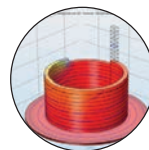
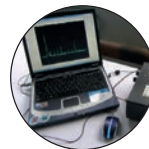
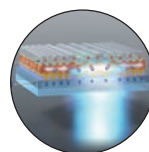


СОДЕРЖАНИЕ

Новости техники и технологий	4
Технологии сварки трением	
Сварка трением с перемешиванием алюминиевых охлаждающих изделий силовой электроники.	
<i>П.А. Васильев</i>	6
Термическая резка и правка.	
История газопламенной обработки	
Развитие теории горения при выполнении сварочных газопламенных процессов.	
<i>В.И. Панов</i>	8
Вклад отделов ИЭС им. Е.О. Патона в научно-технический прогресс.	
К 85-летию ИЭС им. Е.О. Патона	
Исследования физико-химических процессов дуговой сварки плавлением.	
Разработка сварочных материалов.	
<i>В.В. Головкин</i>	11
Оборудование для производства	
Ремонт ручных горелок и резаков.	
<i>В.М. Литвинов, Ю.Н. Лысенко, С.А. Чумак</i>	18
Автоматизация сварочного производства	
Робототехнологические комплексы производства ООО «Навко-Тех» для МИГ-сварки сельхозтехники.	26
Выставки	
Календарь выставок на II-полугодие 2019 г.: Россия; Международные	29
Технологии неразрушающего контроля	
Направления работ института электросварки им. Е.О. Патона в области неразрушающего контроля.	
<i>В.А. Троицкий, М.Н. Карманов</i>	30
Технологии аддитивного наплавления	
Наплавление тонкостенных цилиндрических оболочек аддитивным методом.	
<i>В.А. Костин, Г.М. Григоренко</i>	36
Наши консультации	40



News of technique and technologies 4

Technologies of friction welding

Friction welding with stirring of aluminum coolers of power electronics products.

P.A. Vasil'yev 6

Thermal cutting and editing. History of gas-flame treatment

Development of the theory of combustion when performing welding gas-flame processes.

V.I. Panov 8

Contribution departments of E.O. Paton EWI in scientific and technological progress. On the 85-th anniversary of E.O. Paton EWI

Research of physical and chemical processes of arc fusion welding. Development of welding materials.

V.V. Golovko 11

Equipment for the production

Repair of manual torches and cutters.

V.M. Litvinov, Yu.N. Lysenko, S.A. Chumak 18

Automation of welding production

Robotic systems produced by LLC "Navko-Tech" for MIG-welding of agricultural equipment. 26

Exhibitions

Calendar of exhibitions for the II half of 2019:

Russia; International. 29

Technologies of non-destructive control

Directions of work of the E.O. Paton Electric Welding Institute in the field of non-destructive control.

V.A. Troitsky, M.N. Karmanov 30

Technologies of additive surfacing

Surfacing of thin-walled cylindrical shells by the additive method.

V.A. Kostin, G.M. Grigorenko 36

Our consultations 40

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 15.05.2019. Формат 60×84 1/8.

Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура PetersburgC. Отпечатано в ЗАО «ТДДС-Столица-8».

Заказ № 4282 от 13.05.2019. Тираж 1000 экз.

Издание выходит при содействии производственно-технического журнала «Сварщик»

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

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

Главный редактор В. Д. Позняков

Зам. главного редактора В. Г. Абрамишвили

Редакционная коллегия В. А. Белинский, Ю. К. Бондаренко, А. В. Вавилов, Ю. В. Демченко, В. М. Илюшенко, Г. И. Лашенко, О. Г. Левченко, В. М. Литвинов, Л. М. Лобанов, А. А. Мазур, В. И. Панов, П. П. Проценко, С. В. Пустовойт, И. А. Рязцев, 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

Сварка трением с перемешиванием алюминиевых охладителей изделий силовой электроники.

П.А. Васильев

Описаны результаты опытных работ, выполненных на установке фрикционной сварки ERNEST ЧГУ по отработке технологии сварки трением с перемешиванием (СТП) охладителей из алюминиевого сплава АД31 изделий силовой электроники. Данный процесс позволяет изготавливать охладители с неограниченной площадью рассеяния тепловой энергии, что существенно при коммутации электрических токов в энергопотребляющих установках МВт диапазона. Приведена схема установки и фиксации исходных заготовок при сварке. Показано, что контроль процесса может выполняться посредством измерения электрической мощности, потребляемой электродвигателем вращения шпинделя установки. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и изготовлении промышленных установок СТП.

Развитие теории горения при выполнении сварочных газопламенных процессов.

В.И. Панов

В создании и развитии термической резки и правки исключительную роль сыграли философия, химия и физика, которые в течение нескольких веков были ведущими научными дисциплинами. Рассмотрены основные этапы развития горения высокотемпературного газокислородного пламени (от теорий древних философов, алхимии, флогистонной теории и до теории кислородного горения), влияющего на распространения тепла в основном металле. Рассмотрена оценка теплофизических свойств металла (теплоемкости, температуры нагрева) применительно к высокотемпературному источнику тепла, в частности, к газовому пламени.

Исследования физико-химических процессов дуговой сварки плавлением. Разработка сварочных материалов.

В.В. Головкин

Созданный в 1962 г. отдел исследований физико-химических процессов в сварочной дуге был ориентирован на проведение фундаментальных исследований металлургических процессов в сварочной ванне и термодиффузионных процессов при формировании структуры металла швов с целью создания научной базы для разработки отечественных сварочных материалов. Сотрудниками отдела были проведены разработки в области металлургии сварки, плазменно-дуговых процессов в сварочной дуге, металловедения, структурообразования, токсичности сварочных аэрозолей, результаты которых опубликованы в ведущих отечественных и зарубежных изданиях, изданы в виде более десяти монографий. В результате создана отечественная индустрия производства сварочных материалов общего назначения, спроектированы и введены в строй цеха по массовому изготовлению высокопроизводительных низкотоксичных электродов для ручной дуговой сварки, порошковых проволок и агломерированных флюсов.

Ремонт ручных горелок и резаков.

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

В статье собраны и представлены в удобном виде материалы нормативно-технической и справочной литературы по ремонту ручных горелок и резаков. Использован личный опыт авторов статьи относительно ремонта газопламенной аппаратуры производства ООО «НИИПТмаш-Опытный завод» и «Донмет». Определены виды ремонта; рассмотрены вопросы приемки аппаратуры в ремонт и порядка его проведения, хранения и выдачи аппаратуры в эксплуатацию. Приведены основные виды дефектов горелок, резаков и их деталей. Разработаны технологические рекомендации при проведении ремонта и даны сведения о материалах, применяемых при ремонте горелок и резаков.

Наплавление тонкостенных цилиндрических оболочек аддитивным методом.

В.А. Костин, Г.М. Григоренко

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



Уникальная роботизированная аддитивная установка, изготовленная в СПбГМТУ, введена в строй на уфимском предприятии ОДК

Роботизированная установка прямого лазерного выращивания крупногабаритных заготовок для деталей авиационных двигателей с помощью аддитивных технологий введена в строй в ПАО «ОДК-УМПО» (Уфа). Оборудование спроектировано и смонтировано специалистами Института лазерных и сварочных технологий Санкт-Петербургского государственного морского технического университета (СПбГМТУ) в рамках реализации совместного проекта с ПАО «ОДК-УМПО».

Аддитивные технологии (АТ) – одно из наиболее динамично развивающихся направлений «цифрового» производства, которое позволяет применить новый подход к созданию изделия, сократить количество деталей конструкции и их стоимость. Освоение АТ ведется на всех предприятиях ОДК.

Новый роботизированный комплекс размещен в центре технологической компетенции алюминиевого и титанового литья ПАО «ОДК-УМПО». На сегодняшний день это оборудование является самым крупногабаритным в линейке аддитивных установок, разработанных в СПбГМТУ. Комплекс позволяет выращивать заготовки для деталей авиационных двигателей Ø более двух метров. Ранее специалисты ПАО «ОДК-УМПО» прошли в СПбГМТУ курс практического обучения работе на новой инновационной технике.

Проект, нацеленный на создание производства точных крупногабаритных заготовок из высокопрочных и жаростойких сплавов для перспективных дви-



гателей производства ПАО «ОДК-УМПО», реализован с непосредственным участием СПбГМТУ за 2 года. Грант на его реализацию предприятие и вуз выиграли в 2017 г. в конкурсе Минобрнауки РФ по Постановлению № 218 Правительства РФ «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства».

Отгрузка установки с производственной площадки СПбГМТУ и ее перевоз в Уфу состоялись в мае 2019 г.

www.smtu.ru

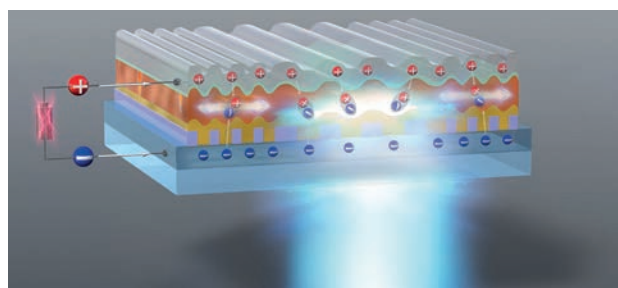
● #1163

Физики впервые создали лазер на органическом диоде с накачкой током

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

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

До недавнего времени не существовало работающего лазерного устройства с прямой накачкой



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

www.nplus1.ru

● #1164

«Цифровая верфь» – прорывной проект Корабелки

Ректор СПбГМТУ Глеб Туричин и гендиректор АО «Онежский судостроительно-судоремонтный завод» (ОССЗ) Владимир Майзус заключили договор о реконструкции и техническом перевооружении производственных мощностей АО «ОССЗ». Тем самым положено начало создания первой отечественной «Цифровой верфи».

Проект СПбГМТУ «Цифровая верфь» – первый опыт масштабного применения промышленного уклада «Индустрия 4.0» в отечественном судостроении. Его появление обусловлено применением новых технологий. Одна из основных – автоматизированное цифровое производство, которое управляется интеллектуальными системами в режиме реального времени.

После модернизации на предприятии автоматизируется большинство производственных процессов – конструирование, проектирование, сборка, управление и учет, что ускорит выпуск продукции, удешевит проекты и минимизирует возможные ошибки, возникающие по вине человеческого фактора, а также позволит гибко настраивать и перенастраивать производственное оборудование. Проектом запланировано также внедрение на предприятии целого ряда самых передовых производственных технологий, многие из которых разработаны в стенах СПбГМТУ, и создание опережающей системы подготовки кадров для «Цифровой верфи».

Основными партнерами СПбГМТУ в проекте выступают: АО «ЦТСС» (проведение инженерных изысканий; обследование зданий и сооружений; разработка принципиальных технологиче-



ских решений, укрупненной маршрутной технологии, интерактивного виртуального макета производства, проектно-сметной и рабочей документации), ООО «Нева Технолджи» (проектирование сквозной интегрированной системы проведения судометрических операций), ООО «Центр лазерных технологий» (проектирование сквозной системы учета, прослеживания материалов и комплектующих на всех технологических переделах). В проекте примут участие сотрудники и студенты СПбГМТУ и организации-участники консорциума «Кораблестроение и морская техника».

Важнейшее следствие реализации проекта «Цифровая верфь» – возможность масштабировать его результаты на др. предприятия отрасли, что значительно повысит не только эффективность гражданского судостроения, но и конкурентоспособность отечественных предприятий внутри страны и за рубежом.

www.korabel.ru

● #1165

В Подмосковье открылось новое металлообрабатывающее производство

Предприятие полного цикла обработки листового металла и труб «Laser Processing» открыто в Богородском городском округе, на территории промышленного парка «Успенский». Современное оборудование, в т. ч. роботы для резки, сгибания металлических листов и труб, сварочных работ. Продукция предприятия используется в авиа- и машиностроении, медицинской и др. сферах, оборонной промышленности.

Это предприятие стало 8-ой производственной площадкой в промышленном парке «Успенский». Общий объем инвестиций в проект составил 250 млн рублей. Планируется создать 70 рабочих мест.

Особенность производства компании – большой парк высокотехнологичного оборудования, которое для завода поставляет немецкая компания TRUMPF, являющаяся технологическим лидером в сфере металлообрабатывающих станков и лазеров для промышленного производства.

Laser Processing – компания, специализирующаяся в обработке листового и крупного металлопроката из стали, алюминия, меди, латуни с использованием лазерной резки, гибки, механической обработки и



сварки. Предприятие работает в области субподряда, производит детали по чертежам заказчика. Сферы применения продукции, которая выходит со станков производства: машиностроение, стеллажная продукция, медицинское оборудование и др.

www.sdelanounas.ru

● #1165

Сварка трением с перемешиванием алюминиевых охладителей изделий силовой электроники

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

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

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

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

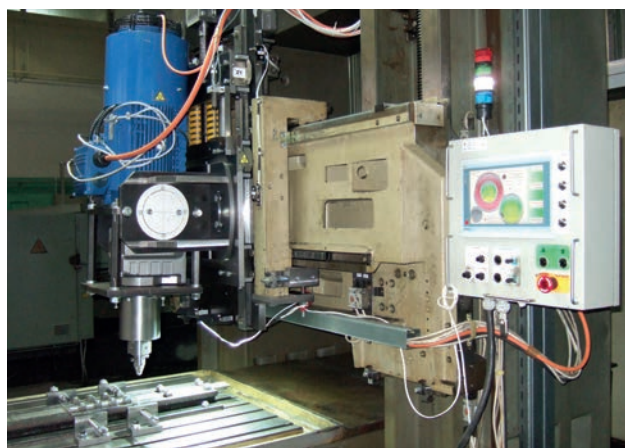


Рис. 1. Общий вид установки фрикционной сварки ERNEST

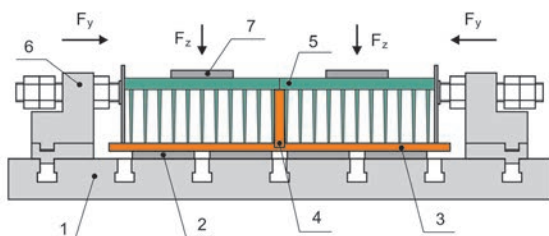


Рис. 2. Схема монтажа исходных заготовок охладителя при выполнении сварки

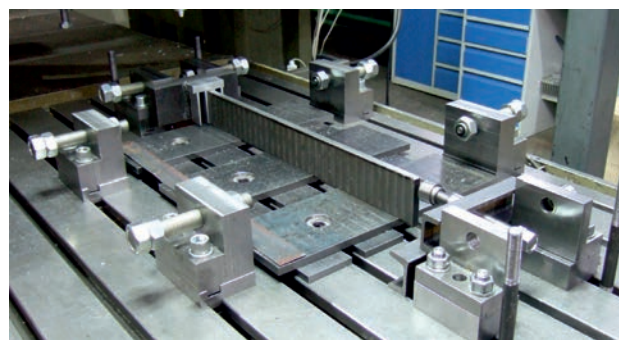


Рис. 3. Установка подложки на рабочем столе.



Рис. 4. Фиксация заготовок охладителя.

