

Производственно-технический журнал

СВАРЩИК

№ **6** 2016

В РОССИИ

технологии — производство — ремонт

интерпро

**ПРОИЗВОДСТВО
СВАРОЧНОЙ И НАПЛАВОЧНОЙ
Порошковой проволоки**

Тел.: +7 (4862) 33-03-19

www.interpro-orel.ru

6 (64) 2016

Журнал выходит 6 раз в год.

Издается с мая 2006 г.

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

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

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

Производственно-технический журнал

СВАРЩИК

№ 6 2016

В РОССИИ

СОДЕРЖАНИЕ

Новости техники и технологий 4



Сварочные материалы

Импортозамещение и конкурентоспособность
отечественных сварочных электродов

З. А. Сидлин 8



Технологии сварки трением

Прочность сварных соединений алюминиевых сплавов
при сварке трением с перемешиванием

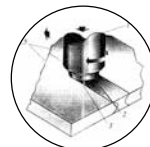
А. Г. Покляцкий, А. Я. Ищенко, М. Р. Яворская 15



Технологии ремонтной сварки

Особенности выполнения ремонтной сварки
массивных конструкций тяжело нагруженного оборудования

В. И. Панов 18



Технологии послесварочной обработки

Эффективность применения малоэнергоемких технологий
послесварочной обработки металлоконструкций

Г. И. Лашенко 22



Наши консультации 26

Производственный опыт

Полуаддитивный метод и оборудование для изготовления
медной фольги, применяемой в производстве гибких печатных плат

В. А. Васильев 30



Выставки

Календарь выставок на 2017 год. Международные. Россия 33, 34

18-я международная выставка-конгресс по сварке,
резке и родственным технологиям «СВАРКА/ WELDING» 2017 35



Страницы истории

Т-34 — лучший танк XX века

А. А. Мазур, В. И. Снежко 36



News of technique and technologies 4

Welding materials

Import substitution and competitiveness
of the national welding electrodes

Z.A. Sidlin 8

Technologies of friction welding

Strength of welding joints of aluminum alloys
during friction stir welding

A. G. Poklyatsky, A. Ya. Ishchenko, M. R. Yavorskaya 15

Technologies of repair welding

Features of repair welding of massive structures
heavy loaded equipment

V. I. Panov 18

Technologies of post welding treatment

The efficiency of application of low-energy
technologies of post-welding treatment of the metal
constructions

G. I. Lashenko 22

Our consultations 26

Production experience

A semi-additive method and equipment for production
copper foil used in the manufacture of flexible
printed circuit boards

V. A. Vasil'ev 30

Exhibitions

Exhibitions calendar for 2017. International. Russia . . 33, 34

18-th international exhibition-congress on welding,
cutting and allied technologies

"SVARKA/ WELDING" 2017 35

Page of history

T-34 is the best tank of the XX-th century

A. A. Mazur, V. I. Snezhko 36

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

Издатель ООО «Центр трансфера техно-
логий 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

Редакторы Р. С. Сухомуд
О. А. Трофимец

Верстка и дизайн А. В. Рябов

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 20.01.2017. Формат 60×84 1/8.
Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура PetersburgC.
Отпечатано в ЗАО «ТДДС-Столица-8».
Заказ № П0000000709 от 20.01.2017. Тираж 1000 экз.

Издание выходит при содействии
производственно-технического журнала «Сварщик»

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

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

Главный редактор В. Д. Позняков

Зам. главного редактора В. Г. Абрамишвили

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

Адрес редакции 03150, Киев, а/я 337

Телефон +380 44 200 5361, 200 8018

Тел./факс +380 44 200 8014

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

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

Подписка-2017

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

Импортозамещение и конкурентоспособность отечественных сварочных электродов

З. А. Сидлин

Приведены данные о конкурентоспособности покрытых металлических сварочных электродов российской разработки и изготовления в сравнении с лучшими зарубежными образцами. Описаны проблемы российских предприятий, изготавливающих электроды, связанные в т.ч. с затратными аттестационными и др. процедурами. Показано, что при соблюдении отработанных составов и технологии изготовления российские электроды по качественным показателям вполне конкурентоспособны. Отмечено, что в России выпускается широкая номенклатура сварочных материалов отечественных разработок, в основном отвечающих требованиям импортозамещения по своим техническим характеристикам и сохраняющих лидирующие позиции на внутреннем рынке.

Прочность сварных соединений алюминиевых сплавов при сварке трением с перемешиванием

А. Г. Покляцкий, А. Я. Ищенко, М. Р. Яворская

Рассмотрены особенности формирования швов при сварке алюминиевых сплавов плавлением под воздействием высокотемпературного нагрева и трением с перемешиванием за счет пластической деформации металла в зоне сварки. Приведена технологическая схема процесса сварки трением с перемешиванием. Описаны основные принципы его реализации с помощью сконструированной лабораторной установки. Показано, что показатели прочности и пластичности сварных соединений тонколистовых (1,8–2,4 мм) высокопрочных алюминиевых сплавов, полученных трением с перемешиванием более высокие, чем при аргодуговой сварки неплавящимся электродом.

Особенности выполнения ремонтной сварки массивных конструкций тяжело нагруженного оборудования

В. И. Панов

Обобщены причины возникновения дефектов металла базовых деталей уникального крупногабаритного тяжело нагруженного оборудования на всех этапах их жизненного цикла. Установление причинно-следственных связей деградации металла большой толщины позволяет в каждом конкретном случае разрабатывать рациональную технологию ремонтной сварки.

Эффективность применения малоэнергоемких технологий послесварочной обработки металлоконструкций

Г. И. Лащенко

В статье приведены результаты обобщенной оценки технологической и экономической эффективности различных малоэнергоемких способов послесварочной обработки стальных металлоконструкций и их сравнение с общим и местным термическим отпуском. Отмечены важные особенности применения малоэнергоемких технологий послесварочной обработки: использование мобильного, малогабаритного и легкого оборудования. Описаны возможности применения различных способов послесварочной обработки в производственных условиях: в цеху, на открытых площадках и под водой. Отмечено, что наиболее перспективными из описанных способов обработки являются пневматическая проковка, вибро- и электрогидроимпульсная обработки.

Полуаддитивный метод и оборудование для изготовления медной фольги, применяемой в производстве гибких печатных плат

В. А. Васильев

Разработан технологический процесс получения многослойных материалов, обеспечивающий повышенную разрешающую способность печатных схем и высокое качество их изготовления. Рассмотрен полуаддитивный метод, состоящий в том, что проводники наносятся на диэлектрик, покрытый тонким слоем медной фольги толщиной до 5 мкм. Представлен комплекс оборудования для полуаддитивного метода. Описана линия нанесения гальваностойкого покрытия на медную 5 мкм фольгу на алюминиевом протекторе.



Лидер в сфере атома: успехи России на зарубежных рынках

Российские разработки в области энергетики являются одними из самых надежных в мире. Именно поэтому многие страны мира стремятся к сотрудничеству с российскими производителями.

Россия уже не первый год является постоянным партнером разных стран по производству и поставке ключевого оборудования для АЭС и ИТЭР. Одним из главных центров по конструированию и испытанию таких комплектующих является Санкт-Петербург.

Недавно отсюда во Францию была направлена партия аппаратуры для термоядерного экспериментального реактора (ИТЭР). В поставку входят алюминиевые шины постоянного тока для тороидальных катушек, центрального соленоида и корректирующих катушек, компенсаторы теплового расширения шин и другие элементы системы, предназначенной для использования в токопроводах постоянного тока, которые связывают сверхпроводниковые обмотки электромагнитной системы токамака с источниками их электропитания. Изготовление и поставка данного оборудования, за которое ответственна Россия, являются одними из самых сложных и дорогостоящих.

Кроме того, известно что Центральное конструкторское бюро машиностроения (ЦКБМ) отгрузило комплект ключевого оборудования для Белорусской АЭС с ОАО «Атомэнергомаш». Стоит отметить, что ЦКБМ — единственный в России разработчик и изготовитель главных циркуляционных



насосов ГЦНА-1391 для всех типов российских реакторов. А Белорусская АЭС строится именно по проекту российских разработчиков.

ГЦНА-1391 эксплуатируется на Нововоронежской АЭС и на многих зарубежных атомных станциях — АЭС «Бушер» (Иран), Тяньваньская АЭС (Китай), АЭС «Куданкулам» (Индия). Стоит отметить, что российские насосы ГЦНА-1391 являются очень надежными, ведь именно от их бесперебойной работы зависит безопасность любой АЭС.

Многие страны полностью доверяют российским разработкам и производству комплектующих для таких серьезных комплексов, как АЭС и ИТЭР. Именно с Россией они стремятся заключать договоры на поставку оборудования и строительство станций.

www.rus.vrw.ru

● #981

ЗиО-Подольск изготовил оборудование для первого серийного атомного ледокола нового поколения «Сибирь»

ПАО «Машиностроительный завод «ЗиО-Подольск» (входит в машиностроительный дивизион Росатома — Атомэнергомаш) изготовило и подготовило к отгрузке на ООО «Балтийский завод — Судостроение» четыре емкости запаса воды, входящих в состав реакторной установки «РИТМ-200» для первого серийного атомного ледокола «Сибирь». Данное емкостное оборудование предназначено для хранения запаса воды и обеспечения надежного функционирования пассивного канала системы аварийного расхолаживания реакторной установки универсального атомохода, а также для обеспечения «мокрого» хранения парогенераторов. Масса одной емкости составляет 3,2 т. Длина емкости — 2,3 м, диаметр — 1,1 м.

Центральные обечайки емкостей запаса воды изготовлены из легированной теплоустойчивой стали, обладающей высокой прочностью и большим сопротивлением к радиационному охрупчиванию, с антикорро-

зионной наплавкой. Крышка и днище изготовлены из коррозионностойкой стали.

В настоящее время ЗиО-Подольск изготавливает оборудование РУ «РИТМ-200» для двух серийных атомоходов нового поколения проекта 22220. Проведена сборка четырех полукорпусов реакторов, продолжается их механическая обработка и антикоррозионная наплавка отверстий. Кроме того, идет подготовка к сборке первого корпуса реактора для атомохода «Сибирь».

Предприятия АО «Атомэнергомаш» обеспечивают полную производственную цепочку создания силовой установки «РИТМ-200» — от проектирования и производства заготовок до изготовления и монтажа оборудования. Проектировщиком и комплектным поставщиком выступает входящее в холдинг АО «ОКБМ им. И. И. Африкантова».

www.rosatom.ru

● #982

АО «НПФ «ИТС» – 25 лет!

Модернизация двух сварочных установок Breda Termomeccanica

В рамках модернизации сварочных установок было сделано следующее:

1. Разработка проекта модернизации оборудования и согласование его с заказчиком.

2. Выполнение работ по модернизации: разборка оборудования и ремонт его узлов; обследование состояния рельсового пути; восстановление и модернизация механической части оборудования; установка нового оборудования для сварки и наплавки (источники сварочного тока, сварочная головка, головки для наплавки лентой, системы слежения, флюсооборота, подготовки воздуха); замена системы управления оборудованием; разработка эксплуатационной документации на модернизируемое оборудование.



Головка для сварки кольцевых и продольных наружных и внутренних швов и наплавки проволокой внутренних поверхностей с системой подвески и позиционирования.



Головка дуговой сварки и наплавки включает в себя: привод (мотор-редуктор) подачи проволоки; правильно-подающее устройство; мундштук-токоподвод; кассетное устройство, рассчитанное на бухту проволоки массой до 40 кг, установленное на тормозном устройстве; изолированный направляющий канал; лазерный светуказатель; низковольтное устройство местной подсветки; бункер для флюса со шлангами и патрубками подачи и уборки флюса.

Головка укомплектована сменными роликами подающего устройства и сменными токоведущими наконечниками мундштука. Головка снабжена моторизованными суппортами «легкой» серии.

Головка для кольцевой и продольной наплавки лентой внутренних поверхностей с системой подвески и позиционирования.



Головка дуговой наплавки включает в себя: привод (мотор-редуктор) подачи проволоки; наплавочная головка; кассетное устройство, рассчитанное на бухту ленты массой до 40 кг, установленное на тормозном устройстве; устройства (лотки и роликовые блоки) на изоляторах для направления ленты в головку; лазерный светуказатель; низковольтное устройство местной подсветки; бункер для флюса со шлангами и патрубками подачи и уборки флюса. Головка снабжена моторизованными суппортами «легкой» серии.

Головка для наплавки лентой внутренних поверхностей на глубину до 1 м.



Головка дуговой наплавки включает в себя: привод (мотор-редуктор) подачи проволоки; наплавочная головка; кассетное устройство, рассчитанное на бухту ленты массой до 40 кг, установленное на тормозном устройстве; лазерный светуказатель; низковольтное устройство местной подсветки; бункер для флюса со шлангами и патрубками подачи и уборки флюса.

www.npfets.ru

● #983

Инновационные технологии в сварочном производстве

Состояние и перспективы развития российского сварочного производства обсудили в Центре импортозамещения и локализации.

Тематическая неделя «Импортозамещение в области сварочных материалов и технологий» в Центре импортозамещения и локализации, состоялась 20, 21 декабря 2016 г. и началась с пленарного заседания, в ходе которого участники обсудили состояние и перспективы развития сварочного производства, оборудования и материалов в России и Санкт-Петербурге.

В мероприятии приняли участие представители Комитета по промышленной политике и инновациям, Комиссии по ОПК Российского Союза Промышленников и предпринимателей, Политехнического Университета им. Петра Великого, а также предприятий, деятельность которых включает сварочное производство.

На заседании обсудили меры поддержки, которые оказывает Правительство Санкт-Петербурга промышленным предприятиям. Об изменениях и дополнениях к существующим мероприятиям рассказал начальник Управления развития промышленности и агропромышленного комплекса Комитета по промышленной политике и инновациям Алексей Яковлев. Поддержка петербургской промышленности осуществляется по трем основным направлениям: финансовые субсидии предприятиям и привлечение финансовых ресурсов в промышленность; содействие в продвижении продукции как на внутреннем, так и на внешнем рынках сбыта; развитие территорий производственных зон Санкт-Петербурга.

Одним из новых инструментов поддержки в 2017 г. станет специальный инвестиционный контракт, призванный обеспечить условия для создания новых производственных мощностей. Кроме того, активно ведется работа, направленная на создание и развитие на территории Санкт-Петербурга индустриальных парков, в т.ч. для субъектов малого и среднего предпринимательства. Немаловажным элементом инфраструктуры продвижения петербургской промышленной продукции стал Центр импортозамещения и локализации, который помогает предприятиям участвовать в государственных закупках и расширять рынки сбыта, предоставляя выставочные площади и возможности, организуя закупочные сессии крупных заказчиков и Биржи контактов. На базе Центра создана первая интерактивная российская База импортозамещения, которая позволяет в кратчайшие сроки найти отечественные аналоги закупаемым импортным товарам.

Михаил Калашников, советник сопредседателя Комиссии по ОПК Российского союза промышленных предприятий (РСПП), отметил высокое значение сварочного производства.

«Трудно назвать отрасль, где бы не применялся тот



или иной способ сварки. С ее помощью стало возможно создание таких конструкций и аппаратов, которые нельзя было изготовить другими способами. В начале III тысячелетия сварка является одним из ведущих технологических процессов создания материальной основы современной цивилизации. Непрерывный рост наукоемкости сварочного производства способствует повышению качества продукции, ее эффективности и конкурентоспособности. Российский рынок сварочной техники и услуг растет пропорционально мировому потреблению стали. К началу XXI века он оценивается примерно в \$40 млн, из которых 70% приходится на сварочные материалы и около 30% — на сварочное оборудование. Более половины валового национального продукта промышленно развитых стран создается с помощью сварки и родственных технологий», — отметил он и выразил уверенность, что данная тематическая неделя внесет позитивный вклад в отрасль и станет стимулом к созданию новых методов, технологий и разработок.

Михаил Калашников также презентовал основные задачи Комиссии по ОПК РСПП: содействие российским предприятиям ОПК в развитии конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынках, помощь в создании условий для активной инвестиционной, внешнеэкономической и инновационной деятельности, осуществление общественного контроля за соблюдением законных прав и интересов предприятий и пригласил промышленные предприятия к сотрудничеству.

Кроме того, в ходе мероприятия были озвучены доклады об опыте внедрения перспективных технологий, разработках в области сварочного производства, родственных и смежных технологий от таких ведущих петербургских промышленных предприятий, как ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей», АО «СовПлим», АО «ЦТСС», АО «ЦНИИМ», ООО «Ижорские сварочные материалы» и АО «МУРОМЕЦ».

www.importnet.ru

Новая импортозамещающая продукция «ММК-МЕТИЗ»

На Магнитогорском метизно-калибровочном заводе «ММК-МЕТИЗ» в рамках программы импортозамещения освоено производство омедненной сварочной проволоки диаметром 4,0 мм из стали марки S2Mo.

ММК-МЕТИЗ будет выпускать эту продукцию по запросу партнера — трубоэлектросварочного цеха (ТЭСЦ) «Высота 239» ОАО «Челябинский трубопрокатный завод» (ЧТПЗ). Проволока применяется для автоматической электродуговой сварки под флюсом газонефтепроводных труб большого диаметра из низколегированных и легированных сталей, рассчитанных на высокое рабочее давление и эксплуатируемых в районах с умеренным и холодным климатом. Данный вид продукции является оригинальной разработкой технических и исследовательских служб ОАО «ММК-МЕТИЗ». Для ее изготовления совместно со специалистами ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» была освоена новая марка стали S2Mo.

Омедненная сварочная проволока производства ОАО «ММК-МЕТИЗ» позволит потребителям отказаться от ее приобретения за рубежом. Опытная партия омедненной сварочной проволоки диаметром 4,0 мм S2Mo в розетках была применена в условиях ТЭСЦ «Высота 239» ОАО «ЧТПЗ». Дан положительный отзыв о применении данной проволоки. В настоящее время разрабатываемая технология и оборудование позволяют изготавливать проволоку в промышленных объемах. Для улучшения качественных характеристик продукции специалистами ОАО «ММК-МЕТИЗ» постоянно проводится работа по усовершенствованию технологии. На предприятии также рассматривается вопрос об изготовлении омедненной сварочной проволоки в розетках из других марок стали.

www.metallicheckiy-portal.ru

● #985

Российские рельсы вытесняют импорт

Благодаря увеличению закупок со стороны ОАО «РЖД» российское производство рельсов по итогам 10 месяцев 2016 г. выросло более чем на треть.

Пережив спад 2014–2015 гг., отечественная отрасль по производству рельсов начала восстанавливаться: с января по октябрь выпуск рельсов в России увеличился на 34,1%, достигнув 991,5 тыс. т. Оживлению в отрасли способствует реализация инвестиционной программы ОАО «РЖД», в рамках которой к 2030 г. планируется построить 13,8 тыс. км дорог тяжеловесного движения, а также 10,5 тыс. км скоростных и высокоскоростных железнодорожных магистралей — это позволит увеличить грузооборот в 1,5 раза, а пассажиропоток — на 60%. Размер капиталовложений составит, по меньшей мере, 12,6 трлн руб.

