрении технологии сварки металлоконструкций навеса над НСК «Олимпийский» (Киев) в период его реконструкции (2010-2011 гг.) (рис. 3). В очень сжатые сроки оценена свариваемость стали S 355 J2 толщиной 16-100 мм. Разработаны и аттестованы процессы автоматической сварки под слоем флюса, механизированной в защитных газах и ручной дуговой сварки этой стали, которые применялись в процессе изготовления и монтажа колонн и колец при строительстве стадиона.

Накопленный опыт строительства таких сооружений способствовал выполнению новой задачи, а именно: разработке технологии и проведению авторского надзора при изготовлении металлоконструкций трубчатого сечения из стали 10Г2ФБ во время строительства нового футбольного стадиона



Рис. 3. НСК «Олимпийский» (Киев)

на 45 000 зрителей в г. Казань (Татарстан, РФ).

Начиная с 1990-х гг., специалисты отдела приступили к работам по созданию высокопроизводительных технологий сварки и наплавки ответственных изделий и узлов железнодорожного транспорта. Первые работы в этом направлении выполнялись совместно с профильным институтом ВНИИЖТ (Москва) и были связаны с созданием новых технологий одно- и двухдуговой наплавки под слоем флюса гребней цельнокатанных колес грузовых вагонов при горизонтальном положении осей колесных пар (наплавка выполняется одновременно на двух колесах), внедренных на ремонтных предприятиях ВСЖД и ЗСЖД, а в последующем развиты на др. предприятиях РЖД. В этих работах принимали активное участие В.Г. Гордонный, А.А. Гайворонский, В.А. Саржевский, В.А. Ящук и В.Ф. Горб. В отличие от ранее созданных технологий, новые разработки позволили в два раза повысить производительность процесса. При этом впервые были выполнены исследования влияния термодформационного цикла наплавки на структуру и свойства высокопрочной колесной стали марки 2, которые позволили оптимизировать погонную энергию наплавки и температуру предварительного подогрева при применении новых сварочных материалов, обеспечивающих повышенную надежность и износостойкость восстановленных колес.

В последующем, в конце XX и начале XXI века, были проведены всесторонние исследования влияния технологических режимов наплавки, системы легирования наплавленного металла, способа наплавки на изменение структуры и свойств металла колес, содержание водорода в наплавленном металле, напряженное состояние и стойкость высокоуглеродистых сталей против образования трещин под действием статического и циклического нагружения. Данные исследования были выполнены при участии А.А. Гайворонского, В.А. Саржевского, А.В. Клапатюка и В.А. Ящука, а также сотрудников отдела № 22 при исследованиях структурно-фазового состава наплавки колесной стали и сотрудников отдела № 2 – при исследовании износостойкости наплавленного металла. Результаты проведенных исследований позволили усовершенствовать технологии восстановления наплавкой профиля катания колес, оптимизировать требования к подготовке колес перед наплавкой, к выбору и подготовке наплавочных материалов, к технике наплавки, к условиям послесварочного охлаждения колес после наплавки. В 2002 г. технология восстановления гребней колес грузовых вагонов с применением двухдуговой наплавки под слоем флюса широко внедрена на ремонтных предприятиях ГП «Укрзалізниця», данным способом наплавляется 100 % колес, подлежащих восстановлению. Разработана также технология восстановления наплавкой изношенных же-

лезнодорожных колес по всему профилю катания, которая готова к промышленному внедрению.

На протяжении 2010-2012 гг. разработаны, согласованы и в 2013 г. утверждены «Держспоживстандартом України» Технические условия Украины ТУ У 30.2–05416923-106:2013 «Відновлення дуговими процесами зварювання профілю поверхні кочення залізничних коліс».

Кроме технологий восстановления наплавкой грузовых колес разработаны и внедрены в производство технология наплавки под слоем флюса центров локомотивов (ЗСЖД, Новосибирск), а также технология восстановления наплавкой в среде защитных газов резьбы М110 роликовых колесных пар грузовых вагонов (ЗСЖД, Новосибирск; ЗабЖД, Чита). Разработаны также технологии восстановления наплавкой изношенных колес пассажирского трамвайного транспорта. К наиболее значимым разработкам в этом направлении относятся технологии наплавки в среде защитных газов профиля катания бандажей колес скоростных трамваев, которая внедрена в 2000 г. в г. Мозырь (Трамвайное управление ОАО «МНПЗ», Республика Беларусь), и вершин реборд бандажей колес трамваев, эксплуатирующихся в Киеве (2004 г., ГП «Киевпастранс»). Разработчики данных технологий А.А. Гайворонский и В.А. Ящук. В настоящее время выполняется работа по внедрению технологии наплавки под слоем флюса реборд бандажей колес скоростных трамваев в Киеве. Работу курируют В.А. Саржевский и А.С. Шишкевич.

Особое направление исследований в отделе составляет разработка сварочных материалов и технологий сварки и наплавки ответственных деталей подвижного состава и путей железнодорожного транспорта. Работы в этом направлении выполняют В.М. Кирьяков и А.В. Клапатюк. Ими были разработаны порошковые проволоки, высокопроизводительные наплавочные электроды и технологии ремонта изношенных наклонных поверхностей подпрессорных балок, пятников и подпятников соединительных балок, опорных поверхностей боковых рам и др. узлов грузовых вагонов. С 1996 г. на ремонтных предприятиях РЖД внедрены и в настоящее время широко применяются электроды марок АНП-13 и ЭЖТ-1 (твердость наплавленного металла 230-270 НВ), порошковые проволоки марок ПП-АН180МН (240-320 НВ) и ПП-АН180МС (260-370 НВ). На все сварочные материалы разработана нормативная документация и получены патенты РФ (№ 2104140, № 2394671, № 23007727, № 2225286). Сварочные материалы и технологии ремонта внесены в нормативную документацию по ремонтам подвижного состава РЖД (ТИ-АС-2010, ТИ-05-01-06/НБ-2010, ТИ-ТНП-2010).

В отделе разработана технология механизированной сварки в среде защитных газов продольно-

го стыка рельсового окончания крестовин железнодорожных стрелочных переводов. Новая технология сварки позволила снизить уровень динамических нагрузок на сердцевину крестовины и повысить ресурс её эксплуатации в 1,5 раза. Технология разработана на основе результатов комплексных исследований влияния термодформационного цикла сварки на формирование структуры и свойств металла зоны термического влияния (ЗТВ) рельсовой стали М76. При этом были установлены температурные режимы при сварке соединения рельс, определено влияние технологических параметров на трещиностойкость соединений при статическом и циклическом нагружении. Изделия с условным названием Дн365 (сварная крестовина железнодорожного стрелочного перевода) (рис. 4) прошли эксплуатационную проверку в условиях железнодорожного полигона «Кольцо» (г. Щербинка, РФ). Результаты испытаний показали высокую надежность изделий. Начиная с 2010 г. технология применяется при серийном изготовлении крестовин железнодорожных стрелочных переводов на ПАО «Днепропетровский стрелочный завод» (Днепропетровск), которые эксплуатируются на скоростных участках железной дороги Украины. Технология защищена патентом Украины № 91938 (10.09.2010 г.). Разработчики технологии В.М. Кирьяков, В.Д. Позняков, А.В. Клапатюк и А.А. Гайворонский.

В.М. Кирьяковым и А.В. Клапатюком разработаны самозащитная порошковая проволока ПП-АН278 и технология исправления сваркой дефектов литья сердечников железнодорожных цельнолитых, изготавливаемых из стали 110Г13. По сравнению с традиционной технологией ремонта электродами ЦНИИН-4, новая технология позволила повысить качество восстановленного металла и производительность наплавки. Разработаны, согласованы и в 2011 г. утверждены «Держспоживстандартом України» Технические условия Украины ТУ У 27.3-14367980-016:2011 «Исправление дефектов литья крестовин железнодорожных цельнолитых и сердечников сборных крестовин с применением дуго-

вых процессов сварки». Технология с 2011 г. промышленно применяется на заводе ПАО «Днепропетровский стрелочный завод» (Днепропетровск).

Создание ремонтно-сварочных технологий для восстановления целостности и продления ресурса безопасной эксплуатации карьерной техники (экскаваторы и машины большой грузоподъемности), а также базовых узлов прессового и дробильного оборудования это еще одно из важных направлений работ, которые успешно проводятся сотрудниками отдела, начиная с момента его создания.

Первые технологии сварки для ремонта металлоконструкций из высокопрочных сталей основывались преимущественно на результатах исследований свариваемости таких сталей, выполненных группой, возглавляемой В.Ф. Мусияченко еще в составе отдела № 5. Направлены они были на ремонт карьерной техники отечественного и зарубежного производства, а их активное внедрение началось со второй половины 1980-х гг.

Только в 1988 г. в г. Костомукша (Карелия) на заводе по ремонту горного оборудования по разработанной в отделе технологии с использованием, созданных в ИЭС им. Е.О. Патона высокопроизводительных электродов марки АНП-6П, было отремонтировано и произведен монтаж 37 кузовов автомобилей БелАЗ-7519 грузоподъемностью 110 тонн.

В начале 1990-х гг. на Томусинском заводе (Кузбасс) при непосредственном участии сотрудников отдела Л.И. Миходуя и В.Д. Познякова был выполнен комплекс работ по внедрению технологии высокопрочной стали 14ХГН2МДАФБ применительно к ремонту и усилению балок-рукоятей экскаваторов РН-2300 с объемом ковша 25 м³. После ремонта металлоконструкций экскаваторы продолжали эксплуатироваться в проектом режиме на угольных разрезах «Сибиргинский» и «Междуреченский».

Во второй половине 1990-х гг. в отделе были разработаны и внедрены на Полтавском ГОК-е ремонтно-сварочные технологии для восстановления целостности балок-рукоятей экскаваторов ЭКГ-8И, ЭКГ-12 и ЭКГ-15.



Рис. 4. Сварная крестовина железнодорожного стрелочного перевода

Новый виток развития работ по созданию сварочных технологий для целей ремонта получил в начале 2000 гг. В это время отдел приступил к выполнению специальных исследований, направленных на изучение особенностей сварки при ремонте. Они включали оценку влияния сварки в жестком контуре на напряженно-деформированное состояние, структуру, механические свойства металла швов и ЗТВ сварных соединений, их сопротивляемость образованию холодных трещин, изыскание нетрадиционных способов снижения уровня остаточных напряжений в ремонтируемых узлах, поведение восстановленных соединений при дальнейшей эксплуатации. Впоследствии результаты указанных исследований были положены в основу создания сварочных технологий, направленных на ремонт крупногабаритных цельнолитых базовых узлов прессового и дробильного оборудования.