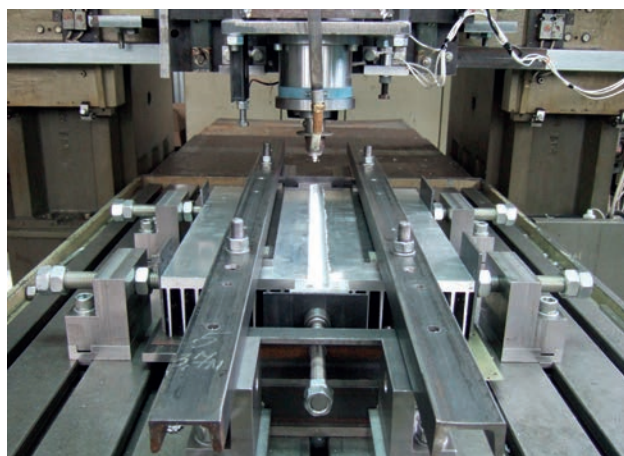


Рис. 5. Завершение сварочного процесса

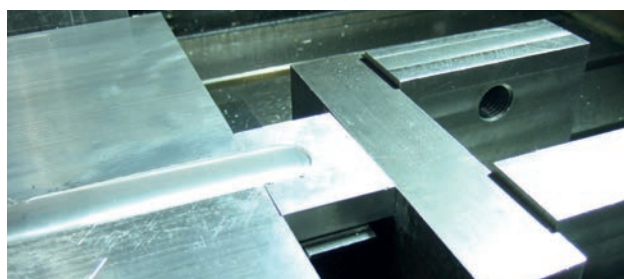


Рис. 6. Накладная пластина в начале сварочного шва

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

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

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

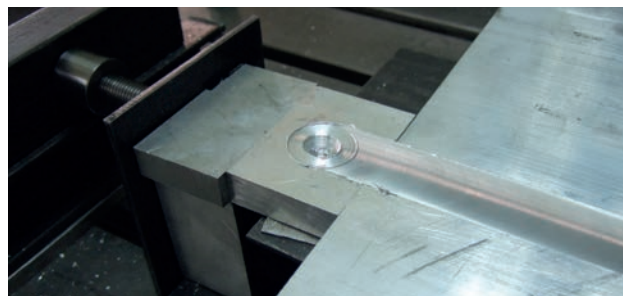


Рис. 7. Накладная пластина в конце сварочного шва

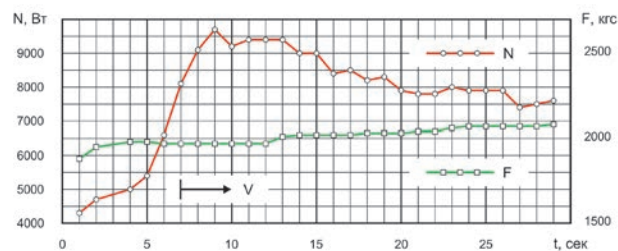


Рис. 8. Физические параметры начала сварочного процесса.



Рис. 9. Воздушное охлаждение инструмента.

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

Литература.

1 Васильев П.А., Осанов В.Н., Евграфов А.В., Калинин А.Г., Шведов М.А., Христофоров О.В., Григорьев В.С. Установка фрикционной сварки ERNEST. // Заготовительные производства в машиностроении. 2017. Т. 15. № 9. С. 392-398.

2 Бакшаев В.А., Васильев П.А., Васильев С.В., Гайнуллин Р.Р., Чумаров С.Н., Рахимов А.Х. Сварка трением с перемешиванием. Контроль параметров и управление процессом. // Сварщик в России. – 2014. – № 1. – С. 24-27.

●# 1166

Развитие теории горения при выполнении сварочных газопламенных процессов

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Продолжение в след. номерах

Литература

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

● # 1167

Исследования физико-химических процессов дуговой сварки плавлением. Разработка сварочных материалов

В.В. Головкин, д.т.н., отдел № 10, ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ (Киев)

Несмотря на все увеличивающиеся объемы применения неметаллических материалов, применение сплавов железа в промышленности сохраняет приоритетные позиции, и это связано с тем, что их возможности далеко не исчерпаны. Если учесть, что теоретическая прочность чистого железа составляет 15 000 МПа, а основная масса применяемых в настоящее время сталей относится к категории прочности 500-700 МПа, и только в редких случаях до 2 000 МПа, то можно с уверенностью сказать, что у сплавов железа есть еще большие перспективы для дальнейшего развития и совершенствования. Продолжаются исследования, направленные на повышение комплексных служебных характеристик сталей и работы по созданию новых сварочных материалов, способных отвечать по уровню свойств сварных швов основному металлу. Разработка таких материалов должна строиться на основе создания механизмов управления структурой металла швов на всех уровнях – от зарождения и роста первичных кристаллов до формирования вторичной структуры.

В 1958 г. в ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ была создана под руководством И.К. Походни лаборатория электродных материалов, в 1962 г. преобразованная в отдел № 10 научных исследований физико-химических процессов в сварочной дуге, металлургических процессов в сварочной ванне и термодиффузионных процессов при формировании структуры металла швов. Работы, проведенные в этом направлении, позволили изучить закономерности кинетики плавления и переноса электродного металла, распределения температуры в каплях электродного металла, процессы теплообмена между дугой и расплавленным металлом на торце электрода, процессы абсорбции газов расплавленным металлом в условиях дугового разряда и закономерности распределения водорода и азота в сварочной ванне при непрерывном движении границы раздела жидкой фазы и кристаллизующегося металла. Установлены закономерности влияния режимов сварки, типа и композиции электродного материала, плотности и полярности тока на температуру капель, времени взаимодействия капель с окружающей газовой средой, закономерности процессов абсорбции и десорбции газов, что позволило с новых позиций подойти

к практической разработке электродных материалов нового поколения.

Результаты этих исследований стали теоретической базой для создания многих марок прогрессивных низкотоксичных и высокопроизводительных сварочных электродов, характеризующихся благоприятными сварочно-технологическими свойствами, обеспечивающими резкое снижение выделения вредных веществ и хорошие механические свойства металла швов. Благодаря объединению усилий специалистов ИЭС им. Е.О. Патона, проектировщиков и производителей удалось в короткие сроки решить важную народнохозяйственную задачу – обеспечить страну первоклассными низкотоксичными электродами. В 1971 г. работа «Коренное улучшение условий труда и повышение производительности при сварке покрытыми электродами и их производстве» удостоена Государственной премии СССР. Среди лауреатов – сотрудники ИЭС им. Е.О. Патона – И.К. Походня (руководитель), А.Е. Марченко, И.Р. Явдошин, А.М. Бейниш (рис. 1).

В 1959 г. в Институте коллективом сотрудников под руководством И.К. Походни был разработан первый промышленный образец порошковой проволоки, не требующей дополнительной защиты расплавленного металла. В последующие годы выполнены исследования технологии изготовления порошковой проволоки различных видов. Изучение совместной деформации сплошных и сыпучих тел, силовых условий при различных схемах

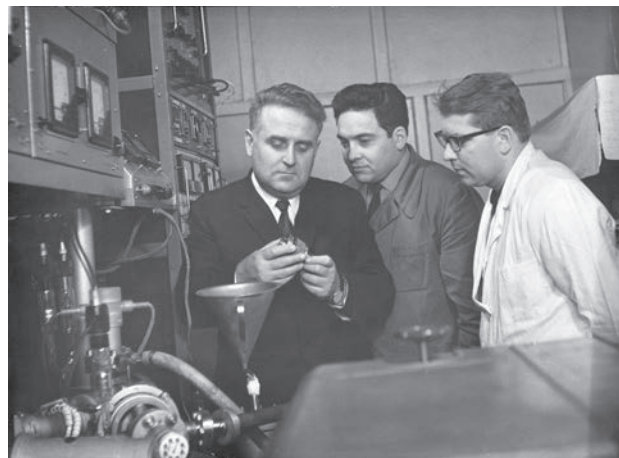


Рис. 1. Разработчики низкотоксичных электродов массового применения, слева - направо: И.К. Походня, А.Е. Марченко, И.Р. Явдошин

обработки и построения технологического процесса, позволило создать научные и инженерные основы промышленной технологии изготовления. С этой целью были исследованы особенности тепло- и массообмена, твердофазного взаимодействия составляющих сердечника порошковой проволоки при нагреве, разработаны методы регулирования скоростей плавления оболочки и сердечника проволоки, предложены методы предупреждения пористости швов. Была изучена кинетика плавления и переноса электродного металла, установлены особенности окислительно-восстановительных реакций взаимодействия между металлом, шлаком и газовой фазой, предложены методы управления этими процессами, обеспечивающие удаление продуктов реакций из сварочной ванны, оптимальное легирование металлической матрицы, высокую сопротивляемость сварных соединений зарождению и распространению трещин. В результате проведенных исследований создан ряд самозащитных порошковых проволок различного назначения, характеризующихся оригинальными композициями и конструкциями оболочки.

Разработка самозащитных порошковых проволок явилась новым шагом в технике и технологии сварочного производства. Их применение позволило решить проблему механизации сварочных процессов на монтаже, в открытых цехах, в полевых условиях, на стапелях. Морские регистры Lloyd Register of Shipping (Великобритания), Bureau Veritas (Франция), American Bureau of Shipping (США), Germanischer Lloyd (ФРГ), Речной и Морской регистры СССР разрешили применение этих проволок при изготовлении ответственных корпусных конструкций морских и речных судов, что повысило производительность сварки. Порошковые проволоки двухслойной конструкции удостоены Золотой медали на выставке «Сварка-75» в Брно (ЧССР).

Для организации изготовления высококачественных порошковых проволок были разработаны конструкции агрегатов, устройств и приборов для оснащения технологических производственных линий, в частности формующих устройств, дозаторов шихты непрерывного действия, агрегатов обезжиривания, сварки и намотки стальной ленты, установок непрерывного съема проволоки, приборов контроля и мониторинга заполнения проволоки шихтой. ОКТБ ИЭС им. Е.О. Патона выполнил конструкторские разработки специализированных типов оборудования для формовки порошковых проволок различных конструкций (вальцеванных и бесшовных), дозирующих устройств для заполнения стальной оболочки шихтой, устройств для непрерывного съема порошковой проволоки с вольчатых станков, установок и оснастки для обезжиривания холоднокатаной ленты, сварки лент, смесителей шихты и др. технологического оборудования. Пилотные образцы оборудования и головные промышленные установки изготавливал ОЗСО ИЭС им. Е.О. Патона. Разработки Института передавались предприятиям-изготовителям оборудования. На Алма-Атинском заводе тяжелого машиностроения было освоено промышленное производство комплектных технологических линий изготовления порошковых проволок, которыми оснащались строящиеся производства. В 1978 г. работа «Создание, организация массового производства и внедрение новых материалов (порошковых проволок) для механизированной сварки, обеспечивающих повышение производительности труда и качества сварных конструкций», ведущими исполнителями которой были сотрудники отдела (рис. 2), удостоена Государственной премии СССР. Высокий уровень разработок сварочных порошковых проволок, технологии изготовления проволок и производственного оборудования получил призна-



Рис. 2. Лауреаты Госпремии СССР – создатели порошковых проволок, слева-направо: И.И. Фрумин, А.М. Сутель, И.К. Походня, В.Н. Шлепаков, В.Ф. Альтер

ние во многих зарубежных странах. Поставка документации, оборудования и освоение технологий по разработкам ИЭС им. Е.О. Патона выполнялись на основе лицензионных соглашений и контрактов с более чем десятком предприятий, фирм и организаций многих стран мира (Франции, ФРГ, США, КНР, Японии, Аргентины, ЧССР и др.).

В 1965 г. под руководством Б.Е. Патона начались работы по созданию способов сварки и оборудования для сварки в космических условиях. Сотрудники отдела физико-химических процессов в дуге принимали активное участие в выполнении комплексных исследований поведения жидкого металла при дуговой сварке в условиях изменяющейся гравитации и особенностей дугового разряда между плавящимися электродами в вакууме. Был разработан оригинальный способ дуговой сварки в вакууме и невесомости. Испытание этого способа вошло в программу первого в мире технологического эксперимента – сварки в космосе, осуществленной в 1969 г. летчиком-космонавтом В.Н. Кубасовым на космическом корабле «Союз-6». Результаты исследований опубликованы в сборниках «Космическое материаловедение и технологии» (1977) и «Космос: технологии, материаловедение, конструкции» (2000).

Исследования основных закономерностей формирования металла шва, легирования, кристаллизации сварочной ванны в условиях искусственного охлаждения поверхности шва и изменяющегося пространственного положения ванны, выполненные сотрудниками отдела, позволили создать прогрессивную технологию, оборудование для дуговой сварки неповоротных стыков труб с использованием самозащитной порошковой проволоки. Принудительное формирование сварного шва дало возможность повысить производительность работ по сравнению с ручной дуговой сваркой в 3-6 раз. Были разработаны системы легирования металла шва, созданы новые порошковые проволоки, определены оптимальные параметры процесса сварки, обеспечивающие получение высоких механических свойств сварных соединений труб, используемых для сооружения магистральных трубопроводов, а также внедрена промышленная технология и освоено производство сварочной порошковой проволоки для трубопроводного строительства.

ИЭС им. Е.О. Патона, ОКТБ ИЭС, Каховский завод электросварочного оборудования создали специализированный комплекс оборудования «Стык» для сварки неповоротных стыков труб диаметром 1220-1420 мм. Технология автоматической сварки трубопроводов с применением комплексов «Стык» широко использовалась при строительстве ряда магистральных газопроводов. В 1983 г. за работу «Комплекс исследований, проектно-конструкторских и технологических работ по созданию и вне-

дрению прогрессивной технологии дуговой сварки и оборудования (комплекс «Стык») для технического перевооружения сварочного производства при сооружении магистральных трубопроводов» присуждена Премия Совета Министров СССР.

Металлургические аспекты использования методов легирования и микролегирования металла швов при сварке низколегированных сталей достаточно глубоко изучены, однако, насущной остается проблема исследования и разработки систем микролегирования металла шва через сварочный материал, которые позволят получить мелкозернистую структуру металла швов без образования пленочных и остроугольных выделений на границах зерен, что должно способствовать повышению вязко-пластичных свойств сварных соединений при достижении необходимых показателей прочности. Поэтому, одним из основных направлений работ, проводящихся в отделе, является развитие представлений и закономерностей влияния микролегирования с использованием металло-минеральных комплексов, вводимых в сварочную ванну вместе с шлакообразующими компонентами с помощью сварочных материалов, на структурообразование и повышение показателей свойств сварных соединений высокопрочных низколегированных сталей, создание сварочных материалов и технологии сварки, соответствующие современным требованиям производства металлоконструкций. Решение указанных проблем является актуальным и важным направлением исследований и разработок, которые выполнялись в рамках научных программ ведомственного и целевого заказов НАН Украины, включавших исследования процессов структурообразования при комплексном легировании и микролегировании, их влияние на показатели механических свойств металла сварных соединений, разработку составов сварочных материалов и испытания разработок в промышленных условиях.

Конкурентоспособность современных материалов для дуговой сварки в значительной степени определяется их сварочно-технологическими и санитарно-гигиеническими показателями. Именно в этом направлении ведутся работы ведущими зарубежными фирмами-производителями – «ESAB» (Швеция), «Lincoln Electric» (США), «Böhler» (Австрия), направленных на модернизацию сварочных материалов с целью повышения их конкурентоспособности и проникновения на рынки постсоветских стран. Чтобы противостоять этому натиску, необходимо иметь разработки отечественных материалов с высоким уровнем, как технических характеристик, так и санитарно-гигиенических показателей. Достичь результатов по этим направлениям возможно только на базе детального изучения металлургических процессов, происходящих при дуговой сварке, и, в первую очередь, процессов плавления и переноса электрод-

ного металла, испарения и конденсации элементов и соединений с расплавов металла и шлака.