Важным событием для рынка стал ввод в строй новых рельсобалочных станков на предприятиях «ЕВРАЗ-Холдинга» и «Мечела», позволивший наладить в России выпуск 100-метровых рельсов для высокоскоростных магистралей. До 2013 г. такие рельсы импортировались из Австрии и Японии, однако модернизация производственных мощностей на отечественных предприятиях дала возможность полностью отказаться от зарубежной продукции.

Для российского рынка рельсов характерен рост цен на продукцию: в 2015 г. средняя стоимость 1 т рельсов от производителей увеличилась на 28,5%, а в январе-октябре 2016 г. — на 6,8%, достигнув 32,2 тыс. руб. Как результат, в стоимостном выражении производство рельсов в России за первые 10 месяцев 2016 г. выросло на 43% (до 29,4 млрд руб.).

Рост цен на металлопрокат вызван повышением тарифов на электроэнергию, началом строительного сезона в РФ и вводом антидемпинговых пошлин в отношении российского и китайского проката в США и ЕС, отмечают аналитики IndexBox. К числу действующих факторов можно также отнести удорожание металлургического кокса и повышение цен на сталь в Китае.

На протяжении долгого времени выпуск рельсов осуществлялся только на предприятиях холдинга «ЕВРАЗ» — ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК» (Кемеровская область) и ОАО «ЕВРАЗ НТМК» (Свердловская область). С 2013 г. список производителей пополнило ПАО «Мечел» (Челябинская область), что привело к увеличению доли Уральского федерального округа в общероссийском выпуске рельсов.

На российском рынке рельсов наблюдается избыток производственных мощностей, полагает доцент РОАТ МИИТ Фарид Хусаинов. В этой связи российские производители рассматривают возможности выхода на зарубежные рынки, в первую очередь стран ЕС, однако для этого их продукция должна пройти сертификацию в Европе. Другим серьезным препятствием для выхода на европейский рынок являются сильные позиции местных игроков, таких как Thyssen Krupp Stahl (Германия), Voestalpine Schienen GmbH (Австрия) и Tata Steel (Великобритания).

www.rus.vrw.ru

● #986

Импортозамещение и конкурентоспособность отечественных сварочных электродов*

Сидлин З.А., д.т.н., ООО «ТЕХПРОМ» (Москва)

В статье приведены данные о конкурентоспособности покрытых металлических сварочных электродов российской разработки и изготовления в сравнении с лучшими зарубежными образцами. Описаны проблемы российских предприятий, изготавливающих электроды, связанные, в том числе, с излишними затратами аттестационными процедурами.

Сварочная техника является развивающимся сектором мировой экономики, объем которого оценивают в 17-24 млрд долларов, а долю сварочных материалов – до 57 %. Среди сварочных материалов на мировом рынке лидируют сварочные электроды – 38 % при общем объеме потребления 2 389,3 тыс.т. В странах ЕС, где уровень механизации сварочных процессов выше, доля сварочных электродов значительно ниже – 11 % [1, 2]. В России же объем их применения оценивается примерно в 140 тыс. т в год.

В настоящее время достаточно актуальна идея импортозамещения, с учетом межотраслевого характера промышленного использования электродов. Однако практика ее реализации должна учитывать многие обстоятельства.

На внутреннем рынке России активно действуют, расширяя свое присутствие, российские фирмы [3, 4], входящие в крупнейшие международные концерны «ESAB» и «Lincoln Electric», заводы которых в Санкт-Петербурге, Тюмени и Мценске в сумме производят примерно четверть выпускаемых в стране электродов. При этом в программе производства «Lincoln Electric» более 100 российских марок электродов, а в программе «ESAB» – 27 марок. Деятельность этих заводов, кроме рабочих мест в собственном производстве, создает их и в смежных отраслях: у металлургов и метизников, т.к. применяются в больших объемах проволоки марок Св-08 и Св-08А по ГОСТу; в сырьевой промышленности, используя готовые порошки мрамора (~50 % основных покрытий), пылевидного кварца; в производстве упаковки; в транспортных перевозках. Компании формируют значительные налоговые поступления в местах расположения, ра-

ботая по «белым схемам», обеспечивают персонал достойной заработной платой и подтягивают за собой предприятия с российским капиталом.

Проблема защиты внутреннего рынка сварочных материалов от экспансии иностранных брендов возникла с началом рыночных отношений в России. Еще в 1997 г. по инициативе РНТСО было организовано совещание по данной проблеме, в работе которого приняли участие ведущие исследовательские организации (ЦНИИ КМ «Прометей», ЦНИИТМАШ, ВНИИПИ «Промстальконструкция», ВНИИ Монтэж) и заводы (ЛЭЗ, ЗиО, МОСЗ и др.) [5].

СССР был мировым лидером - производил около 680 тыс. т электродов в год, но при этом существовал дефицит электродов некоторых марок. В составе применяемых в СССР электродов доля импортных включала электроды, поставляемые для сварки при строительстве газо-нефтепроводов (~25 тыс.т), а также электроды, используемые при строительстве химических и нефтехимических объектов (малые объемы). При этом фирмами поставщиками решался весь комплекс проблем, включая вопросы технологии сварки и выбора сварочных материалов, использовались зарубежные стали и сплавы, и применение зарубежных электродов в этом случае было корректным и обоснованным.

В последующем поступление импортных электродов стало происходить бесконтрольно. Отсутствовали рекомендации о применении этих электродов, кроме рекомендаций самого поставщика. Часто авторитетные фирмы, выпускающие качественные электроды, не в полной мере владеют информацией, касающейся использования таких электродов в специфических российских условиях (составы сталей, сред, температуры эксплуатации, характеристики источников питания, требования к конструктивным элементам, квалификация и привычки сварщиков, уровень технологической дисциплины при сварке и эксплуатации объектов). Поэтому работая на российском рынке, ведущие мировые производители далеко не всегда корректно предлагают замену отечественной продукции. Так например, фирмой «Böhler Welding» аналогами марки Fox CN 20/25M были признаны электроды ЭА-395/9, ЭА-981/15, которые близки между собой,

* По материалам брошюры, изданной к 25-летию Ассоциации «Электрод» – ООО «ТЕХПРОМ», ООО «ВТ», и «Сварщика в Белоруссии» № 3 - 2016 г.

но существенно отличаются от фирменной марки. В качестве аналога указывалась также марка ОЗЛ-17У, относящаяся совершенно к другому классу электродов, необоснованная замена которой могла привести к аварийной ситуации. В качестве аналогов марки Fox NIBAS 70/20 была предложена марка АНЖР-2, существенно отличающаяся химическим составом: содержание Mn в АНЖР-2 – 2 %, в Fox NIBAS – 5 %, Mo – 7 и 1,5 %, соответственно; вдобавок в электродах Fox NIBAS присутствует ниобий, а разница по Ni составляет 1,5 раза и т.д.

Фирмой «ESAB» электроды ОК 46.00 рекомендованы взамен отечественной марки повышенной производительности ОЗС-6; нелегированные электроды ОК 48.00 – взамен атмосферокоррозионно-стойких ОЗС-18; марка ОК 64.30 с содержанием ферритной фазы в наплавленном металле 5-10 %, взамен марки ОЗЛ-20 (0,5-4 %), что чревато развитием коррозионных разрушений; марка ОК 69.33, предназначенная для сварки оборудования, работающего в условиях сернокислых сред, взамен электродов ОЗЛ-37-2 (выполненные ими сварные швы успешно выдерживают гораздо более жесткие условия фосфорных кислот с фторидами); электроды ОК 94.25 (наплавленный металл – оловянисто-фосфористая бронза – 7 % Sn) взамен марки АНЦ/ОЗМ-3, имеющей минимально легированный медный состав наплавленного металла, обладающей примерно в 4 раза более высокими электротехническими характеристиками.

Каталоги фирм содержат таблицы соответствия (аналоги) отечественных и фирменных электродов [6, 7]. Помимо вышеприведенных явно ошибочных рекомендаций, фирма «ESAB» скорректировала свою техническую политику в части замещения российских материалов вполне корректно, сформулировав ее начиная с 2014 г., следующим образом: «В отличие от предыдущих версий справочников, в данной редакции мы отказались от проведения прямых аналогий между отечественными сварочными материалами и продукцией «ESAB». Связано это с тем, что практически невозможно найти пары, которые бы на все 100 % совпадали друг с другом. Случалось, что клиенты, не вникая в суть задачи, на основании таблицы аналогов производили замену одного материала на другой. В итоге выбранная замена оказывалась далеко не самой оптимальной... Поэтому мы решили не навязывать нашим клиентам своего мнения, а предоставить им возможность творчески подойти к выбору того или иного сварочного материала» [6].

Иногда можно услышать утверждения, что недостатки отечественных электродов связаны с «устаревшими формулами покрытий», т.е. с их составами [8]. По нашему мнению, это справедливо лишь для

нескольких электродов узкого назначения, предназначенных в первую очередь, для сварки корневых слоев швов стыков магистральных трубопроводов. При соблюдении отработанных годами составов и технологии изготовления российские электроды по качественным показателям достаточно конкурентоспособны. Аналогичной точки зрения придерживаются и украинские специалисты [9]. Об этом свидетельствует и успешная работа в России предприятий «ESAB» со 100 %-м шведским капиталом, наращивающих объемы и выпускающих наряду с электродами серии ОК, российские марки электродов серий УОНИ, ОЗС, ОЗЛ, ЦТ, ЭА и др. Для убедительности процитируем сведения из каталога «ESAB» о наиболее применяемых российских электродах марки ОЗС-12 с рутиловым покрытием: «Универсальные электроды, предназначенные для сварки изделий из конструкционных низкоуглеродистых и низколегированных сталей с содержанием углерода до 0,25 % на постоянном токе любой полярности и переменном токе. Характеризуются великолепной отделяемостью шлака в сочетании с плавным переходом от наплавленного валика к основному металлу и гладкой поверхностью шва. Это позволяет рекомендовать данные электроды для сварки тавровых соединений с гарантированным получением вогнутых швов, когда к качеству формирования швов предъявляют повышенные требования при сварке в различных пространственных положениях. Электроды малого диаметра можно использовать для сварки от бытовых источников с пониженным напряжением холостого хода. Допускается сварка по окисленным поверхностям и на длинной дуге».

По данным автора эта марка вполне конкурентоспособна по свойствам с электродами ОК 46.00. Еще более 20 лет назад нами по специально разработанной программе были проведены сравнительные испытания рутиловых электродов ведущих брендов и российских марок. Из 15 испытанных марок в лучшей тройке, показавшей близкие результаты, находились отечественные ОЗС-12.

К еще более раннему периоду относится полная замена в производствах «АвтоВАЗа» и «КАМАЗа» более 30 марок зарубежных электродов различного назначения. Напомним, что по заключенным в то время контрактам замена допускалась только на равноценные с проверкой их свойств за рубежом. В подлежащей замене номенклатуре были электроды фирм «Кастолин», «Esab», «Авеста», «УТП», «Аркос», «Сидеротермика» и др. Распоряжение Совета Министров СССР обязывало Минчермет провести разработки конкурентоспособных электродов, организовать их серийный выпуск, что и было поручено головной организации по электродам специализированной

начения – Московскому опытному сварочному заводу (МОСЗ). И такую задачу успешно решили всего за два года! [10].

В то же время ведущими отечественными институтами без проведения принятых в качестве обязательных длительных комплексных испытаний выдаются заключения о возможности применения импортных материалов. Так например, при анализе заключения НИИХИММАШа были выявлены следующие грубые несоответствия: аналогами электродов Fox OHV, наряду с рутиловыми электродами марок ОЗС-12, АНО-4 типа Э-46, необоснованно признаны электроды марки ОЗС-18 типа Э-50А с основным покрытием более высокого прочностного класса, предназначенные для сварки конструкций из атмосферокоррозионностойких сталей, а также электроды марки ОЗС-11 типа Э-09МХ с рутилово-основным покрытием, предназначенные для сварки легированных теплоустойчивых сталей, работающих при температурах до 510 °С и др. В последующем институт признал допущенные ошибки, которые были устранены. Содержит неточности и разработанный ОАО «ВНИИПТхимнефтеаппаратуры» и ОАО «ВНИИнефтемаш» СТП 26.260.486-2005 «Каталог аналогов импортных и отечественных основных и сварочных материалов, применяемых при изготовлении сосудов, аппаратов и трубопроводов, подведомственных Ростехнадзору». Целый ряд институтов идет на выдачу таких разрешений только из-за тяжелого финансового положения.

Не работают технические и процедурные системы допуска импортных электродов на внутренний рынок. Зарубежные фирмы с легкостью получают разрешения сертификационных центров системы ГОСТ Р, не проводятся предусмотренные системой САС НАКС процедуры исследовательских испытаний новых для нашей промышленности марок электродов. Более того, на сайте НАКС можно найти данные об аттестации австрийских электродов, представленных ООО «Бафир Интернешл», на неограниченный срок действия!

Различны экономические возможности российских и крупнейших мировых производителей, присутствующих сегодня на нашем внутреннем рынке. Чтобы уменьшить финансовую нагрузку на предприятия ассоциация «Электрод» провела работу по линии Ростехнадзора, направленную на упрощение процедур аттестации и снижение финансовых нагрузок. В результате предложения ассоциации были учтены НАКС в новой редакции Рекомендаций по применению РД 03-613-03.

Проверяющие структуры успешно обходят закон о согласовании плановых проверок с прокуратурой, активно проводя внеплановые. И более 50 % даже московских предпринимателей заявили, что им

стало сложнее работать. Для малых и средних предприятий, к которым относятся многие электродные предприятия, работающих на отечественном рынке в течение 4-5 лет, необходимо объявить мораторий на всяческие проверки; автоматически продлить на 2016-2018 гг. действие имеющихся сертификатов, лицензий, свидетельств о допуске, об аттестации, экологических паспортов и т.п.; засчитать 50 % собственных средств, затраченных на модернизацию и развитие производства, в счет налоговых поступлений. Только тогда можно ожидать существенных улучшений и подъема экономики.

В этих условиях российские электродные предприятия проделали значительный объем работ, их инициативными усилиями подотрасль преобразилась, несмотря на закрытие целого ряда электродных производств, в т.ч. самых крупных (15-60 тыс.т в год). Большинство из них являлись высокочрезвычайно технически устаревшими и выпускали низкосортную массовую продукцию, спрос на которую постоянно уменьшался. Однако, имеющихся на сегодня мощностей вполне достаточно для обеспечения существующей потребности страны в электродах. Произошло укрепление ряда предприятий средней мощности (до 10 тыс.т в год), отличающихся большой мобильностью и возможностями диверсификации производства, среди которых электродный завод Санкт-Петербурга, Судиславский завод сварочных материалов, Волгодонский электродный завод), а также небольших заводов, выпускающих спецэлектроды (Завод сварочных материалов, г. Березовский, «Хобэкс-электрод», Волгоград, «Электрод Сервис», Московская обл.), занимающихся постоянной модернизацией производства. Возникли новые успешные предприятия (ООО «Высокие Технологии», г. Ростов Ярославской области). В рыночных условиях выжили и прошли техпереворужение предприятия, ориентированные на выпуск конкурентоспособной продукции по рыночным ценам. За последнее время существенно уменьшился средневзвешенный диаметр выпускаемых и применяемых электродов.

В России выпускается в промышленных объемах широкая номенклатура сварочных материалов отечественных разработок, вполне отвечающих требованиям импортозамещения по своим техническим характеристикам и сохраняющих ведущие позиции внутри страны. По данным за 2014 г. доля российских электродов, выпускаемых отечественными заводами на внутреннем рынке превышает 75 % (без учета их выпуска «Эсаб» и «Линкольн Электрик»), их успешно применяют в различных отраслях, обеспечивая требуемую надежность сварных соединений. Известно, что атомная энергетика, не допускающая использование для своих объектов материалов

зарубежного производства, успешно решает вопросы сварки отечественными материалами.

Заметно наше отставание по сварочно-технологическим свойствам только от лучших электродов для сварки трубопроводов – марки ЛБ-52У фирмы «Кобе стил» (Япония). Появление российских марок электродов, также маркированных индексом ЛБ-52, будучи недопустимым маркетинговым ходом, к сожалению несколько не свидетельствует о сходстве их сварочно-технологических свойств. Но следует признать уникальность данной марки, существенно превосходящей и лучшие образцы других фирм. Электроды такого уровня могут появиться только в результате кропотливых наукоемких работ, условия для проведения которых в стране отсутствуют. Заметим, что объемы применения этой марки электродов сравнительно невелики: по данным [11] для строительства трубопроводов в период 1982-2001 гг. было поставлено в Россию ~30 тыс. т электродов ЛБ-52У. Превосходство же крупных зарубежных фирм заключается прежде всего, в комплексном предоставлении услуг клиенту: это как сварочные материалы различных видов, так и источники питания, средства механизации, аксессуары, а также технологии. Российские предприятия расширяют номенклатуру производимых сварочных материалов (керамические флюсы – ЛЭЗ, сварочная проволока – СЗСМ, шихта электродных покрытий – ВТ и пр.). Однако этого явно недостаточно для обеспечения полной конкурентоспособности. Ранее такие комплексные работы успешно осуществляли советские предприятия. Например, МОСЗ для способа сварки наклонным электродом («гравитационная сварка») были разработаны и внедрены электроды нескольких марок, специальные установки, модернизированы источники питания, разработано «Руководство» [12]. Были разработаны технологии сварки: комбинированным способом труб из жаростойких сталей (до 1100 °С); ремонтной сварки реакционных труб печей риформинга крупнотоннажных установок для производства аммиака; ванного способа сварки железнодорожных путей; наплавки рельсовых концов и крестовин и многое другое [13]. Но все это в прошлом, а сегодня в стране явно недостает крупного сварочного центра, который квалифицированно занимался бы не контролем, а разработками, производством и внедрением.

К положительным тенденциям, проявляющимся на внутреннем рынке России, следует отнести улучшение точности изготовления, качества зачистки торцов, внешнего вида и упаковки электродов, внедрение их поштучной маркировки. Ведь именно это часто становилось (при положительных результатах специальных испытаний) причиной отказа допуска электродов к выполнению зарубежных заказов [5].

Накопленные и вновь появившиеся в производстве сварочных материалов проблемы, требуют оперативного разрешения для поддержания национально-го производителя.

Главная проблема в обеспечении конкурентоспособности отечественных электродов связана со стабильностью их качества. Технология изготовления электродов оказывает непосредственное и часто решающее влияние на физические и металлургические процессы, протекающие при образовании сварного шва, следовательно, и на сварочно-технологические свойства электродов и качество швов. «Положительные свойства любой хорошей марки электродов могут быть сведены к нулю, если не будут разрешены вопросы технологии их промышленного изготовления. Правильное решение этих вопросов имеет в настоящее время большее значение, чем «изобретательство» бесконечного числа новых или «модернизация» существующих марок электродов» [14].