Одна из наиболее значимых для отдела работ в этом направлении была выполнена в 2001 г. По заказу Нижнеднепровского трубного завода им. Карла Либкнехта в ИЭС им. Е.О. Патона была разработана технология и осуществлено инженерно-техническое сопровождение работ при ремонте станины пресса усилием 10 000 тс, основного технологического оборудования колесопрокатного цеха. В процессе выполнения работ в элементах цельнолитой конструкции из стали 35Л толщиной 160-200 мм было удалено 7 трещин общей протяженностью более 5 м и выполнена сварка поврежденных участков. После ремонта станина, которая является базовым узлом пресса, проработала в проектном режиме еще 10 лет. Организация и общее руководство ремонтными работами, которые были выполнены в рекордно короткие сроки (30 дней), осуществлялась Позняковым В.Д. и главным сварщиком «Днепропетровского завода металлоконструкций им. И.В. Бабушкина» Дудой Н.И. Более активно работы в этом направлении начали развиваться в последующие годы.

В период с 2003 по 2005 гг., с использованием разработанных в отделе ремонтно-сварочных

технологий, на ДОФ ОАО «Карельский окатыш» (г. Костомукша, Республика Карелия) был выполнен комплекс работ по ремонту и восстановлению главных узлов дробильного оборудования горно-обогатительного комбината. Авторский надзор за выполнением работ выполняли сотрудники ИЭС им. Е.О. Патона А.А. Гайворонский, С.Л. Жданов, А.В. Клапатык, В.А. Яцук, Ю.А. Симоненко, П.А. Стрижак и В.В. Максимишин. За указанный период было отремонтировано 13 станин дробилок крупного, среднего и мелкого дробления, 3 опорных кольца и 2 дробящих конуса.

С 2008 г. по инициативе Ю.В. Демченко отдел начинает активно и плодотворно сотрудничать с молодой, но активно развивающейся фирмой «Стил Ворк» (Кривой Рог, генеральный директор Панфилов А.И.), специализирующейся на ремонте горного оборудования. Благодаря такому сотрудничеству, которое продолжается в настоящее время и имеет хорошие перспективы на будущее, создаваемые в отделе ремонтно-сварочные технологии, существенно расширили сферу применения. Уже в 2009 г. совместными усилиями группы специалистов отдела, которую возглавил А.А. Гайворонский, и фирмы «Стил Ворк» был осуществлен ремонт траверсы ККД-1500, бандажа окомкователя (сталь 50), лопатки вентилятора (сталь S890QL) и зубчатого венца обжиговой печи (сталь 45ГС) на ДОФ ОАО «Полтавский ГОК». В 2010-2011 гг. на ОАО «Ингулецкий ГОК» был выполнен ремонт роторов тягодутьевых машин VZ-32 и VZ-42, а также восстановление мельницы самоизмельчения ММС-70-23, а в 2012-2013 гг. ремонт шкивов скипоподъемных машин типа ЦШ4х8М на шахте «Октябрьская» в г. Кривой Рог.

Знаковой для обеих организаций стала работа по восстановлению сваркой рамы автосамосвала САТ-785С (рис. 5), которая выполнялась в 2012 г. по заказу ОАО «НК ГОК» (Кривой Рог). В процессе выполнения ремонта с использованием сварки и резки была осуществлена замена центральной поперечной опоры рамы (рис. 6). Для этого потре-



Рис. 5. Автосамосвал САТ 785С, грузоподъемность 135 т



Рис. 6. Ремонт рамы



Рис. 7. Достижения отдела «Сварка легированных сталей»

бывалось удалить, а затем сварить отдельные фрагменты продольных балок рамы. До этого подобный ремонт выполнялся только в Германии.

Работы по созданию ремонтно-сварочных технологий выполняются отделом и в настоящее время. Об этом свидетельствует то, что в период с 2012 по 2018 гг. на различных предприятиях Украины по нашим технологиям было восстановлено более 20 уникальных крупногабаритных узлов и корпусов технологического оборудования, эксплуатируемого на металлургических, горнодобывающих и перерабатывающих предприятиях. Среди них корпус регенератора каталитического крекинга Р-202 (ЗАО «ЛИНИК», Лисичанск), вал привода скипоподъемной машины (Запорожский ЖРК, Запорожье), станина и зубчатые колеса прессов кузнечной линии (Луцкий подшипниковый завод), станина дробилки крупного дробления MESTO550 (ЗСМ, Житомирская обл.), станины прокатного оборудования (Нижнеднепровский ТПЗ, Никопольский ТЗ).

Опыт, накопленный отделом при ремонте металлоконструкций различного назначения, показал, что только комплексный подход, включающий оценку состояния металлоконструкции, моделирование технологических процессов, авторский надзор за ходом выполнения работ, к реализации которых привлекаются высокопрофессиональные специализированные организации, позволяет в короткий срок и с высоким качеством решать проблемы восстановления и продления ресурса уникальных конструкций.

В январе 2017 г. в состав отдела вошла лаборатория «Сварка в строительстве». В разные годы лабораторией руководили к.т.н. В.А. Ковтуненко (1992 – 2008 гг.) и А.Г. Синеек (2008 - 2017 гг.). В настоящее время лабораторию возглавляет к.т.н. С.Л. Жданов, а сотрудник ИЭС им. Е.О. Патона А.Г. Синеек, имеющий многолетний опыт в разработке и внедрении технологий сварки в строительстве, в частности, при изготовлении и монтаже сварных мостовых конструкций, является его заместителем.

Сотрудники лаборатории выполняют исследования конструктивно-технологической прочности сварных соединений и узлов строительных конструкций, разрабатывают технологии сварки при изготовлении, монтаже сварных конструкций и ре-

монтно-восстановительных работах, проводят исследования современных сварочных материалов и прогрессивных технологий сварки применительно к изготовлению строительных металлоконструкций. Они осуществляют научно-техническое и технологическое сопровождение строительных объектов, среди которых автодорожные и совмещенные мосты, резервуары, корпуса доменных печей, башни-трубы, сварные конструкции из труб, выставочные центры, структуры навесов стадионов, ангары, каркасы высотных зданий и др.

В разные годы при участии сотрудников лаборатории были созданы такие уникальные конструкции, как цельносварная телевизионная вышка, скульптура Родина-мать музея Великой Отечественной войны, крытая спортивная арена в Киеве. Построены автодорожные мосты в городах: Каменец-Подольский, Запорожье, Днепродзержинск, Киев, Днепропетровск, а также система транспортных эстакад в Одесском морском порту (рис. 7).

В последние годы сотрудники лаборатории принимали активное участие в работах при сооружении и ремонте доменных печей на комбинате «Азовсталь», Енакиевском, Криворожском металлургических комбинатах, при строительстве и монтаже Выставочного центра на Броварском шоссе в Киеве, при изготовлении конструкций покрытия стадиона ФК «Днепр» (Днепр) и реконструкции НСК «Олимпийский» (Киев). Разработанные лабораторией технологии сварки и монтажа металлоконструкций из труб внедрены при строительстве терминала Д в аэропорту Борисполь.

Работы по созданию надежных технологий сварки строительных металлических конструкций продолжаются и в настоящее время. Наиболее значимые из них это работы, связанные с проектированием, изготовлением и монтажом строительных металлических конструкций Подольского мостового перехода в Киеве, а также автотранспортной магистрали через р. Днепр в Запорожье.

● # 1155

Электрошлаковая сварка заготовки корпуса тягового электродвигателя на ЧАО НПО «Днепропресс»

Ю.Н. Ланкин, д.т.н., Ю.В. Демченко, к.т.н., А.А. Москаленко, В.Г. Тюкалов, ИЭС им. Е.О. Патона (Киев), С.А. Тонкошкур, В.Н. Панибратец, ЧАО НПО «Днепропресс» (Днепр)

Тяговый электродвигатель, по сути, представляет собой электродвигатель транспортного средства с передачей вращающего момента на колесо. Предназначен он для приведения в движение транспортных средств, например, электровозов, электропоездов и др. (рис. 1). Корпус тягового электродвигателя представляет собой стальную цилиндрическую обечайку диаметром 1 105 мм и высотой 1 000 мм. Заготовки подготавливаются вальцовкой листового проката стали толщиной 80 мм марки 09Г2С ГОСТ 19281. Проектом предусмотрен один продольный стыковой шов, выполняемый электрошлаковой сваркой (ЭШС). Тяговые электродвигатели с корпусами такой конструкции многие годы, в больших количествах выпускает ГП завод «Электротяжмаш», (Харьков), используя для ЭШС продольного шва тяжелый стационарный аппарат А-535.

Для ЧАО НПО «Днепропресс» (Днепр), это был новый вид продукции, поэтому, получив в 2015 г. заказ на изготовление подобных корпусов, обратились в ИЭС им. Е.О. Патона за помощью в осуществлении комплекса мероприятий по освоению технологии и техники ЭШС. В сжатые сроки предстояло организовать участок ЭШС, осуществить подбор сварочного и вспомогательного оборудования, спроектировать и изготовить специализированную установку для ЭШС, разработать технологию сварки, обучить персонал и начать выпуск продукции.

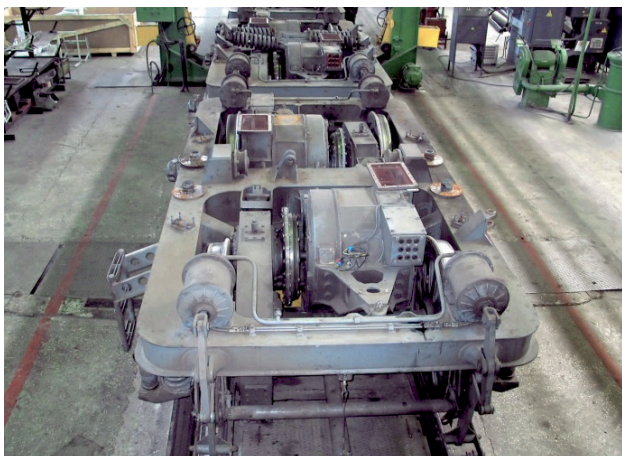


Рис. 1. Внешний вид тягового двигателя в составе тележки электровоза

С учетом марки стали и конструктивных особенностей заготовки корпуса, протяженности шва, толщины металла, типа сварного соединения, наиболее целесообразным представлялось использование ЭШС проволочными электродами. Опираясь на наш предыдущий опыт и технические характеристики, выпускаемых в Украине аппаратов для ЭШС проволочным электродом (А-535, А-820, АД-381Ш), а также их стоимость, для практических задач сварки корпусов предприятию был предложен аппарат АД-381Ш. Это специализированный двухэлектродный аппарат для автоматической ЭШС металла толщиной 30-100 мм, разработанный и выпускаемый с 2003 г. в ИЭС им. Е.О. Патона. Он состоит из четырех быстромонтируемых модулей, оснащен двумя подающими механизмами с независимым плавным регулированием подачи каждой из проволок. На то время аппарат АД-381Ш прошел производственные испытания и хорошо зарекомендовал себя при ремонте домны ОАО «Миттал Стил Кривой Рог» и ЕМЗ (Енакиеве) в 2008-2012 гг., а также сварке специальных металлоконструкций на ОАО «Балтийский завод», (Санкт-Петербург) – 2010 г.

Промышленная установка для ЭШС заготовок корпусов тяговых электродвигателей была спроектирована и изготовлена сотрудниками ЧАО НПО «Днепропресс» и представляла собой стойку для размещения и перемещения по ней аппарата АД-381Ш, а также тележки для размещения свариваемого изделия, передвигающейся по рельсовому пути.