Комплексный подход к рассмотрению вопросов, связанных с особенностями развития металлургических процессов при дуговых методах сварке в жидкой и газовой фазах, способствовал созданию материалов с повышенной способностью к рафинированию металла швов по сере, фосфору, неметаллическим включениям. Большое внимание специалисты отдела уделяют изучению образования и распределения неметаллических включений в металле, их влияния на формирование структуры сварных швов. На основе анализа указанной проблемы была сформулирована физико-металлургическая модель, описывающая процессы образования и роста включений. Эта модель, построенная на основании термо-кинетических расчетов, предусматривает образование включений в расплавленном металле сварочной ванны и их дальнейший рост в областях твердо-жидкого состояния, формирующихся в междендритных пространствах в процессе охлаждения металла шва. Математическое описание данных процессов, построенное на оригинальных методах совместного решения системы алгебраических уравнений, позволило разработать компьютерную программу, предназначенную для численного исследования влияния особенностей протекания окислительно-восстановительных реакций в сварочной ванне на содержание и морфологию неметаллических включений в металле сварных швов. Для количественного выражения окислительной способности сварочных материалов использовали данные об их кислородном потенциале. Для этих измерений применительно к условиям существования сварочной ванны адаптировали метод определения кислородного потенциала расплавов и шлаков, применяемый в черной металлургии. На основе лабораторных исследований с использованием методов масс-спектропии была создана численная модель, позволяющая прогнозировать изменение величины кислородного потенциала сварочных материалов в зависимости от их состава.

Известно, что на формирование в металле сварных швов структурных составляющих с повышенной стойкостью против хрупкого разрушения положительное влияние оказывают неметаллические включения типа алюмосиликатов и оксидов титана. Численное моделирование с использованием разработанных программ позволило определить направления создания сварочных материалов, обеспечивающих получение металла швов с оптимальным уровнем объемной доли неметаллических включений прогнозируемого состава. Испытания разработанных сварочных материалов в условиях ИЭС им. Е.О. Патона, а также на промышленных предприятиях и исследовательских центрах Украины и России показали обоснованность предложенных расчетных моделей.

Специалистами отдела в последнее время выполнен комплекс металлургических, металлографических и технологических исследований, позволивших определить условия формирования литой структуры швов при инокулировании жидкой ванны тугоплавкими добавками и их реакции, как второй фазы, на кинетику роста первичных дендритов. Было показано, что содержание включений и выделения второй фазы существенно ограничивают рост зерна. Этому способствуют элементы, образующие труднорастворимые примеси типа устойчивых карбидов (титан, ванадий, цирконий, ниобий), оксидные включения, не растворимые в аустените. По мере того как размер зерен или частиц становится все меньше и меньше, все большая часть атомов оказывается на границах или свободных поверхностях.

Благодаря тому факту, что доля поверхностных атомов в ультрадисперсных материалах составляет десятки процентов, ярко проявляются все особенности поверхностных состояний, и разделение свойств на «объемные» и «поверхностные» приобретает в какой-то степени условный характер. Дисперсные инокулянты, способствуют снижению размера зерен и росту количества межзеренных границ, что играет определяющую роль в формировании физических и механических свойств кристаллизующегося металла. Поэтому в проведенных экспериментальных исследованиях и разрабатываемых структурных моделях значительное внимание уделялось как самим дисперсным материалам экзогенного происхождения и инокулированным образованиям, так и границам зерен микроструктуры, образующегося под их влиянием.

В результате проведенных исследований было установлено, что наноразмерные неметаллические включения являются неизменной составляющей микроструктуры металла сварных швов. Они могут быть внесены в сварочную ванну в виде высокотемпературных соединений через сварочные материалы или образовываться в результате металлургических реакций в сварочной ванне. Данные включения активно участвуют в металлургических реакциях, как в сварочной ванне, так и в кристаллизующемся металле, и во многом определяют условия формирования микроструктуры металла сварных швов. Наличие в сварочной ванне достаточного количества неметаллических включений, сопоставимых по своим размерам с зародышами кристаллизующегося металла, способствует формированию мелкозернистой первичной структуры сварного шва. Показано, что, в зависимости от своего химического состава, нановключения, расположенные в теле аустенитных зерен, могут ускорять или замедлять диффузию углерода в процессе перекристаллизации и влиять, за счет этого, на образование ферритной фазы в виде верхнего или нижнего бейнита. Установлено влияние ликвации тугоплавких

инокулянтов в процессе кристаллизации на границах аустенитных зерен на подавление образования зернограницного феррита и интенсификацию процесса зарождения внутризеренного феррита за счет снижения межфазной энергии.

С целью повышения устойчивости сварных соединений высокопрочных низколегированных (ВПНЛ) сталей против хрупкого разрушения проведено экспериментальное исследование путей снижения потенциального содержания водорода в сварочных материалах (покрытых электродах, порошковой проволоки, агломерированных флюсах). Выполнены исследования физико-химических свойств смесей порошковых материалов с применением методов комплексного термического анализа и масс-спектрометрии газовой фазы при динамическом нагревании от 30 до 1500 °С, позволившие оценить степень развития термохимической реакции деструкции в модельном порошковом композите с выделением газов, а также развитие реакций окисления, образования комплексов и плавления смесей с образованием первичного расплава шлаковой и металлической фаз.

Методом дифференциальной сканирующей калориметрии проведена оценка затрат тепла на процессы нагрева и плавления порошковых смесей, и эндотермические и экзотермические эффекты, сопровождающие эти процессы. При нагревании и плавлении порошковых смесей эндотермические процессы деструкции минеральных материалов, удаления влаги и плавления, совмещаются с экзотермическими эффектами окисления металлических составляющих и образования соляно-оксидных комплексов, влияющих на общий характер и температурный интервал интенсивного хода реакций. Регулирование состава порошкового композита с учетом взаимного влияния его компонентов при нагревании позволяет управлять процессами плавления сварочного материала.

Выявлено существенное влияние комплексных лигатур на основе алюминия, лития, магния и кальция, которые вводятся в сварочный материал, на ход процессов шлако- и газообразования, и расход тепла при их нагревании и плавлении. Полученные результаты использованы для гомогенизации процессов и уменьшения затрат энергии на плавление присадочного материала, особенно для условий скоростного плавления, характерного для порошковых проволок малого диаметра.

Процессы дуговой сварки сопровождаются образованием токсичных аэродисперсных частиц размером от 0,005 до 20 мкм, названных сварочными аэрозолями, представляющими опасность для здоровья человека и окружающей среды. Размер и форма указанных частиц определяют место их дальнейшего размещения в дыхательном тракте. Кроме этого, биологическая активность ингалиро-

ванных частиц сварных аэрозолей, как и др. слабо растворимых веществ, зависит от их плотности, размера, формы и удельной поверхности. Отсюда следует актуальность исследований по построению математических моделей, позволяющих установить соотношения между характеристиками частиц сварного аэрозоля, распределением их по размеру и параметрам дуговой сварки.

С помощью диффузионного аэрозольного спектрометра ДАС 2702 впервые показана динамика изменения размеров и количества частиц твердой составляющей сварочного аэрозоля (ТССА) в течение 15-20 мин с момента их образования. Проведены исследования, в результате которых было установлено, что субмикроскопические частицы ТССА (размер до 40 нм), которые образовались в результате конденсации паровой фазы, коагулируют и увеличиваются в размере до 180-200 нм и более. Исходя из результатов физико-химических исследований и вычислительных экспериментов, были созданы математические модели, позволившие адекватно прогнозировать процессы образования сварных аэрозолей для различных видов дуговой сварки плавлением и, в частности, сварки покрытыми электродами и порошковой проволокой. На базе компьютерного моделирования и лабораторных исследований разработаны покрытые электроды АНО-39 общего назначения для сварки малоуглеродистых и низколегированных сталей с более благоприятными, по сравнению с существующими отечественными и зарубежными марками электродов, санитарно-гигиеническими показателями.

По данным наших исследований, химический состав ТССА в основном зависит от содержания в сварочном материале компонентов, характеризующихся высокой упругостью паров (марганца, щелочных металлов, фтористых соединений и т. п.), а также от компонентов создаваемого в результате плавления шихтовой композиции шлака. Данная характеристика влияет на интенсивность поступления в аэрозоль соединений щелочных и щелочно-земельных металлов. Показано, что снижение содержания карбонатов магния, целлюлозы и т. п., а также алюмосиликатов калия и натрия (жидкое стекло, слюда, полевой шпат и т. д.) способствуют указанному результату. Полученные результаты были реализованы при создании электродов для сварки ВПНЛ сталей, при разработке которых, с целью повышения устойчивости сварных соединений против хрупкого разрушения, проведен комплекс физико-химических исследований процессов дегидратации щелочных силикатов и предложен оптимальный состав комплексного связующего электродных покрытий, обеспечивающий минимальное содержание водорода в наплавленном металле и высокую стойкость покрытия против адсорбции атмосферной влаги.



Рис. 3. Сотрудники отдела «Исследования физико-химических процессов в сварочной дуге»

С целью повышения уровня сварочно-технологических свойств отечественных электродов разработан комплекс технологических мероприятий по надежному обеспечению снижения уровня разнотолщинности электродного покрытия, как за счет оптимизации характеристик и состава жидкого стекла, зернового состава наполнителей покрытия, так и оптимизации конструкционных и технологических аспектов изготовления электродов.

Результаты исследований, выполненных на основе идей, предложенных сотрудниками отдела в течение последних лет, реализованы при создании серии современных сварочных материалов, среди которых низкотоксичные электроды АНО-12, АНО-13, АНО-21, АНО-36, АНО-37, АНО-39, электроды типа Е696 М по ДСТУ ГОСТ 18275: 2008 для сварки тяжело нагруженных конструкций из ВПНЛ сталей, не имеющих отечественных аналогов и находящихся на уровне лучших зарубежных аналогов.

Разработаны и проверены экспериментально-технологические мероприятия контролируемой термической обработки сырьевых материалов и шихты, показана перспективность внедрения предлагаемой технологии для порошковых композиций шихты сварочных материалов с целью снижения содержания водорода в металле швов до сверхнизкого уровня. Предложена новая технологическая схема обработки поверхности порошковой проволоки комплексом масел и защитных паст в процессе волочения, позволяющая существенно уменьшить количество остаточного масла на поверхности проволоки и защитить ее поверхность от коррозии при хранении и использовании проволоки. Комплекс технологических мероприятий внедрен на ГП «ОЗСМ ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ».

Проведен комплекс работ по усовершенствованию оборудования и технологии производства порошковой проволоки малых диаметров в условиях ГП «ОЗСМ ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ». Изготовлены опытно-промышленные партии порошко-

вых проволок для сварки низколегированных сталей повышенной и высокой прочности следующих типов по международному стандарту ISO 18276; ISO 18276-A – Т 62 2 Мn2.5NiMoP М 2 Н5 и ISO 18726-B – Т 69 4 Т1 1 М АN4М1 Н5. Испытания порошковых проволок подтвердили соответствие требованиям технической документации, национальным и международным стандартам на порошковые проволоки для сварки сталей повышенной и высокой прочности в среде защитных газов.

Разработана нормативно-технологическая документация, технические условия и инструкции по изготовлению новых марок сварочных материалов в условиях промышленных производств. Подготовлена базовая технологическая документация по сварке низколегированных сталей обычной и высокой прочности категории от Т 55 до Т 69 по международным стандартам ISO 17632 и ISO 1826.

На протяжении всей истории существования отдела большое внимание уделялось подбору талантливой молодежи. Среди сотрудников отдела – выпускники КПИ и Московского физико-технического института, Киевского университета им. Т.Г. Шевченко, Харьковского национального университета им. В.Н. Каразина, а также Донецкого, Запорожского и Приазовского технических университетов.

В отделе подготовлены 38 кандидатов наук, шесть из которых стали докторами наук. В настоящее время в отделе работают два доктора, 9 кандидатов наук и 15 инженерно-технических работников (рис. 3). Многие наши сотрудники стали руководителями предприятий, государственными служащими, преподают в вузах, работают на предприятиях; занимают достойные позиции в зарубежных научных учреждениях.

Отдел исследований физико-химических процессов в сварочной дуге тесно сотрудничает с др. отделами ИЭС им. Е.О. Патона, возглавляемыми видными учеными: С.И. Кучуком-Яценко, К.А. Ющенко, О.В. Махненко, Л.М. Лобановым, Г.М. Григоренко, И.В. Кривцуном и др., а также с Институтом проблем материаловедения, Институтом сверхтвердых материалов, Физико-технологическим институтом металлов и сплавов, Институтом черной металлургии, Физико-механическим институтом, НТК «Институт монокристаллов», Харьковским физико-техническим институтом, Институтом проблем прочности, Институтом металлофизики и Институтом ядерных исследований НАНУ, НТУУ «КПИ», Национальным университетом им. Т.Г. Шевченко, многими вузами и НИИ США, ФРГ, Австрии, Китая, Словакии, Польши и др.

Перечень основных публикаций, в которых приведены результаты работ, выполненных в отделе исследований физико-химических процессов в сварочной дуге за последние годы:

1. Походня И.К. Газы в сварных швах. – М.: Машиностроение, 1972. – 256 с.

2. Походня И.К., Суптель А.М., Шлепаков В.Н. Сварка порошковой проволокой. – Киев: Наук. думка, 1972. – 223 с.
3. Походня И.К., Альтер В.Ф., Шлепаков В.Н., Пащенко А.А., Шевченко Л.А., Гумен В.С. Производство порошковой проволоки: Учеб. пособие для вузов. Киев: Вища школа, 1980. – 231 с.
4. Походня И.К., Шейкин М.З., Шлепаков В.Н. и др. Дуговая сварка неповоротных стыков магистральных трубопроводов – М.: Недра, 1987. – 189 с.
5. Voitkevich V. Welding Fumes. Formation, Properties and Biological Effects. – Cambridge, England: Abington Publish. and Woodhead Publish. Ltd in association with The Welding Institute, 1995. – 112 p.
6. Походня И.К., Горпенюк В.Н., Миличенко С.С., Пономарев В.Е., Стародубцев Л.В., Швачко В.И., Явдошин И.Р. Металлургия дуговой сварки: Процессы в дуге и плавление электродов: под ред. И.К. Походни. АН УССР. ИЭС им. Е.О. Патона. – Киев: Наук., думка, 1990. – 224 с.
7. Pokhodnya I.K., Gorpeniyuk V.N., Milichenko S.S., Ponomarev V.E., Starodubtsev L.V., Shvachko V.I., Yavdoshchin I.R. Metallurgy of arc welding. V. 1 – Cambridge: Rieckensky Sci. Publ. Co., 1991. – 246 p.
8. Welding with flux-cored wire / I.K. Pokhodnya, V.N. Shlepakov; E.O. Paton Electric Welding Inst. Ukr. Acad. of Sciences. – S.E.: Harwood Acad. publ., 1995. – 73 p. – Weld. and surf. rev. / Ed. by B.E. Paton. – 1995. – V. 4, P. 4.
9. Шлепаков В.Н. Кинетика процессов взаимодействия металла с газами при сварке порошковой проволокой. // Проблемы сварки и специальной электрометаллургии. – Киев: Наук. думка, 1990. – С. 168-173.
10. Котельчук А.С. Влияние теплофизических свойств сердечников самозащитных порошковых проволок на сварочно-технологические свойства. // Автомат. сварка. – 2016. – № 1 – С. 33-37.
11. Походня И.К., Головки В.В. Влияние неметаллических включений на формирование структуры металла швов высокопрочных низколегированных сталей // Автомат. сварка. – 2013. – № 6. – С. 3-11.
12. Головки В.В., Степанюк С.Н., Ермоленко Д.Ю. Технология сварки высокопрочных низколегированных сталей с введением титаносодержащих инокуляторов. // Наноразмерные системы и наноматериалы: исследования в Украине / Редкол.: А.Г. Наумовец (гл. ред.); НАНУ. – Киев: Академперіодика, 2014. – С. 395-399.
13. Головки В.В., Степанюк С.Н., Ермоленко Д.Ю. Влияние титаносодержащих инокуляторов на структуру и свойства металла швов высокопрочных низколегированных сталей. // Автомат. сварка. – 2015. – № 2. – С. 8-15.
14. Головки В.В., Кузнецов В.Д., Фомічов С.К., Лобода П.Л. Нанотехнології у зварюванні низьколегованих високоміцних сталей. // Монографія: Київ: НТТУ «КПІ» Вид-во «Політехніка», 2016. – 240 с.
15. Golovko V.V., Taraborkin L.A. Statistical models for estimating the size and number of nonmetallic inclusions in the weld metals. // ZVARANIE-SVAROVANI. – 2015. – N. 3-4. – P. 51-53.
16. Yermolenko D.Yu., Holovko V.V., Stepanuk S.M. Cellular automata for simulation of dendritic growth with surface active fracture in oculars. // Journal of Achievements in Materials and Manufact. Engineering. – 2018. – V. 88. – N. 6. – P. 49-54.
17. Шлепаков В.Н., Гаврилюк Ю.А., Котельчук А.С. Применение механизированной сварки самозащитной порошковой проволокой при ремонте металлургического оборудования. // Автомат. сварка. – 2013. – № 3. – С. 40-47.
18. Шлепаков В.Н., Гаврилюк Ю.А., Котельчук А.С. Физико-металлургические и сварочно-технологические свойства газозащитных порошковых проволок для сварки конструкционных сталей. // Автомат. сварка. – 2014. – № 6-7. – С. 56-59.
19. Шлепаков В.Н., Гаврилюк Ю.А., Котельчук А.С. Современные направления применения сварки порошковой проволокой низколегированных сталей повышенной и высокой прочности. // Автомат. сварка. – 2017. – № 11. – С. 13-18.
20. Явдошин И.Р., Губеня И.П., Степанюк С.Н., Демещая А.В. К вопросу дисперсности и морфологии частиц в сварочных аэрозолях. // Автомат. сварка. – 2014. – № 6-7. – С. 159-162.
21. Явдошин И.Р., Левченко О.Г., Степанюк С.М. Дослідження впливу фторидів та сполук лужних металів у електродному покритті основного виду на розчинність зварювальних аерозолів. // Проблеми охорони праці в Україні: Збірник наукових праць. – К.: ДУ «ННДІПБОП», 2017. – В. 33. – С. 50-56.
22. Марченко А.Е., Скорина Н.В. Влияние технологических факторов изготовления низко водородных электродов на содержание водорода в наплавленном металле. // Автомат. сварка. – 2013. – № 8. – С. 14-25.
23. Головки В.В., Степанюк С.Н., Ермоленко Д.Ю. Технология сварки высокопрочных низколегированных сталей с введением титаносодержащих инокуляторов. // Наноразмерные системы и наноматериалы: исследования в Украине / [Коллект. моногр. / Глав. ред. А.Г. Наумовец]. – НАНУ. – К.: Издат. дом «Академперіодика», 2014. – 768 с.
24. Походня И.К., Котельчук А.С. Металлургия дуговой сварки и сварочные материалы. – К.: Академперіодика, 2012. – 526 с.