Среди показателей, определяющих технический уровень производства, весьма существен фактор уровня квалификации рабочих основных специальностей и инженерно-технического персонала. Особенно актуально это для производства сварочных материалов, где обучение персонала проводится только непосредственно на заводах при недостатке технической литературы. Именно поэтому усилиями ООО «Ротекс-К», ООО «ТЕХПРОМ» и ООО «ВТ» была подготовлена и издана серия брошюр «Библиотечки электродчика». Снижению остроты проблемы способствовали выход в свет монографии «Производство электродов для ручной дуговой сварки» [15]. Много полезного специалисты могут почерпнуть из сборников трудов семинаров и конференций, организованных за время 25-летнего существования ассоциации «Электрод».

Практическая реализация с высокой степенью надежности большинства технологических операций требует существенного повышения качества исходного сырья или технологии его предварительной подготовки на заводе-изготовителе сварочных материалов. Однако задача обеспечения сырьевыми материалами требуемого качества является проблемной; это вызвано как общей ситуацией в сырьевых отраслях [16], так и малыми объемами применения компонентов, повышенными требованиями к ним, отсутствием единых подходов производителей электродов. Большинство предприятий не инвестирует не только в исследование новых материалов, но и в их внедрение; часть идет по «скользкому» пути использования низкокачественных материалов. Выжидательную позицию занимает и государство, не решающее сырьевые проблемы годами даже по стратегическим материалам, в частности по марганцевому и титановому сырью. Последовательную

работу по расширению сырьевой базы производства сварочных материалов ведут, пожалуй, только в ЦНИИМК «Прометей». Подробно проблемы сырьевой базы электродного производства описаны в [17].

Без разрешения «сырьевой» проблемы невозможно ни обеспечение стабильного качества, ни повышение общего уровня сварочно-технологических свойств электродов, по показателям которых российские электроды определенно уступают лучшей рыночной продукции.

В обеспечении качества сварочных электродов велика роль сварочной проволоки, применяемой в виде стержней электродов, составляющей более 70 % ее доли в электроде. Если с массовой проволокой марок Св-08, Св-08А на российском рынке дело обстоит относительно благополучно (на отечественной проволоке работают и иномарки), то с высоколегированной проволокой просто провал: московский металлургический завод «Серп и Молот» закрыт, «Мечел», поглотив «Ижсталь», перевел производство на БМЗ, являющийся только передельным заводом, «Электросталь» при нынешних условиях не заинтересована в сохранении этого производства. На рынок хлынули сомнительные проволоки китайских, индийских, пакистанских производителей, часто с фальшивыми сертификатами. В определенном сегменте присутствуют качественная проволока европейских производителей (например, «Сандвик»), которые поставляют в т.ч. готовые стержни.

При качественном сырье, квалифицированном персонале и отработанной технологии вопросы оборудования для изготовления электродов отходят на второй план, в т.ч. и потому, что финансовые возможности закупки нового оборудования весьма ограничены. Единственная российская фирма ООО «Ротекс», поставляющая уже более 20 лет комплексное оборудование, обладает достаточной квалификацией. Положительно сказывается ее конкуренция с украинским производителем ООО «Велма».

В стратегии развития черной металлургии «Стратегия 2030» содержатся предложения в отношении государственной политики, первым из которых является требование приоритета отечественной продукции при госзакупках. Однако доступ к ним по-прежнему дискриминационен. Предприятия при участии в проводимых тендерах по закупкам сварочных материалов вынуждены ориентироваться на вне рыночные пути продвижения собственной продукции.

И все-таки российские предприятия, изготавливающие электроды, несомненно, должны сохранить свое лидирующее положение на внутреннем рынке, одновременно активнее продвигаясь к зарубежному потребителю.

Литература

1. Маковецкая О.К. Состояние и тенденции развития Европейского рынка технологий соединения // Автомат. сварка. – 2015. – № 8. – С. 55-59.
2. Маковецкая О.К. Состояние и тенденции развития мирового рынка основных конструкционных материалов и сварочной техники // Автомат. сварка. 2015. – № 10. – С. 54-59.
3. Импортзамещение. Сварочные материалы Эсаб российского производства. Каталог продукции. – 2015. – 41 с.
4. Колюпанов О.В. Импортзамещающие сварочные материалы производства ОАО «Межгосметиз-Мценск» // Сварщик в России. – 2015. – № 2. – С. 22-23.
5. Защита внутреннего рынка сварочных электродов от экспансии иностранных производителей. М.: РНТСО. – 1997. – 68 с.
6. Каталог «Сварочные материалы». Эсаб. – 2014. – 240 с.
7. Каталог сварочных материалов Lincoln electric. М.: 2012. – 156 с.
8. Иоффе И.С., Гаврилин Ю.М. Повышение конкурентоспособности российских электродов // Свар. произв. – 2004. – № 7. – С. 50-51.
9. Интервью с директором ООО «Фрунзе-Электрод» П.Н. Погребным // Автомат. сварка. – 2015. – № 2. – С. 3-4.
10. Рахманов А.Д. Разработка электродов для Волжского автозавода // Свар. материалы. Сбор. докл. К.: 1972. – Ч.П. – С. 268-273.
11. Welding electrodes for oil and gas pipelines Kobelco Kobe steel, ltd. – 2002. October.
12. Шлеймович Ш.Ш., Луневский Л.П., Полунин А.М. Руководство по применению способа сварки наклонным электродам // ЦБТИ Минречфлота. М.: 1975. – 39 с.
13. Интервью с директором МОСЗ Х.Л. Яровинским // Свар. производство. – 1994. – № 9. – С. 2-5.
14. Соколов Е.В. Электроды с качественным покрытием и их производство // Автог. дело. 1950. – № 11. – С. 26-30.
15. Сидлин З.А. Производство электродов для ручной дуговой сварки. К.: ООО «Экотехнология». – 2009. – 464 с.
16. Сырьевая и топливная база черной металлургии // Л.И. Леонтьев, Ю.С. Юсфин, Т.Я. Малышева и др. – М.: Академкнига. – 2007. – 304 с.
17. Палиевская Е.А., Сидлин З.А. Проблемы сырьевой базы производства сварочных материалов., – М.: Издательский дом Центросоюза. – 2011. – 40 с.

● #987

Основное назначение наиболее распространенных промышленных марок электродов различных типов*

Таблица 1. Основное назначение промышленных марок электродов различных типов (по ГОСТ9467-75)

Тип	Марка	Основное назначение
Э42	АНО-6М	Конструкции из углеродистых сталей
	ОМА-2	Тонколистовой металл
	ВСЦ-4	Корневые слои стыков трубопроводов
Э42А	УОНИ-13/45	Ответственные конструкции из углеродистых сталей
Э46	ОЗС-4, ОЗС-6, МР-3Р, АНО-4, МР-3, АНО-36, МР-3У, МР-3С, АНО-37	Конструкции из углеродистых сталей
	ОЗС-12	Тавровые соединения
Э46А	УОНИ-13/55К, УОНИ-13/45А	Ответственные конструкции из углеродистых сталей
Э50	ВСЦ-4А	Корневые слои стыков трубопроводов
Э50А	УОНИ-13/55, УОНИ-13/55С	Ответственные конструкции из углеродистых и низколегированных сталей
	ТМУ-21У, ЦУ-5	То же, применительно к оборудованию электростанций
	ОЗС-18	Ответственные конструкции из низколегированных атмосферокоррозионностойких сталей
	АНО-ТМ, МТГ-01К, МТГ-02	Неповоротные стыки трубопроводов
Э55	УОНИ-13/55У	Стержневая арматура железобетонных конструкций
Э60	ОЗС-24М	Ответственные конструкции из низколегированных сталей, работающие при температурах до минус 70 °С
	УОНИ-13/65, МТГ-03	Ответственные конструкции из низколегированных сталей
Э70	АНО-ТМ70, АНП-10, АНП-2	
Э85	УОНИ-13/85, НИАТ-3М, АНП-11	Ответственные конструкции из легированных сталей
Э100	ОЗШ-1	Ответственные конструкции из легированных сталей повышенной прочности
Э-09 Х1М	ТМЛ-1У	Стыки трубопроводов из легированных теплоустойчивых сталей для рабочих температур до 540 °С
Э-09 Х1МФ	ТМЛ-3У	То же, до 570 °С
	ЦЛ-39	То же, до 585 °С

* Из книги З. А. Сидлина: «Производство электродов для ручной дуговой сварки». К. «Экотехнология». 2009

Основное назначение наиболее распространенных стандартных высоколегированных и наплавочных электродов*

Таблица 2. Основное назначение стандартных (по ГОСТ10052-75) высоколегированных электродов

Тип	Марка	Основное назначение по маркам сталей
Э-12Х13	УОНИ-13/НЖ 12Х13	Хромистые стали 08Х13, 12Х13
Э-02Х21Н10Г2	ОЗЛ-22	Коррозионнотстойкая сталь 03-Х18Н11
Э-04Х20Н9	ОЗЛ-36	Коррозионнотстойкие стали 08-Х18Н10, 06Х18Н11
Э-07Х20Н9	ОЗЛ-8	
Э-08Х20Н9Г2Б	ОЗЛ-7, ЦЛ-11	То же, при жестких требованиях стойкости швов против межкристаллитной коррозии
Э-08Х19Н10Г2Б	ЦТ-15, ЗИО-3	Жаропрочные стали 12Х18Н9Т, 12-Х18Н12Т
Э-10Х25Н13Г2Б	ЦЛ-9	Легированный слой двухслойных сталей
Э-02Х20Н14Г2М2	ОЗЛ-20	Коррозионнотстойкая сталь 03-Х16Н15М3
Э-02Х19Н18Г5АМ3	АНВ-17	
Э-08Х17Н8М2	НИАТ-1 04Х19Н9	Коррозионнотстойкая сталь 10-Х17Н13М2Т
Э-09Х19Н10Г2М2Б	НЖ-13	
Э-02Х20Н60М15В3	ОЗЛ-21	Коррозионнотстойкий сплав ХН65МВ
Э-10Х20Н70Г2М2Б2В	ОЗЛ-25Б	Коррозионнотстойкий жаростойкий сплав ХН78Т, разнородные стали
Э-10Х25Н13Г2	ОЗЛ-6, ЗИО-8	Жаростойкие стали типа 20Х23Н13
Э-27Х15Н35В3Г2Б2Т	КТИ-7А	Жаростойкие стали типа 45-Х25Н20С2
Э-28Х24Н16Г6	ОЗЛ-9А	
Э-08Х14Н65М15В4Г2	ЦТ-28	Сплавы на никелевой основе
Э-04Х10Н60М24	ИМЕТ-10	Жаропрочные и жаростойкие стали и сплавы
Э-12Х24Н14С2	ОЗЛ-5	Жаростойкие стали типа 20-Х25Н20С2
Э-10Х20Н70Г2М2В	ОЗЛ-25	Жаростойкий сплав ХН78Т
Э-10Х20Н9Г6С	НИИ-48Г	Разнородные стали
Э-11Х15Н25М6АГ2	НИАТ-5, ЦТ-10	Стали 30ХГСА, 30ХГСА и разнородные стали

Таблица 3. Основное назначение стандартных (по ГОСТ10051-75) наплавочных электродов

Тип	Марка	Основное назначение
Э-30Г2ХМ	НР-70	Рельсы
Э-16Г2ХМ	ОЗШ-1	Штампы для горячей штамповки
Э-90Х4М4ВФ	ОЗИ-4	
Э-37Х9С2	ОЗШ-3	Штампы для холодной штамповки
Э-70Х3СМТ	ЭН-60М	
Э-20Х13	УОНИ-13/НЖ 20Х13	
Э-65Х11Н3	ОМГ-Н	Детали из высокомарганцовистых сталей
Э-65Х25Г13Н3	ЦНИИН-4	
Э-320Х23С2ГТР	Т-620	Детали, работающие в условиях абразивного изнашивания
Э-320Х25С2ГР	Т-590	
Э-110Х14В13Ф2	ВСН-6	То же, при ударных нагрузках
Э-175Б8Х6СТ	ЦН-16	
Э-08Х17Н8С6Г	ЦН-6Л	Уплотнительные поверхности арматуры высокого давления
Э-09Х31Н8АМ2	УОНИ-13/Н1-БК	
Э-13Х16Н8М5С5Г4Б	ЦН-12М	

* Из книги З. А. Сидлина: «Производство электродов для ручной дуговой сварки». К. «Экотехнология». 2009

Прочность сварных соединений алюминиевых сплавов при сварке трением с перемешиванием *

А. Г. Покляцкий, чл.-кор., **А. Я. Ищенко**, М. Р. Яворская, «ИЭС им. Е. О. Патона» НАНУ (Киев)

С развитием современных отраслей машиностроения все более возрастают требования к надежности сварных соединений. При изготовлении сварных конструкций из алюминиевых сплавов в большинстве случаев используют дуговые и лучевые способы сварки. Они обеспечивают получение неразъемных соединений за счет формирования сварных швов, образующихся в результате расплавления свариваемых кромок под воздействием высокотемпературного источника тепла с последующей его кристаллизацией. Вследствие необратимости физико-химических процессов, происходящих в алюминиевых сплавах при сварке плавлением, в зоне сварки происходят фазовые превращения и образуются зоны с различными структурами. Отличия в структуре шва и зон термического влияния (ЗТВ) способствуют неравномерному распределению поля остаточных деформаций и напряжений, и это снижает эксплуатационные характеристики соединений. Наличие в структуре оплавленных границ зерен и грубых фазовых включений ограничивает способность металла к пластической деформации и вызывает увеличение локальных напряжений на участках между границами зерен. Общее напряженное состояние сварных соединений может превысить предел текучести и привести к зарождению микротрещин, уменьшающих прочность конструкций и инициирующих появление усталостных трещин, снижая ресурсные и эксплуатационные характеристики сварных изделий.

На современном уровне развития техники требуется применение в сварных конструкциях различных сплавов, разработанных на основе более сложных систем легирования и получаемых с использованием новых технологий. Такие материалы, имея необходимый комплекс физико-механических характеристик, часто плохо свариваются способами сварки плавлением. Поэтому весьма эффективным для получения неразъемных соединений из алюминиевых сплавов является способ сварки трением с перемешиванием (СТП), при котором формирование шва обеспечивается за счет локали-

зации выделения теплоты и пластической деформации металла в зоне сварки [1, 2].

Макроскопического расплавления металла при этом способе сварки не происходит, поэтому степень фазово-структурных превращений в шве и ЗТВ намного ниже, чем при сварке плавлением. Это обеспечивает получение более высоких физико-механических свойств сварных соединений и меньший уровень остаточных напряжений. Снижается вероятность зарождения микротрещин, что способствует повышению ресурсных и эксплуатационных характеристик сварных соединений [3, 4].

Технологическая схема (рис. 1) способа СТП, разработанного в 1991 г. В. Томасом из Британского института сварки, включает три основных этапа [5, 6]. На первом этапе — вращающийся инструмент погружают в стык соединяемых деталей 4 и 5 таким образом, чтобы поверхность бурта 2 вошла в контакт с их поверхностью. При соприкосновении нижней поверхности вращающегося рабочего наконечника инструмента с деталями в месте контакта выделяется тепло. Это приводит к пластическому течению металла из-под рабочего наконечника, в результате чего он постепенно погружается, увеличивая площадь соприкасающихся поверхностей и количество выделяемой

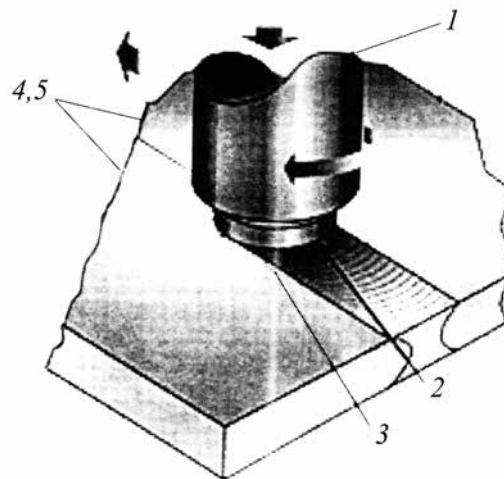


Рис. 1. Схема процесса сварки трением с перемешиванием алюминиевых сплавов: 1 — вращающийся инструмент; 2 — рабочая поверхность бурта инструмента; 3 — сварной шов; 4, 5 — свариваемые детали

* По материалам сборника: «Проблемы ресурса и безопасности эксплуатации конструкций, сооружений и машин», ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ

за счет трения теплоты. При полном погружении рабочего наконечника на всю толщину свариваемого металла возникает трение между поверхностью бурта и поверхностью деталей, и металл начинает переходить в пластическое состояние. На втором этапе – приступают к перемещению вращающегося инструмента вдоль линии стыка. Линейное перемещение инструмента приводит к пластическому течению металла от фронта бурта к его противоположной стороне, где металл охлаждается и образует сварной шов 3. Такой шов несимметричен относительно своей продольной оси, так как материал с одной (фронтальной) стороны вытесняется рабочим наконечником на другую (тыльную) сторону. На последнем этапе (в конце шва) инструмент поднимают до полного выхода его рабочего наконечника со стыка и прекращают его вращение. При этом свариваемые детали жестко закрепляют и прижимают к подкладке во избежание перемещения или выгиба их в процессе сварки [7, 8].

Для реализации процесса СТП тонколистовых (1,8–2,5 мм) алюминиевых сплавов была создана лабораторная установка (рис. 2), позволяющая получать стыковые и нахлесточные соединения с длиной швов до 400 мм. Установка состоит из подвижного стола, перемещающегося со скоростью до 40 м/ч, на котором закрепляют сварива-

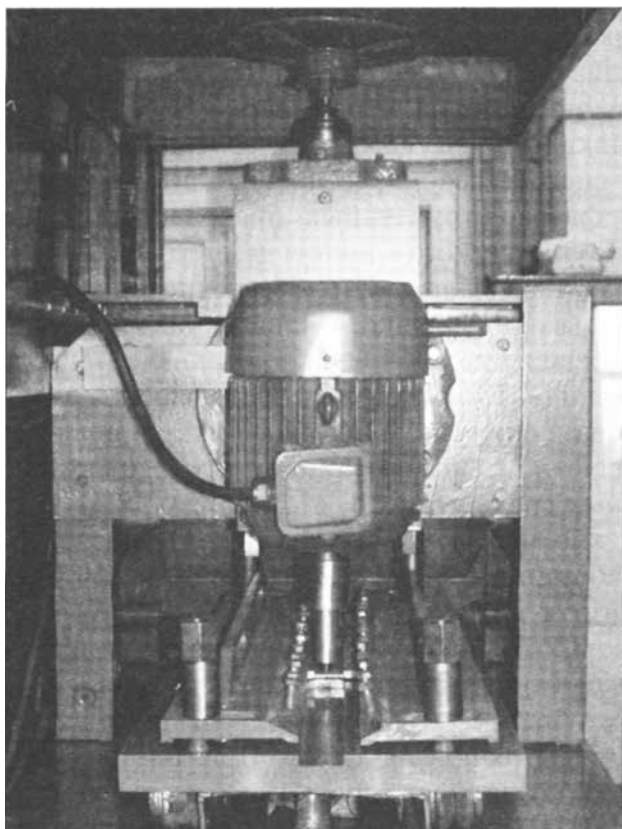


Рис. 2. Лабораторная установка для сварки трением с перемешиванием тонколистовых (1,8–2,5 мм) алюминиевых сплавов

емые детали, и жесткого каркаса, на котором закреплен асинхронный двигатель. С помощью суппорта осуществляется вертикальное перемещение двигателя, обеспечивая погружение рабочего наконечника инструмента в свариваемый металл в начале шва и выведение его из металла по завершению процесса сварки. Непосредственно на валу электродвигателя закреплен инструмент, вращающийся с частотой, обеспечиваемой электродвигателем.