Организованный в условиях предприятия участок для ЭШС размещался в зоне действия цехового крана и включал в себя собственно сварочную установку, источники питания типа КИУ-1201 (2 шт.), кассеты с подставками для сварочной проволоки (2 шт.), систему автономного водоохлаждения, обеспечивающую расход не менее 20 л/мин при давлении не ниже 1,5 атм., посты ручной электродуговой сварки и газокислородной резки. Были созданы рабочие места для намотки и очистки сварочной проволоки, а также прокалки сварочного флюса. Электрическое питание участка осуществлялось от отдельного щита мощностью 500 кВА. Вся компоновка участка осуществлялась согласно требованиям ДСТУ 3490. Для выполнения работ Межотраслевым учебным центром ИЭС им. Е.О. Патона под-

готовлены и аттестованы по специализации ЭШС специалисты ЧАО НПО «Днепропресс». Общий вид участка, сварочной установки, а также рабочий момент сварки и обучения технического персонала представлены на *рис. 2*.

Подготовка к сварке включала установку входных карманов глубиной 100 мм и выводных планок высотой 100 мм. Согласно ДСТУ 3480-96 был принят расчетный зазор – 28 мм, сборочный зазор – 30 мм. Общий вид заготовки перед сваркой представлен на *рис. 3*. Процесс ЭШС производился двумя электродными проволоками диаметром 3 мм на режиме: напряжение сварки – 38-40 В; сварочный ток – 880-960 А; ток – постоянный обратной полярности; глубина шлаковой ванны – 40-50 мм; скорость сварки – 1 м/час. В качестве сварочных материалов использовались: сварочная проволока Св-08Г2С ГОСТ 2246 и флюс АН-8 ГОСТ 9087. Аппарат АД-381Ш в работе представлен на *рис. 4*. Качество швов контролировалось визуально-



Рис. 2. Рабочий момент сварки и обучения технического персонала в условиях ЧАО НПО «Днепропресс»



Рис. 3. Общий вид заготовки корпуса тягового электродвигателя перед сваркой



Рис. 4. Аппарат АД-381Ш в работе (заварено 2/3 шва)



Рис. 5. Внешний вид корпуса тягового двигателя после ЭШС

оптическим методом, а также 100 % ультразвуковой дефектоскопией. Принятая технология ЭШС обеспечила получение сварного соединения корпуса без дефектов наружной поверхности шва, отсутствия несплавлений, подрезов, а также трещин, пор и шлаковых включений в сварном шве. Сваренные заготовки были приняты с первого предъявления, после срезания входных карманов и выводных планок – отправлялись на механическую обработку. Внешний вид заготовки представлен на *рис. 5*.

Правильный выбор способа сварки и соответствующего сварочного оборудования, тщательная подготовка и отработка технологии и техники выполнения работ и методика обучения технического персонала позволили ЧАО НПО «Днепропресс» успешно, в установленные сроки, освоить ЭШС корпусов тяговых электродвигателей.

Спустя год, на соседнем предприятии ПАО «Днепрополимермаш» (Днепр), нами была внедрена аналогичная технология ЭШС.

● # 1156

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

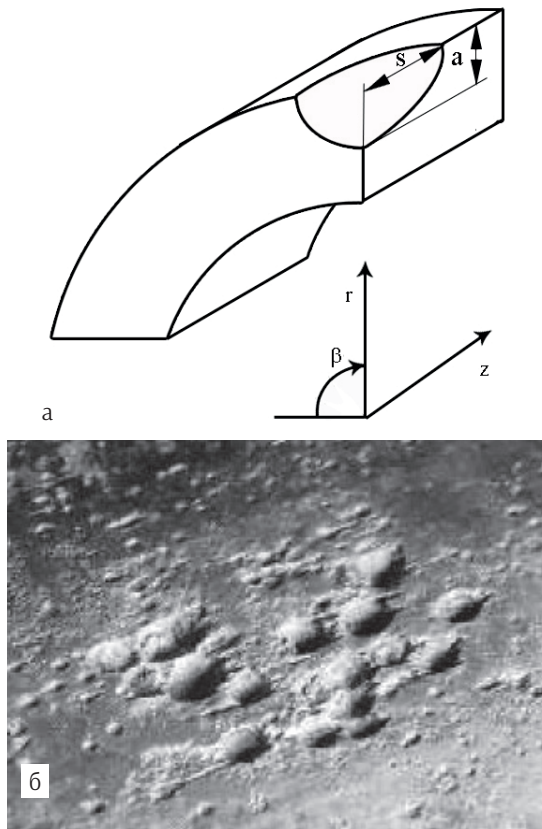


Рис. 1. Схема (а) и внешний вид (б) локальной потери металла на внешней поверхности магистрального трубопровода

$l_{sp} > 2$ 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 B31G (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 B31G 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 B31G 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:

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

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 $Q = \sqrt{1 + 1,24 \cdot l_{sp}^2}$, 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.

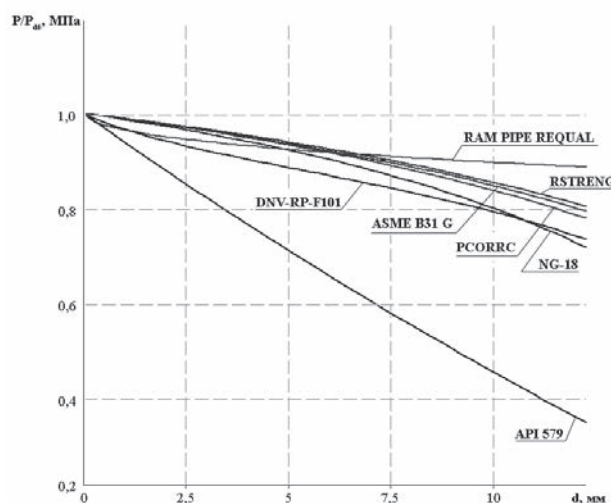


Рис. 2. Зависимость максимального допустимого давления в трубопроводе от глубины ЛПМ согласно различным критериям предельного состояния

Для расчета остаточной прочности формируются 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 $\sigma_{\theta\theta}$ 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 упругопластических 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-

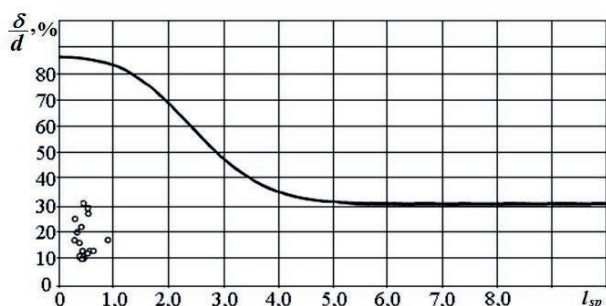


Рис. 3. Предельные размеры коррозионного дефекта трубопровода (ширина 180–360 мм) согласно ВРД 39-1.10-004-99 (точками обозначены результаты экспериментальных исследований) [19]

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:

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

где ε_{mu} — предельная равномерная деформация удлинения; ε_{iu} — интенсивность предельных равномерных деформаций удлинения, ε_{ij} ($j = r, \beta, z$) — 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-

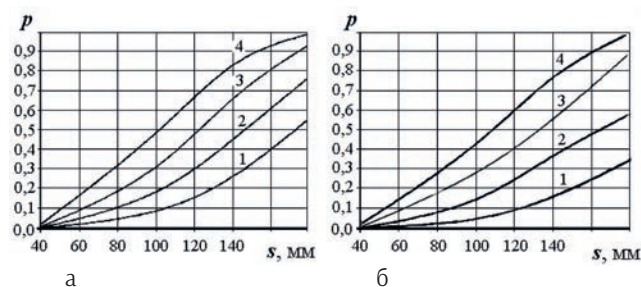


Рис. 4. Зависимость вероятности разрушения участка трубопровода с ЛПМ на его внешней (а) и внутренней поверхности (б) от длины дефекта при различном рабочем внутреннем давлении: 1 — 9 МПа; 2 — 10 МПа; 3 — 11 МПа; 4 — 12 МПа

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. Этих недостатков 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 [24]:

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

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 напряженнодеформированного 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 Publication 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 количеств. оценке сост. магистр. газопроводов с коррозион. дефектами, их ранжиров. по степени опасности и определ. остаточн. ресурса. – М.: ПО «Спецнефтегаз», 2000. – 52 с.
20. Milenin A.S., Velikoivanenko E., Rozyńska 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.

● # 1157

Получение металлических порошковых материалов распылением из проволок-анодов дуговой плазмой

А.В. Демчишин, д.т.н., Институт проблем материаловедения им. И.М. Францевича НАНУ,
М.А. Полещук, к.т.н., **В.И. Зеленин**, к.т.н., **И.В. Доценко**, **И.М. Попович**, **В.М. Теплюк**,
 ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ (Киев)

Объем потребления металлических порошков в сферической форме для 3D аддитивной технологии экспоненциально увеличивается в связи с ростом спроса на эти материалы в различных областях науки и техники. Это приводит к появлению в этой сфере новых производителей порошковых материалов и новых методов их производства.

Методы распыления порошков имеют ряд существенных преимуществ перед др. промышленными способами их получения, в частности распыление эффективно при получении порошков многокомпонентных сплавов, т. к. оно обеспечивает равномерное распределение всех компонентов в объеме каждой частицы порошка в ряде случаев с аморфной и наноструктурой, что позволяет получать изделия с высокими физико-механическими свойствами.

В мировой практике с целью получения металлических порошков для 3D печатания используются в основном газовое и плазменное распыление, индукционное плавление электрода с газовым распылением, плазменно-дуговое плавление с центробежным распылением [1-3].

В ИЭС им. Е.О. Патона разработана новая технология плазменно-дугового распыления проволок в порошки, где проволока используется также в качестве выносного анода. При этом для охлаждения плазматрона применен аксиальный обдув охлаждающим газом, создающий поток плазмы ламинарного истечения, в котором происходит формирование распыленных частиц.

Широкий спектр выпускаемых проволок позволяет подобрать их по составу, как для получения упрочняющих и коррозионностойких порошков, так и для покрытий со специальными свойствами.

Целью данной статьи является разработка технологии получения качественных металлических порошков из проволоочных материалов, используя их в качестве анодов, с помощью дуговых плазматронов.

Для распыления проволок применяли аргонодуговую плазматрон с вольфрамовым катодом, охлаждаемым инертным газом. Поджиг плазматрона осуществлялся на охлаждаемый промежуточный анод, формирующий струю плазмы. После поджига электрический потенциал сразу же перебрасывался на

распыляемую проволоку, располагающуюся перед промежуточным анодом. Использование проволоки в качестве распыляемого анода значительно повышает КПД процесса, так как дуга горит между вольфрамовым электродом и проволокой, расплавляя ее, а энергия плазмы большей частью идет на распыление проволоки, а не нагрев плазматрона. В связи с тем, что катод все время находится в аргоне, значительно увеличивается его стойкость. А выходящая аргонодуговая плазма позволяет, распыляя проволоку, далее формировать частицы в безокислительной среде.