●# 1168

Ремонт ручных горелок и резак

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

1. Виды ремонта.

Техническое обслуживание при использовании осуществляется газосварщиком (газорезчиком) и включает в себя работы, выполняющиеся во время перерывов без нарушения процесса производства и при возникновении необходимости в них, а именно:

- очистка различных поверхностей резак и горелок от загрязнений, брызг, окалины;
- продувка и прочистка внутренних каналов;
- проверка герметичности соединений;
- замена вышедших из строя быстроизнашивающихся деталей;
- проверка правильности функционирования аппаратуры.

Регламентированное техническое обслуживание осуществляется в плановом порядке в сроки, установленные инструкциями по эксплуатации предприятий – изготовителей аппаратуры. Оно включает в себя работы, предусмотренные техническим обслуживанием при использовании, а также осмотры, промывку, обезжиривание, испытание аппаратуры, а при необходимости – ее разборку и дефектацию.

Текущий ремонт представляет собой ремонт, выполняемый для обеспечения и восстановления работоспособности аппаратуры, и состоящий в замене или в восстановлении отдельных частей. При текущем ремонте может производиться частичная или полная разборка аппаратуры. Текущий ремонт предусматривает выполнение всех работ, предусмотренных регламентированным техническим обслуживанием.

Капитальный ремонт – комплекс мероприятий по восстановлению ресурса аппаратуры с заменой или восстановлением любых частей, включая базовые. Капитальный ремонт предусматривает полную разборку аппаратуры, устранение дефектов посадочных и уплотняющих поверхностей, пайку соединений, восстановление резьбы, полный объем испытаний и проверок аппаратуры после ремонта.

Вид ремонта аппаратуры определяется на стадии регламентированного технического обслуживания. Находящиеся в эксплуатации горелки и резаки должны подвергаться регламентированному техническому обслуживанию (осмотру и испытанию) не реже одного раза в месяц.

2. Приемка резак и горелок в ремонт и порядок его проведения.

Аппаратура, требующая ремонта или предназначенная для списания, должна поступать в ремонтную мастерскую. Приемка аппаратуры в ремонт сопровождается записью в журнале учета газопламенной аппаратуры.

Неисправная аппаратура должна поступать в ремонт с сопроводительным документом (актом) с указанием конкретной неисправности (например, утечка в газовом вентиле; неравномерное горение пламени; отсутствие инъекции; нарушение пайки деталей головки и т. д.).

В мастерской аппаратуру подвергают визуальному осмотру, очищают от загрязнений и продувают каналы сухим очищенным воздухом или азотом. Затем аппаратуру разбирают и с помощью калибров проверяют основные размеры деталей, непосредственно влияющих на технические характеристики и безопасность работы, а именно диаметры деталей:

- выходного канала инжектора;
- цилиндрической части канала смесительной камеры;
- выходного канала мундштука - для горелок;
- внутренний диаметр наружного и наружный диаметр внутреннего мундштуков - для резак;
- отверстий многосопловых мундштуков.

Результаты измерений должны быть зафиксированы в журнале. Здесь же следует указать состояние поверхности проверяемых деталей (нарушение формы канала, наличие забоин, царапин и заусенец, состояние выходной кромки каналов).

При необходимости должны быть проведены предварительные испытания неисправной аппаратуры с целью уточнения характера неисправностей.

Общая схема технологического процесса ремонта представлена на *рис. 1*.

3. Хранение и выдача горелок и резак в эксплуатацию.

Контроль за хранением и выдачей горелок и резак в эксплуатацию должен быть возложен на лицо из числа ИТР, ответственное за проведение газосварочных и газорезательных работ, назначенное распоряжением начальника цеха или главного инженера и аттестованное квалификационной комиссией предприятия.

Хранить горелки и резаки разрешается в определенных местах (как правило, в инструментальной кладовой) на специально оборудованных стеллажах или в шкафах, отдельно от другого инструмента. Категорически запрещается вместе с газопламенной аппаратурой хранить ветошь, горючие и смазочные материалы, жиры, щелочи и кислоты.

Аппаратура в комплекте – резак (горелка), рукава, редуктор – должна храниться в подвешенном состоянии на спаренных крюках или в отдельных ячейках.

Находящаяся в эксплуатации аппаратура должна быть закреплена за конкретным рабочим, име-



Рис. 1. Схема технологического процесса ремонта
 ющим допуск к выполнению газорезательных или
 газосварочных работ.

Выдача рабочему аппаратуры из инструментальной кладовой должна производиться в установленном на предприятии порядке. Запрещается выдавать закрепленную за рабочим газопламенную аппаратуру другому лицу. В случае отсутствия газосварщика (газорезчика) на работе, как исключение, по письменному указанию начальника цеха аппаратура может быть выдана другому лицу, имеющему удостоверение на право выполнения газопламенных работ.

4. Состав и организационная структура ремонтной мастерской.

В состав ремонтной мастерской должны входить:

- механический участок, оснащенный токарным станком с высотой центров до 150 мм, настольным сверлильным станком с наибольшим диаметром сверления 12 мм и числом оборотов до 4000 об/мин, сверлильным высокооборотным станком (более 5000 об/мин) для сверления отверстий от 0,2 до 1,5 мм, универсальным фрезерным станком;
- участок сборки, укомплектованный верстаком со слесарными тисками, гаечными ключами (от 6 мм до 36 мм), плоскогубцами, напильниками, молотками, цилиндрическими и коническими развертками, чугунами притирами, зенкерами. На участке должны находиться защитные очки открытого типа;
- рабочее место пайки, оснащенное оборудованием, применяемым для газовой пайки, сварки и резки;
- участок для испытания газопламенного оборудования, включающий специальный стенд для проверки аппаратуры после ремонта.

Организация ремонта автогенной аппаратуры зависит от объема применения газовой сварки и резки на предприятии, структуры и возможностей ремонтных служб. На машиностроительных заводах, при наличии крупных заготовительных (раскрой металлопроката) и литейных цехов (резка заготовок и прибылей), а также значительном объеме операций по кислородной резке, сварке, пайке и гибке с применением газопламенного нагрева, ремонт горелок и резаков организуется централизованно в ремонтных мастерских при отделе главного сварщика или в ремонтно-механическом цехе.

Структура ремонтной мастерской представлена на рис. 2.

5. Порядок разборки основных узлов горелок и резаков.

При разборке горелок (резаков), чтобы не повредить медные и латунные детали, не погнуть или скрутить трубки наконечников, необходимо обязательно использовать слесарные тиски с алюминиевыми или медными прокладками для губок и комплект новых, не прослабленных гаечных ключей и накидных головок.

Вентильные узлы.

Закрепляют резак или горелку в тисках. Отворачивают сначала гайки или винты со шпинделя вентиля и снимают маховички; затем сальниковые гайки, выворачивают шпиндели и снимают сальниковые уплотнители и кольца.

Наконечник горелки.

От ствола горелки отсоединяют наконечник, отворачивают мундштук, инжектор, снимают накидную гайку и уплотнительное резиновое кольцо, если оно повреждено.

Наконечник инжекторного резака.

Откручивают две накидные гайки от ствола и



Рис. 2. Организационная структура ремонтной мастерской

отсоединяют наконечник. Закрепляют головку резака в тисках, отворачивают мундштуки, инжектор и снимают уплотнительное резиновое кольцо.

6. Описание дефектов деталей горелок и резаков.

После разборки изделия производят дефектацию и сортировку деталей с целью определения степени их износа и целесообразности восстановления. К изношенным деталям, прежде всего, относятся детали, имеющие разрушения (прожог и поломка трубок горелок и резаков, отрыв резьбовой части мундштуков, износ резьбы и лысок под ключ), а также детали, имеющие недопустимые повреждения формы (мундштуки, штуцеры, головка, трубки и т. д.). Методом дефектации, в этом случае, является визуальный осмотр.

Другая группа дефектов связана с повреждением поверхностей сопряжения деталей, по которым происходит герметизация соединений (поверхности уплотнения). Например, соединения «ниппель - штуцер»; соединения мундштуков с головкой резака и др. Дефекты поверхностей уплотнения могут быть обнаружены еще до разборки изделия или при частичной его разборке методом проверки на герметичность разъемных соединений изделия. Другим эффективным методом дефектации является метод следовых отпечатков. Сопрягаемые поверхности при этом покрывают сажей или тонким слоем быстросохнущего красителя, кратковременно соединяют и после разъединения подвергают визуальному осмотру. Нарушение непрерывности отпечатка свидетельствует о наличии дефекта (забоина, искажение поверхности и пр.).

Дефекты, обусловленные изменением геометрических размеров деталей в процессе эксплуатации (диаметры каналов инжектора, мундштуков и цилиндрического отверстия смесительной камеры и др.), выявляют с помощью измерительного инструмента (калибры, штангенциркуль и пр.).

При дефектации деталей следует иметь в виду, что дефект может быть устранен, если величина повреждения не слишком велика.

Ремонтопригодность основных деталей горелок и резаков в зависимости от характера их неисправности можно определить из *табл. 1*.

7. Технологические рекомендации при проведении ремонта.

В номенклатуру ремонта включены наиболее часто изнашивающиеся части горелок и резаков: мундштуки, детали вентильных узлов, каркас ствола и др. детали. Возможность восстановления деталей посредством ремонта или необходимость замены их новыми деталями определяется с помощью *табл. 1*.

Ниже приведены конкретные технологические рекомендации, а также детали, инструмент и оснастка, необходимые для проведения ремонта.

Следует отметить, что аналогичные по назначению детали (например, смесительные узлы) в составе изделий, изготовленных различными производителями автогенной аппаратуры, отличаются по своим геометрическим параметрам. Указанные отличия геометрических параметров, как правило, практически не влияют на технические характеристики изделий и обусловлены особенностями технологии на конкретном предприятии. Такое разнообразие однотипных деталей усложняет ремонт в условиях промышлен-

Таблица 1. Ремонтопригодность основных деталей горелок и резаков

Деталь	Ремонто-пригодность	Неисправность
1	2	3
Мундштук горелки	нет	Увеличение размеров, изменение формы выходного канала
	да	Засорение выходного канала
	да	Царапины и задиры на уплотняющей поверхности
	да	Срыв меньше двух витков резьбы
	да	Оплавление или механическое повреждение торца менее, чем на 0,5 мм
Мундштуки резака	нет	Эллипсность
	нет	Деформация выходного канала
	да	Царапины и задиры на уплотняющей поверхности
	да	Срыв меньше двух витков резьбы
	да	Оплавление или механическое повреждение торца менее, чем на 0,5 мм
Головка горелки	да	Дефекты уплотняющей поверхности (царапины, забоины)
	да	Срыв меньше двух витков резьбы
	нет	Износ резьбы
Головка резака	да	Дефекты уплотняющих поверхностей для наружного и внутреннего мундштуков
	да	Срыв меньше двух витков резьбы
	нет	Износ резьбы
	нет	Деформация головки (смятие, оплавление)

1	2	3
Смесительная камера	нет	Прогорание при обратных ударах пламени
	да	Засорение канала
	нет	Деформация входной части с радиальными отверстиями
	да	Дефекты резьбы
Инжектор	нет	Износ выходного канала
	да	Засорение выходного канала
	да	Дефекты уплотняющей поверхности (царапины, забоины)
	нет	Износ резьбы
Главный корпус и корпус вентиля	да	Износ кромки седла вентиля
	да	Дефекты на седле (царапины, вмятины)
	да	Износ в главном корпусе посадочного места под инжектор
	да	Срыв меньше двух витков резьбы
Шпиндель	да	Дефекты уплотняющей поверхности (царапины, задиры)
	да	Срыв меньше двух витков основной резьбы
	нет	Срыв резьбы на хвостовике (для крепления маховичка)
	нет	Износ лысок на хвостовике
	нет	Изгиб шпинделя
Трубки	нет	Прогорание при обратных ударах пламени
Штуцеры для присоединения рукавов	нет	Деформация конусной части
	да	Дефекты уплотняющей поверхности (царапины, задиры)
	да	Деформация резьбы
	да	Срыв меньше двух витков резьбы
Ниппели	да	Дефекты сферической поверхности
	нет	Смятие, изгиб, излом корпуса
Накидные гайки	да	Срыв меньше двух витков резьбы
	нет	Смятие граней под ключ
Уплотнительное кольцо	нет	Потеря пластичности
	нет	Срез, разрыв

ного предприятия, где обычно эксплуатируются горелки и резаки, как различных производителей, так и различных периодов их изготовления.

Все операции ремонта должны выполняться слесарем высокой квалификации, имеющим на его проведение разрешение руководства предприятия.

После ремонта в обязательном порядке производится испытание горелки (резака) и делается отметка в журнале (приложение 1), удостоверяющая пригодность оборудования к эксплуатации.

Мундштуки горелок.

Износ мундштуков происходит по наружной поверхности конусной части и торца, на которые налипают брызги металла, окалина и воздействуют пламя и газообразный кислород, флюсы и вода (при охлаждении горелки).