На сконструированной установке сваривали стыковые соединения из алюминиевых сплавов основных систем легирования толщиной 1,8–2,4 мм. Механические свойства листов исследуемых сплавов приведены в табл. 1.

СТП осуществляли специальным инструментом с диаметром бурта 12 мм и коническим рабочим наконечником, имеющим у основания диаметр 3,5 мм. Корень шва формировался на плоской подкладке из нержавеющей стали без канавки. При частоте вращения инструмента равной 2880 мин^{-1} качественные сварные соединения исследуемых алюминиевых сплавов формировались при скорости сварки 14 м/ч (рис. 3). Сварные швы располагали параллельно направлению проката листов.

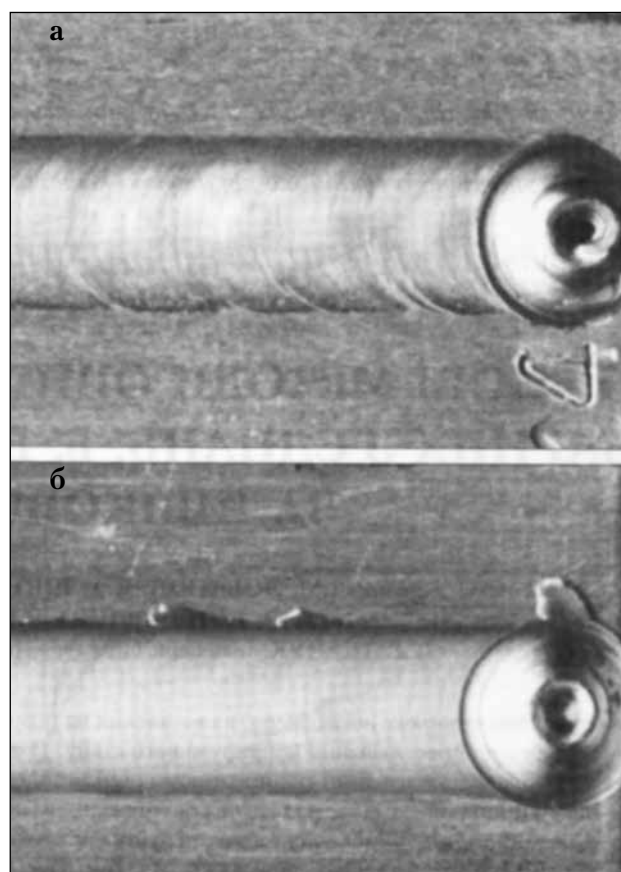


Рис. 3. Внешний вид швов, полученных сваркой трением с перемешиванием алюминиевых сплавов: 1460 толщиной 2,0 мм - а; АМгб толщиной 1,8 мм - б

Таблица 1. Механические свойства листов из алюминиевых сплавов

Марка сплава	Предел прочности σ_B , МПа	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение δ , %	Угол загиба α , град.
АМг6 (д)	370	228	21,2	180
АМг6 (п)	359	220	22,3	96
1420 (д)	459	322	11,4	50
1420 (п)	486	311	15,4	52
1201 (д)	427	303	11,9	60
1201 (п)	423	308	11,9	73
1460 (д)	504	460	8,9	36
1460 (п)	486	445	17,7	37

Примечания. 1. Здесь и далее приведены средние значения показателей по результатам испытаний трех образцов. 2. Буквой «д» обозначены образцы, вырезанные вдоль проката, а буквой «п» — поперек проката листов.

Из полученных сварных соединений изготавливали стандартные образцы для механических испытаний. Образцы шлифовали с лицевой стороны шва, чтобы сделать основной металл равным по толщине со швом, а с корневой — чтобы избежать возможных дефектов в виде несплавлений. Результаты механических испытаний образцов приведены в табл. 2.

Таблица 2. Механические свойства соединений алюминиевых сплавов, полученных СТП и аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом (АДСНЭ)

Марки свариваемых сплавов	Прочность сварного соединения σ_B^{CB} , МПа		Угол загиба сварного соединения α , град.	
	СТП	АДСНЭ	СТП	АДСНЭ
АМг6 + АМг6	343 (с)	313 (в)	180	180
1420 + 1420	362 (в)	320 (в)	96	82
1201 + 1201	294 (в)	280 (в)	180	180
1460 + 1460	325 (в)	305 (в)	180	174
1460 + 1201	310 (в)	285 (в)	180	176
АМг6 + 1201	229 (а)	-	180	-
АМг6 + 1460	323 (в)	-	180	-

Примечание. Буквами указано место разрушения образцов: «а» — по металлу шва, «в» — по зоне сплавления шва с основным металлом, «с» — по основному металлу в ЗТВ

Анализ результатов показал, что прочность сварных соединений алюминиевых сплавов, полученных СТП, находится на достаточно высоком уровне и превышает показатели, достигнутые при аргонодуговой сварке этих сплавов неплавящимся электродом. Так, для сварных соединений сплавов

АМг6 и 1420 предел прочности выше на 30–42 МПа, а для сплавов 1201 и 1460 на 14–20 МПа. При этом угол загиба сварных соединений также не ниже, чем сваренных плавлением. Кроме того, СТП успешно сварены между собой сплавы АМг6 + 1201 и АМг6 + 1460. При сварке этих сплавов плавлением получить качественные швы весьма проблематично, поскольку при кристаллизации расплавленного металла сварочной ванны образуются горячие трещины, обусловленные критическим содержанием магния и меди в свариваемых сплавах.

Необходимо отметить, что сконструированная лабораторная установка для СТП позволяет получать качественные сварные соединения тонколистовых алюминиевых сплавов. Применение этого способа сварки обеспечивает более высокий, чем при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом уровень механических свойств соединений, повышая надежность сварных конструкций. Процесс формирования швов без макроскопического расплавления металла позволяет успешно соединять трудносвариваемые методами плавления алюминиевые сплавы, расширяя возможности применения разноименных сплавов при изготовлении сварных конструкций и улучшая их эксплуатационные характеристики.

Литература

1. Pat. 5460317 US. Friction stir butt welding / W.M. Thomas, E.D. Nicholas, J.C. Needham et al: опубл. 1991.
2. Kninstrom K.E., Pekkari B.A Novel joining process — friction stir welding // Svetsaren. — 1997. — N1/2. — P. 49–52.
3. Larsson H., Karlsson L. Friction stir welding of AA5083 and AA6082 aluminium // Ibid. — 2000. — N2. — P. 6–10.
4. Mechanical properties of aluminum die casting joined by FSW / Y. Nagano, Sh. Jogan, T. Hashimoto, Sh. Denko // Proc. of 3rd Intern. Friction stir welding symp., Kobe, Japan, Sept. 27–28, 2001.
5. Eur. Pat. Spec. 0615480 Bl. Improvement relating to friction welding / W.M. Thomas, E.D. Nicholas, J.C. Needham. — Publ. 1995.
6. Dawes C.J., Thomas W.M. Friction stir process welds of aluminum alloys // Welding J. — 1996. — N3. — P. 41–45.
7. Kalle S., Nicholas D. Friction stir welding at TWI // TWI Ltd. — 2004.
8. Степанов В.В., Конкевич В.Ю., Фролов В.А. Формирование соединений при сварке трением по способу FrictionStirWelding // Технология легких сплавов. — 2003. — № 1. — С. 58–67.

Особенности выполнения ремонтной сварки массивных конструкций тяжело нагруженного оборудования

В. И. Панов, д-р техн. наук, ПАО «Уралмашзавод» (Екатеринбург)

Массивные конструкции тяжелого машиностроения, большая часть которых носит индивидуальный характер, имеют свои специфические особенности, среди них — масштабный фактор (МФ) и наличие так называемых тепловых узлов (ТУ). Оригинальность машины и ее базовых деталей не позволяет использовать опыт изготовления и эксплуатации аналогичных машин.

Конструкции тяжелого индивидуального машиностроения изготавливаются из массивных отливок сложной формы, толстостенных поковок и проката, отличающихся друг от друга по физико-механическим и физико-химическим свойствам. Массивные крупногабаритные конструкции сами по себе или входящие в состав машины (оборудования) имеют, как правило, многоэтапный жизненный цикл (ЖЦК).

В машиностроительном производстве изготовление металлоконструкций осуществляется путем обработки заготовок в ходе технологических процессов металлургического, механического, сварочного и сборочного производств [1]. Каждый технологический процесс изменяет уровень внутренней энергии системы, что может привести к изменениям характеристик металла конструкции и ее самой в целом. Внешнее воздействие технологического процесса определяется методом обработки. В процессе длительного производственного цикла, под влиянием сложных технологических операций, возникают недопустимые дефекты, которые имеют как детерминированный, так и вероятностный характер возникновения. Они связаны с особенностями технологических переделов, свойствами металлов и пр., пороки металла могут появляться еще в металлургическом производстве и сохраняться вплоть до эксплуатации конструкции. Обнаружение скрытых дефектов и образование новых возможно в процессе монтажа крупногабаритной машины или оборудования, при первом рабочем нагружении, процессе эксплуатации оборудования, когда происходит перераспределение напряженно-деформированного состояния металла конструкции.

Важное место в устранении перечисленных дефектов занимает ремонтная сварка, которая может выполняться практически на всех этапах ЖЦК. К этому следует добавить необходимость устранения дефектов и в технологическом оборудовании служб главных — механика и энергетика завода — изготовителя уникальных конструкций.

Проблемы обеспечения качества ремонтной сварки уникальных металлических конструкций основываются на рассмотрении причинно-следственных связей, позволяющих описать всю сложную эволюцию условий и следствий, приводящих к отказам при их эксплуатации. Идеальным теоретическим развитием любой системы, в том числе и ремонтной сварки, является учет всех явлений и факторов на протяжении ЖЦК и, по возможности, управление ими.

В настоящей работе представлены результаты длительного изучения работниками отдела главного сварщика и других подразделений НИИТЯЖМАШ «Уралмашзавода» (при оказании методической помощи ведущих научных центров страны) функциональных взаимосвязей технологической наследственности металла массивных конструкций с этапами ЖЦК.

Анализ образования трещин и разрушения базовых деталей головного образца шагающего экскаватора ЭШ-100.100 (первая цифра означает объем грунта в ковше, м³, вторая — длина стрелы, м) в северном исполнении ориентировочно показывает, что:

- 5% дефектов возникло при изготовлении конструкций в условиях завода;
- 40% — в процессе монтажных работ в полевых условиях;
- 1% — при первом рабочем нагружении и первоначальной обкатке узлов;
- 25% — в процессе опытно-промышленной эксплуатации;
- 25% — в процессе промышленной эксплуатации;
- 4% — повторное образование трещин в процессе выполнения восстановительных работ с помощью электродуговой сварки.

Вероятны случаи восстановления изношенных

размеров с помощью наплавки. Следует также отметить, что ремонтной сварке и наплавке подвергаются заготовки (детали) с высоким значением химического эквивалента углерода $C_{\text{экв}}$ (стали марок 75ХМ, 9Х2МФ и др.), не рекомендуемые для применения в сварных конструкциях.

Рассмотрим предысторию формирования технологической наследственности металла конструкции, подвергаемой ремонтной сварке. Конструктор должен представлять основные технологические процессы производства металлоконструкций, поскольку именно он закладывает первоначальный уровень технологической наследственности металла базовых деталей.

Для машин большой мощности отсутствует возможность лабораторной и натурной проверки их реального функционирования из-за наличия высокой стоимости и других факторов, в том числе и МФ.

Согласно статистической теории МФ [2] количество дефектов в металле возрастает по мере увеличения абсолютных размеров конструкции.

Технологическая теория МФ [3] предполагает, что изготовление отливок сложной формы и слитков большого развеса, их последующая обработка (отделка поверхности, ковка, прокатка, механическая обработка и т.д.) представляют собой сложные процессы, что приводит к неизбежному отклонению от требуемого качества металла массивных деталей. В частности, дефекты стального литья разделяют на естественные или неизбежные, которые возникают при выплавке стали, ее разливке и др.; при затвердевании и охлаждении фасонной отливки или слитка; и технологические, которые возникают из-за нарушения или несовершенства соответствующей технологии. Для массивных отливок характерны недоливы металла, горячие (кристаллизационные, подкорковые и др.) и холодные трещины; плоские трещинообразные (плены, спаи и др.) и объемные (ужимины, песочные засоры, осевая и др. виды пористости) дефекты.

Наследование изъянов слитков металла кованых заготовок также носит разнообразный характер. Причинами разрушения заготовок и деталей могут быть заковы начальных трещин и других дефектов слитков (пористость и др.), недостаточная степень укова, флокены и др.

Технологические схемы производства проката большой толщины могут сохранять недостатки структуры слитков (рослость, голенище, газовые пузыри и др.).

Длительный производственный процесс изготовления заготовок базовых деталей с многочисленными технологическими операциями оказывает влияние на напряженно-деформированное состояние (НДС) металла заготовок. Технологические

напряжения имеют также наследственную природу. В зависимости от воздействия на материал технологического процесса в разных частях крупногабаритной массивной заготовки возникают напряжения различные по величине и по знаку.

Так, очистка фасонных олинок от формовочной смеси производится, в том числе, и электрогидравлическим способом, который по своим технологическим возможностям превосходит все известные промышленные способы, обеспечивает высокую производительность и экономическую эффективность работы оборудования, а главное — коренным образом улучшает условия труда в обрубном цехе литейного производства. Технология основана на использовании высоковольтного разряда, возникающего между специальным электродом и отливкой в жидкости. В результате в жидкости формируются и распространяются волны давления высокой интенсивности и гидравлические потоки (электрогидравлический эффект или ЭГ-эффект), воздействующие на тело отливки, стержни и формовочную смесь. Под влиянием пульсирующих ударов производится не только очистка литья от стержней и формовочных смесей: в теле отливки происходит перераспределение НДС, способствующее не только образованию трещин, но и разрушению отливок.

Под влиянием различных факторов (высокая температура заливки металла, нарушение технологии подвода металла и др.), фасонные разнотолщинные отливки могут иметь различные отклонения от чертежных размеров (кривизну, эллипсность, пропеллерность и др.), которые устраняют на гидравлических прессах, правкой газокислородным пламенем, сваркой. Все эти операции влияют на НДС заготовок и последующую прочность конструкции.

Отливки могут иметь скрытые дефекты, связанные с нарушением технологии сборки стержней, с химической (распределение углерода по телу отливки, неметаллические включения в местах встречи фронтов заливаемого металла) и механической (не расплавившиеся холодильники и др.) неоднородностями основного металла и др. Дефекты такого вида можно обнаружить лишь в процессе последующих операций либо при эксплуатации конструкции. Определение наличия сульфидной и других видов легкоплавких эвтектик, неравномерное распределение серы (вплоть до величины 4-х баллов по шкале Баумана) и карбидов по телу отливки можно произвести лишь путем вырезки образцов из тела деталей.

Проведение предварительной (промежуточной) или заключительной термической обработки массивных крупногабаритных конструкций может оказать значительное влияние на технологическую наследственность металла. Посадка детали в печь

должна производиться не выше определенной температуры, иначе возможен «тепловой» удар с последующим образованием трещины или даже разрушением детали.

Деградация металла возможна и при термообработке «сырых» отливок сложной формы по режиму стали (нормализация или закалка с отпуском) с целью придания металлу требуемых служебных свойств. Эта операция может производиться в течение десятков часов, что вызывает обезуглероживание поверхности заготовок, а сами структурные составляющие по сечению массивной отливки распределяются неравномерно. Достичь полной гомогенизации аустенита по углероду и полного растворения феррита в аустените в металле отливок сложной формы и разной толщины стенок практически невозможно. При температуре термической обработки выше температуры аустенизации происходит рост зерна, возможно окисление границ зерна, в результате чего снижаются твердость и ударная вязкость.

С другой стороны, термическая обработка может вызвать огрубление структур (выражаемое в виде камневидного излома), рост неметаллических включений.

Сама операция закалки среднеуглеродистых легированных сталей может вызвать образование закалочных трещин (особенно, если расположение мартенсита закалки совпадает с местами расположения ликвации серы).

С целью предупреждения значительного изменения формы крупногабаритных деталей с неуравновешенной массой, в процессе кристаллизации и остывания металла принимаются различные меры, среди них — установка стяжек. Однако ужесточение контура может вызвать образование трещин, а после удаления стяжек все же может произойти необратимая деформация детали.

Деградация свойств металла базовых деталей может определяться конструктивными факторами. Конструктивное наследование свойств металла связано с тем, что массивные отливки сложной формы имеют тепловые узлы, состоящие из термически массивных и термически тонких тел. Разная степень жесткости влияет на тепловые потоки. Они, в свою очередь, воздействуют на скорости кристаллизации толстых и тонких сечений отливки, локальное распределение серы, углерода, водорода, формирование НДС и др. Различные скорости охлаждения металла толстых и тонких сечений фасонной отливки приводят к образованию горячих трещин на наружных и внутренних поверхностях изделия. Другие дефекты металла тепловых узлов (внутренние пустоты и др.) могут вызвать разрушение детали в процессе ее эксплуатации.

Конструктивные особенности деталей могут

создавать концентраторы напряжений, влияющие на технологическую прочность. Нам представляется не целесообразным применительно к конструкциям рассматриваемого класса разделять понятия конструкторской и технологической наследственности металла, они представляют единый взаимосвязанный комплекс. В качестве примера можно привести конус засыпного аппарата доменной печи. Его геометрическая форма и масса не позволяют получать боковые стенки равной толщины. Внутри конуса выполняются ребра жесткости, образующие с боковой поверхностью ТУ. В этих местах на наружной поверхности возникают горячие трещины, которые устраняются электродуговой сваркой. При последующих технологических операциях — механической обработке (объем снятия стружки из-за неравномерности боковых стенок носит неравномерный характер, часть поверхности конуса остается необработанной), электродуговой наплавке защитного пояса и др. формируется НДС, что приводит к изменению формы конуса. В результате происходит отрыв ребер жесткости от внутренней поверхности.

По вышеперечисленным и другим причинам потребность в ремонтной сварке конструкций рассматриваемого класса существует на всех этапах их жизненного цикла. К этому следует добавить необходимость восстановления технологического оборудования служб главных — механика и энергетика предприятия — изготовителя, когда из-за давности эксплуатации сложно определить марку основного металла и другие факторы.

Особую сложность представляют ситуации, когда удалить трещину, образовавшуюся в процессе эксплуатации, не представляется возможным. Засверловка концов трещины с целью предупреждения ее дальнейшего развития не всегда действительна. В металле большой толщины магистральная трещина может иметь развитый «язык», при своем движении трещина из вертикального положения может перейти в горизонтальное. В процессе эксплуатации тяжело нагруженного оборудования возможны деформационное и термдеформационное старения металла.