Сформированный катодом, промежуточным анодом и проволокой, поток аргоновой плазмы аксиально обдувается по окружности охлаждающим потоком воздуха, одновременно охлаждающим плазматрон, который качественно влияет на форму и состав плазмы.

Расход охлаждающего воздуха регулируется и, таким образом, создается возможность частично регулировать взаимодействие воздушного потока с плазмой.

На рис. 1 приведен расчетный вид плазменной струи: а – без обдува, б – с обдувом воздухом [4].

Режим обдуваемого потока подбирался таким образом, чтобы давление в плазменном потоке было равным давлению обдуваемого воздуха. Таким образом, создавались условия, когда контуры видимого конуса исходящей плазмы становятся почти параллельными, что говорит о незначительном смешивании газа плазмы с охлаждающим воздухом на начальном участке.

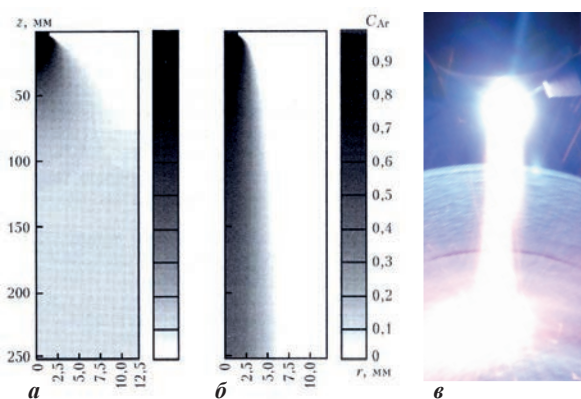


Рис. 1. Распределение относительной концентрации аргона в плазменной струе, истекающей в воздушное пространство: а – без обдува, б – с обдувом, в – истечение плазмы

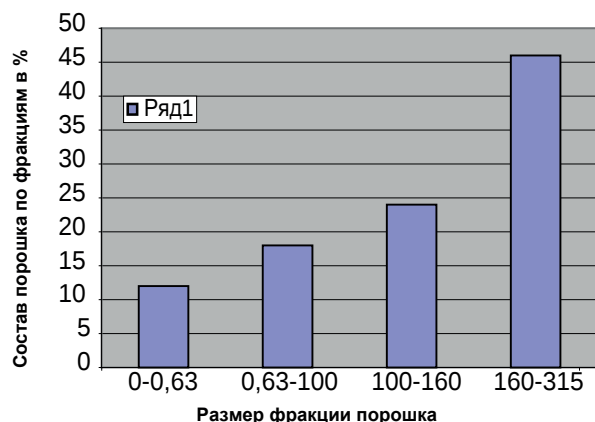


Рис. 2. Диаграмма распределения медного порошка по фракциям

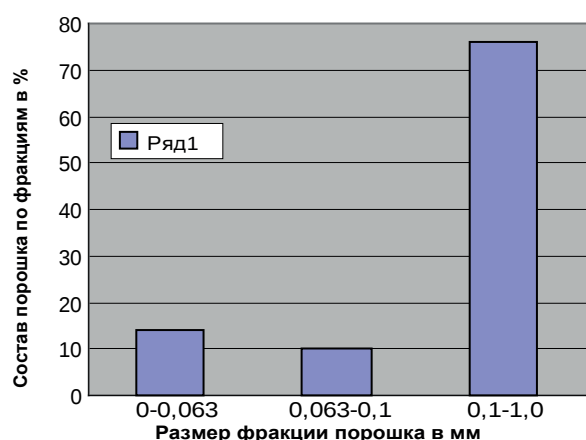


Рис. 3. Диаграмма распределения порошка стали 65Г по фракциям

Вид реально истекающего потока плазмы такого типа показан на рис. 1, в.

Полученные данные хорошо коррелируют с данными, полученными на расчетных моделях (рис. 1, а, б) [4].

По-видимому, в связи со значительной разницей температур потока аргона плазмы и аксиально исходящего воздушного потока, резко смешанных потоков не наблюдается, что подтверждается расчетом и практикой. Таким образом, образуется зона, в которой используемые для напыления материалы практически не окисляются, что благоприятно влияет на качество порошка. Предположительно из-за высокой скорости истекаемого потока, эта зона распространяется на значительную длину до 150-200 мм, что позволяет с успехом использовать это явление на практике.

Из результатов моделирования, представленных в работе [4], концентрация аргона в струе для подобного ряда плазмотронов, при токе 200 А и расходе аргона 1 м³/ч в плазменной смеси на расстоянии 100 мм от среза сопла, составляет около 0,6 общего состава, что и подтверждалось нами на практике. Кристаллизация распыленных частиц проволоки происходит на расстоянии до 200 мм, и, следовательно, увеличение концентрации аргона в этой зоне необходимо для уменьшения окисления получаемых порошков. Это было

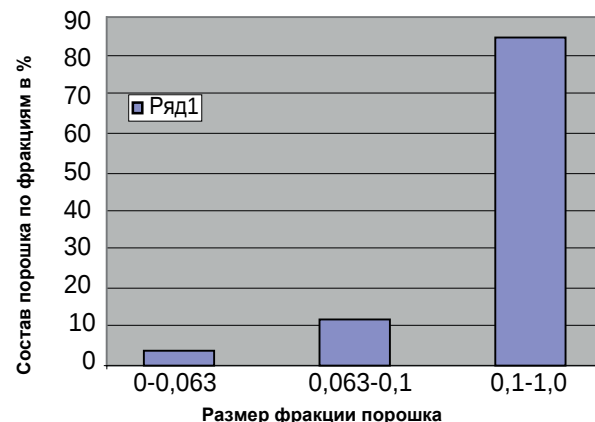


Рис. 4. Диаграмма распределения порошка стали X18N10T по фракциям

достигнуто увеличением расхода плазмообразующего газа в два раза – до 2-2,5 м³/ч.

Исследования, проведенные на образцах порошков чистой меди, подтвердили данное предположение. Если в первом случае окислы наблюдались на образцах получаемых порошков на расстоянии более 100-150 мм от среза плазмотрона, то во втором случае интенсивные окислы на образцах появлялись на расстоянии более 150-200 мм от среза сопла плазмотрона.

На рис. 2 приведены данные по размеру частиц меди, полученные при распылении медной проволоки на расстоянии 50-200 мм от среза сопла плазмотрона.

Данные по распределению частиц порошков, полученных при распылении проволоки из стали 65Г и X8H10T, приведены на рис. 3 и 4.

Исходя из изложенного выше можно сделать вывод: показана возможность получения металлических порошковых материалов распылением из проволок-анодов дуговой плазмой и разработана новая технология плазменно-дугового распыления этих проволок в порошки.

Литература

1. Терновой Ю.Ф., Баглюк Г.А., Кудиевский С.С. Теоретические основы процессов распыления металлических расплавов. Монография. Запорожье: Изд-во Запор-ой гос-ной инж-ой ак-мии, 2008. – 298 с.
2. Dawes J., Bowerman R. and Trepleton R. Introduction to the Additive Manufacturing Powder Metallurgy Supply Chain. Johnson Matthey Technology Review, 2015, 59, (3), P. 243-256.
3. Advanced Powders and Coatings. Our Technology – AP&C. advancedpowders.com. 2015. <http://advancedpowders.com/plasma-atomization-technology/our-technology/>.
4. Харламов М.Ю., Кривцун И.В., Коржик И.В., Демьянов А.И. Влияние рода газа спутного потока на характеристики дуговой плазмы, создаваемой плазмотроном с проволокой – анодом // Автомат. сварка. – 2008. – № 6. – С. 19-24.



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

Расскажите, пожалуйста, о сварке пластмасс нагретым газом.

Жук А., г. Кривой Рог

Сварка нагретым газом (НГ) это разновидность диффузионного способа сварки пластмасс. Отличительной характеристикой способа является подвод тепла непосредственно к соединяемым поверхностям и последовательно от одного участка шва к другому. Наряду с последовательной сваркой возможна также сварка по всей поверхности шва за один прием. Сварку с помощью нагретого газа можно осуществлять с применением присадочного материала (прутка) и без присадочного материала.

Сваркой НГ можно соединять детали практически любых размеров и конфигураций, из поливинилхлорида, полиолефинов, полиметилметакрилата, полистирола, олиамидов, пентапласта, полиформальдегида в любых условиях сварочного производства. В применяемых при сварке нагревательных устройствах газ-теплоноситель нагревают при помощи электроэнергии или газового пламени. В качестве газа-теплоносителя чаще всего служит воздух, а при сварке термопластов, которые подвержены сильной термоокислительной деструкции – инертные газы, главным образом, азот.

К недостаткам способа сварки пластмасс НГ можно отнести: низкую производительность; высокую стоимость работ; сложность поддержания постоянных режимов сварки и обеспечения стабильности качества сварных соединений.

При изготовлении химической аппаратуры и

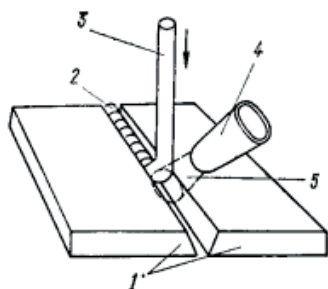


Рис. 1. Схема сварки пластмасс нагретым газом с применением присадочного материала: 1 – свариваемые изделия, 2 – сварочный шов, 3 – присадочный материал, 4 – наконечник нагревателя, 5 – струя нагретого газа

емкостей, сварке линолеума, облицовке хранилищ для агрессивных жидкостей широко применяется сварка НГ с использованием присадочного материала (рис. 1).

Сварка нагретым газом с применением присадочного материала.

Основные типы и конструктивные элементы швов сварных соединений листов из поливинилхлорида и полиэтилена толщиной от 2 до 20 мм (рис. 2), их размеры, размеры швов и их предельные отклонения должны соответствовать ГОСТ 16310-80.

Выбор типа шва обусловлен главным образом толщиной и свойствами свариваемых материалов, особенностями свариваемых конструкций и условиями нагружения в процессе эксплуатации.

Качество сварных соединений существенно зависит от:

- типа сварного шва;
- подготовки изделия к сварке;
- положения нагревателя в процессе сварки;
- угла наклона прутка при подаче в шов;
- температуры;
- расхода и давления газа-теплоносителя;
- скорости и порядка укладки прутка в шов;
- расстояния от наконечника нагревателя до свариваемых поверхностей;
- усилия вдавливания размягченного прутка;
- диаметра присадочного прутка;
- диаметра отверстия наконечника нагревателя;
- от соблюдения сварщиком технологических приемов и режимов сварочного процесса.