В процессе работы необходимо удалять с мундштука нагар и брызги металла напильником с мелкой насечкой, зачищать его наждачной бумагой и полировать сукном, натертым мелом.

Поверхность выходного отверстия следует очищать от копоти и нагара деревянной иглой диаметром 4 мм, заточенной на конус. Затем выходное

отверстие следует полировать деревянной иглой с нанесенным на нее мелом.

Во избежание преждевременного износа отверстий мундштуков, их следует прочищать и полировать только со стороны резьбы, иначе форма отверстия постепенно изменяется, принимая форму конуса, что недопустимо.

При обнаружении небольшой конусности у выходного канала, мундштук следует осадить или подрезать торец. Для подрезки торца мундштук необходимо зажать цилиндрической частью в разрезную оправку, а затем - в патрон токарного станка и подрезать резцом.

После этого обязательно зачистка торца мундштука наждачной бумагой и калибровка выходного отверстия.

Ремонт мундштуков не должен приводить к уменьшению длины цилиндрической части выходного отверстия менее, чем $3d$ (d - диаметр выходного отверстия).

При работе с мундштуками следует предохранять уплотняющую поверхность от забоин, царапин и задигов. В случае появления на этих по-

верхностях дефектов глубиной до 0,2 мм, их следует устранять шлифованием с помощью наждачного мелкозернистого полотна. Если глубина не более 0,8 мм, то мундштук зажимают в патрон токарного станка и производят проточку торца мундштука со стороны резьбы.

После всех проведенных операций мундштуки промывают, протирают чистой ветошью и продувают чистым сухим воздухом или азотом для удаления стружки, абразива.

Мундштуки резаков.

Комплект мундштуков резаков состоит из наружного и внутреннего мундштуков. Износ наружного мундштука происходит по торцевой и конусной поверхности, на которые налипают брызги металла, окалина и воздействуют пламя и вода (при охлаждении резака), а также по внутренней поверхности.

При ремонте наружных мундштуков для удаления нагара со стенок выходного канала следует использовать деревянный стержень с последующей протиркой ветошью, смоченной бензином.

Если нагар не удаляется деревянным стержнем, или поверхность выходного канала деформирована, то его снимают цилиндрической или конической разверткой такого же диаметра, как у выходного канала мундштука.

При наличии на уплотняющей поверхности мундштука забоин, царапин и задиров не более 0,8 мм, мундштук зажимают в патрон токарного станка и при вращении зачищают дефектную поверхность с помощью наждачного мелкозернистого полотна. Аналогично зачищают торцевую и коническую поверхности наружного мундштука.

Износ внутреннего мундштука происходит по торцевой и наружной поверхности. Канал режущего кислорода необходимо прочищать медной или алюминиевой иглой такого же диаметра с последующей промывкой бензином и продувкой азотом или воздухом.

Для зачистки уплотняющей поверхности при наличии неглубоких царапин, забоин, задиров до 0,1 мм, мундштук следует установить в патрон токарного станка и при вращении зачистить мелкозернистой наждачной бумагой.

При утоплении внутреннего мундштука (для ацетиленового резака) в наружный, необходимо: замерить глубину утопления, затем отвернуть наружный мундштук, зажать его в патрон токарного станка и проточить торец на глубину утопления, но не более чем на 0,5 мм. В случае выступа внутреннего мундштука необходимо замерить высоту выступа, отвернуть мундштуки, зажать внутренний мундштук в патрон токарного станка и проточить его на высоту выступа. При сборке торцы мундштуков ацетиленового резака должны быть на одном уровне.

В случае выхода из строя мундштуков (оплавление,

износ каналов, деформация и т. д.) необходимо изготовить новые.

Головки горелок.

При обнаружении задиров, забоин, царапин на уплотняющей поверхности головки горелок глубиной 0,2 мм производят притирку поверхности с помощью чугунных притиров. В случае, если невозможно устранить дефекты уплотняющей поверхности головок, их выпаивают и заменяют новыми. Перед пайкой новой головки конец трубки зачищают от старого припоя.

Головки резаков.

Дефекты на уплотняющих поверхностях головки резаков (риски, забоины) глубиной не более 0,2 мм могут быть устранены с помощью притиров.

Дефекты поверхности сопряжения с внутренним мундштуком также устраняются с помощью притиров.

В случае деформации поверхностей сопряжения (эллипсность) - головка резака восстановлению не подлежит.

Деформация резьбы устраняется с помощью необходимых метчиков. При этом надо следить за тем, чтобы при восстановлении резьбы для наружного мундштука не повредилась торцом метчика поверхность сопряжения с внутренним мундштуком.

В случае деформации или износа головка резака должна быть заменена новой. Поврежденную головку следует отпаять или отрезать. Трубки перед пайкой новой головки необходимо очистить от старого припоя. В процессе пайки головка резака должна быть освобождена от механических нагрузок, которые при нагреве головки могут привести к ее деформации. Например, при пайке в вертикальном положении резак не должен опираться на головку. Недопустимо также закреплять головку при пайке в тисках.

После пайки головка резака должна быть тщательно очищена от окалины и остатков флюса.

Смесительные камеры.

В процессе эксплуатации смесительные камеры могут выходить из строя только в результате обратного удара или повреждения резьбы. В этих случаях смесительные камеры подлежат замене.

При засорении цилиндрического канала смесительной камеры чистку производят медной иглой такого же диаметра и продувкой чистым воздухом или азотом. После обратного удара камеру чистят, промывают и продувают чистым воздухом или азотом. Дефекты резьбы (задиры, небольшие забоины и др.) устраняют, прогоняя резьбу подходящим метчиком.

В случае замены вышедшей из строя смесительной камеры, ее выпаивают, а трубку зачищают от старого припоя и спаивают с новой камерой.

Инжекторы.

В результате обратного удара пламени или попадания в кислород загрязнений, выходной канал инжек-

тора может засориться. Для прочистки канала используется медная проволока такого же диаметра. В случае деформации выходного канала необходимо поправить его сверлом такого же диаметра со стороны посадочного места и отверстия большего диаметра.

В случае износа выходного канала инжектор нужно заменить новым. Изношенный инжектор можно рассверлить на больший диаметр и использовать для наконечника большей мощности.

Для устранения дефектов на уплотняющей поверхности (риски, забоины и пр.) инжектора, нужно установить его в разрезную оправку (цангу) и патрон токарного станка и притереть мелкозернистой наждачной бумагой конусную (торцевую) уплотняющую поверхность.

Главный корпус и корпусы вентиля.

Наиболее подверженным износу элементом корпуса является седло, выполненное в корпусе вентиля. Для устранения небольших дефектов седла глубиной до 0,2 мм рекомендуется использовать чугунный притир. При притирании следует применять абразивный порошок с грануляцией 30-40 мкм.

При более значительных дефектах или износе седла (до 1 мм) уплотняющая кромка седла может быть восстановлена зенкованием с применением цилиндрического зенкера с направляющей цапфой. Размеры режущей части зенкера и цапфы выбираются в соответствии с геометрическими размерами восстанавливаемого седла (диаметр отверстия измеряется при помощи специальных калибров или сверл). После устранения дефекта вентиль следует промыть в керосине и просушить азотом или воздухом.

Седло под посадку инжектора в главном корпусе при эксплуатации горелок (инжекторных резаков) сминается, а его канал деформируется. Восстановление седла и канала производят аналогичным образом.

При неисправимых дефектах седла под посадку инжектора или седла вентиля, главный корпус ствола или неисправный корпус вентиля горелки (резака) подлежит замене или изделие подлежит списанию.

Дефекты резьбы в корпусе для присоединения шпинделей следует устранять с помощью метчика или плашки подходящего размера. Эту операцию следует выполнять осторожно, чтобы не повредить торцом метчика кромку седла вентиля.

Шпиндели.

Для проведения технологических операций по восстановлению шпинделя следует установить его с минимальными биениями в патрон токарного станка. При этом в качестве опорной поверхности следует использовать часть цилиндрической поверхности шпинделя (5-6 мм по длине со стороны крепления маховичка).

В первую очередь должны быть устранены дефекты резьбы шпинделя с помощью плашки подходящего размера.

Затем с помощью мелкозернистой наждачной бумаги (с зерном 30-40 мкм) следует устранить дефекты на цилиндрической поверхности шпинделя. Такая обработка необходима и в том случае, когда величина шероховатости поверхности цилиндрической части шпинделя не соответствует требованиям чертежа и обуславливает быстрый износ уплотняющего элемента сальника.

Аналогичным образом устраняются дефекты на уплотняющей поверхности запорно-регулирующего элемента шпинделя конической формы.

Трубки.

Для замены трубки наконечника горелки или трубки для горючей смеси в резаках ее необходимо выпаять из головки и смесительной камеры. Трубку для режущего кислорода выпавляют из сопрягаемых деталей.

При изготовлении новой трубки рекомендуется гнуть ее с помощью специального трубогибного приспособления или при помощи подогрева места сгиба. Отверстия в деталях, в которые впаивается новая трубка, рекомендуется перед пайкой очистить от старого припоя или засверлить под посадку трубки.

Штуцеры для присоединения рукавов.

Вмятины и забоины на резьбах газоподводящих штуцеров могут быть устранены с помощью специальных трубчатых плашек. При отсутствии таких штуцеры следует отпаять или отрезать и заменить новыми.

Задиры и забоины на конических поверхностях сопряжения следует удалять чугунными притирами с применением масла и абразивного порошка с размером зерна 30-40 мкм. После устранения дефектов штуцеры необходимо промыть в керосине и продуть азотом или воздухом.

Ниппели.

Дефекты сферической поверхности сопряжения съемного ниппеля глубиной до 0,1 мм можно устранить с помощью наждачной бумаги с размером зерна 30-40 мкм. При этом ниппель следует установить в патрон токарного станка и шлифовать вручную при вращении патрона.

Дефекты глубиной более 0,1 мм целесообразно устранять протачиванием сферической поверхности фигурным резцом, режущая кромка которого выполнена с радиусом, равным радиусу сферической поверхности.

Гайки.

Дефекты резьбы гаек можно устранять с помощью подходящих метчиков или плашек.

Термообработка и промывка.

Для очистки внутренних и наружных поверхностей деталей горелок и резаков, бывших в эксплуатации, производится термическая обработка с последующей промывкой.

Предназначенные для термообработки детали загружаются в печь. При температуре 450 °С детали

Таблица 2. Номенклатура материалов, применяемых при ремонте горелок и резаков

Материал	Профиль	Примечание
Латунь ЛС59-1	Пруток круглый, шестигранный	Инжектор, смесительная камера, корпус, шпиндель, гайка, штуцер и др.
Латунь Л 63	Лист	Сальниковые кольца
	Труба	Трубки
Бронза БрХ0,5	Круг, шестигранник	Мундштук
Медь М 3	Круг, шестигранник	Мундштук
Сплав Д16Т	Круг, шестигранник	Гайки, ниппели
Припой ПСр25	Пластина, проволока	Пайка ответственных соединений
Припой ПМФОЦр 6-4- 0,03	Пруток	Пайка трубок, штуцеров, корпусов
Фторопласт Ф4	Круг	Сальниковые уплотнения
Кожа «шорно» седельная	Пластины	Сальниковые уплотнения
Флюс ПВ 284, 209	Порошок	Пайка
Парафин	Кусковой	Парафинирование кожаных сальниковых прокладок
Кислород	Газ	Пайка, испытания
Ацетилен, пропан, природный газ	Газ	Пайка, испытания

выдерживаются в течение 5 мин. При такой температуре происходит частичное выгорание сажи и жиров. Корка сажи на поверхностях деталей становится сухой и пористой. После этого детали выгружаются из печи и подаются к водяной ванне. Горячие детали промываются водой с температурой около 70 °С. В результате того, что коэффициент теплового расширения латуни отличается от коэффициента теплового расширения окислов меди и цинка, при промывке корка окислов на поверхности деталей растрескивается и отскакивает. Промывку деталей следует производить под вытяжным устройством. Опускать в воду детали, имеющие внутренние полости, следует постепенно, под небольшим углом, чтобы все полости заполнились водой.

Обезжиривание.

Восстановленные и вновь изготовленные детали перед сборкой должны быть обезжирены. От того, насколько тщательно проведена операция обезжиривания, зависит не только внешний вид изделия, но и безопасная его эксплуатация.

Процесс обезжиривания состоит из следующих операций: подготовка деталей к обезжириванию, обезжиривание, сушка деталей.

Для обезжиривания деталей горелок и резаков рекомендуется применять бензин марки Б-70 по ГОСТ 1012 и бензин «Галоша» по ГОСТ 443. Применение бензина других марок для обезжиривания запрещается.

Детали, подлежащие обезжириванию, очищаются от грязи, стружки, нагара и продуваются воздухом.

Обезжиривание может проводиться двумя методами. Первый метод - заполнение внутренних полостей деталей и узлов бензином или погружением их в ванны с бензином. Второй метод заключается

в протирке загрязненных мест деталей и узлов волосяными щетками или чистыми тряпками, смоченными бензином. Если детали сильно загрязнены, их рекомендуется обезжирить в двух ваннах с бензином. После обезжиривания детали осушают продувкой азотом, нагретым до температуры 40-50 °С, или на открытом воздухе до полного удаления запаха бензина.

8. Материалы, применяемые при ремонте горелок и резаков.

Номенклатура материалов, применяемых при ремонте горелок и резаков, включает в себя цветные металлы и сплавы, припой, кожу, фторопласт, парафин и др.

Основным материалом, используемым при ремонте аппаратуры, является латунь. Это обусловлено тем, что один из газов, применяемых при сварке и резке (кислород) активно окисляет железо и его сплавы. Поэтому эти материалы не используются для деталей и узлов аппаратуры, соприкасающихся при работе с кислородом.

Детали горелок и резаков, контактирующие с ацетиленом, не должны изготавливаться из сплавов, содержащих более 65% меди, во избежание образования взрывоопасных соединений (за исключением мундштуков и наконечников горелок и резаков). Перечень материалов для ремонта приведен в табл. 2.

● # 1169

**11-13
НОЯБРЯ 2020**



СВАРКА/ WELDING 2020

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



ufi
Approved
Event

WELDING.EXPOFORUM.RU

ОРГАНИЗАТОР

EXPOFORUM

12+

КОНГРЕССНО-ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР
ЭКСПОФОРУМ

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

Робототехнологические комплексы производства ООО «НАВКО-ТЕХ» для МИГ-сварки сельхозтехники

В последнее время в Украине наблюдается устойчивый рост производства сельскохозяйственной техники. Возрастает потребность в автоматическом сварочном оборудовании для ее изготовления. Первые образцы такого оборудования, предлагаемого ООО «НАВКО-ТЕХ», были ориентированы на выпуск малогабаритных изделий. Пример - роботизированный комплекс РК755 [1]. Этот комплекс успешно эксплуатируется на ПАО «Эльворти» (г. Кропивницкий) с 2009 г.

Для изготовления крупногабаритных рамных и корпусных металлоконструкций (далее изделия) ООО «НАВКО-ТЕХ» предлагает на сегодня многоцелевой робототехнологический комплекс **РК759**, который позволяет автоматизировать процесс МИГ-сварки изделий с максимальными: длиной – 3 500 мм, шириной – 2 100 мм и массой – 800 кг. Примеры таких изделий приведены на рис. 1.

Комплекс **РК759** (рис. 2, 3 и 4) имеет 2 позиции, разделенные защитным экраном, который во время сварки на одной позиции дает возможность оператору безопасно выполнять загрузку деталей в оснастку на второй позиции. В зависимости от конструкции и точности изготовления деталей изделие может собираться предварительно на прихватках на отдельном рабочем месте или непосредственно в приспособлении комплекса.