Подходы классической механики разрушения [4] к оценке прочности массивных крупногабаритных конструкций с трещинами могут привести к некорректным результатам. Задача определения НДС массивных деталей из среднеуглеродистых и низкоуглеродистых низколегированных сталей и его влияние на начало движения магистральной трещины по критериям механики разрушения сопряжена со значительными трудностями постановочного и вычислительного характера. Одно дело, когда имеется четко выраженный очаг разрушения базовой детали, носящий плоскостной (скрытые го-

рячие трещины, трещиноподобные дефекты, спаи и др.) или объемный (песочные засоры, дефекты структуры и др.) характеры. Иное дело, когда таких дефектов металлургического происхождения нет. При описании понятия «очаг разрушения» в механике разрушения существуют различные точки зрения (по нашим представлениям около 30), что вызывает методические трудности принятия конструкторско-технологических решений выполнения ремонтной сварки и оценки функциональности конструкций при наличии в них трещин.

Анализ поверхностей базовых деталей, разрушенных в процессе эксплуатации, показывает, что разрушение может иметь интеркристаллический (по границам зерен), транскристаллический (по кристаллитам внутри зерен) и смешанный характер. Межзеренное разрушение носит хрупкий характер, на поверхности трещины при внутризеренном разрушении могут быть ручьи (шевроны) узоры, веер и др., характеризующие квазихрупкое разрушение. Процесс разрушения массивных конструкций не является мгновенным актом. В настоящей работе не рассматриваются так называемые малые (короткие) трещины, их слияние, образование участка рыхления трассы трещины, в том числе и при участии водорода основного металла. При движении магистральной трещины в массивном теле НДС, характер разрушения может непрерывно изменяться, один механизм разрушения может смениться на другой, что значительно затрудняет применение расчетных методов механики разрушения. Создание сквозной трещины в массивной детали происходит в течение длительного времени. К этому следует добавить практически не учитываемый человеческий фактор (опыт и знания конструктора, технолога, рабочего, их психологические качества и пр.). Поэтому считаем феноменологический подход к оценке разрушения металла массивных конструкций в процессе эксплуатации наиболее подходящим. Наши экспериментальные работы по водородному охрупчиванию металла сварных соединений с привлечением аппаратуры, работающей на обнаружении эффекта акустической эмиссии, показали, что гипотеза низкотемпературной ползучести [5] при образовании холодных трещин (развитие повреждаемости по границе зерен по мере накопления деформаций ползучести под действием релаксирующих напряжений) имеет право на существование.

По перечисленным выше и другим причинам выполнение расчетов прочности конструкции выполняется по достижению металла предельного состояния. Неоднородность механических и химических свойств металла отливок, поковок и проката учитывается коэффициентами запаса прочности в зависимости от распределения рабочих напряже-

ний с учетом уровня действующих нагрузок. Данные по механическим свойствам выбираются согласно соответствующим ГОСТ, СНиП, из справочников и другой нормативной документации. Расчеты прочности носят приближенный расчет. Большую помощь может оказать компьютерное моделирование (Calls — технологии).

Считаем целесообразным расширить идеологию «Индустриального кодекса рециклинга ISO 11628–2002», согласно которому все изношенные части машин подлежат восстановлению и повторному использованию, также и на устранение дефектов в металле массивных деталей и для случаев отказа массивных конструкций. Но при этом надо помнить, что конструкторско-технологические решения выполнения ремонтной сварки базовых деталей тяжелого нагруженного оборудования и система принятия решений по выполнению ремонтной сварки в подавляющем большинстве случаев носит априорно-интуитивный характер, основанный на опыте и предпочтении специалистов. Поэтому выполнение ремонтной сварки конструкций индивидуального тяжелого машиностроения является определенным риском.

Для нахождения рациональных решений при разработке технологии ремонтной сварки в условиях неопределенности представлений о фактическом состоянии металла в каждом конкретном случае надо знать предысторию металла конструкции и уметь управлять процессом ремонтной сварки. В этом случае массивные базовые детали, восстановленные с помощью ремонтной сварки, будут работать длительное время, в ряде случаев превышая срок эксплуатации новой детали.

Литература

1. Рыжков Н.И. Производство сварных конструкций в тяжелом машиностроении/ М.: Машиностроение. – 1970. – 382 с.
2. Потак Я.М. Хрупкие разрушения стали и стальных деталей/ Я.М. Потак. М.: Гос. изд. оборон. промыш. – 1955. – 389 с.
3. Манасевич А.Д. Физические основы напряженного состояния и прочности металлов/ А.Д. Манасевич. М-Киев.: Машгиз. – 1962. – 197 с.
4. Механика разрушения и прочность материалов// Справ. пособие: в 4 т. Под общ. ред. акад. АН УССР В.В. Панасюка. – Киев.: Наукова думка. – 1988.
5. Новый инженерный подход оценки склонности к образованию и развитию технологических трещин при сварке и термической обработке/ В.Н. Земзин, А.А. Чижик, А.А. Ланин. Л.: Изд. ЦКТИ. – 1987. – 24 с.

Эффективность применения малоэнергоемких технологий послесварочной обработки металлоконструкций*

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

Малоэнергоемкие технологии составляют основу современного производства развитых стран мира, все большую потребность в них испытывает и Украина. При изготовлении сварных конструкций одной из наиболее энергоемких операций является послесварочная термическая обработка, которую используют с целью снижения остаточных напряжений, улучшения механических свойств и различных служебных характеристик металлоконструкций.

В последние годы наблюдается четкая тенденция расширения применения альтернативных термическому отпуску технологий послесварочной обработки металлоконструкций [1].

Наибольший интерес у специалистов сварочного производства вызывают следующие группы технологий:

- послесварочная обработка металлоконструкций поверхностным пластическим деформированием (прокатка, проковка бойковым инструментом, дробеструйная, ударная, ультразвуковая и др.);
- вибрационная обработка в процессе сварки, после сварки и виброобработка в сочетании с местным нагревом;
- импульсная обработка (электрогидроимпульсная, электродинамическая);
- обработка взрывом.

На основе литературных данных и практического опыта в таблице приведены результаты обобщенной оценки технологической и экономической эффективности различных малоэнергоемких способов послесварочной обработки стальных металлоконструкций. Для сравнения аналогичная оценка выполнена применительно к общему и местному отпуску. В качестве критериев технологической эффективности использованы степени снижения остаточных напряжений, повышения сопротивления усталости, хрупким разрушениям, коррозионной стойкости и стабилизации геометрических размеров. Экономическая эффективность оценивалась по энергетическим и капитальным затратам относи-

тельно производительности и других характеристик.

Наряду с упомянутыми выше показателями оценивалась возможность производственного использования различных способов обработки в условиях цеха, на открытых строительных и монтажных площадках, при выполнении сварочных работ под водой.

Технологическая эффективность. Общий термический отпуск позволяет получить комплекс наивысших значений технологической эффективности за исключением повышения сопротивления усталости (таблица). Местный отпуск по технологической эффективности, как правило, уступает общему.

Среди малоэнергоемких технологий послесварочной обработки наиболее широкое распространение получили способы: дробеструйный наклеп, проковка бойковым инструментом и ультразвуковая обработка. Эти способы характеризуются высокой технологической эффективностью (особенно в части снижения величины остаточных напряжений и повышения сопротивления усталости и коррозии). Показатели их технологической эффективности в основном определяются толщиной и шириной наклепанного слоя в зоне пластических деформаций сварного соединения. Толщина наклепанного слоя при дробеструйной обработке обычно 0,5–0,8 мм, в случае обработки бойковым инструментом может достигать 3,8 мм. Ширина обработанной зоны редко превышает 60 мм.

При ультразвуковой ударной обработке сварных соединений пластическому деформированию подвергают только зону сплавления шва с основным металлом шириной 4–7 мм, в которой образуется характерная канавка глубиной 0,2–0,5 мм.

Критерием оценки эффективности различных способов обработки пластическим деформированием обычно служит микротвердость, измеренная на образцах. Тем не менее, наиболее объективную информацию получают при испытании натуральных образцов или макетов изделий, подвергнутых соответствующей технологической обработке и последующему нагружению. Это относится ко всем упомянутым технологиям обработки.

* Начало в № 1–5 - 2016. Последняя статья серии публикаций

Приведенные в таблице способы обработки повышают сопротивление усталости сварных соединений, однако эффективность их разная и во многом зависит от сочетания вида циклического нагружения и температуры окружающей среды.

Наиболее эффективной, с точки зрения повышения циклической долговечности и пределов выносливости, многие специалисты считают ультразвуковую ударную обработку (высокочастотную механическую проковку) [2, 3].

Послесварочная вибрационная обработка не выделяется высокой эффективностью повышения сопротивления усталости, но имеет неоспоримое преимущество, заключающееся в возможности за один технологический цикл обработать элементы конструкции, обладающие разной жесткостью, в том числе расположенные в зонах недоступных для других инструментов. Последнее относится как к инструментам, используемым для поверхностного пластического деформирования, так и импульсного нагружения. Отметим, что послесварочная виброобработка является весьма эффективным средством повышения размерной стабильности стальных сварных базовых деталей металлообрабатывающего оборудования (станины, основания, стойки и др.), рамных и корпусных деталей энергетического машиностроения, различных деталей судостроения и оборонной техники, в том числе из титановых и алюминиевых сплавов.

Виброобработка в процессе сварки отличается от предыдущей технологии сочетанием нагрева и механического нагружения, а также возможностью влиять на кристаллизацию сварочной ванны. Виброобработка в процессе сварки и наплавки является эффективным средством снижения остаточных напряжений, повышения механических свойств и служебных характеристик (сопротивления усталости, хрупкому разрушению, коррозии), улучшения свариваемости ряда марок сталей.

Определенные достоинства имеет и способ виброобработки, при котором уже сваренную конструкцию подвергают вибронагружению в сочетании с дополнительным местным нагревом сварных соединений [4].

Группа импульсных технологий, анализируемых в таблице, представлена электрогидроимпульсной и электродинамической обработкой.

Сущность электрогидроимпульсной обработки (ЭГИО) заключается в воздействии на напряженные участки конструкции многократными импульсами давления, генерируемыми высоковольтными электрическими разрядами в воде (обрабатываемая конструкция также погружается в воду). Снижение остаточных напряжений происходит в основном вследствие активации возбужденных в ме-

талле волнами напряжений естественных дислокационно-сдвиговых релаксационных процессов. Эти волны могут быть возбуждены в любом месте металлоконструкции путем соответствующей установки электрода.

Технологию ЭГИО используют для стабилизации геометрических размеров, повышения сопротивления конструкций циклическим нагрузкам и коррозионному растрескиванию.

Импульсная электродинамическая обработка (ЭДО) основана на явлении резкого повышения пластичности и снижения сопротивления металла деформированию при воздействии электрического тока высокой плотности.

Под воздействием электродинамических сил в обрабатываемом изделии могут возникать пластические деформации, способствующие релаксации напряженно-деформированного состояния и снижению остаточного коробления.

В настоящее время ЭДО используют для снижения уровня коробления тонколистовых (3–4 мм) металлоконструкций из алюминиевых и магневых сплавов, сталей, повышения их циклической долговечности за счет перераспределения остаточных напряжений.

Технология обработки взрывом сварных соединений обеспечивает перераспределение остаточных напряжений и деформаций, увеличивает коррозионную стойкость в щелочных и других средах, повышает усталостную долговечность металлоконструкций в многоциклового области нагружения.

Дальнейшее повышение эффективности малоэнергоемких способов послесварочной обработки целесообразно осуществлять за счет применения комбинированных по принципам дифференциации и интеграции технологий [5].

Экономическая эффективность. Небольшое потребление энергии при малоэнергоемких технологиях послесварочной обработки является основным, но не единственным их достоинством по сравнению с термическим отпуском. Последнее можно считать корректным при условии, что достигается аналогичный или близкий технологический эффект.

Хотя ни один из рассматриваемых малоэнергоемких способов (таблица) по предложенным критериям не обеспечивает комплексной технологической эффективности, характерной для общего отпуски, многие из них позволяют не хуже термообработки эффективно решать локальные задачи при изготовлении различных типов сварных конструкций. В этих условиях сравнение малоэнергоемких технологий по показателям экономической эффективности (энергозатраты, капитальные затраты, производительность) будет вполне корректным.

Таблица. Технологическая и экономическая эффективность различных способов послесварочной обработки металлоконструкций

Группа технологий	Способ обработки	Технологическая эффективность					Экономическая эффективность					Возможность производственного применения		
		Степень снижения остаточных напряжений	Степень повышения сопротивления усталости	Степень повышения сопротивления разрушению	Степень стабилизации геометрических размеров	Степень повышения коррозионной стойкости	Энергозатраты	Капитальные затраты	Производительность	Универсальность	Мобильность	В условиях цеха	В условиях открытых строительных и монтажных площадок	В условиях проведения работ под водой
Термический высокоотпуск	Общий отпуск	В	С	В	В	В	В	В	Н	В	Н	В	О	О
	Местный отпуск	Н	Н	С	Н	С	В	С	Н	С	Н	В	С	Н
Поверхностное пластическое деформирование (ППД)	Прокатка сварных соединений	С	С	Н	С	С	Н	В	В	Н	Н	В	Н	О
	Дробеструйная обработка	В	С	Н	С	В	С	Н	С	С	В	В	С	О
	Прокатка бойковым инструментом	В	В	Н	С	В	Н	Н	С	С	В	В	В	С
	Ультразвуковая ударная обработка	В	В	Н	С	В	Н	С	С	С	В	В	В	Н
	Ударно-лазерная обработка	В	В	Н	С	В	С	В	Н	С	С	В	Н	Н
Вибрационная обработка (ВО)	ВО после сварки	С	Н	Н	В	Н	Н	Н	В	В	В	В	В	С
	ВО в процессе сварки	В	С	В	С	В	Н	Н	В	В	В	В	В	В
	ВО после сварки с дополнительным местным нагревом	В	С	В	С	В	С	В	С	С	С	В	В	С
Импульсная обработка	Электрогидроимпульсная обработка	С	Н	Н	С	Н	Н	С	С	С	Н	В	Н	С
	Электродинамическая обработка	С	С	Н	С	Н	Н	С	С	Н	С	В	В	Н
Обработка взрывом	Обработка взрывом сварных соединений	В	С	Н	С	В	Н	В	В	Н	Н	Н	С	Н

Примечание: В — высокая (высокие); С — средняя (средние); Н — низкая (низкие); О — отсутствует

При проведении сравнительного экономического анализа необходимо оценивать как стоимость потребленной энергии, так и остальные затраты: амортизацию и ремонт оборудования, трудозатраты, включающие зарплату работников с начислениями налогов. Полученные таким образом суммарные затраты относят к объему обработанной продукции в тоннах или других единицах, получая приведенные затраты.

В ряде случаев существенной составляющей затрат на термообработку для потребителя является стоимость выполнения работ по кооперации, включая цену услуг и транспортные расходы.

Таким образом, составляющими экономического эффекта при внедрении малоэнергоёмких технологий является снижение в 10–12 раз по срав-

нению с термической обработкой капитальных затрат, приведенных технологических затрат, а также расходов на очистку сварных конструкций перед грунтовкой.

Приведенные затраты в случае применения виброобработки согласно [6] составляют 15–28 % общих затрат на термообработку.

По данным ПО «Уралмаш» себестоимость виброобработки одного изделия массой 0,1–100 т в 4–18 раз меньше по сравнению с термической обработкой.

Согласно данным фирмы «Начел машинен унд Векркцейт-Фабрик ГмбХ» (Германия) [6] стоимость термической обработки станины металло-режущего станка массой 14 т составила 1900 дол. США, виброобработки — 730 дол. США.

Важной особенностью применения малоэнер-

гоемких технологий послесварочной обработки является использование мобильного, малогабаритного и легкого оборудования, которое может быть доставлено специализированной фирмой непосредственно заказчику, а сама обработка выполнена ее специалистами. При этом отпадает необходимость в транспортировке тяжелых металлических конструкций.

Путем расчета величины приведенных затрат выбирается оптимальный вариант технологии.

Возможность применения послесварочной обработки в различных производственных условиях. Существует необходимость выполнения сварочных работ в специальных цехах, в условиях открытых строительных площадок, а также под водой. Не все малоэнергоёмкие технологии в одинаковой степени пригодны для этого (таблица). Последнее особенно касается выполнения работ под водой. В мире увеличивается необходимость повышения качества подводной сварки и для этого используют различные приемы, в том числе и послесварочную обработку [7]. Среди вышеупомянутых способов обработки сварных соединений наиболее перспективными являются пневматическая проковка специальным инструментом, виброобработка в процессе сварки и электрогидроимпульсная обработка.

Литература

1. Лашенко Г. И. Центр малоэнергоёмких технологий послесварочной обработки // Сварщик.— 2016.— № 5.— С. 22–24.
2. Дегтярев В. А. Влияние видов упрочняющей обработки сварных соединений на повышение их сопротивления усталости // Проблемы прочности.— 2013.— № 5.— С. 85–103.
3. Кныш В. В., Кузьменко А. З. Повышение сопротивления усталости сварных соединений высокочастотной механической проковкой // Сварщик.— 2005.— № 2.— С. 19–21.
4. Пат. на корисну модель UA 80408. Україна. Спосіб зниження та перерозподілу залишкових напружень / Г. І. Лашенко, Б. В. Юрлов, В. Д. Позняков та інші. Опубл. 27.05.13.
5. Лашенко Г. И., Демченко Ю. В.— Киев: Эко-технология, 2008.— 168 с.
6. Sedek P. Ekonomiczne aspekty stosowania Stabilizacji wibracyjnej // Przegląd spawalnictwa.— 1990.— № 9–11— С. 20–21.
7. Gester P. Höherfrequentes hammern zur Schweissnachbehandlung unter Wasser // Der Praktiker,— 2011.— № 9.— С. 378–380.

● #990

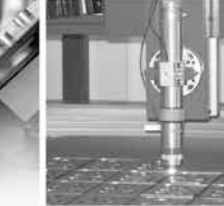
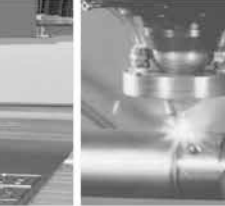


СВАРКА и РЕЗКА

17-я международная специализированная
выставка оборудования, приборов
и инструментов для сварки и резки

4-7.04.2017





ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ
16-я международная специализированная выставка



ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ. ПОКРЫТИЯ
Международная специализированная выставка



МЕТАЛЛООБРАБОТКА
13-я международная специализированная выставка

Беларусь, Минск,
пр-т Победителей, 20/2
Футбольный манеж

Организатор:



МИНСКЭКСПО

Тел.: +375 17 226 98 58
+375 17 226 90 83
Факс: + 375 17 226 98 58
+375 17 226 99 36
E-mail: e_fedorova@solo.by

Генеральный
информационный
партнер:





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) 200 80 88. На Ваши вопросы ответит кандидат технических наук, Международный инженер-сварщик (IWE) Юрий Владимирович ДЕМЧЕНКО.

Возникла необходимость защиты от атмосферной коррозии отреставрированных сваркой чугунных литых металлоконструкций перильного ограждения моста. Расскажите, пожалуйста, что можно применить для такой цели, предпочтительно на монтаже?