Сварка швов стыковых соединений деталей толщиной до 4 мм возможна без подготовки кромок,

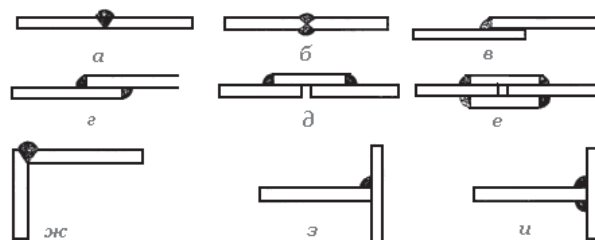


Рис. 2. Основные типы сварочных соединений: а – стыковое с односторонним скосом кромок, б – стыковое с двусторонним скосом кромок, в – нахлесточное с одним швом, г – нахлесточное с двумя швами, д – стыковое с накладкой, е – стыковое с двумя накладками, ж – угловое, з – тавровое с одним швом, и – тавровое с двумя швами

Таблица 1. Подготовка листовых термопластов при стыковой сварке нагретым газом

Термопласты	Толщина свариваемого материала, мм		Угол скашивания стыкуемых кромок, °
	V-образный шов	X-образный шов	
ПЭ, ПП	≤ 5	≥ 3	25-30
ПММА	≤ 4	≥ 4	25-30
ПА	≤ 6	≥ 4	20-25
ПВХ-Ж	≤ 5	≥ 5	25 / (30-35)*

* В числителе указан угол скашивания при механизированной сварке, в знаменателе – при ручной

однако для обеспечения равномерного провара рекомендуется оставлять зазор в вершине шва шириной до 1 мм. С этой же целью при сварке стыковых, тавровых и угловых соединений деталей толщиной свыше 4 мм между краями деталей оставляют в вершине шва зазор 0,5-1,5 мм. При сварке стыковых, угловых и тавровых соединений, особенно при толщине вертикальной стенки свыше 4 мм, для повышения прочности соединения производится скос кромок одного либо обоих свариваемых листов с одной (V-образный шов) или с двух сторон (X-образный шов) (табл. 1). X-образные швы более прочные, чем V-образные, т. к. благодаря их симметричному строению при воздействии растягивающих и изгибающих нагрузок в них не возникают дополнительные изгибающие моменты, кроме того, они требуют в 1,6-1,7 раза меньше расхода присадочного материала, следовательно, могут быть выполнены за меньшее число проходов. При сварке нахлесточных и стыковых соединений с накладкой кромки не скашивают.

Наибольшей прочностью обладают стыковые соединения. Нахлесточные соединения применять не рекомендуется, т. к. при одной и той же толщине изделий прочность этих соединений в 6 раз меньше, чем стыковых.

В процессе сварки очень важно обеспечить правильное положение присадочного материала по отношению к поверхностям шва. Для непластифицированного поливинилхлорида, полиэтилена низкого давления и пентапласта присадочный материал рекомендуется держать под углом 90° к поверхности шва. Если угол наклона меньше 90° , присадочный материал нагревается на участке большей длины, расход его в результате осадки увеличивается, а в шве из-за продольного сжатия прутки изгибаются. Если угол наклона больше 90° , то прутки, уложенный в шов, удлиняется, вследствие чего при охлаждении может разорваться. При сварке мягких пластмасс (пластифицированный поливинилхлорид, полиэтилен высокого давления) лучшие результаты достигаются, если угол между прутком и поверхностью равен 120° . В процессе укладки в шов сварочный прутки не должен увеличивать свою длину более чем на 15 % по сравнению с исходной.

Угол подвода наконечника нагревателя к поверхности сварного шва должен составлять

$(26 \pm 6)^\circ$ при толщине свариваемых деталей до 5 мм и $(39 \pm 6)^\circ$ при толщине деталей более 5 мм.

Температура газа на выходе из наконечника нагревателя должна быть на $50-100^\circ\text{C}$ выше, чем температура текучести полимера, т. к. на участке между наконечником и свариваемой поверхностью теплоноситель охлаждается. Давление газа может изменяться в пределах 0,035-0,1 МПа.

Струю газа, нагретого до необходимой температуры, направляют колебательными движениями нагревателя на свариваемые кромки деталей и прутки. Скорость укладки прутка (обычно 0,1-0,2 м/мин), зависящая от температуры газа, с увеличением диаметра прутка уменьшается, однако общая скорость заполнения шва (скорость сварки) при этом возрастает. Повышению производительности процесса в 3-4 раза и более способствует предварительный подогрев основного и присадочного материалов. Такая сварка называется скоростной и в основном применяется для соединения плоских и цилиндрических изделий, имеющих швы большой протяженности. При скоростной сварке возможен прижим прутка роликом или насадкой, установленными на нагревателе. При использовании предварительно подогретого прутка, сечение которого соответствует профилю шва, возможна сварка за один проход, т. е. отпадает необходимость в укладке нескольких прутков.

Расстояние от наконечника нагревателя до свариваемых поверхностей должно составлять (5 ± 2) мм, расход газа-теплоносителя через 1 мм^2 площади сечения наконечника – $(5 \pm 1,5)$ л/мин. Усилие вдавливания прутка в шов на 1 мм^2 площади сечения прутка для полиэтилена низкого давления, полипропилена, непластифицированного поливинилхлорида и пентапласта составляет (3 ± 1) Н, а для полиэтилена высокого давления – (2 ± 1) Н. Для мягких присадочных прутков, не выдерживающих осевого давления, применяют прикаточные ролики, усилие вдавливания которых в сварной шов составляет (20 ± 10) Н.

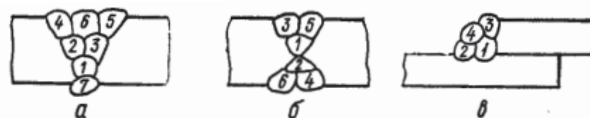


Рис. 3. Порядок укладки сварочных прутков в шов: а – стыковой V-образный шов, б – стыковой X-образный шов, в – нахлесточное соединение

Для уменьшения коробления изделий при сварке присадочный материал укладывают в шов в определенном порядке (рис. 3). Каждый последующий ряд укладывают после естественного охлаждения предыдущего до температуры не выше 40 °С. Число рядов проходов на практике принимается на один больше, чем толщина основного материала в мм.

При выполнении V-образного стыкового и углового шва в конце сварки делают проход с обратной стороны шва (со стороны корня шва), предупреждая этим «непровар» отдельных участков шва (предварительно рекомендуется разделка корня шва специальным резак с скругленным торцом). Зачистка выступающих над поверхностью изделия валиков шва не требуется.

Применяемый для сварки присадочный материал выпускается в виде прутков круглого сечения Ø 2; 2,5; 3; 4 и 6 мм, а также в виде спаренных прутков толщиной 2; 2,5 и 3 мм по ТУ 6-05-1160-75 «Прутки сварочные из непластифицированного поливинилхлорида» и ТУ 6-05-1698-74 «Прутки сварочные из полиолефинов». Выбор присадочных прутков осуществляется в соответствии с требованиями нормативно-технической документации на производство сварочных работ.

Диаметр прутка должен подбираться в зависимости от толщины свариваемого материала, геометрии сварочного шва, скорости сварки и требуемой прочности соединения. С увеличением диаметра прутка сокращается время, необходимое для заполнения разделки, и увеличивается прочность сварного соединения. Однако, применение прутков Ø более 4-5 мм нежелательно, т. к. обеспечить их равномерный прогрев при сварке невозможно. Обычно корень шва заполняют прутком Ø 2 мм, далее при толщине свариваемого материала менее 4 мм шов заполняют прутком Ø 3 мм, а при толщине материала более 4 мм – прутком Ø 4 мм.

Диаметр наконечника на выходе теплоносителя должен превышать диаметр одинарного прутка или ширину двойного прутка на $(0,5 \pm 0,25)$ мм.

Сварка без присадочного материала. Она выполняется по непрерывной или периодической схеме. В первом случае соединяемые поверхности нагревают последовательно отдельными участками, во втором – одновременно. Прочность соединений, получаемых без применения присадочного материала, выше, чем с его применением, и достигает 80-90 % прочности основного материала, при этом удельная ударная вязкость материала почти не снижается. Данный способ сварки используется главным образом для соединения плоских изделий прямым швом. Температура сварки такая же, как и с присадочным материалом, а скорость сварки повышается в 10-15 раз.

Сварка листовых термопластов осуществляется преимущественно соединением на «ус» (рис. 4),

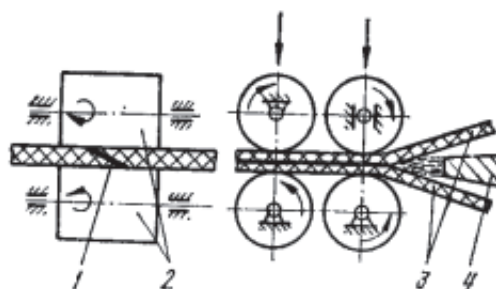


Рис. 4. Схема сварки нагретым газом листов термопласта без присадочного материала: 1 – сварной шов, 2 – прижимные ролики, 3 – свариваемые листы, 4 – наконечник нагревателя для чего кромки листов перед сваркой срезают под углом 20-25 ° (при такой подготовке сварное изделие имеет одинаковую толщину во всех сечениях). Нагреватель устанавливают в таком положении, чтобы газовая струя попадала в створ угла, образуемого свариваемыми листами, и направлялась на срезаемые кромки шва. Для равномерного нагрева материала наконечник нагревателя должен иметь прямоугольное сечение. Давление сварки осуществляется двумя последовательно расположенными парами роликов, с помощью которых осуществляется равномерное перемещение свариваемых листов.

Существует три способа сварки пленочных термопластов:

- нагревом соединяемых поверхностей пленок (прямым нагревом);
- односторонним нагревом внешней поверхности пленок по месту шва (косвенным нагревом);
- оплавлением пленок по месту их соединения.

При прямом нагреве струя газа попадает в створ угла, образуемого свариваемыми пленками, которые после нагрева свариваемых поверхностей прикатываются друг к другу специальными роликами.

При косвенном нагреве свариваемых поверхностей пленок струя газа создает одновременно и давление, необходимое для их сварки (рис. 5). Для исключения разрывов нагрев пленок производится на упругой подложке, а зона разогрева ограничивается двумя натянутыми на роликах длинными стальными лентами, расстояние между которыми опре-

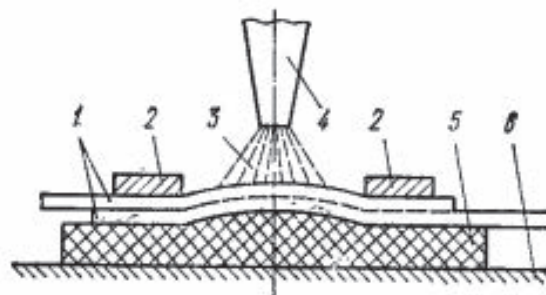


Рис. 5. Схема сварки нагретым газом пленочных материалов: 1 – свариваемые пленки, 2 – ограничительные ленты, 3 – струя газа, 4 – наконечник нагревателя, 5 – упругая подложка, 6 – жесткое основание

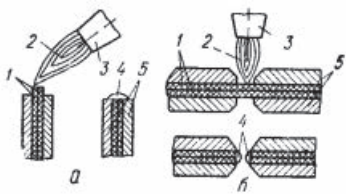


Рис. 6. Схема сварки пленок оплавлением кромок: с подготовкой свариваемых кромок (а) и без подготовки свариваемых кромок (б): 1 – свариваемые пленки, 2 – струя газа, 3 – наконечник нагревателя, 4 – сварной шов, 5 – зажимные губки

деляет ширину сварного шва.