Рис. 1. Примеры металлоконструкций сельхозтехники:

а) «Рыхлитель», сварено на комплексе РК759-1,

б) «Рама», сварено на комплексе РК759-2

Робот со сварочным оборудованием, устройствами очистки и смазки горелки, бочкой с проволокой размещены на платформе, которая перемещается по линейной направляющей вдоль свариваемого изделия и между позициями на расстояние до 9 м.

Изделие на каждой позиции кантуется в наиболее удобное для сварки положение с помощью двухопорного вращателя.

Состав комплекса РК759.

- Промышленный робот ARC Mate 100iC/8L фирмы Фанук (6 осей, радиус досягаемости 2 028 мм, точность позиционирования $\pm 0,03$ мм, грузоподъемность 8 кг, максимальная контурная скорость 2 000 мм/с) с дополнительным программным обеспечением, которое позволяет выполнять:
 - управление сервоприводом линейного перемещения робота;
 - синхронное управление роботом и вращателями изделия;
 - связь со сварочным оборудованием через порт Ethernet/IP;
 - сварку с колебаниями горелки;
 - установочную (начальную) адаптацию.
- Комплект сварочного оборудования фирмы Фрониус (Австрия) на базе источника TPS500i.
- Комплект сварочной оснастки фирмы Абибор Бинцель (Германия) для очистки и смазки горелки.
- Устройство линейного перемещения робота; выполнено на базе сервопривода Фанук и интегрировано в систему управления роботом; точность позиционирования $\pm 0,2$ мм, максимальная скорость – 400 мм/с.
- Два двухстоечных вращателя изделий на базе вращателей Фанук, интегрированные в систему управления роботом; точность позиционирования $\pm 0,1$ мм на радиусе 500 мм, максимальная скорость – $90^\circ/\text{с}$.
- Два пульта оператора (по одному на каждой позиции комплекса).
- Комплект устройств безопасности.
- Металлоконструкции комплекса (ограждения, основание и др.).

Принцип работы комплекса РК759.

Оператор вручную с помощью подъемно-транспортного механизма устанавливает свариваемые детали и фиксирует их в приспособлении. Выбирает предварительно настроенную программу сварки и запускает ее выполнение с пульта оператора.

Робот выполняет сварку швов в необходимой последовательности, которая задается при программировании комплекса. Изделие во время сварки

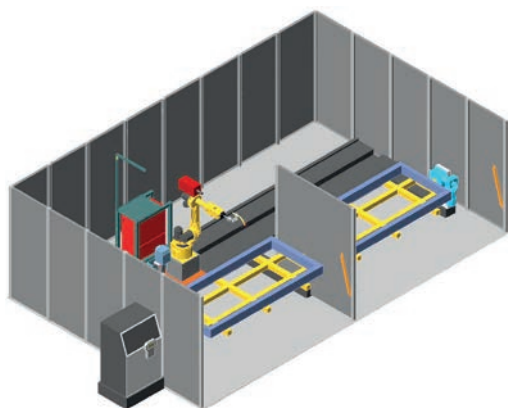


Рис. 2. Схематичное изображение комплекса РК759

поворачивается в положение наиболее благоприятное для формирования сварного шва. Сварка швов выполняется на предварительно запрограммированных режимах сварки с контролем готовности сварочного источника и горения дуги.

После сварки группы швов робот перемещает горелку к устройству очистки. Выполняется очистка внутренней поверхности сопла горелки, впрыск противопригарной жидкости в сопло и откусывание электродной проволоки на нужную длину вылета.

После окончания цикла сварки все исполнительные механизмы комплекса переходят в исходное положение и подается звуковой сигнал об окончании работы.

Выполнение программы может быть приостановлено или продолжено с одного из пультов оператора.

Имеется возможность выбора одной из 16 рабочих программ (для разных типов изделий) для каждой позиции сварки. При необходимости, это количество может быть увеличено.

Средства безопасности комплекса исключают возможность нахождения оператора в зоне действия его подвижных частей (звенья робота, механизм его линейного перемещения и планшайбы вращателя) во время их работы. При необходимости, комплекс может быть дооснащен средствами контроля расхода защитного газа, наличия сварочной проволоки, охлаждающей жидкости в системе охлаждения горелки и др.



Рис. 4. Комплекс РК759-2; поставлен на ЧАО «Богуславская сельхозтехника», г. Богуслав, Киевская обл.



Рис. 3. Комплекс РК759-1; поставлен на ЧП «ПАЛАНДИН-АГРО», г. Балта, Одесская обл.

Следует отметить, что для металлоконструкций сельскохозяйственной и др. подобной техники характерны большие отклонения размеров свариваемых деталей и их взаимного расположения. Это приводит к значительным отклонениям положения линии сварного соединения и требует применения начальной (установочной) адаптации. В **РК759** она выполняется путем касания соплом горелки базовых точек свариваемых деталей с последующей автоматической корректировкой исходной рабочей программы.

Неточность изготовления деталей и их сборки в сочетании со сварочными деформациями требуют «ощупывания» практически всех соединений, что значительно увеличивает общее время сварки. К примеру, цикл сварки изделия «рыхлитель» (рис. 1, а, ЧП «ПАЛАНДИН-АГРО», г. Балта, Одесская обл.) составляет более 4-х ч, из которых только 2 ч – это чистое время сварки.

Важный резерв повышения производительности – рациональное конструирование сборочных приспособлений в сочетании с повышением точности изготовления деталей. Благодаря этому сварка изделия «рама» (рис. 1, б, ЧАО «Богуславская сельхозтехника», г. Богуслав, Киевская обл.) выполняется без начальной адаптации с постановкой прихваток роботом непосредственно в его сборочном приспособлении.

С более подробной информацией о предприятии ООО «НАВКО-ТЕХ» и описанием выпускаемых им установок и роботов можно ознакомиться на сайте: <http://www.navko-teh.kiev.ua>

Литература

1. Комплекс РК755 для дуговой сварки деталей машин // Сварщик.- 2010.- № 2.- С. 4.

Публикуется на правах рекламы

● # 1170

НАВКО-ТЕХ

тел.: +38 044 456-40-20
факс: +38 044 456-83-53

E-mail: info@navko-teh.kiev.ua
<http://www.navko-teh.kiev.ua>

В рамках
международного
выставочного
проекта

**БЕЛОРУССКИЙ
ПРОМЫШЛЕННО-
ИНВЕСТИЦИОННЫЙ
ФОРУМ**



XV КОНКУРС СВАРЩИКОВ БЕЛАРУСИ

с международным участием

PROFSVARKA.BY

Футбольный манеж
пр. Победителей, 20/2
Минск, Беларусь

17-20 СЕНТЯБРЯ 2019

3-Я СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА

ПРОФСВАРКА

Унитарное предприятие
"Экспофорум", УНП 100702781

☎ (+375 17) 314 34 38
@ alexdas@expoforum.by



ЭКСПОФОРУМ
выставочное предприятие

Календарь выставок на II-е полугодие 2019 г. Россия

Дата	Место проведения	Название выставки	Тематика	Организатор, контакты
08.07-11.07	Екатеринбург, МВЦ «Екатеринбург-Экспо»	Иннопром 2019	Международная промышленная выставка	www.innoprom.com
17.09-19.09	Москва, ЦВК «Экспоцентр»	Термообработка-2019	13-я Международная специализированная выставка технологий и оборудования для термообработки	Экспоцентр на Красной Пресне www.expocentr.ru
17.09-19.09	Волгоград, ВК «ВолгоградЭкспо»	ПромЭКСПО - 2019	19-я Всероссийская специализированная выставка	www.volgogradexpo.ru
17.09-19.09	Санкт-Петербург, FarExpo	Автоматизация - 2019	20-я Международная специализированная выставка	www.farexpo.ru
09.10-11.10	Саратов, Манеж Дворца спорта	Техно Экспо – 2019	18-я специализированная выставка машиностроения, металлообработки, сварки	ВЦ «Софит-Экспо» www.totalexpo.ru
15.10-18.10	Москва, КВЦ «Сокольники»	Weldex/Россварка – 2019	19-я Международная выставка сварочных материалов, оборудования и технологий	Группа компаний ITE www.ite-russia.ru
21.10-24.10	Москва, ЦВК «Экспоцентр»	ТЕХНОФОРУМ-2019	Международная специализированная выставка «Оборудование и технологии обработки конструкционных материалов»	Экспоцентр на Красной Пресне www.expocentr.ru
22.10-24.10	Москва, МВЦ «Крокус Экспо»	MasheX Moscow 2019	22-я Международная выставка оборудования для обработки металлического профиля, труб и производства металлоизделий	МВЦ «Крокус Экспо» www.crocus-expo.ru www.masheX.ru
05.11-08.11	Москва, ЦВК «Экспоцентр»	MITEX 2019	Международная специализированная выставка инструментов и оборудования	www.expocentr.ru
12.11-15.11	Москва, ВДНХ	Металл-Экспо – 2019	25-я Международная промышленная выставка	www.metal-expo.ru
13.11-15.11	Москва, ЦВК «Экспоцентр»	Российский промышленник - 2019	Международный форум	Экспоцентр на Красной Пресне www.expocentr.ru
13.11-15.11	Волгоград, ВВЦ «Регион»	Технофорум - 2019	Специализированная промышленно-техническая выставка	www.regionex.ru
19.11-21.11	Екатеринбург, МВЦ «Екатеринбург-ЭКСПО»	Сварка. Контроль и диагностика – 2019	19-я специализированная выставка	ВО «Уральские выставки» т.: +7 343 385 35 35 www.uv66.ru
20.11-22.11	Красноярск, МВДЦ «Сибирь»	Металлообработка и сварка - 2019	Специализированная выставка	www.krasfair.ru
04.12-06.12	Казань, ОАО «Казанская ярмарка»	Машиностроение. Металлообработка. Казань 2019	19-я Международная специализированная выставка	ОАО «Казанская ярмарка» www.expomach.ru
04.12-06.12	Казань, ОАО «Казанская ярмарка»	TechnoSварка – 2019	14-я специализированная выставка	ОАО «Казанская ярмарка» www.svarkaexpo.ru

Международные

15.08-17.08	Лиссабон, Португалия	MCM 2019	Всемирный конгресс по машиностроению и материаловедению	International ASET Inc. www.mcmcongress.com
16.09-21.09	Ганновер, Германия	EMO Hannover 2019	Международная выставка металлообрабатывающего оборудования	VDW www.emo-hannover.de
17.09-20.09	Минск, Беларусь	Белорусский промышленный форум 2019	23-я международная специализированная выставка	Республика Беларусь, пр. Победителей, 20/2, Футбольный манеж.
23.09-28.09	Пловдив, Болгария	Technical Fair 2019	Международная техническая выставка	International Fair Plovdiv www.fair.bg
01.10-03.10	Катовице, Польша	ToolEx 2019	Международная выставка промышленных технологий	Expo Silesia Sp. z o.o. www.techindustry.lv
15.10-17.10	Краков, Польша	Blank-Tech-Expo 2019	Международная выставка обработки металлов	Targi w Krakowie eurotool.krakow.pl
05.11-08.11	Штутгарт, Германия	Blechexpo 2019	Международная выставка листового металла Schweisstec 2019	PE Schall GmbH & Co. KG, Messe Sinsheim GmbH www.blechexpo-messe.de
19.11-22.11	Франкфурт, Германия	Formnext 2019	Международная выставка-конференция по аддитивным технологиям производства следующего поколения	Mesago Messe Frankfurt Group www.formnext.mesago.com
28.11-01.12	Бурса, Турция	Bursa Sheet Metal Processing Technologies Fair 2019	Международная выставка технологий обработки металла	www.tuyap.com.tr

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

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

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

При непосредственном участии отдела № 4 НК:

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



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

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

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

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

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

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



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

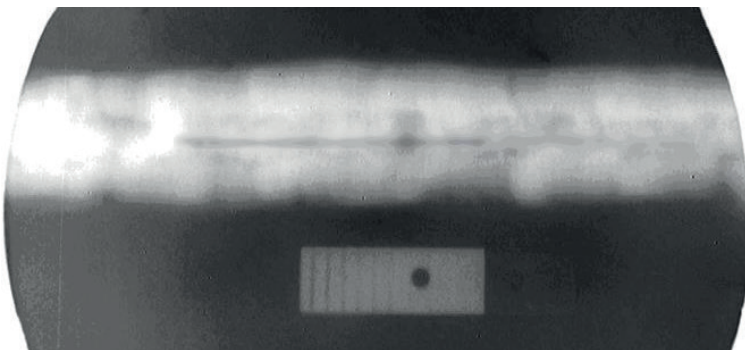


Рис. 3. Рентгентелевизионный неразрушающий контроль

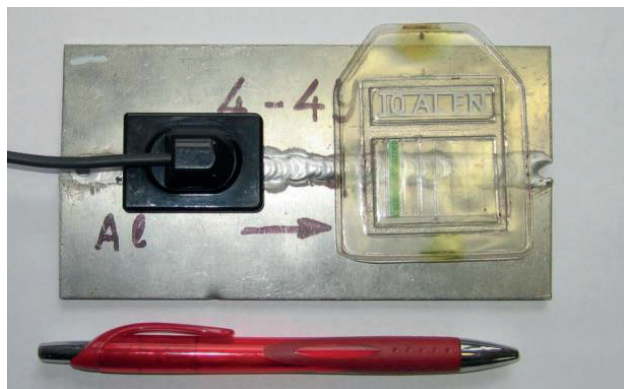


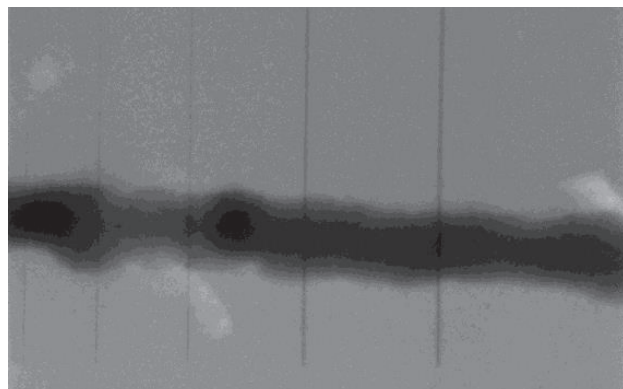
Рис. 4. Контроль сварного соединения (алюминий, толщина 2 мм) с использованием рентгеновской ПЗС матрицы