Коновалов Е. Г., г. Одесса

Для решения поставленной задачи могут быть использованы способы как горячего, так и холодного оцинкования. Защита изделий из чугуна с помощью горячего оцинкования имеет широкие области применения, в том числе пригодна и для элементов перильного ограждения моста. Однако, она может выполняться лишь поэлементно в производственных условиях и специальных ваннах.

Для проверки эффективности нанесения цинкового диффузионного покрытия в порошковых смесях на чугунные изделия оцинкованию подвергали серый чугун с перлитной основой и ковкий чугун, используя для этого смесь из цинковой пыли (пудры) с 25-ю% речного кварцевого песка. Процесс выполняли при разных температурах и продолжительности времени по технологии, принятой для малоуглеродистой стали.

Одновременно с образцами из чугунов испытывали и образцы из малоуглеродистой (0,2% C) и эвтектоидной (У8) сталей.

Результаты исследований по установлению зависимости толщины слоя покрытия от температуры оцинкования при постоянной продолжительности (в течение 4-х часов) показали, что серый чугун с перлитной основой оцинковывается аналогично стали У8, но несколько медленнее, чем малоуглеродистая сталь.

Для получения на сером чугуне и эвтектоидной стали У8 покрытий такой же толщины, как и на малоуглеродистой стали, необходимо процесс оцинкования вести при более высокой температуре. Установлено, что при температурах 480–540 °C покрытие на чугунах получается более равномерным и сплошным, чем при 380–420 °C. При температурах ниже 500 °C на оцинкованной поверхности

изделий местами наблюдаются черные точки. Это, по-видимому, связано с наличием в сером чугуне структурно свободного углерода — графита, препятствующего равномерному образованию покрытия при более низких температурах.

На рис. 1 приведена микроструктура серого и ковкого чугунов, оцинкованных при 500 °C, на рис. 2 — микроструктура того же серого чугуна, но оцинкованного при 420 °C. Как видно из рис. 2, в цинковом покрытии, полученном на сером чугуне при 420 °C, имеются включения графита. В покрытиях, полученных при 500 °C на сером и особенно ковком чугуне, такие включения практически отсутствуют. Следовательно, при более высоких температурах оцинкования происходит интенсивная взаимная диффузия железа и цинка, способствующая образованию покрытия из железоцинкового сплава без графита. Это дает возможность получить однородное и сплошное покрытие, внешне ничем не отличающееся от цинкового покрытия на стали.

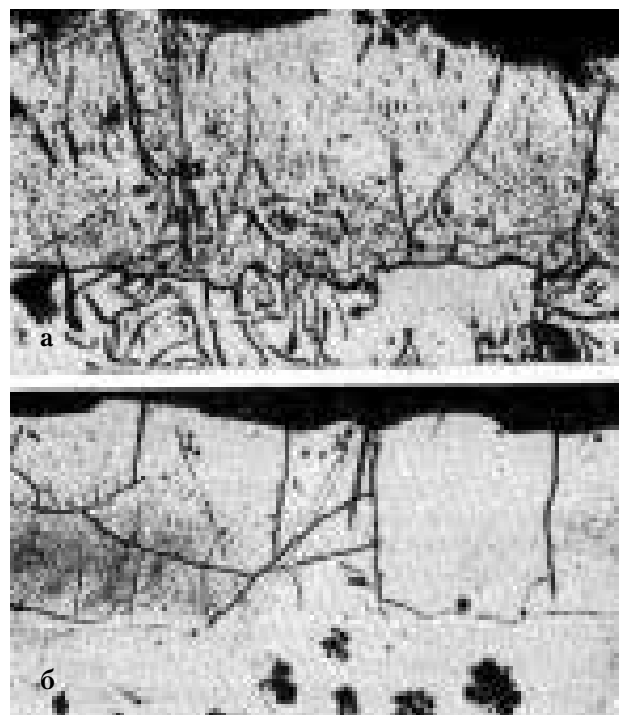


Рис. 1. Микроструктура серого (а) и ковкого (б) чугунов, оцинкованных при 500 °C



Рис. 2. Микроструктура серого чугуна оцинкованного при 420 °С

Отрицательное влияние на процесс горячего оцинкования могут оказать лишь остатки формовочной смеси лакокрасочных покрытий и других поверхностных загрязнений.

Как альтернативу горячему оцинкованию можно предложить тонкопленочное цинковое покрытие Zinga. Покрытие Zinga высокоэффективно защищает железо от коррозии, обеспечивая достоинства двух хорошо известных способов защиты: горячего оцинковывания и покраски. Оно обладает преимуществами, характерными и свойственными только ему и сегодня, считается высокоактивным защитным покрытием для всех черных металлов. Процесс его нанесения сопоставим с нанесением цинкосодержащих красок. Сферы применения этого покрытия включают защиту совершенно новых промышленных изделий; используются как в массовом производстве, так и в поверхностном или местном ремонте поврежденных участков. Zinga восстанавливает поврежденные участки ранее оцинкованных поверхностей.

Сравнение зинганизации с горячим оцинковыванием. Очень высокий уровень чистоты (99,995 %) и содержание (+ 96 %) цинка, структурная плотность частиц цинка в порошке, а также специфические смолы действительно определяют способность покрытия Zinga к созданию гальванической пары (функция катода), что идентично обычной гальванизации с применением цинка.

Покрытие Zinga действует в электролитическом растворе (морская вода и т.д.) как анод (расходный анод) и защищает стальную поверхность (катод) до тех пор, пока не израсходуется цинк. Этот механизм защиты аналогичен защите, которую дает горячее оцинковывание. Поскольку вначале покрытие Zinga имеет пористую структуру, то оно «цементируется» под воздействием влаги и кислорода. Вокруг каждой частицы цинка образуются его соли, которые заполняют так называемые поры, создавая защитный от окружающей среды верхний слой. Этот процесс начинается с поверхности и затем проникает на определенную глубину. Раз-

деляющий слой не допускает диффузии воды и загрязняющих материалов вглубь покрытия Zinga. Следовательно, активный цинк на поверхности постепенно теряет функцию катодной защиты. Тем не менее, этот слой сохраняет свои защитные свойства. На этой стадии покрытие Zinga выступает как цинкосодержащая краска с особыми свойствами. Уплотненный слой, в свою очередь, защищает нижние, выступающие в качестве катода слои. Более того, однажды «сцементированное» покрытие Zinga обеспечивает особую устойчивость к механическому воздействию.

Срок эксплуатации. Покрытие Zinga сохраняет свои защитные свойства в течение такого же периода времени, как и полученное в процессе горячего оцинковывания покрытие: это касается и толщины слоя и атмосферных условий. Ржавчина появляется только после того, как утрачивается цинк. Возможен поверхностный ремонт покрытия благодаря особым свойствам этого материала, поскольку происходит полное смешивание старого и нового слоев. Поэтому почти исключается подготовка поверхности, подлежащей ремонту.

Сцепление. Покрытие Zinga не отслаивается, наоборот, оно образует электрохимическое соединение с металлом, на который нанесено.

Устойчивость к механическому воздействию. Механические повреждения не приводят к коррозии, за исключением случаев сильных повреждений. Места повреждений покрываются белым слоем солей цинка, который в течение определенного периода времени обеспечивает антикоррозионную защиту. Срок действия катодной защиты зависит от толщины слоя цинка, оставшегося в месте повреждения, под слоем цинка не происходит окисления. Потребитель может произвести простое покрытие поврежденного участка («повторное нанесение»).

Температурный диапазон. Покрытие Zinga может в течение продолжительного времени выдерживать температуру от -40 до $+120$ °С, даже $+160$ °С и более (в этом случае только в течение короткого периода времени).

Покрытие Zinga выдерживает термическое расширение и сжатие без повреждений, механическую деформацию без каких-либо последствий.

Отличия и преимущества по сравнению с обычным оцинковыванием.

Покрытие Zinga может наноситься на влажную поверхность без какого-либо влияния на ее защитные свойства. Исследования показали как это происходит на практике. Влага, сохраняющаяся на неровной поверхности металла, выталкивается. Это значит, что Zinga может использоваться там, где

влажная среда и возможна конденсация. Покрытие может наноситься на поверхности, ранее подвергавшиеся оцинкованию, без всякого риска отслаивания.

Чтобы получить эффективное защитное покрытие достаточно промыть поверхность водой и очистить ее металлической щеткой. Пескоструйная обработка необходима только при наличии старой краски, жира, масел, ржавчины, солей или кислот.

После полного исчезновения солей цинка или свободного электролитического цинка на поверхности, благодаря своему специфическому свойству полного «слияния» старого слоя с новым, покрытие Zinga обеспечивает повторное оцинковывание без дорогостоящей подготовки поверхности (такой как пескоструйная обработка перед горячим оцинковыванием). Пользователь может производить повторное оцинковывание после удаления солей цинка водой. Это позволяет ему, не производя демонтаж, значительно экономить силы, время и средства.

При горячем оцинковывании часто возникает проблема хорошей адгезии по всей поверхности. С покрытием Zinga проблем не бывает: качество сцепления гарантируется.

Сравнение Zinga с краской. Несмотря на высокую плотность и содержание в сухом покрытии более 96-ти% чистого цинка, Zinga является жидкостью и может наноситься кистью, валиком, красочным пистолетом, пульверизатором или методом окунания.

Малый диаметр частиц цинка позволяет получить совершенно сухое и ровное, без сгустков, покрытие. Сильное сцепление цинка с попаданием в микропоры защищаемого металла осуществляется на уровне взаимодействия цинка с металлом поверхности.

Zinga—это состоящий из одного компонента продукт. Поэтому нет оснований для плохого смешивания компонентов или длительных сроков сушки.

Специальный разбавитель Zinga Solv позволяет подобрать вязкость Zinga исходя из способа его нанесения (для кисти или красочного пистолета). Тем не менее, в сухом слое покрытия Zinga будет содержаться более 96 % цинка. В зависимости от количества добавленного разбавителя толщина покрытия уменьшится.

Жидкая консистенция продукта Zinga при нанесении кистью позволяет равномерно распределять Zinga по поверхности.

Натяжение в углах и на краях поверхностей, покрытых Zinga, требует нанесения, по меньшей мере, двух слоев Zinga (даже трех в особых

случаях, когда поверхность подвергается сильной коррозии).

Zinga может использоваться и для автоматического нанесения.

Нанесение покрытия в небольшом замкнутом пространстве требует надлежащей вентиляции, которая обеспечивает полное испарение разбавителя, что необходимо для «цементирования» покрытия. В таких случаях рекомендуется использование традиционной защиты органов дыхания.

Различие в плотности цинка, с одной стороны, связующего агента и растворителя с другой – является для цинкосодержащего продукта более важным фактором, чем для обычной краски. Поэтому перед нанесением покрытия Zinga требуется получить абсолютную однородность. В противном случае, в сухом слое покрытия Zinga будет содержаться менее 96-ти% цинка, оно утратит особенности гальванической пары и специфические катодные свойства, превратившись в обычную цинкосодержащую краску.

Отличия и преимущества по сравнению с цинкосодержащими красками.

Интенсивность и плотность микрочастиц цинка в сухом слое (около 96 % цинка в сухом покрытии), большое количество электрических контактов между этими частицами объясняют высокую электропроводность и катодные свойства Zinga.

Распредившись по поверхности, Zinga быстро высыхает (в течение менее 10 минут). Процесс высыхания ускоряется при нанесении Zinga на слегка подогретую или находящуюся на солнце поверхность. Второй слой можно наносить примерно через 2 часа. Механическое отверждение наступает между 24-мя и 48-ю часами, чему способствует полное испарение разбавителя. Это дает возможность при необходимости наносить на Zinga другой материал (рекомендуется всегда проводить испытание на совместимость).

Свойства большого поверхностного натяжения, однородного распределения по поверхности, быстрого высыхания позволяют наносить покрытие Zinga на вертикальные и сильно наклоненные поверхности. Подтеки или пузырчатость исключаются (при соблюдении инструкции для разбавителя).

Одним из основных достоинств Zinga является возможность нанесения его на слегка коррозированную поверхность. Для получения хорошего сцепления достаточно тщательной очистки поверхности металлической щеткой или струей воды под высоким давлением. Требуют предварительной очистки лишь масляные пятна, окалина и соли на поверхности.

Другим важным преимуществом Zinga является

возможность его нанесения на влажную поверхность. Большая часть молекул воды испаряется вместе с разбавителем при высыхании.

Покрытие Zinga не токсично и получило сертификат качества BS, разрешающий его использование в сферах, где имеется непосредственный контакт с питьевой водой.

В случае перерывов в работе никаких проблем со сцеплением старого затвердевшего и нового слоев не возникает. При использовании же обычных красок это вызывает серьезные затруднения.

Несмотря на первое впечатление, будто ранее окрашенное какой-нибудь краской покрытие Zinga теряет свою способность к слиянию, при повторном нанесении Zinga спустя много лет, оно по-прежнему является самым эффективным материалом для грунтовки, поскольку:

- эта грунтовка гарантирует активную катодную защиту. Нет никакого другого, столь эффективного пассивного защитного покрытия;
- покрытие Zinga (при нанесении в качестве грунтовки) сохраняет свои активные защитные свойства: при повреждении верхнего слоя, Zinga сразу же начинает действовать и останавливает коррозию;
- в том случае, если пользователь однажды потратил средства на выполнение пескоструйной обработки и желает надолго защитить от ржавления эту поверхность, то активная защита будет единственно уместной;
- применение системы «дуплекс» гарантирует общий срок эксплуатации двух систем защиты вместе, умноженный на показатель от 1,5 до 2,5. Срок эксплуатации покрытия Zinga (Zinga в качестве грунтовки) + срок эксплуатации верхнего слоя покрытия = N. Срок эксплуатации N надо умножить на 1,5–2,5, тогда получится общий срок эксплуатации системы «дуплекс»;
- при необходимости повторного оцинковывания поверхности, ранее защищенной «дуплекс» системой, для удаления верхнего слоя потребуются только легкая поверхностная пескоструйная обработка. Покрытие Zinga сохранит при этом свою активность и сцепление с металлической поверхностью. Zinga будет защищать основу от коррозии и при пескоструйной обработке, в процессе которой лучше пожертвовать частью Zinga. При пескоструйном удалении нейтральной краски, ранее нанесенной непосредственно на слой Zinga, есть риск снижения эффективности и устойчивости покрытия к механическим повреждениям вследствие уменьшения толщины слоя Zinga, вызванного интенсивной пескоструйной обработкой.

Покрытие Zinga обеспечивает катодную защиту сварных швов. Можно производить сварку стали покрытой Zinga без всякого риска, связанного с пористостью сварного шва. Это не относится к кракам, которые отрицательно влияют на качество сварного шва, делая его пористым. Благодаря высокому содержанию чистого цинка (96%) и низкому содержанию смол (4%) покрытие Zinga обеспечивает беспроблемную сварку.

Сравнение зинганизации с металлизацией.

С одной стороны, покрытие Zinga обладает достоинствами и характерными чертами покрытия, получаемого в процессе горячего оцинковывания. С другой — покрытие Zinga несет гальванический потенциал, обеспечивает катодную защиту, что равнозначно металлизации.

Металлизация по сравнению с покрытием Zinga имеет несколько существенных недостатков, один из основных — требование наличия чистой поверхности (обработка класса Sa 3 абразивным материалом без увлажнения).

Покрытие Zinga может наноситься на поверхность, обработанную до класса Sa 2,5 (в соответствии со шведским стандартом SIS 055900 необходимо, чтобы поверхность была очищена от загрязнений, включая краску, жир, соли, соли цинка и окислы, шероховатость 12,5–15 мкм, допускается наличие влаги на поверхности). Между пескоструйной обработкой и нанесением покрытия Zinga может пройти несколько дней.

При металлизации рекомендуется оставлять не оцинкованными примерно по 5 см до мест сварки, чтобы исключить воздействие цинка на качество сварных швов. Сварка на покрытии Zinga возможна.

Зинганизация может осуществляться с помощью автоматических установок, например при нанесении внутри тоннельных систем. При металлизации это исключается.

Стоимость зинганизации и металлизации.

Покрытие Zinga на 30–40 % дешевле стоимости металлизации с такой же толщиной слоя, но обеспечивает больший срок эксплуатации.

Все приведенные выводы и преимущества способа основаны на выводах и информации, полученной при проведении нескольких лабораторных испытаний, например, в университете Гента (Бельгия), в лаборатории технологии материалов Фулмер (Великобритания) и FMFA (Германия).

Подготовлено по материалам ZingaMetall.

www.zinga.ua

Полуаддитивный метод и оборудование для изготовления медной фольги, применяемой в производстве гибких печатных плат

В.А. Васильев, ОАО «Институт «Гипроцветметобработка» (Москва)

В институте «Гипроцветметобработка» разработан технологический процесс получения многослойных и полосчатых материалов методом испарения и конденсации металлов в вакууме, имеющий существенные преимущества перед способами прокатки и гальванического осаждения покрытий.

Для создания микроэлектронной аппаратуры требуются материалы с улучшенными физико-механическими и электрическими свойствами, техническими характеристиками, обеспечивающими повышенную разрешающую способность печатных схем, массовость, экономичность и высокое качество изготовления. Таким материалом является медная фольга толщиной до 5 мкм. Фольгу выпускали на несущей медной или алюминиевой подложке (протекторе), которая предохраняла фольгу при хранении, транспортировке и облегчала проведение с ней дальнейших технологических операций.

Принцип, лежащий в основе всех аддитивных методов, состоит в том, что проводники наносятся непосредственно на изоляционное основание платы или на диэлектрик, покрытый очень тонким слоем меди. В зависимости от характера и последовательности операций получения токопроводящего рисунка различают два технологических процесса изготовления печатных плат.

1. Аддитивный метод: проводник наносится на диэлектрик на всю его поверхность избирательным химическим осаждением. Однако этот процесс не нашел широкого распространения, поскольку еще не найдены способы создания достаточно высокой адгезионной способности диэлектриков.

2. Полуаддитивный метод: на диэлектрик наклеивается тонкий слой фольги до 5 мкм на протекторе и лента разрезается на карты 550x550 мм. При этом протектор отделяется от наклеенной фольги. Затем на фольгу наносится фотослой и на эту поверхность экспонируется схема платы, которая гальваническим осаждением наращивается до требуемой толщины меди, а её слой в просветных местах вытравливается, и плата готова. В нашу программу производства фольги входит выпуск

фольги толщиной 5 мкм на алюминиевом протекторе.

Комплекс оборудования для второго метода включает:

1. Линию обезжиривания алюминиевого протектора толщиной 0,12 мм и шириной 550 мм (рис. 1), диаметром рулона 700 мм на шпуре диаметром 200 мм.

2. Станок для крацовки алюминиевого протектора (рис. 2).