При прямом и косвенном нагреве качество сварных соединений и скорость сварки в значительной степени зависят от расстояния между наконечником нагревательного устройства и нагреваемой поверхностью свариваемых пленок, расхода и температуры газа-теплоносителя.

При сварке оплавлением соединяемые пленки накладывают друг на друга и зажимают между

двумя ограничительными губками (пленки свариваются по оплавляемым кромкам) или двумя парами губок (пленки свариваются двумя швами с одновременным разделением по линии их оплавливания между губками) (рис. 6). Этот способ пригоден для соединения пленок из материалов, которые при нагревании становятся достаточно жидкотекучими и сплавляются без приложения давления (пленки из полиамида, полиэтилентерефталата, полиэтилена высокого давления и др.). На практике для оплавливания кромок часто применяют источник открытого пламени. В этом случае сварные швы характеризуются высокой прочностью, но обладают низкой морозостойкостью.

Ответ подготовлен по справочным материалам
«Энциклопедия по сварке пластмасс»,
к.т.н., с.н.с., Демченко Ю.В.

● # 1159

Ученые нашли способ сварки металла и стекла

Ученые из Университета Хериот-Ватт (Эдинбург, Шотландия) сварили стекло и металл вместе с помощью сверхбыстрой лазерной системы – это настоящая революция в промышленности!

Благодаря новой лазерной системе специалистов из Хериот-Ватта, различные оптические материалы, такие как кварц, боросиликатное стекло и даже сапфир, были успешно приварены к металлам – алюминию, титану и нержавеющей стали. Оборудование обеспечивает очень короткие (пикосекундные) импульсы инфракрасного света на стыке материалов, что и помогает эффективно сплавить их вместе. Ученые уже отметили колоссальный потенциал такой сварки для всей производственной базы ближайшего будущего. Этот процесс может найти применение в аэрокосмической, оборонной, оптической сфере и даже в здравоохранении.

Профессор Дункан Хэнд, директор Центра инновационного производства EPSRC при университете Хериот-Ватт, поясняет, что традиционно разнородные материалы очень сложно сваривать друг с другом из-за разной температуры плавления. Высокие температуры и структурные изменения, возникающие вследствие теплового расширения, приводят к разрушению таких хрупких материалов, как стекло.

«В настоящее время оборудование и изделия, в которых используются стекло и металл, чаще всего удерживает два этих материала вместе с помощью клея. Он ненадежен, поскольку со временем склеенные детали начинают расползаться в разные стороны. Кроме того, органические компоненты клея выделяют летучие соединения, что также негативно влияет на срок службы продукта», рассказывает Хэнд.

В его собственной методике весь процесс основан на невероятно кратких лазерных импульсах. Каждый импульс длится всего несколько пикосекунд.

«Чтобы понять, как это мало – сравните обычную секунду с временным промежутком в 30 000 лет!» – поясняет он.

Предназначенные для сварки детали располагаются в тесном контакте, а лазер фокусируется через оптику, чтобы обеспечить маленькую область действия и высокую интенсивность на границе стыка. Так, во



время испытаний пиковая мощность составила один мегаватт – и это на площади всего в несколько микрон. Так внутри области расплава возникает микроплазма, крошечная сфера-молния, которая и сплавляет материалы. Швы были испытаны на прочность в диапазоне от -50 до $+90$ °C и остались невредимыми – это отличная гарантия того, что они не подведут в экстремальных условиях, таких как открытый космос.

www.facenews.ua

● # 1160

Эксплуатация и обслуживание аппаратуры для газопламенной обработки металлов

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

Конструкция, технические характеристики, принцип действия и работа ручных газокислородных резаков (горелок) и жидкотопливных резаков были описаны ранее [1-4]. Вопросы эксплуатации аппаратуры для ручной кислородной резки заготовок имеют общие черты и рассмотрены в настоящей статье.

Эксплуатация инжекторных газокислородных резаков и горелок.

Перед началом работы газорезчик обязан осмотреть резак (горелку) и убедиться в отсутствии видимых механических повреждений. Далее резак (горелку) необходимо проверить на герметичность соединений, инжекцию и на горение и только после этого можно приступать к работе.

Проверка на герметичность.

С помощью гаечного ключа и отвертки проверяют надежность затяжки всех накидных и сальниковых гаек на резаке (горелке) и хомутов на резинотканевых рукавах. Визуально определяют целостность паяных соединений. Подают кислород и горючий газ к резаку (горелке) и голый рукой проверяют отсутствие утечек газов через разъемные и неразъемные соединения. Затем прекращают подачу кислорода и горючего газа к резаку (горелке).

Проверка на инжекцию.

Присоединяют к кислородному штуцеру рукав и подают кислород под давлением согласно паспорту; открывают вентили горючего газа и кислорода и убеждаются в наличии инжекции (разрежения) в канале горючего газа. При отсутствии разрежения в канале горючего газа приступать к работе запрещается. При наличии инжекции необходимо присоединить к резаку (горелке) резинотканевый рукав от источника горючего газа и установить давление согласно паспорту.

Проверка на горение и начало работы.

Открывают на 1/4–1/2 оборота вентиль подогревающего кислорода и на 1 оборот вентиль горючего газа и зажигают выходящую из мундштука горючую смесь. Устанавливают с помощью вентиля рабочий режим, при котором горючий газ полностью сгорает в факеле резака (горелки) и не образует вредных соединений (пламя должно быть белого цвета). Выполняют резку или сварку.

Окончание работы.

Гашение пламени резака необходимо производить в следующем порядке: сначала закрывают

вентиль режущего кислорода, затем горючего газа. Вентиль подогревающего кислорода закрывают в последнюю очередь. При гашении пламени горелки в первую очередь закрывают вентиль горючего газа, затем кислородный вентиль.

Во время эксплуатации резака (горелки) необходимо следить за устойчивостью его (ее) работы, не допускать перегрева головки и мундштуков.

При нарушении устойчивой работы (изменение состава и несимметричная форма пламени, появление хлопков и обратных ударов пламени, нарушение герметичности соединений или рукавов) необходимо прекратить работу и устранить неполадки.

В случае обратного удара необходимо охладить наконечник, убедиться в отсутствии повреждений, подтянуть гайки, проверить инжекцию и продолжить работу. Если обратный удар повторился или резак (горелка) непрерывно хлопает, необходимо прекратить работу, установить причину нарушения и устранить ее. Если выявить или устранить причину неисправности не удастся на рабочем месте, резак или горелку передают в ремонтную службу.

Обслуживание инжекторных газокислородных резаков (горелок) и жидкотопливных резаков.

Обслуживание инжекторных газокислородных резаков (горелок) и жидкотопливных резаков включает в себя техническое обслуживание в период эксплуатации и регламентированное техническое обслуживание.

Результаты плановых осмотров и испытаний должны отражаться в «Журнале регистрации результатов осмотров, ремонта и испытаний газовых горелок и резаков».

Находящиеся в эксплуатации горелки и резаки должны подвергаться плановым осмотрам и испытаниям один раз в месяц.

Осмотры заключаются в выявлении неисправностей, при наличии которых нормально эксплуатировать резаки и горелки без проведения ремонта нельзя. В этом случае они разбираются и определяется объем ремонтных работ.

При осмотре резаков и горелок необходимо убедиться в том, что они соответствуют следующим требованиям:

- сальниковые гайки вентиля при вращении шпинделей не должны откручиваться, а маховички не должны иметь осевое или поперечное

качение;

- вентили должны обеспечивать плавное регулирование расходов газов;
- гайки наконечника должны быть прочно затянуты на стволе и обеспечивать герметичность соединений;
- торцы внутреннего и наружного мундштуков ацетиленовых резаков, ввернутых в головку, должны быть на одном уровне (для резаков, работающих на газах-заменителях ацетилена, внутренний мундштук может быть утоплен в выходной канал наружного мундштука). Кольцевой выходной канал должен иметь равномерный зазор по окружности;
- для жидкотопливных резаков головка, трубки для подачи: керосина, режущего кислорода, подогревающего кислорода, инжектор и ствол должны быть прочно соединены друг с другом;
- не допускается деформация головки резака или горелки;
- на мундштуках не должно быть оплавлений;
- уплотняющие поверхности не должны иметь забоин, царапин, заусенцев;
- форма выходных каналов мундштуков не должна быть нарушена, а поверхность не должна иметь царапин, заусенцев и забоин.

После осмотра, при наличии на внутренней или внешней поверхности видимых следов масла и жира, резаки и горелки должны быть обезжирены и осушены продувкой сухим очищенным воздухом или азотом.

Проверку герметичности всех соединений и вентильных узлов необходимо производить с использованием водной эмульсии мыла или путем погружения изделия в ванну с водой.

Проверку разрежения в газовом канале газокислородных резаков и горелок (отсутствия противодействия в керосиновом канале жидкотопливных резаков) необходимо производить с помощью вакуумметра, полоски бумаги, пальца руки или др. методом.

Эксплуатация жидкотопливных резаков.

Керосинорез эксплуатируется совместно с кислородными баллоном и редуктором, резиноканевыми рукавами и бачком для керосина.

Бачок для керосина должен иметь манометр или заменяющее его устройство. Наливать керосин в бачок нужно не более чем на 3/4 его емкости. Давление в бачке должно быть не более 0,3 МПа, но всегда меньше, чем давление кислорода, установленное на редукторе.

Керосин нужно наливать в бачок только после отстаивания и фильтрации через сукно или мелкую сетку.

Перед розжигом керосинореза нужно проверить герметичность всего оборудования, а также наличие инжекции или отсутствия противодействия в керосиновом канале.

Проверка инжекции (отсутствия противодействия).

При закрытых вентилях керосинореза и отсоединенном керосиновом рукаве, нужно присо-

единить кислородный рукав и подать давление 0,8 МПа. Далее открыть вентиль подачи керосина и вентиль подогревающего кислорода. Прислонив палец (лоскут бумаги) к входному штуцеру керосина, проверить отсутствие противодействия у резаков РК-32 и РК-02М, у резаков «ЛУЧ» и «ЛУЧ-1» должна быть небольшая инжекция.

Убедившись в исправности керосинореза, устанавливают давления керосина и кислорода согласно техническим характеристикам для используемых мундштуков и толщине разрезаемого металла. Давление кислорода выше нормы снижает стойкость резака к хлопкам и обратным ударам пламени. Давление ниже нормы приводит к неполному испарению и сгоранию керосина и, как следствие, к снижению температуры пламени и к увеличению времени нагрева заготовки.