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

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

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

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



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

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



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

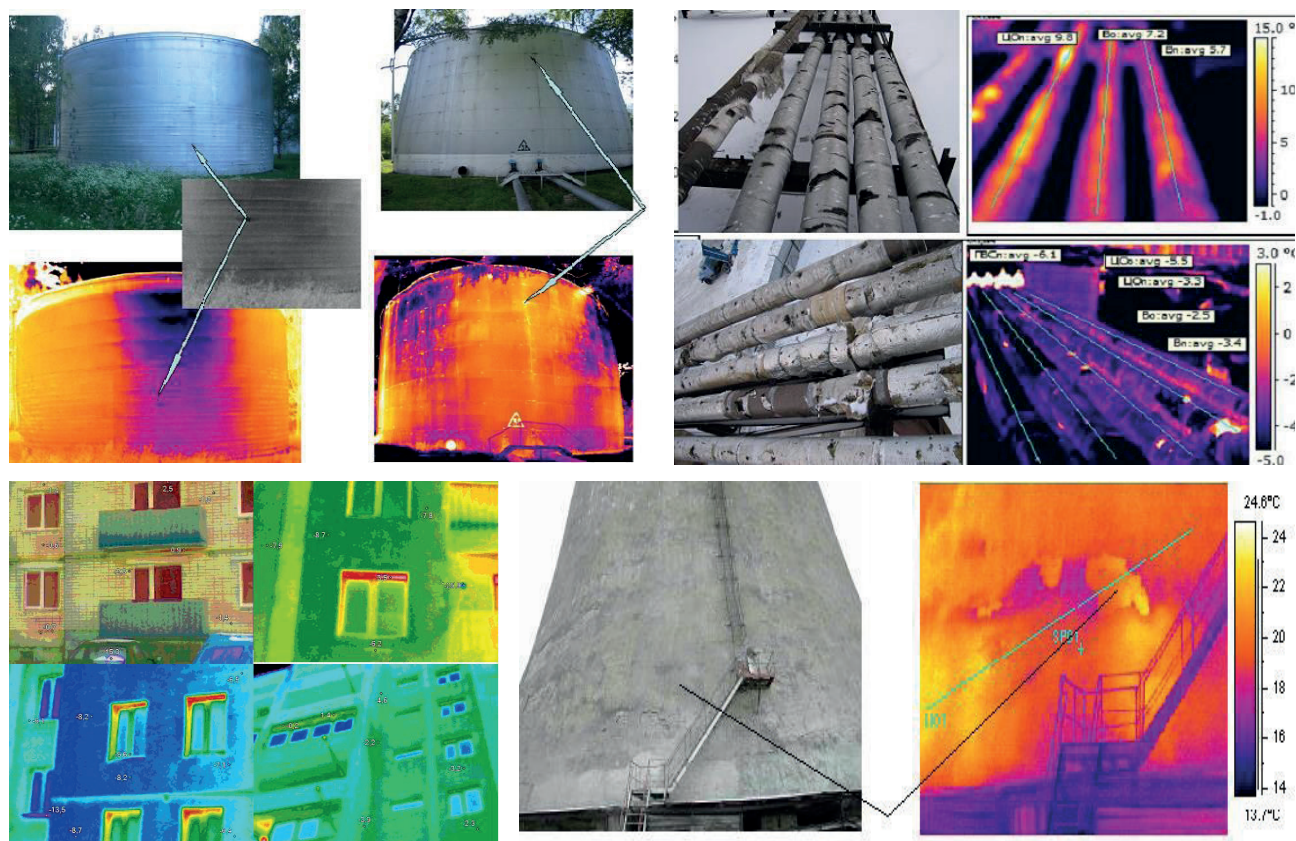


Рис. 6. Примеры термограмм контролируемых объектов

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

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

Комплекс прост в эксплуатации, может исполь-

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

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



а



б

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

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

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

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

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



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

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

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

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



Рис. 9. Подвижные намагничивающие устройства

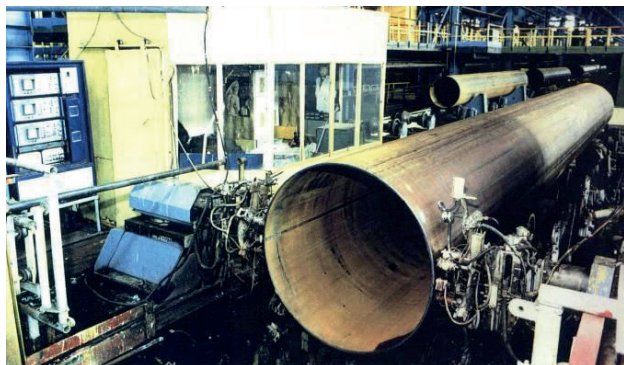


Рис. 10. Система автоматизированного ультразвукового контроля труб

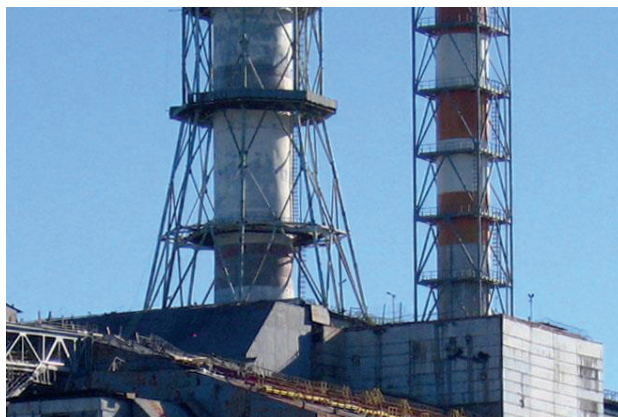


Рис. 12. Старая и новая вентиляционные трубы. Капиллярный контроль элементов каркаса новой вентиляционной трубы Чернобыльской АЭС



Рис. 11. Стенд капиллярного контроля

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

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

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

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

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

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



Рис. 13. Контроль резервуаров

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

диагностика и неразрушающий контроль».

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

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

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

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

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

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

●# 1172

Наплавление тонкостенных цилиндрических оболочек аддитивным методом

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

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

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

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

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

ные формы при проектировании конструкций различных типов.

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

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

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

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

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

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

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



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

ки или порошковой проволоки концентрированными источниками нагрева.

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

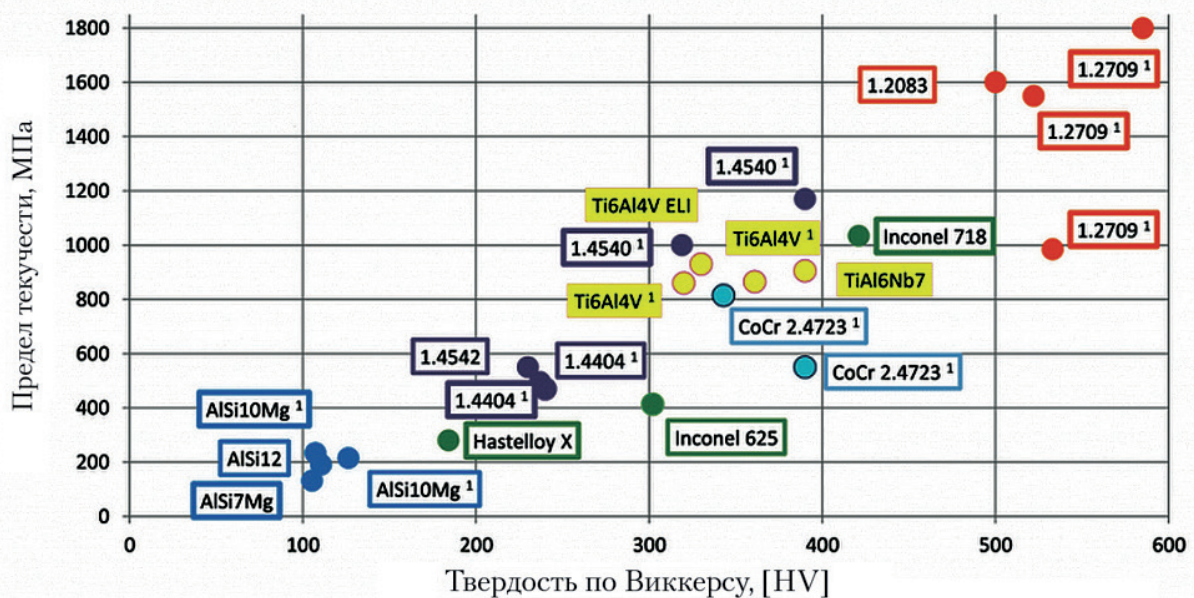
Как видно из *рис. 2*, наиболее высоких значений твердости и предела прочности с использованием порошковых материалов можно достичь при использовании мартенситостареющей стали (т. н. «maraging steels») 1.2709, состоящей из Ni (17-19 %),

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

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

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

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



¹Производители различных машин

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

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

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

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

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

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

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

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

Технологические параметры аддитивного процесса представлены в табл. 1.

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

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

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

Цилиндрическая конструкция из алюминиевого сплава 1561 остывает заметно быстрее и повторный

Таблица 1. Технологические параметры аддитивного наплавления

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

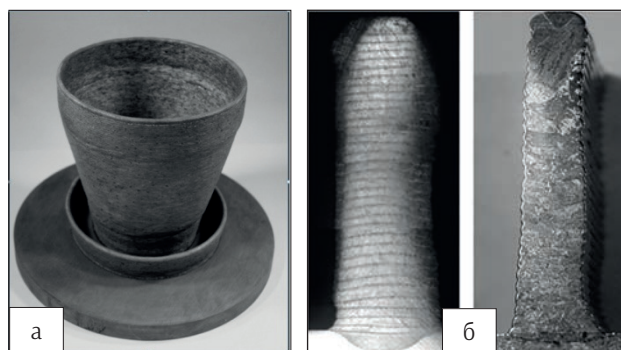


Рис. 3. Аддитивные наплавки из исследуемых материалов: низколегированная сталь марки 09Г2С – а, титановый сплав марки Grade 2 – б

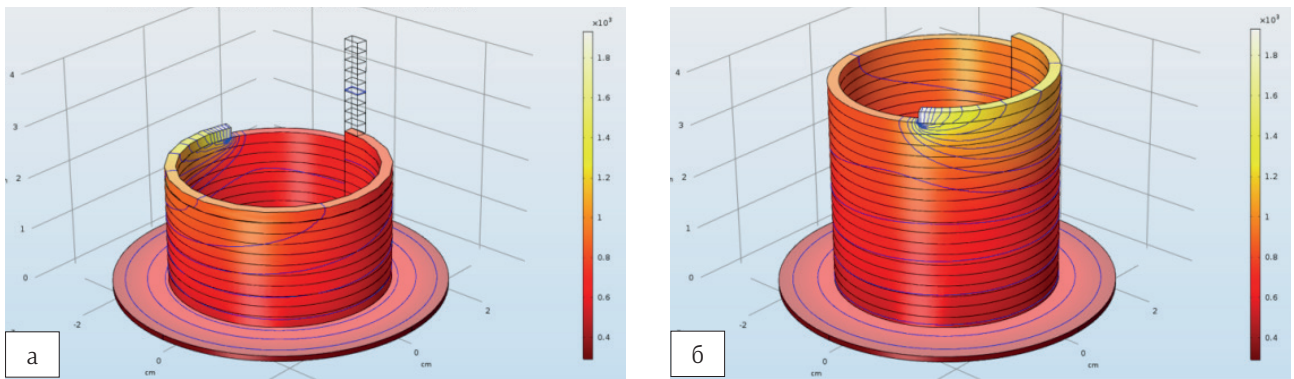


Рис. 4. Распределение температуры в цилиндрической оболочке из титанового сплава Grade 2, полученной со скоростью 0,1 об/с, по времени: а – 35 с; б – 194 с

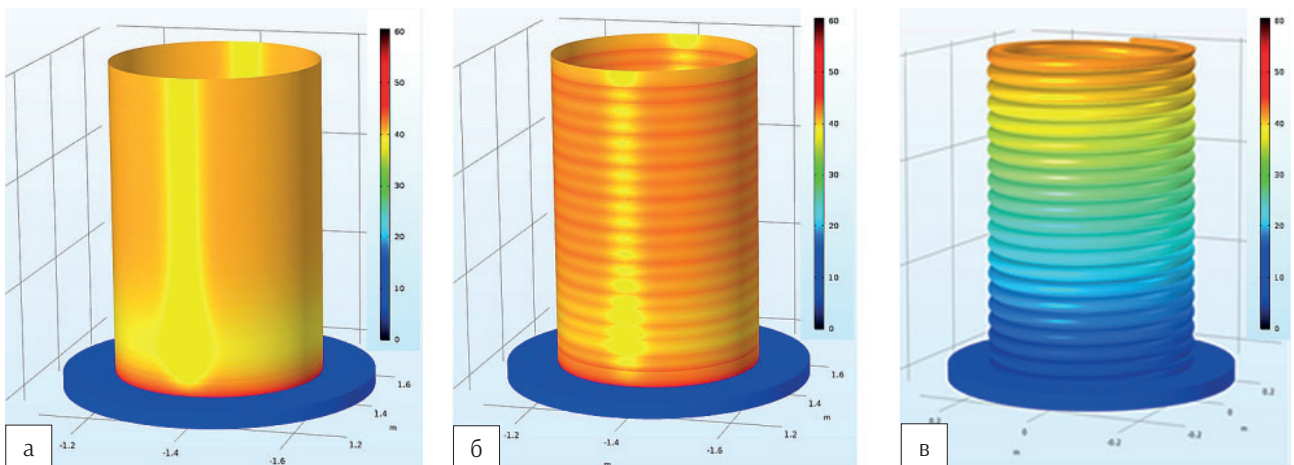


Рис. 5. Распределение напряжений в цилиндрической оболочке из титанового сплава Grade 2 под действием осевой внешней нагрузки 50 МПа, полученной различными методами: а – традиционным из листа; б – многослойной наплавкой по кольцу; в – многослойной наплавкой по спирали

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

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

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

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

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

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

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

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

● # 1173



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 склеивании различных пластмасс между собой и с металлами.

Хома А. (Кривой Рог)

Все пластмассы, независимо от их химической природы, полярности, способа обработки поверхности и т. п., могут быть склеены затвердевающими при обычных температурах полиуретановыми и эпоксидными клеями. Однако соединения, выполненные клеями холодного отверждения, могут оказаться недостаточно прочными в условиях эксплуатации, при повышенных температурах и высокой влажности. Применение нагревания позволяет расширить ассортимент клеев для склеивания пластмасс и обеспечить надежность работы клеевых соединений. Для склеивания при повышенных температурах, кроме полиуретановых и эпоксидных клеев, пригодны также фенолополивинилацетальные композиции (типа БФ, ВС 0Т, ВС-350). Пластмассы на основе термореактивных полимеров (феноло- и карбамидоформальдегидных, меламиновых, полиэфиров, эпоксидов, полиуретанов и др.), как правило, хорошо склеиваются термореактивными клеящими композициями. Предлагается использование цианакрилатных, фурановых клеев и клеев на основе различных синтетических каучуков.

В некоторых случаях пластмассы на основе термопластичных полимеров (поливинилхлорида, полистирола, эфиров акриловой и метакриловой кислот и др.) хорошо склеиваются без нагревания (с образованием равнопрочных с материалом соединений) с помощью растворителей или клеев, представляющих собой растворы полярных линейных полимеров в растворителях или мономерях.

Склеивание материалов на основе термопластичных полимеров. Для склеивания растворимых в органических растворителях термопластов очень часто применяют растворители. В процессе обработки соединяемых поверхностей растворителем или смесью растворителей происходит их размягчение. Соединение размягченных участков при небольшом давлении обеспечивает прочность склеивания, равную прочности соединяемых материалов. Наряду с растворителями в качестве клеев применяются растворы склеиваемых полимеров, что позволяет обеспечить необходимую вязкость

клея и способствует устранению неоднородности клеевого шва.

Склеиваемые поверхности должны быть чистыми, сухими и хорошо подогнанными друг к другу. Клей наносят так, чтобы размягчение произошло по всей поверхности и на достаточную глубину. Клей можно наносить кистью, шприцем, распылять его, наносить методом погружения. Выдержка под давлением должна продолжаться до образования твердого клеевого слоя; только после этого можно производить механическую обработку и отделку склеенных деталей.

Чтобы обеспечить необходимую прочность соединения, иногда применяют армирование поверхности пластиков тканями путем приплавления или приклеивания их с помощью растворителей или клеев. Описано получение прочных клеевых соединений при плазменной обработке термопластов. Известен способ подготовки поверхности термопластичных материалов перед склеиванием путем нанесения на их поверхность, нагретую до температуры размягчения, слоя порошкообразного металла – чугуновых или стальных опилок и др. способы.