Крацовка – операция подготовки поверхности алюминиевого протектора перед нанесением на



Рис. 1. Монтаж линии обезжиривания алюминиевого протектора

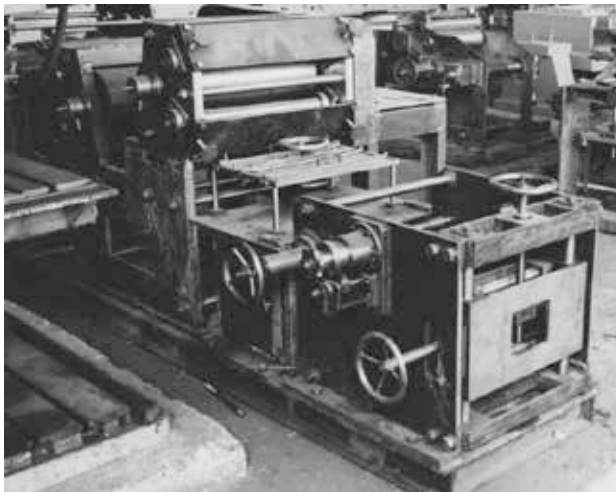


Рис. 2. Станок для крацовки алюминиевого протектора

него покрытия в вакууме, обеспечивает снятие с поверхности протектора окисной пленки, жировых и прочих загрязнений.

Крацовка алюминиевого протектора заключается в механической обработке его поверхности последовательно двумя цилиндрическими вращающимися щетками из стальной и бронзовой тонких проволок. Щетки вращаются навстречу движению протектора со скоростью 2350 об./мин. При этом протектор огибает гладкий цилиндрический барабан, который служит опорой для протектора и охлаждает его.

3. Вакуумную установку для получения 5 мкм медной фольги на алюминиевом протекторе (рис. 3).

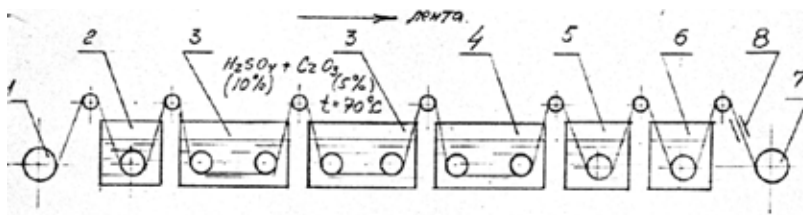
4. Линию нанесения гальваностойкого покрытия на медную 5 мкм фольгу на алюминиевом протекторе (рис. 4).

На схеме рис. 4: 1 – разматыватель; 2 – ванна декапирования; 3 – ванна горячего травления; 4 – ванна



Рис. 3. Вакуумная установка для получения 5 мкм медной фольги на алюминиевом протекторе

Линия нанесения гальваностойкого покрытия на медную фольгу



- | | |
|-----------------------------|-------------------------------|
| 1- разматыватель | 4- ванна гальваност. покрытия |
| 2- ванна декапирования | 5- ванна пассивирования |
| 3- ванна горячего травления | 6- ванна промывки |
| | 7- наматывающее устройство |
| | 8- сушка |

Рис. 4. Схема линии нанесения гальваностойкого покрытия на медную 5 мкм фольгу

гальваностойкого покрытия; 5 – ванна химического пассивирования; 6 – ванна промывки; 7 – наматывающее устройство; 8 – сушка.

В институте «Гипроцветметобработка» создана технология и оборудование для производства высококачественной ультратонкой медной фольги на алюминиевом протекторе для производства печатных плат с высокой плотностью монтажа компонентов микросхем, позволяющих изготавливать внутренние и наружные слои многослойных высоконасыщенных печатных плат с разными типами диэлектриков. Такая 5 мкм фольга на алюминиевом протекторе в рулонах поставлялась на заводы системы «ИЗОЛИТ», которые и производили печатные платы.

Применение диэлектриков, фольгированных медной фольгой толщиной 5 мкм на алюминиевом протекторе, экономит дефицитную медь в процессе травления печатных плат, уменьшает загрязненность при значительном упрощении систем управления технологическими процессами их изготовления и снижает стоимость изготовления печатных плат. Подобные диэлектрики могут быть использованы для создания традиционных печатных плат взамен электролитической фольги толщиной 17,5 и 35 мкм, с повышением качественных характеристик изделий за счет возможности увеличения плотности монтажа. Это обстоятельство делает их универсальными и открывает широкие возможности в варьировании технологических процессов создания печатных плат. Тем не менее, оставался нерешенным вопрос исключения «мокрых» стадий процесса: наличие гальванических ванн, стоков и их очистки и т.д.

Для получения шероховатой поверхности 5 мкм медной фольги было разработано вакуумное устройство для обработки ее поверхности нанесением электродуговым испарителем шероховатого слоя меди (рис. 5 и рис. 6).

Вакуумные методы осаждения покрытий, осно-

вываемые на процессах испарения и конденсации, выгодно отличаются от других методов высокой производительностью, практически неограниченной возможностью управлять структурой и физико-механическими свойствами покрытий. Паровая фаза не имеет ограничений по взаимной растворимости компонентов. Одновременно испарение нескольких металлов, смешивание их паровых потоков с последующей конденсацией позволяет получать различные сочетания материалов покрытий, что практически неосуществимо другими методами.



Рис. 5. Вакуумная установка с электродуговым испарителем

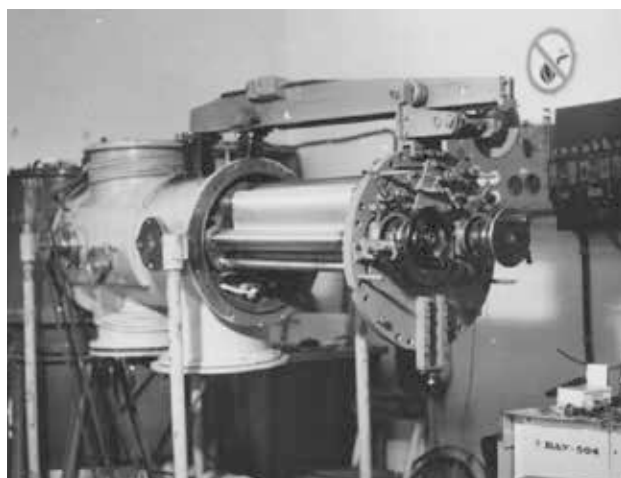


Рис. 6. Заправка алюминиевого протектора с медным 5 мкм покрытием

Одним из путей повышения производительности способа нанесения покрытий, является интенсификация процесса испарения и конденсация металлов в вакууме. С этой целью нами был применен устойчивый дуговой разряд для испарения материала покрытия, характеризующийся высокой концентрацией тепловыделения на поверхности электродов. В вакууме дуговой разряд горит в среде испарившегося материала электрода. Основная энергия разряда выделяется в области катодных пятен, перемещающихся со скоростью до 10^4 см/с при плотности энергии в их области до 10^7 Вт/см². Исследования показали, что в области катодных пятен материал электрода испаряется в ионно-атомарном состоянии с примесью мелкодисперсной фракции, поскольку испарение материала имеет взрывоподобный характер. Ожидается, что при осаждении испаренного из-за дугового разряда материала его адгезия будет выше, чем при термическом испарении, т.к. ионная составляющая потока ускоряется при приближении к мишени. Кроме того, наличие мелкодисперсной

фракции создает микрорельефную поверхность, повышающую адгезию к ней наносимых покрытий в дальнейшем. Еще одно преимущество электродугового испарения в том, что излучение не превышает 10-15 % от энергии, выделившейся в дуговом промежутке. Вследствие этого разогрев материала протектора незначителен.

Таким образом, с помощью линейного электродугового испарителя наносили медные покрытия на рулоны алюминиевого протектора. Дуговой разряд зажигали при токе 250-350 А и напряжении на дуге 22-26 В, что соответствовало 5,0-8,5 кВт. Длительность напыления на данный участок (нагревался за счет излучения) регулировалась скоростью вращения опорного барабана, на который был намотан рулон. В процессе экспериментов проводили также напыление одновременно двумя дугами, что существенно повышало равномерность нанесенного покрытия, однако при этом выделенная мощность увеличивалась в два раза. Подаваемое на двигатель напряжение 30; 50; 60 В соответствовало скорости продвижения протектора 1,1 м/мин, 1,8 м/мин, 2,35 м/мин.

Было также отмечено, что в ходе экспериментов соприкосновение напыляемого участка с охлаждаемым роликом не отводило от него тепло полностью. Для полного охлаждения протектора после одного цикла напыления рулон протектора перематывался «туда-обратно». Поэтому при совершенствовании конструкции наматывающего устройства в дальнейшем необходимо предусмотреть искусственное охлаждение барабанов устройства.

На основе проведенных экспериментов были получены такие результаты:

1. На медное покрытие на алюминиевом протекторе нанесено медное шероховатое покрытие при помощи линейного электродугового испарителя.
2. При режиме горения дуги $I = 300-350$ А, $U = 22-26$ В и скорости протяжки протектора 1,8 м/мин не наблюдается коробление протектора. Напыление проводилось со скоростью 2,35 м/мин. При этом, покрытие наносилось в течение 10-разовых перемоток протектора. Толщина полученных покрытий до 3 мкм. При одновременно горящих двух дугах и скорости ленты 2,35 м/мин коробление не наблюдается.

Вакуумные методы нанесения покрытий позволяют управлять составом, структурой, чистотой обработки поверхностных слоев материала, их химическими и физическими свойствами. Исследования, проведенные в ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ, показали, что с помощью электронного луча в вакууме можно получать покрытия с широким диапазоном эксплуатационных характеристик.

Календарь выставок на 2017 г.

Международные

Дата	Место проведения	Название выставки	Тематика	Организатор, контакты
28.03–30.03	Кельце, Польша	Welding Kielce	Международная выставка технологий сварки и сварочного оборудования	www.targikielce.pl
04.04–07.04	Сингапур, Сингапур	MTA – MetalAsia 2017	21-я выставка по производству и обработке металлов	www.singaporeexpo.com.sg
04.04–07.04	Лион, Франция	INDUSTRIE Lyon 2017	7-я Лионская национальная выставка промышленного производства и оборудования	www.eurexpo.com
04.04–07.04	Минск, Беларусь	Металлообработка-2017	13-я международная специализированная выставка	ЗАО «МинскЭкспо» тел.: + 375–17–226 91 93 E-mail: metall@minskexpo.com www.metalworking.minskexpo.com/
04.04–07.04	Минск, Беларусь	Сварка и резка – 2017	17-я международная специализированная выставка	ЗАО «МинскЭкспо» тел.: + 375–17–226 98 58 E-mail: e_fedorova@solo.by www.minskexpo.com
09.05–12.05	Прага, Чехия	For Industry – 2017	Международная выставка машиностроительных технологий, сварки и резки	www.forindustry.cz
15.05–19.05	Москва, Россия	Металлообработка 2017	18-я международная специализированная выставка оборудования, приборов и инструмента для металлообрабатывающей промышленности	www.expocentr.ru
17.05–20.05	Бухарест, Румыния	Metal Show 2017	Международная выставка металлообработки, сварки и робототехники	www.metalshow.ro т. +40 734 660 673
17.05–20.05	Милан, Италия	Lamiera-2017	Выставка машин и оборудования для обработки листового металла и сварки	www.lamiera.net
18.05–21.05	Пусан, Южная Корея	BUTECH 2017	8-я международная выставка производственных технологий машиностроения	www.bexco.co.kr
23.05–26.05	Минск, Беларусь	Белорусский промышленный форум 2017	21-я международная специализированная выставка	Республика Беларусь, пр. Победителей, 20/2, футбольный манеж
23.05–26.05	Нитра, Словакия	Eurowelding-2017	23-я международная выставка сварки и сварочных технологий	www.tradefairdates.com
06.06–09.06	Познань, Польша	ITM Poland 2017	Международная выставка промышленных технологий и оборудования для сварки	www.itm-polska.pl
13.06–16.06	Шанхай, Китай	METAL + METALLURGY CHINA 2017	Международная выставка металлургической и металлообрабатывающей промышленности	www.sniec.net
27.06–30.06	Шанхай, Китай	BEW 2017	22-я международная выставка сварки и резки	www.exponet.ru
18.09–23.09	Эссен, Германия	SCHWEISSEN & SCHNEIDEN 2017	19-я международная выставка сварки, резки и обработки поверхностей	www.messe-essen.de
25.09–29.09	Дюссельдорф, Германия	SCHWEISSEN & SCHNEIDEN 2017	Крупнейшая международная выставка по сварке и резке	www.zukunft-personal.de
03.10–06.10	Тегеран, Иран	TIIE – 2017	17-я Тегеранская международная промышленная выставка	www.iranfair.com
07.11–10.11	Штутгарт, Германия	SCHWEISSTECH 2017	6-я международная специализированная выставка по сварке	www.messe-stuttgart.de
30.11–03.12	Бурса, Турция	Bursa Sheet Metal Processing Technologies Fair 2017	Международная выставка технологий обработки металла	www.tuyap.com.tr

Календарь выставок на 2017 г. Россия

Дата	Место проведения	Название выставки	Тематика	Организатор, контакты
15.02-17.02	Набережные Челны, ВЦ «Экспо-Кама»	XII Камский промышленный форум – 2017	XII специализированная международная выставка	ООО «Экспо-Кама» www.kampromforum.ru
01.02-03.02	Красноярск, МВДЦ «Сибирь»	Металлообработка и сварка – 2017	Выставка машиностроения, металлообработки, литья, сварки	МВДЦ «Сибирь» www.krasfair.ru
22.03-24.03	Уфа, ВДНХ-ЭКСПО	Российский промышленный форум	Специализированная промышленная выставка машиностроения, сварки	ООО «Башкирская выставочная компания» www.bvkexpo.ru
28.02-02.03	Москва, ЦВК «Экспоцентр»	Экспо Контроль 2017	Специализированная выставка методов и технологий измерений, испытаний и контроля качества	Экспоцентр на Красной Пресне www.rual-interex.ru
21.03-24.03	Пермь, ВЦ «Пермская ярмарка»	Металлообработка. Сварка – 2017	17-я специализированная выставка современных технологий, оборудования, материалов для сварочного производства	Пермская ярмарка www.expometcher.ru
14.03-16.03	Санкт-Петербург, КВЦ «ЭКСПОФОРУМ»	Петербургская техническая ярмарка (ПТЯ)	Металлургия. Литейное дело. Металлообработка. Машиностроение	ГП «РЕСТЕК®» www.ptfair.ru
25.04-28.04	Санкт-Петербург, КВЦ «ЭкспоФорум»	Сварка/Welding 2017	18-я международная выставка-конгресс по сварке, резке и родственным технологиям	Компания «ЭкспоФорум-Интернэшнл» www.expoforum-center.ru
28.03-31.03	Новосибирск, МВК «Новосибирск Экспоцентр»	Mashex Siberia - 2017	Выставка оборудования для металлообработки и сварки	Компания «ИТЕ Сибирь» www.mashex-siberia.ru
15.05-19.05	Москва, ЦВК «Экспоцентр»	Металлообработка-2017	18-я международная специализированная выставка «Оборудование, приборы и инструменты для металлообрабатывающей промышленности»	Экспоцентр на Красной Пресне www.exposentr.ru
05.06-08.06	Москва, ЦВК «Экспоцентр»	Трубы России-2017	Международная выставка трубной промышленности и трубопроводов	Экспоцентр на Красной Пресне www.exposentr.ru
05.06-08.06	Москва, ЦВК «Экспоцентр»	Металлургия-Лит-маш-2017	Международная выставка машин, оборудования, технологий и продукции металлургической промышленности	Экспоцентр на Красной Пресне www.exposentr.ru
05.06-08.06	Москва, ЦВК «Экспоцентр»	Алюминий/Цветмет-2017	Международная выставка по алюминию, цветным металлам, материалам, технологиям и продукции	Экспоцентр на Красной Пресне www.exposentr.ru
05.06-08.06	Москва, ЦВК «Экспоцентр»	Металлоконструкции 2017	Специализированная выставка участников рынка металлоконструкций РФ	Экспоцентр на Красной Пресне www.exposentr.ru
04.09-06.09	Санкт-Петербург, КВЦ «ЭкспоФорум»	Российский промышленник 2017	Международный промышленный форум	Компания «ЭкспоФорум-Интернэшнл» www.expoforum-center.ru
18.09-20.09	Москва, ЦВК «Экспоцентр»	Термообработка-2017	Международная специализированная выставка технологий и оборудования для термообработки	Экспоцентр на Красной Пресне www.exposentr.ru
19.09-21.09	Челябинск, ТРК «Гагарин Парк»	Техно Экспо – 2017	Специализированная выставка машиностроения, металлообработки, сварки	Южно-Уральский КВЦ «Экспочел» www.exposchel.ru
10.10-13.10	Москва, КВЦ «Сокольники»	Weldex/Россварка – 2017	17-я международная выставка сварочных материалов, оборудования и технологий	Выставочный холдинг MVK Компания «Элсвар» www.weldex.ru
23.10-26.10	Москва, ЦВК «Экспоцентр»	ТЕХНОФОРУМ-2017	Международная специализированная выставка «Оборудование и технологии обработки конструктивных материалов»	Экспоцентр на Красной Пресне www.exposentr.ru
24.10-26.10	Москва, МВЦ «Крокус Экспо»	Mashex Moscow	20-я Международная выставка оборудования для обработки металлического профиля, труб и производства металлоизделий	МВЦ «Крокус Экспо» www.crocus-expo.ru www.mashex.ru
14.11-17.11	Москва, ВДНХ	Металл-Экспо – 2017	23-я международная промышленная выставка	www.metal-expo.ru
06.12-08.12	Казань, ОАО «Казанская ярмарка»	Машиностроение. Металлообработка. Казань	17-я международная специализированная выставка	ОАО «Казанская ярмарка» www.expomach.ru
06.12-08.12	Казань, ОАО «Казанская ярмарка»	TechnoSварка – 2017	12-я специализированная выставка	ОАО «Казанская ярмарка» www.svarkaexpo.ru

25-28
АПРЕЛЯ
2017

**18-я международная
выставка-конгресс по сварке, резке
и родственным технологиям**

СВАРКА/ WELDING 2017

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
КОНГРЕССНО-
ВЫСТАВОЧНЫЙ
ЦЕНТР
ЭКСПОФОРУМ
ПАВИЛЬОН Н**



ufi
Approved
Event



ЭКСПОФОРУМ
Санкт-Петербург
Петербургское шоссе, 64/1
тел. +7 (812) 240 40 40, доб. 2152, 2153
WWW.WELDING.EXPOFORUM.RU

12+



ОРГАНИЗАТОР

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ
МЕДИАПАРТНЕР

ПАРТНЕРЫ
ВЫСТАВКИ

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ
ИНФОРМАЦИОННЫЙ
ПАРТНЕР

EXPOFORUM



Мир сварки

Т-34 — лучший танк XX века*

Мазур А. А., канд.экон.наук, Снежко В. И., ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ (Киев)

1. Т-34 в истории второй мировой войны

В 1945 г. на вопросы журналистов, какое оружие Второй мировой войны он хотел бы отметить особо, У. Черчилль ответил: «Английская линейная пушка, немецкий самолет «Мессершмитт», русский танк Т-34».