Перед началом работы необходимо проверить:

- для резаков РК-32, РК-02М положение щитка на керосинорезе (для эффективного нагрева трубки подачи керосина щиток должен находиться вблизи головки и прикрывать подогревающее сопло от ветра и сквозняков);
- герметичность присоединения рукавов, всех разъемных и паяных соединений резака и бачка;
- легкость и плавность вращения вентиля;
- отсутствие бокового смещения маховичков вентиля при нажиме на них пальцем;
- подвижность золотника обратного клапана.

Последовательность операций при запуске резака следующая:

- при помощи редуктора кислородного баллона и насоса бачка установить давления в соответствии с технической характеристикой;
- опустить керосинорез головкой вниз и кратковременным открытием вентиля продуть каналы режущего и подогревающего кислорода для удаления керосина, возможно попавшего в эти каналы;
- открыть вентиль подогревающего кислорода и в положении резака головкой вверх приоткрыть вентиль керосина для вытеснения воздуха из керосиновых полостей, после появления из мундштука аэрозоли необходимо закрыть вентиль подогревающего кислорода и керосиновый вентиль;
- открыть вентиль подогревающего кислорода на 1/2–3/4 оборота;
- для резаков «ЛУЧ» и «ЛУЧ-1» открыть керосиновый вентиль, поджечь вытекающую из наружного мундштука горючую смесь и выждать 30–60 с, в течение которых в зону горения начнет поступать паровая фаза керосина вместо аэрозолей;
- для резаков РК-32 и РК-02М открыть вентиль керосина и поджечь вытекающую смесь из подогревающего сопла и кольцевого зазора между наружным и внутренним мундштуками, довести степень подогрева трубки для подачи керосина до состояния, когда в пламени перестанет появляться жидкая фаза керосина;

- отрегулировать мощность пламени так, чтобы ядро пламени стало бело-голубым.

Последовательность операций при выключении керосинореза следующая:

- закрыть керосиновый вентиль и охладить мундштуки 20-30 с продувкой кислорода с целью предотвращения образования углеродных отложений на разогретой поверхности мундштуков;
- закрыть вентиль подогревающего кислорода.

Вентиль режущего кислорода нужно открывать только в процессе резки (после подогрева кромки заготовки до температуры воспламенения металла) не более чем на 1,5 оборота и закрывать немедленно после окончания резки.

При появлении непрерывных хлопков или обратного удара нужно быстро закрыть вентили подогревающего кислорода и керосина, затем - режущего кислорода.

Если после обратного удара пламени произошло разогревание обратного клапана ствола, необходимо проверить целостность клапана и подвижность золотника.

При кратковременном прекращении процесса резки с последующим быстрым его началом надо убедиться в отсутствии жидкой фазы керосина в пламени, а если она есть – повременить с пуском режущего кислорода.

Для обеспечения производительной и качественной резки необходимо своевременно удалять нагар с поверхностей и каналов мундштуков. Для растворения смолистых отложений необходимо применять ацетон или др. растворители.

Запрещается прочищать мундштуки стальной проволокой. Для этой цели рекомендуется пользоваться латунной, медной, деревянной или алюминиевой иглой.

Запрещается производить любые ремонтные работы, если оборудование находится под давлением.

При резке заготовок толщиной более 100 мм питание резака кислородом рекомендуется осуществлять через рампу, имеющую не менее трех баллонов.

Резак можно эксплуатировать как в закрытых помещениях большого объема, так и на открытом воздухе. Давление кислорода по манометру редуктора нужно устанавливать при открытом вентиле режущего кислорода на резаке.

После окончания резки необходимо закрыть вентили режущего кислорода, керосина, подогревающего кислорода и вентиль на кислородном баллоне, затем выпустить воздух из бачка. Только убедившись в отсутствии избыточного давления в бачке, можно откручивать его крышки для осмотра и ремонта насоса или доливки керосина.

При хранении резак нужно уложить или подвесить головкой вниз, чтобы керосин не попадал в кислородные каналы.

Особенности технического обслуживания жидкотопливных резаков.

Не реже одного раза в месяц следует разобрать устройство для сопротивления обратному удару (обратный клапан ствола) и осмотреть его детали. Клапан по направляющему каналу корпуса должен легко перемещаться без заеданий и заклинивания. Уплотняющие поверхности золотника и седла штуцера не должны иметь царапин и заусенцев. Износившиеся детали следует заменить. Если на поверхности деталей обнаружены сажа, смолистые соединения, грязь, их необходимо промыть в бензине, протереть ветошью до полного удаления бензина, просушить и перед сборкой обезжирить. В противном случае действие устройства станет замедленным, что может привести при обратном ударе к попаданию пламени в кислородный рукав и вызвать его загорание и разрыв.

Особенности технического обслуживания резаков РК-32 и РК-02М.

Замену оплетки необходимо производить в следующем порядке:

- отвернуть накидную и сальниковую гайки и демонтировать трубку подогревающего кислорода. Выкрутить трубку с инжектором и очистить ее от асбестового шнура;
- оплести трубку инжектора новым асбестовым шнуром и прокатать смоченную керосином оплетку до размера, обеспечивающего легкий натяг в трубке для подачи керосина; закрепить оплетку на трубке инжектора латунной проволокой 0,3-0,5 мм и произвести сборку.

Оплетку асбестовую необходимо заменять через каждые 70-80 ч работы резака, а при отсутствии регламентированных часов работы – 1 раз в месяц. При замене асбестовой оплетки трубку для подачи керосина и головку очистить бензином от продуктов коксования и обезжирить.

Для равномерного износа раз в неделю необходимо поворачивать трубку для подачи керосина на 90° относительно подогревающего сопла.

Литература

1. Литвинов В.М., Лысенко Ю.Н., Чумак С.А. Ручные инжекторные газокислородные резаки. // Сварщик в России. – 2019. – № 1. – С. 26-29.
2. Литвинов В.М., Лысенко Ю.Н., Чумак С.А. Ручные газокислородные инжекторные горелки для сварки, пайки и нагрева. // Сварщик в России. – 2018. – № 6. – С. 37-39.
3. Литвинов В.М., Лысенко Ю.Н., Чумак С.А. Керосинорез РК-32. // Сварщик в России. – 2018. – № 3. – С. 20-24.
4. Литвинов В.М., Лысенко Ю.Н., Чумак С.А. Керосинорезы «ЛУЧ» и «ЛУЧ-1». // Сварщик в России. – 2018. – № 4. – С. 20-22.

●# 1161

Аттестация технологии сварки

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

При поставке продукции за рубеж необходимо осуществлять аттестацию технологии сварки. Такое же требование могут выдвинуть и внутренние заказчики. Аттестация технологии является важнейшей составляющей систем обеспечения качества продукции. Подробно этот вопрос проанализирован в работах [1-4]. В США и ряде др. регионов Америки и в Азии применяют нормы и требования к сварочному производству по стандартам AWS (Американское общество сварщиков), ASME (Американское общество инженеров-механиков), API (Американский институт нефти) и др.

В странах Европы в области аттестации технологии сварки в настоящее время действуют стандарты серии – ISO 15607 – ISO 15614.

Аттестация технологии сварки в Украине регламентирована стандартами ДСТУ ISO 15607 – ДСТУ ISO 15614. В этих стандартах отражено, что аттестация технологии сварки может выполняться с участием третьей стороны по требованию заказчика.

Иностранные фирмы, заказывающие оборудование украинским компаниям, часто позволяют им самим выбирать систему аттестации. Заказчиков в первую очередь интересует функционирование системы менеджмента качества – ISO 9001 (APIQ1 и др.), в области сварочного производства – аттестация по ISO 3834. В процессе аттестации персонал осваивает и внедряет внутренние стандарты, позволяющие поднять уровень производства до международных требований. При этом аттестованные процедуры сварки с участием третьей стороны вызывают у заказчика большее доверие и одобрение.

Практический интерес представляет опыт ПАО «Сумское НПО» по аттестации технологии сварки согласно требований стандартов США [3]. Объединение изготовило ряд изделий по стандартам ASME (Американское общество инженеров-механиков), API (Американский институт нефти), AWS (Американское общество сварщиков). Эти стандарты включают требования по материалам, проектированию, изготовлению, проверке, контролю, клеймению и содержат требования, особые ограничения и необязательные руководства.

Стандарты декларируют принцип: они не могут заменить образование, опыт и инженерную оценку.

В практике ПАО «Сумское НПО» было несколько вариантов взаимодействия с заказчиком. Первый – изготовление по американским стандартам и участие заказчика в приемных испытаниях. Второй – выборочное осуществление надзора за изготовлением оборудования представителем заказчика.

По третьему варианту производился полный контроль изготовления органами заказчика. В настоящее время многие заказчики требуют наличие Сертификата и клейма ASME или клейма API. Более десяти лет тому назад ПАО «Сумское НПО» провело соответствующую работу и получило сертификаты и разрешение на клеймение сосудов, работающих под давлением, клеймом ASME и трубопроводной арматуры клеймом API. Через каждые три года необходимо подтверждать разрешения и сертификаты.

Перед заключением контрактов заказчик выполняет аудит предприятия, при котором основное внимание обращается на следующие факторы:

- наличие сертифицированной системы менеджмента качества (СМК) – обычно ISO 9000;
- наличие руководства по качеству (РК) и Программы обеспечения качества (ПОК);
- документирование процессов, прослеживаемость, идентификация;
- функционирование системы Планов качества на каждое изделие (ПК);
- сертификацию сварочного производства по ISO 3834 (желательно);
- обучение и аттестацию персонала сварочного производства: сварщиков, контролеров (инспекторов) по неразрушающим видам контроля, руководителей сварочных работ;
- проверку, хранение, выдачу и использование сварочных материалов;
- периодические проверки сварочного оборудования для разрушающих и неразрушающих методов контроля;
- систему аттестации сварочных процессов согласно нормативным документам.

Специалисты ПАО «Сумское НПО» отмечают, что для изготовления продукции по американским стандартам персоналу предприятия необходимо ориентироваться в требованиях вышеприведенной нормативной документации и в соответствии с ними выстраивать производственный процесс. Основная нагрузка ложится на специалистов сварочного производства и персонал системы менеджмента качества. Сами стандарты сложны для восприятия и требуют больших затрат времени для освоения.

Все стандарты оговаривают необходимость аттестации процессов сварки (при переаттестации) в случае изменения существенных переменных: способа сварки, марки основного металла (Р-номера), сварочных материалов (F-номера), свариваемых толщин и диаметров, наличия (отсутствия) подогрева или термообработки и др. Существенными считаются изменения, влияющие на механические

свойства. Изменения в условиях сварки, которые повлияют на ударную вязкость сварочного соединения, являются дополнительными существенными переменными. В стандартах для каждого способа сварки обозначены «существенные», «дополнительные существенные» и «несущественные» переменные параметры.

Каждый производитель оборудования по американским стандартам обязан самостоятельно выполнить процедуру по изготовлению контрольного сварочного соединения для аттестации технологии сварки. Допускается одновременно аттестовать и сварщиков, и технологии. Допускается выполнение неразрушающего контроля (рентгенопросвечивание, ультразвуковая дефектоскопия и др.) третьей стороной, имеющей аттестованный персонал согласно требованиям секции IX ASME. Разрушающие методы контроля должны выполнять сертифицированные лаборатории. Заказчик может потребовать участия своего предприятия в аттестационном процессе или согласования (утверждения) результатов аттестации.