Для соединения полиэтилена, который относится к так называемым «инертным» материалам и плохо поддается склеиванию, известны два принципиально отличных друг от друга способа. Первый способ – это использование специальных клеев, обладающих адгезией к полиэтилену. Второй – обработка поверхности полиэтилена с целью придания ей полярности и последующее склеивание обработанного материала с помощью обычных клеев. Для склеивания первым из указанных способов можно использовать растворы некоторых полимеров в растворителях, вызывающих набухание полиэтилена. В этом случае предварительной обработки поверхности не требуется, клей наносят обычным способом и после удаления растворителя склеиваемые детали складывают и выдерживают под давлением без нагревания. Полиэтилен, предварительно обработанный при 60 °С раствором синтетического каучука в четыреххлористом углероде, трихлорэтилене, бензоле или толуоле, склеивается резиновыми клеями. Адгезионные свойства полиэтилена улучшаются также в результате обработки растворителями.

Способы обеспечивающие изменение полярности поверхности полиэтилена более эффективны. Одни сводятся к обработке материала газобразной закисью азота и хромовой кислотой. Наибольший интерес представляет последний из перечисленных реагентов. Для обработки используют смесь, состоящую из 75 вес. ч. двуххромовокислого калия и 1500 вес. ч. серной кислоты, растворенных в 120 вес. ч. дистиллированной воды. После обработки в ванне указанного состава (при нормальной или повышенной температуре), промывки холодной водой и сушки полиэтилен приобретает способность склеиваться фенолокаучуковыми, резорциноформальдегидными, полиуретановыми и др. клеями, температура отверждения которых лежит ниже температуры размягчения полиэтилена. Полиэтилен, обработанный хромовой кислотой в течение 1-2 с при 120 °С, может быть склеен эпоксидными, полиуретановыми или метакриловыми клеями. Полипропилен, а также полиэтилен, поверхность которых предварительно обработана хромовой кислотой, в течение 1 мин при 73 °С, могут быть склеены эпоксидно-полисульфидным клеем.

Вполне удовлетворительные результаты получаются при склеивании обработанного полиэтилена со сталью. Для улучшения адгезионных свойств полиэтилена его обрабатывают в атмосфере инертного газа (аргон, неон или гелий). С этой же целью предложено обрабатывать полиэтилен кратковременно пламенем при 1090–2760 °С, растворителями (трихлорэтиленом, толуолом и др.), а также опескоструивать. Полипропиленовые пленки для повышения их адгезии можно обрабатывать коронным разрядом. Эффективна также обработка полиолефинов с помощью УФ-излучения. После такой обработки их можно склеивать различными клеями. Разработан клей для полиэтилена, в состав которого введен хромовый ангидрид; в качестве растворителя используется бензол.

Склеивание фторорганических полимеров. Для склеивания фторорганических полимеров и полиэтилена используют специальные клеи либо обрабатывают материал для создания на его поверхности активных функциональных групп и затем склеивают обычными клеями. Для склеивания политетрафторэтилена, политрифторхлорэтилена и его сополимеров, а также фторсодержащих резин предложено использовать растворы фторорганических полимеров в органических растворителях, содержащие активирующие добавки. Так называемое временное склеивание (например, для облегчения монтажа изделий) может быть выполнено с помощью раствора полиизобутилена в толуоле или бензине. Прочность такого соединения при отслаивании составляет около 0,4 кгс/см².

Склеивание поливинилхлорида. Для склеивания непластифицированного поливинилхлорида могут

применяться растворители и клеи, представляющие собой растворы поливинилхлорида или перхлорвиниловой смолы в органических растворителях – дихлорэтано, трихлорэтилене, метиленхлориде и др. Поверхность материала перед склеиванием обрабатывают шкуркой и обезжиривают ацетоном или хлорированным углеводородом. Клеи наносят обычными способами с помощью кисти или ролика. При склеивании пластифицированного поливинилхлорида, в частности различных декоративных и облицовочных материалов на его основе, применяют резиновые клеи (например, 88Н, 88НП), полиуретановые (ПУ-2 и др.), водные клеящие композиции на основе каучуков или поливинилхлорида, а также растворы некоторых полимеров в органических растворителях. Весьма важно, чтобы в процессе склеивания пластификатор из склеиваемого полимера не проникал в клеевой слой.

Склеивание органического стекла. Клеевые соединения органического стекла получили распространение при изготовлении деталей остекления самолетов и автомашин, в приборостроении, в производстве товаров широкого потребления, различных украшений и т. д. Широко применяются также процессы склеивания органического стекла с прозрачными пленками из синтетических материалов при производстве двойных стекол в авиационной и автомобильной промышленности, а также при соединении органического стекла с лентами из полиамидного, акрилонитрильного и др. синтетических волокон в так называемом «мягком» (безболтовом) креплении фонарей самолетов. Основная трудность склеивания органического стекла состоит в чувствительности этого материала к органическим растворителям, вызывающим образование на его поверхности микротрещин («серебра»). Тем не менее, большое распространение на практике получил процесс склеивания оргстекла с помощью растворителей или клеев, представляющих собой растворы полиметилметакрилата в органических растворителях. Так, например, органическое стекло склеивают 2-5 %-ным раствором его в дихлорэтано. Склеивание производится при температуре воздуха не ниже 15 °С. Основные виды клеевых соединений оргстекла – это соединения внахлестку, на-ус и встык с односторонней накладкой. Перед склеиванием поверхность оргстекла обезжиривают мягкой хлопчатобумажной тканью, смоченной в бензине. Клей наносят на обе склеиваемые поверхности щетинной кистью, равномерным движением в одну сторону. Для предохранения несклеиваемой поверхности оргстекла ее защищают от брызг и паров дихлорэтана липкой лентой, бумагой или защитной пленкой. Не позже чем через 2 мин после нанесения раствора склеиваемые поверхности должны быть соединены. Закрытая выдержка (от начала сборки до запрессовки) должна

быть не более 30 мин. Запрессовку осуществляют в рычажных, пневматических, гидравлических или винтовых прессах, струбцинами или пневмошлангами, создавая давление в пределах 0,5-1,4 кгс/см² при толщине материала 1,5-3 мм и 2-5 кгс/см² при толщине более 3 мм.

Во избежание повреждений оргстекла при склеивании надо обязательно пользоваться прокладками или бумагой, поверх которых накладывают прокладки из резины толщиной 2-4 мм. Выдавлившийся после запрессовки избыток клея, необходимо немедленно удалить сухой мягкой тканью. Для предотвращения действия паров растворителя на поверхность органического стекла рекомендуется обдувать склеенные швы сухим чистым воздухом или производить местный отсос паров дихлорэтана. Склеенные детали должны быть выдержаны под давлением при 15 °С в течение не менее 4 ч, а после снятия давления, перед дальнейшей механической обработкой, не менее 18 ч.

Аналогичным образом склеивают оргстекло и др. клеями, представляющими собой растворы полиметилметакрилата в метилметакрилате, ледяной уксусной кислоте, муравьиной кислоте, хлоргидрине и т. п. Надежны в работе при температурах до 100 °С клеевые соединения органического стекла на клеях ПУ-2, ПУ-2Б, ВЗ1-Ф9, ВС10-ТМ. Клей ВЗ1-Ф9 при склеивании оргстекла должен иметь начальную вязкость 40-60 с, жизнеспособность при 20 °С 3,5-5 ч.

Склеивание полиэтилентерефталата. В качестве клеящих материалов, для соединения полиэтилентерефталатной пленки, были предложены сополимеры этиленгликоля с терефталевой и себациновой кислотами. Лучшие результаты получены при склеивании пленок клеем на основе сополимера ТФ-60, изготовленного из 60 % терефталевой кислоты и 40 % себациновой кислоты. Для склеивания пленок рекомендуется применять 4 %-ный раствор сополимера ТФ-60 в метилхлориде. Раствор наносят мягкой кистью на обе склеиваемые поверхности и выдерживают на воздухе в течение 3-5 мин до полного улетучивания метилхлорида, после чего пленки складывают и прокатывают нагретым роликом при 150-170 °С и давлении 1-1,5 кгс/см² со скоростью около 1-2 м/мин. Склеивать пленку можно внахлестку или встык. Прочность при сдвиге клеевых соединений составляет не менее 80 % от прочности склеиваемой пленки. Теплостойкость клеевого шва около 100 °С. Клеевой шов масло- и водостоек. Для склеивания полиэтилентерефталата может быть использована также лента, получаемая путем нанесения сополимера ТФ-60 на различные подложки. Ленту прокладывают между склеиваемыми пленками и прокатывают горячим роликом. Более теплостойкие соединения образует пленка РС-79, представляющая собой полиэтилентерефталатную пленку в виде ленты толщиной 10-12 мкм,

покрытую специальным раствором, способствующим снижению температуры плавления пленки до 160 °С. Ленту прокладывают между соединяемыми поверхностями и нагревают до 160-165 °С с помощью электрополировальных машин, сварочных машин и т. д. Образующийся клеевой шов прозрачен, эластичен, характеризуется высокой прочностью. Клеевые соединения работают в интервале температур от -150 до +150 °С. Для склеивания полиэтилентерефталатной пленки с металлами, органическим стеклом, стеклотекстолитом, пластмассами и тканями может быть использован бензиновый раствор силиконового каучука СКТ. Склеивание производят при комнатной температуре практически без давления. Перед склеиванием на поверхность соединяемых материалов наносят подслои П1, представляющий собой смесь кремний-органических соединений. Металлические поверхности перед нанесением подслоя обрабатывают специальной протирочной пастой. При склеивании полиэтилентерефталатной пленки с неметаллическими материалами вместо подслоя П1 используют аналогичный ему продукт Т. На подслои П1 или Т поочередно наносят растворы каучука СКТ № 1 и № 2 в органических растворителях (раствор № 1 содержит этилсиликат, раствор № 2 – катализатор). После нанесения раствора № 1 поверхность просушивают в течение 1 ч, раствор № 2 – в течение 5 мин. Затем склеиваемые детали соединяют и выдерживают в течение суток при комнатной температуре. Соединения теплостойки, обладают высокой прочностью и устойчивы к действию воды. Для склеивания полиэтилентерефталатной пленки с металлами, в частности с медной фольгой, разработаны клеи на основе терефталевой, изофталевой и 2,5-фурандикарбоновой кислот. Рабочая температура клеевых соединений находится в пределах ±150 °С. Предложено использовать алифатические амиды или аминимиды в качестве веществ, повышающих прочность склеивания полиэтилентерефталатной пленки с каучуками эпоксидными и резорциноформальдегидными клеями.

Склеивание полиамидов. Полиамиды обычно склеивают между собой раствором данного полиамида в смеси спирта и фенола. При склеивании с др. материалами, в частности с металлами, поверхность полиамида сначала склеивают тканью этим же раствором так, чтобы ткань не имела сквозной пропитки. После просушивания полиамид склеивают с др. материалами различными пригодными для данного изделия клеями. Можно склеить ткань металл, а затем с помощью раствора фенола в спирте приклеить полиамид. Для склеивания полиамидов с др. материалами применяют также клей ПУ-2. Однако прочность клеевых соединений капролона, выполненных спиртовым раствором фенола, в 1,5 раза выше прочности соединений на клее

ПУ-2. При склеивании клеем ПУ-2 с нагреванием прочность клеевых соединений повышается. Для склеивания полиамидов и полиуретанов применяют полиуретановые клеи, а также растворы полиамидов и полиуретанов в муравьиной кислоте или самой муравьиной кислоте.

Склеивание полимеров и сополимеров стирола и других термопластических материалов. Полистирольные пластики склеивают при комнатной температуре клеем ПУ-2. Склеивать сополимеры с декоративным поливинилхлоридным материалом павинол рекомендуется клеем ВК-П. Для склеивания полимеров и сополимеров стирола предложена композиция, состоящая из раствора полистирола или его сополимера в хлор-стироле, винилтолуоле или др. активном растворителе, содержащем органическую перекись и смесь кобальтовых или цинковых солей карбоновой кислоты в качестве ускорителя. Полиацетали (типа Делрин) предложено склеивать композицией, состоящей из хлорированного растворителя, содержащего кизельгур, диоксану и гстолуол-сульфокислоты. Полиуретаны хорошо склеиваются с различными материалами эпоксидными, фенолорезорциновыми и др. терморезактивными клеями. Полиформальдегид предложено склеивать с металлами с помощью клеев на основе нитрильного каучука, эпоксидно-полиамидных и полиэфирных клеев. Для склеивания поликарбонатов могут быть применены цианакрилатные или изоцианатные клеи. Адгезия некоторых термопланов может быть повышена с помощью N-замещенного амида и амида малеиновой кислоты, содержащих карбоксильные группы. Для склеивания полиамидных пленок предложено использовать кремний-органическую композицию Висксинт У-2-28. Предварительно поверхность пленки должна быть обработана специальным аппретом. Нанесение аппрета и склеивание производятся при комнатной температуре. Полиамидные пленки ПМ и ПМ-4, склеенные таким способом, обладают высокой прочностью и стойкостью к действию повышенных температур и условий тропического климата. Для приклеивания полиамидных пленок к металлической фольге предлагается прокатывать пленку вместе с фольгой с последующим спеканием при 121-400 °С. Склеивать пенопласты ПС, ПС-4, ПВХ, ФК-20, ФК-40, ФФ и др. между собой, с текстолитом или древесными материалами рекомендуется клеями ВИАМ Б-3 или ПУ-2. Пенопласты с металлами и стеклотекстолитом лучше всего склеивать клеями БФ-2 и ВИАМ Б-3, причем клей БФ-2 наносят в качестве подслоя на металл или стеклотекстолит. При склеивании пенопластов ПВХ, ФК-20, ФК-40, ФФ и ПС должен применяться клей ВИАМ Б-3, приготовленный на ацетоне, при склеивании пенопласта ПС-4 следует использовать клей ВИАМ Б-3, в ко-

тором растворителем является спирт. Расход клеев БФ-2 и ВИАМ Б-3 на каждый слой должен составлять 150-200 г/м²; для пенопластов ФК-20, ФК-40 и ПС-4 расход клея может быть увеличен до 300-350 г/м² в зависимости от пористости поверхности. При склеивании стеклопластиков между собой целесообразно (но не обязательно) применять клеи, по химической природе близкие к связующему в стеклопластиках. Поверхность заготовок из стеклопластиков, подлежащих склеиванию, необходимо очистить от пленок целлофана или смазок, которые использовались при формировании изделий в качестве антиадгезивов для предотвращения прилипания изделия к форме. Пленка целлофана сравнительно легко удаляется после смачивания поверхности водой, следы кремний-органической смазки можно удалить обработкой бензином. На подготовленную (шероховатую) поверхность стеклопластика равномерно наносят клей. Рекомендуемые технологические режимы склеивания стеклопластиков отечественными клеями приведены в табл. 1. Клеи БФ-2, ВИАМ Б-3, Эпоксид П и Пр пригодны для склеивания изделий, работающих при сравнительно невысоких температурах (60-80 °С). Клеи ВС 0Т, ВК-32-200 и ВС-350 пригодны для эксплуатации при 200-300 °С. Этими клеями можно склеивать не только стеклопластики друг с другом, но и с др. материалами. Прочность при сдвиге клеевых соединений стеклотекстолита обычно составляет 60-150 кгс/см² (при комнатной температуре). При склеивании стеклопластиков и изделий из них могут быть использованы также полиэфирные клеи и применен высокочастотный метод нагревания, а также др. клеи и способы склеивания.

Склеивание пластмасс с металлами. Пластмассы с металлами рекомендуется склеивать полиуретановыми, эпоксидными, фенолополивинилацетальными и фенолокаучуковыми клеями. Обработка поверхностей перед склеиванием производится обычными способами, принятыми для пластмасс и металлов. Представляет интерес способ склеивания металлов с пластмассами и древесными материалами, отверждающимися при комнатной температуре клеями типа ВИАМ Б-3 с применением подслоя на клее БФ-2, который предварительно наносят на металлы или неметаллические материалы типа стеклотекстолита и высушивают при нагревании.

Информация подготовлена по материалам справочников по склеиванию пластмасс.

● # 1174

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: trofimits.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 %)