Танк Т-34 был спроектирован в Харькове в 1937 г. КБ при Харьковском танковом заводе (ныне завод им. Малышева) под руководством М. И. Кошкина и являлся новым словом в танкостроении. Впервые удалось в одной машине объединить мощность орудийного огня, прочность бронированного корпуса, скорость и маневренность. Отличительными чертами танка стали скошенная под углом броня, от которой рикошетила снаряды противника, надежный и экономный дизельный двигатель вместо работающего на бензине, что втрое увеличило пробег машин с одной заправки.

Танковая пушка калибром 45 мм в ходе модернизации (без остановки серийного выпуска) была заменена на более мощную — калибром 76 мм, а позднее, в 1943 г., калибром 85 мм.

Однако военная бюрократия не приняла проект нового танка. Только личное указание Сталина позволило заводу сделать два опытных экземпляра, которые в марте 1940 г. своим ходом прибыли из Харькова в Москву и были представлены для приемки правительственной комиссии.

Госприемка выявила целый ряд изъянов. Конструкторы и сами понимали недостатки своего детища, поэтому у них уже имелся проект глубокой модернизации. Это была фактически новая машина. В ней устранялись многие недочеты первоначального проекта, но организовать ее производство к началу войны не успевали. Поэтому Сталин сказал: «Т-34 хорошая машина, производство ее надо освоить как можно быстрее. А недостатки устранить, не останавливая производства». Начало войны подтвердило правильность такого

решения — лучше собирать уже освоенный серийно Т-34, непрерывно модернизируя его, чем в разгар немецкого наступления 1941 г. оказаться вообще без танков из-за неизбежных сложностей освоения новинки.

В конце 1941 — первой половине 1942 г. выпуск танков Т-34 осуществлялся на трех заводах: № 183 в Нижнем Тагиле, Сталинградском тракторном (СТЗ) и № 112 «Красное Сормово» в Горьком. Главным считался завод № 183 и его КБ. Предполагалось, что все изменения, вносимые в конструкцию танка, будут утверждаться именно здесь. Но все получилось не так, как было задумано. Неизменными оставались только тактико-технические данные танка, в деталях же машины разных заводов существенно отличались друг от друга, что затрудняло эксплуатацию и ремонт изготавливаемой конструкции. Например, с 25 октября



Рис. Академик Е. О. Патон. Воспоминания (1949)

1941 г. на заводе № 112 приступили к изготовлению опытных образцов упрощенных бронекорпусов без механической обработки кромок листов после газовой резки с соединением деталей «в четверть» и шиповыми соединениями лобового листа с бортами и подкрылками. В задней стенке башни имелся люк, закрываемый съемным листом с креплением на болтах для демонтажа пушки в полевых условиях. При обстреле даже из пулемета в этом месте возникала вибрация, приводящая к отрыву болтов и самого листа.

На СТЗ корпус и башня изготавливались по упрощенной технологии, где броневые детали корпуса соединялись между собой «в шип». Варианты «в замок» и «в четверть» сохранились лишь в соединении верхнего лобового листа корпуса с крышей и днища с нижними листами носа и кормы.

После разработки патоновцами технологии высококачественной автоматической сварки узлов и бронекорпуса в целом и успешно проведенных в январе 1942 г. испытаний отстрелом сварных узлов нарком танковой промышленности В. А. Малышев подписал приказ о массовом внедрении автоматической сварки под флюсом в танкостроении. Был проведен детальный пересмотр

* Часть 3. Продолжение серии публикаций («Сварщик» № 4, № 5) по материалам книги: «ИЭС и государственное планирование развития сварочной науки, техники и производства»

конструкций машины, в результате которого трудоемкость механической обработки корпуса снизилась с 260 до 80 нормо-часов.

Благодаря применению автоматической сварки только в Нижнем Тагиле общая трудоемкость изготовления корпуса снизилась в 5 раз. К концу 1942 г. на заводе № 183 работало 6 сварочных автоматов. К концу 1943 г. их количество на танковых заводах достигло 15-ти, а через год — 30-ти. Внедрение в сжатые сроки в Нижнем Тагиле автоматической сварки под флюсом было одним из основных факторов, обеспечивших выпуск Т-34 в сроки и объемах, необходимых фронту.

Успехи советской танковой промышленности, все возрастающее количество и качество советских танков на фронте вызвали тревогу в стане врага. Недаром министр пропаганды III Рейха Геббельс в январе 1943 г. заявил: «Кажется каким-то чудом, что из обширных степей России появлялись все новые массы людей и техники, как будто какой-то великий волшебник лепил из уральской глины людей и танки в любом количестве». В унисон имперскому министру один из крупнейших теоретиков «блицкрига», отводивших главную роль в современной войне крупным соединениям бронетанковых войск, Хейнц Гудериан писал в своих мемуарах «Воспоминания солдата» о все понижающейся боевой мощи германских бронетанковых войск перед лицом постоянно увеличивающейся, благодаря серийному производству превосходного русского танка Т-34, боевой мощи советских танковых сил. (H. Guderian Erinnerungeen eines Soldaten. Neskargemüng. — 1960). Непредвзятое мнение высокопрофессионального специалиста, нашего прямого противника на полях танковых сражений Второй мировой войны, дорогого стоит.

Высокую оценку Т-34 заслужил и у британских специалистов: «Конструкция танка свидетельствует о четком понимании важнейших боевых качеств бронетехники и требований войны... Создание и серийное производство таких совершенных танков в таком огромном количестве представляет собой инженерно-технические достижения самого высокого уровня».

Состоявшие на вооружении немецко-фашистской армии средние танки Т-III и Т-IV даже после модернизации значительно уступали по боевым свойствам советским средним танкам Т-34 и Т-34-85. Немецкое командование связывало свои надежды с появившимися на фронте в 1942–1943 гг. тяжелыми танками «Пантера» и «Тигр». Но эти расчеты не оправдались, так как им с успехом противостояли советские тяжелые танки КВ-1, ИС-2 и самоходные артиллерийские установки (САУ) больших калибров.

Английские («Матильда» и «Черчилль») и американские («Шерман») танки, в небольших количествах поступавшие в СССР по ленд-лизу, по основным тактико-техническим характеристикам, особенно по вооружению, уступали немецким средним танкам. Они ограниченно использовались на советско-германском фронте, главным образом в первой половине войны.

Но, пожалуй, самая объективная оценка танка Т-34 дана немцами, которым пришлось испытать его не на полигоне, а на «собственной шкуре» — и в одиночных боях, и в крупнейших за всю мировую историю танковых сражениях. Их оценка однозначна на всех уровнях: и ранее упомянутые министр пропаганды Геббельс, и «отец» германских танковых войск Хейнц Гудериан, и легендарный танкист обер-лейтенант Отто Кариус, кавалер Рыцарского креста с дубовыми листьями, и многие другие не скрывали кошмарных воспоминаний от встреч с Т-34 на поле боя и восхищения перед совершенством этого шедевра боевой техники.

Известный немецкий военный историк, генерал-майор Б. Мюллер-Гилебрант, чья книга «Сухопутная армия Германии 1933–1945» признана наиболее объективной энциклопедией вермахта, приходит к выводу, что значимость танка Т-34 в войне выходит далеко за рамки выдающихся технических характеристик боевой машины. Вот его слова: «На вооружение Красной Армии к началу кампании поступил новый танк Т-34, которому немецкие сухопутные силы не смогли противопоставить ни равноценного танка, ни соответствующего оборонительного средства. Появление танка Т-34 было неприятной неожиданностью, поскольку он благодаря своей скорости, высокой проходимости, усиленной бронезащите, вооружению и главным образом наличию удлиненной 76-мм пушки, обладающей повышенной меткостью стрельбы и пробивной способностью снарядов на большой дистанции, представлял собой совершенно новый тип танкового оружия. Появление танков Т-34 в корне изменило тактику действий танковых войск. Если до его появления от танка требовалось подавлять пехоту и поддерживающие ее средства, то теперь в качестве главной задачи выдвигалось требование на максимально дальней дистанции поражать вражеские танки, чтобы создавать предпосылки для последующего успеха в бою».

Среди немецких офицеров и генералов, чьи высказывания приводились, нет никого, кто писал бы свои воспоминания находясь в советском плену, проживал под присмотром Штази в ГДР или испытывал опасения за свою жизнь. В целом о сражениях вермахта они пишут в превосходном тоне

и своих антипатий к СССР не скрывают. Но выдающиеся качества Т-34 в сравнении с немецкими танками и танками союзников были столь очевидны, что не упомянуть о них было просто невозможно. Ни один другой образец советской боевой техники не удостоился столь пристального внимания немецких и других мемуаристов.

2. Т-34 в военной истории XX века

Развитие военной техники после 1945 г. во многом изменило средства и методы ведения боевых действий. Появились атомные и другие виды оружия массового поражения, ракетная техника, новые виды техники для войны на суше, на море и в воздухе, космические виды вооружений. Появились, естественно, и новые танки. Как выглядит Т-34 на их фоне?

Т-34 был во многом революционной конструкцией, но являясь переходным образцом, сочетал в себе как достоинства, так и недостатки, на устранение которых до запуска в серию в условиях военных действий времени просто не хватило. Поэтому недостатки конструкции Т-34 устраняли в процессе его производства и боевого применения.

Основными недостатками танка Т-34 в 1941 г. были теснота боевого отделения, плохая оптика, отсутствие надежных средств связи, недоработанные двигатель и трансмиссия. Тем более ценен каждый случай успешного применения Т-34 в трудные первые месяцы войны, и прежде всего в битве за Москву. Так, например, 4-я танковая бригада, сформированная в сентябре 1941 г. в Сталинграде в составе 49 машин (из них 16 танков Т-34), прямо с марша вступила в бой. За 8 дней боев под Москвой против танкистов Гудериана ее воины подбили 133 танка, 2 бронемашин, 7 тяжелых орудий, 15 тягачей, 9 самолетов и много другой боевой техники. Это говорит о том, что уже на первых этапах войны экипажи Т-34 добивались успеха в бою с превосходящими силами противника.

К основным достоинствам танка Т-34, особенно его последующих модификаций в ходе войны, можно отнести:

- **Маневренность.** За счет мощного дизельного двигателя средний танк Т-34 легко разгонялся до 54 км/ч по шоссе и до 25 км/ч по пересеченной местности, практически не уступая легким танкам в скорости. Благодаря широким гусеницам танк легко преодолевал самую вязкую грязь и снежные заносы, в которых немецкие танки безнадежно застревали.

Экономичный дизель обеспечивал пробег с одной заправки до 500 км по шоссе и до 200 км по пересеченной местности, в то время как пробег немецких танков на бензиновом двигателе не пре-

вышал 160–200 км по шоссе и 60–80 км по пересеченной местности.

Профессор Оксфордского университета Норманн Дэвис, автор книги «Европа в войне 1939–1945», написал: «Маневренные советские Т-34 охотились стаями, как волки, что не давало шансов неповоротливым немецким «Тиграм» выжить. А вот американская и британская бронетехника не была столь успешной в противостоянии немецкой».

Аналогичен отзыв одного из лучших немецких танкистов Отто Кариуса в его книге ««Тигры» в грязи»: «Когда впервые появились русские танки Т-34, это ударило по нам, как тонна кирпичей... Этот превосходный танк с его хорошей броней, идеальными формами и великолепным ствольным орудием всех приводил в трепет, и его побаивались все немецкие танки вплоть до конца войны».

- **Броня.** За счет оптимальной геометрии, высокого качества брони и равнопрочности сварных швов основному металлу живучесть Т-34 была повышена в 2 раза. Хотя со временем все же пришлось усилить бронирование, это не сказалось на скорости и маневренности.
- **Оружие.** В начальный период войны на Т-34 устанавливались длинноствольные 76-мм пушки. В 1943 г., когда у немцев появились «Тигры» и «Пантеры», на нем было установлено 85-мм орудие. Это не повлияло на ходовые качества и подвижность Т-34, но уравнило его огневую мощь с немецкими танками.
- **Простота** в обслуживании и изготовлении. Подбитый Т-34 легко можно было отремонтировать прямо на поле боя. Неоднократно из двух непригодных Т-34 собирался один боеспособный. Водить Т-34 мог любой солдат, прошедший краткосрочное обучение.

Технологичность конструкции плюс технология автоматической сварки корпуса, которую не смогли повторить до конца войны ни наши противники, ни наши союзники, низкая трудоемкость его изготовления позволили обеспечить массовый выпуск танков, далеко превосходящий их выпуск в Германии и на танковых заводах захваченных ею европейских стран.

3. Танк Т-34 в истории военной техники XX века

В 2006 г. журнал «Military Channel» опубликовал очередной «Рейтинг лучшего оружия XX века», посвященный танкам.

Оценка велась на основе результатов опросов британских и американских военнослужащих и экспертов по следующим критериям: огневая мощь; защищенность; скорость и маневренность; промышленное производство — технологичность, воз-

возможность крупносерийного выпуска (особо отмечалась роль автоматической сварки в организации массового производства Т-34); возможность совершенствования в ходе производства; фактор страха (репутация у противника). Кроме этого, учитывались также: степень влияния на исход войны; степень влияния на ход истории; участие в вооруженных конфликтах по всему миру, в т.ч. в армиях разных стран; длительность активной армейской службы.

Несмотря на то, что западные эксперты не сдержались от лоббирования собственной техники, **ЛУЧШИМ ТАНКОМ ВСЕХ ВРЕМЕН И НАРОДОВ ЕДИНОДУШНО ПРИЗНАН СОВЕТСКИЙ Т-34.** Такая репутация закрепилась за ним еще десятилетия назад и очень редко подвергалась ревизии, да и то — только фанатами немецких «Пантер» или нашими «фальсификаторами» истории.

Наибольшее количество баллов Т-34 набрал по категории «фактор страха», что красноречиво говорит о том ужасе, который вызывали у фашистов летящие на них «тридцатьчетверки», и как самый массовый в истории танк — выпущено около 65 тыс. машин, включая производившийся до 1950 г. Т-34—85 и не учитывая выпуска 15-ти тыс. машин в бывших странах народной демократии.

Т-34 прошел всю Великую Отечественную, громил Квантунскую армию, принимал участие в гражданской войне в Китае (1946—1950 гг.), в корейской войне (1950—1953 гг.), арабо-израильских войнах. Т-34 в 1960 г. на Кубе отбивали высадку наемников, подготовленных в США, участвовали в югославских конфликтах 1990-х годов, были на вооружении армий всех стран-участниц Варшавского договора и еще 28-ти стран Европы, Азии, Африки и Латинской Америки.

На второе место, предназначенное, очевидно, для лучшего из современных танков, был определен американский **М1 «Abrams»**. Это неудивительно — эксперты, напомним, были американские и британские. Но столь славной истории, как у Т-34, М1 «Abrams» не имел.

Третье место у немецкого **Pz-VI «Tiger»**, также получившего больше всего очков за устрашающую репутацию. Страх вполне обоснованный — «Тигры» были очень серьезным противником, с толстой «шкурой» и мощным 88-мм орудием. Правда, наибольшей эффективностью Pz-VI обладал в сражениях на дальней дистанции — тут он был почти неуязвим, а вот в ближнем бою, да еще против двух и более противников, оказывался в положении затравленного тигра.

Четвертое место у почетного «праотца» всех танков, английского **Мк 1**, вооруженного пулеметами. Огромное стальное корыто (потому и назван-

ное tank), едва ползущее по полю битвы (его скорость всего 5–6 км/час), с трудом поворачивающееся с помощью хвоста-тележки, выглядело странно. Но именно он помог найти выход из тупика в затяжной стадии противостояния в окопах Западного фронта Первой мировой войны.

Пятым стал еще один английский танк — **A41 «Centurion»**, созданный в конце Второй мировой как полноценный противник немецких «Пантер». Правда, померяться силами и определиться, кто же из них лучший, они уже не успели. Но зато «Центурионы» имели более длинную биографию, подвергаясь многочисленным модернизациям. Созданные на его базе боевые и инженерные машины до сих пор состоят на вооружении некоторых стран.

Шестое место — у самого массового танка фашистской Германии **Pz-IV**, выпускавшегося с 1937 г. до конца войны, а затем принявшего участие в первых арабо-израильских войнах. Он во многом уступал нашему Т-34, поскольку задумывался как штурмовая машина для прорыва обороны, а не для танковых дуэлей, тем не менее был гораздо проще в производстве и более подвижен, чем «Пантера».

Седьмым стал современный британский танк **«Challenger»**. Очень мощная защита, 120-мм пушка, двигатель позволял разогнаться до 55 км/ч (рекорд по шоссе — 70 км/ч). Однако масса 60 т мешала ему быстро передвигаться по пересеченной местности.

А вот советские **Т-54/55**, занявшие в рейтинге **восьмое место**, грязи не боялись. Общее количество выпущенных машин (включая иностранные модификации) превышает 100 тыс. единиц — это абсолютный рекорд, который вряд ли будет превзойден в будущем. На начало XXI века они находились на вооружении армий более 60 стран мира.

Девятое место у израильского танка **«Merkava»**. Он интересен своей компоновкой: экипаж размещен в кормовой части машины, а моторное отделение — в передней.

Закрывает **десятку** рейтинга самый известный и массовый (49,2 тыс. шт.) американский танк времен Второй мировой — **М4 «Sherman»**. Его серийное производство началось в феврале 1942 г., свои первые бои он принял в Северной Африке.

С мнением экспертов, составлявших этот рейтинг, можно в чем-то не соглашаться. Но то единодушие, с которым западные специалисты спустя более 60-ти лет после окончания Второй мировой войны отдают пальму первенства танку Т-34, в обеспечении серийного выпуска которого одну из решающих ролей сыграли патоновцы, внушает уважение.

Над истинными ценностями время не властно!

Сервисная карточка читателя

Без заполненного
формуляра
недействительна

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

- обведите в Сервисной карточке индекс, соответствующий интересующей Вас продукции/услуге (отмечен на страницах журнала после символа «#»);
- заполните Формуляр читателя;
- укажите свой почтовый адрес;
- отправьте Сервисную карточку с Формуляром по адресу: 01350, г. Киев, а/я 337, ред. журналов «Сварщик», «Сварщик в России».

981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992
993 994 995 996 997 998 999 1000 1001 1002 1003
1004 1005 1006 1007 1008 1009 1010 1011 1012
1013 1014 1015 1016 1017 1018 1019 1020 1021
1022 1023 1024 1025 1026 1027 1028 1029 1030
1031 1032 1033 1034 1035 1036 1037 1038 1039

Ф. И. О. _____

Должность _____

Тел. (_____) _____

Предприятие _____

Подробный почтовый адрес: _____

« _____ » _____ 2016 г.

подпись

Формуляр читателя

Ф. И. О. _____

Должность _____

Тел. (_____) _____

Предприятие _____

Виды деятельности предприятия _____

Выпускаемая продукция / оказываемые услуги _____

Руководитель предприятия (Ф. И. О.) _____

Тел. _____ Факс _____

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

Тел. _____ Факс _____

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

Тел. _____ Факс _____

Тарифы на рекламу 2017 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

Изготовление оригинал-макета

- 10% стоимости рекламной площади

Статья на правах рекламы

- 1 стр. — 10000 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. гл. ред., рук. ред. **В.Г. Абрамишвили**, к.ф.-м.н.:
тел./факс: +380 44 **200-80-14**, моб. +380 50 **413-98-86**
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-2017 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 %)