В секции IX ASME (и в др. стандартах) даны рекомендуемые формы оформления WPS (процедуры сварки) и PQR (протокола подтверждения процедуры сварки). Формы необязательные, но приведен перечень параметров сварки, которые необходимо отразить в WPS и PQR. Процедуры сварки (WPS) должны проводиться на рабочих местах. Протоколы PQR хранятся у персонала, назначенного согласно Руководству по качеству. Приложение к PQR – WPS, это все сведения на основные и свароч-

ные материалы, данные о неразрушающих и разрушающих методах контроля, маршрутные листы выполнения контрольных сварных соединений, сведения о термообработке и т. д. PQR и WPS должны быть предоставлены по первому требованию инспектора.

При обсуждении вопросов с инспекторами ASME легитимными являются только секции ASME на английском языке последнего издания. В ПАО «Сумское НПО» разработаны и заполняются бланки WPS и PQR в двух вариантах: на английском и русском языках, это устраивает инспектора ASME и персонал предприятия. На данных бланках в объединении оформлялись аттестации процедур сварки и по др. стандартам.

Следует отметить, что в Украине последовательно проводится работа по освоению международных ISO и европейских (EN) стандартов. С 01.01.2018 г. в Украине отменены ГОСТ-ы. В настоящее время в Украине действует более 400 стандартов, касающихся сварочного производства, которые в полной мере заменяют ГОСТ-ы [1]. Большинство стандартов Украины гармонизированы и являются аутентичными переводами ISO и EN на украинский язык. Часть стандартов не имеет перевода, это – оригинальный текст на английском языке и обложка на украинском. Непосредственно требования по аттестации технологии сварки изложены в ДСТУ / ISO 15607 – ДСТУ / ISO 15614.

ДСТУ / ISO 15607 определяет общие правила разработки и аттестации процедур сварки. В нем приведены также ссылки на некоторые др. проце-

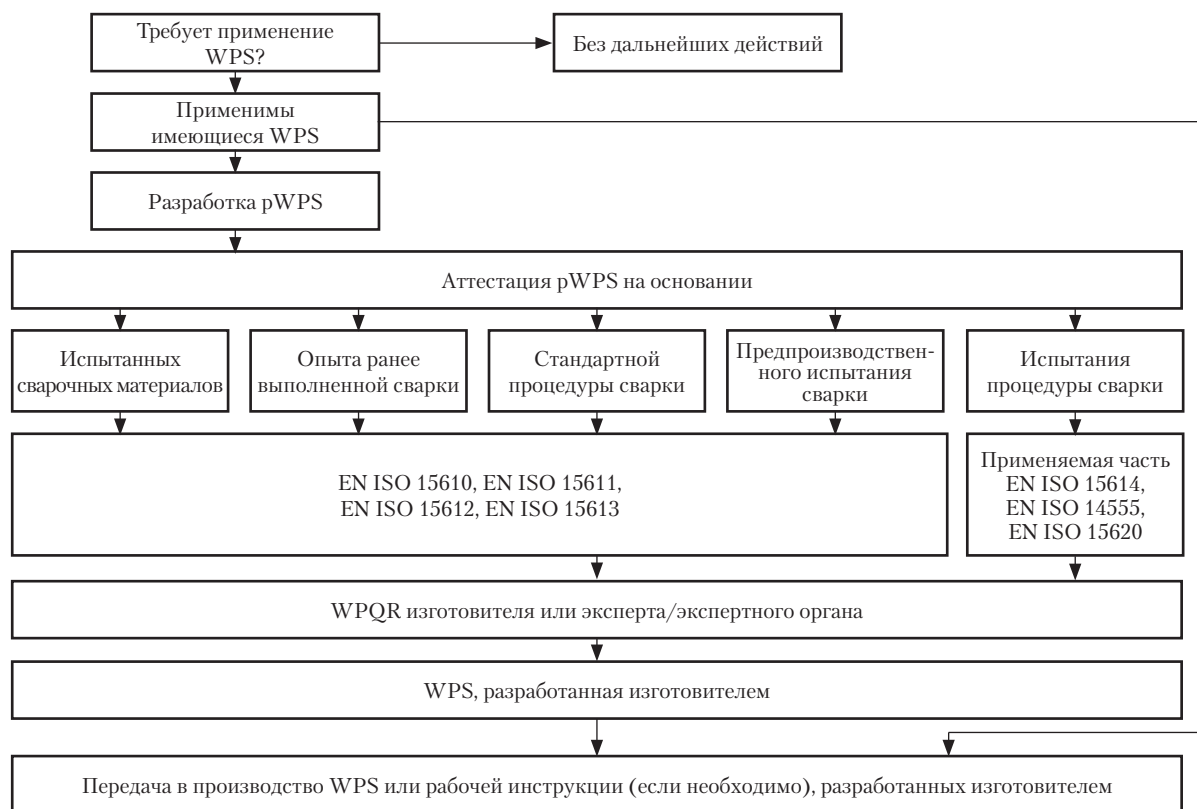


Рис. 1. Структурная схема разработки и аттестации процедуры сварки (WPS)

дуры, в которых детализируют правила для специальных применений. Процедуры сварки (WPS) аттестуются посредством подтверждения одним или несколькими протоколами аттестации технологии сварки (WPQR).

Общее требование всех стандартов – аттестация процедур сварки должна быть проведена изготовителем до проведения сварки в производстве. Изготовитель выполняет аттестацию самостоятельно.

ДСТУ / ISO / TR 15608 группирует основные материалы, предназначенные для сварки, с точки зрения области распространения аттестации технологии сварки. Стандарт касается сталей, чугуна, цветных металлов и их сплавов: алюминия, меди, никеля, титана и циркония.

ДСТУ / ISO 15607 предусматривает пять возможных методов аттестации технологии сварки (рис. 1) [4].

1. Аттестация, основанная на испытанных сварочных материалах, детализирована в ДСТУ / ISO 15610. Метод может быть использован при применении материалов, свойства которых в зоне термического влияния значительно не ухудшаются. Имеются и др. ограничения и риски обнаружения техническим инспектором отступлений в оформлении WPS и WPQR по причине неполноты сведений в сертификатах на сварочные материалы.

2. Аттестация, основанная на опыте ранее выполненной сварки. Изготовитель может иметь WPS, аттестованные путем ссылки на опыт ранее выполненной сварки, если он может доказать достоверными документами независимого характера, что им в предшествующий период были успешно сварены данные типы соединений и материалов. Применение данного метода конкретизируется в ДСТУ / ISO 15611.

3. Требования метода аттестации путем принятия стандартной процедуры сварки, обозначенного в ДСТУ / ISO 15607, оговорены ДСТУ / ISO 15612. Стандартная процедура сварки должна быть опубликована в форме WPS и/или WPQR, основанных на аттестации согласно ДСТУ / ISO 15614. Разработанные изготовителем WPS являются аттестованными, если диапазоны всех параметров находятся в области, охватываемой стандартной процедурой сварки. Стандарт ДСТУ / ISO 15612 предоставляет изготовителю возможность использовать процедуры сварки на базе испытаний, проведенных др. организациями. Ограничение по проведению метода: обязательное соблюдение требований ДСТУ / ISO 15607, EN 719, EN 729, сварочное оборудование должно быть аналогичным используемому при аттестации сварки.

4. Процедура сварки может быть аттестована путем предпроизводственных испытаний сварки. Этот метод, обозначенный в стандарте ДСТУ / ISO 15607, детализируется в стандарте ДСТУ / ISO 15613 и является единственно надежным для специфических сварных соединений, когда гранич-

ные условия, теплоотвод и т. д. не могут быть воспроизведены стандартными контрольными образцами. Подготовку и сварку конкретных образцов следует выполнять в условиях сварки той продукции, которую они должны воспроизводить своей формой и размерами. При этом необходимо максимально соблюдать требования ДСТУ / ISO 15614.

5. Рассмотренные выше четыре метода аттестации технологии сварки имеют свои ограничения и риски получения замечаний от технического инспектора. По этой причине ПАО «Сумское НПО» выполняет аттестацию технологии сварки, основанную на испытании процедуры сварки. Согласно ДСТУ / ISO 15607 этот метод устанавливает, что процедура сварки может быть аттестована путем сварки и испытания стандартного контрольного образца. В стандарте ДСТУ / ISO 15607 детально изложены нормы по квалификации WPS посредством испытания сварочных процедур, а также область распространения сварочных процедур для любой практической деятельности в пределах диапазона параметров влияния. В стандарте приведены требования к форме и размерам контрольных образцов, к положению образца при сварке, определены объемы неразрушающих и разрушающих испытаний, критерии оценки. Подробно изложены нормы по области распространения аттестованных технологий в зависимости от следующих условий: способов сварки, видов сварочных соединений, основных и сварочных материалов, свариваемых толщин и диаметров, позиции свариваемого изделия, погонной энергии сварки, температуры предварительного подогрева и последующей термообработки.

Специалисты ПАО «Сумское НПО» считают, что аттестацию процедур сварки исполнителю лучше проводить по американским стандартам, а не по ISO [4].

Литература

1. Проценко Н.А. Внедрение гармонизированных международных и европейских стандартов в сварочное производство Украины. // Автомат. сварка. – 2017. – № 11. – С. 47-57.
2. Лактионов М.А. Пономарев И.В., Темченко Г.Н. Аттестация технологии сварки. Ч. 1. Общие положения. // Сварка и металлоконструкции. – 2016. – № 4. – С. 21-22.
3. Лактионов М.А. Пономарев И.В., Темченко Г.Н. Аттестация технологии сварки. Ч. 2. Требования стандартов США. // Сварка и металлоконструкции. – 2016. – № 5. – С. 29-31.
4. Лактионов М.А. Пономарев И.В., Темченко Г.Н. Аттестация технологии сварки. Ч. 3. Международные стандарты и стандарты Украины. // Сварка и металлоконструкции. – 2016. – № 6. – С. 21-23.

●# 1162

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА

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

* Цены на книги указаны без учета стоимости доставки.

** Продается только в электронной версии.

Электронные версии книг стоят в два раза дешевле.

Тарифы на рекламу в 2019 г.

На внутренних страницах		
Площадь	Размер, мм	Стоимость, руб.*
1 полоса	210×295	25000
1/2 полосы	180×125	13000
1/4 полосы	88×125	7000
На страницах основной обложки		
Страница	Размер, мм	Стоимость, руб.
1 (первая)	215×185	50000
4 (последняя)	210×295 (после обрезки 205×285)	36000
2		33000
3		30000

(*все цены в руб. с НДС)

Изготовление оригинал-макета

- 10% стоимости рекламной площади

Статья на правах рекламы

- 1 стр. — 12000 руб.

Прогрессивная система скидок

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

Требования к оригинал-макетам

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

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

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

www.welder.stc-paton.com

Подписка-2019 на журнал «Сварщик в России»

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

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

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

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