

6 (58) 2015
ноябрь–декабрь

Журнал выходит 6 раз в год.

Издается с мая 2006 г.

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

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

информационно-технический журнал
Сварщик®

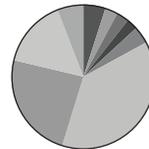
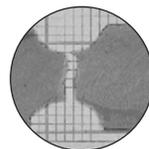
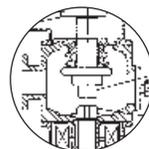
Технологии
Производство
Сервис

В России

6–2015

СОДЕРЖАНИЕ

Новости техники и технологий	4
Технологии и оборудование	
Электронно-лучевые технологии в сварочном производстве. <i>Г. И. Лащенко</i>	6
Технологии и материалы	
Сварка термостойких пластмасс. Ультразвуковая сварка. <i>М. В. Юрженко, Н. Г. Кораб, В. Л. Демченко, В. В. Анистратенко, С. М. Дяченко</i>	10
Нанесение покрытий на основе композиционных порошковых материалов плазменным напылением. <i>Е. К. Фень</i>	12
Наши консультации	14
Производственный опыт	
Ремонт корпуса регенератора Р-202. <i>В. Д. Позняков, А. В. Клапатюк, А. А. Максименко, А. М. Герасименко, Е. А. Давыдов</i>	16
Новые перспективные направления в производстве рельсового транспорта социального назначения. <i>А. Н. Моторин, В. А. Дорошенко, В. В. Маслов</i>	21
Технология восстановления шеек чугунных прокатных валков чистой клетки стана 1700 на ПАО «ММК им. Ильича». <i>Ю. В. Демченко, С. В. Крылов, О. В. Коробка</i>	24
Механизованная кислородная резка чугунных отходов в полевых условиях. <i>В. М. Литвинов, Ю. Н. Лысенко, С. А. Чумак, В. А. Белинский, А. И. Коровченко</i>	26
Экономика сварочного производства	
Технико-экономические аспекты применения электронно-лучевой сварки. <i>А. А. Мазур, О. К. Маковецкая</i>	29
Экономико-статистический обзор мирового и региональных рынков титана. <i>С. В. Пустовойт, С. В. Ахонин, В. С. Петрук, Н. С. Бровченко</i>	31
Выставки	
Календарь выставок на 2016 год	38



News of technique and technologies	4
Technologies and equipment	
Electron-beam technologies in welding production. <i>G. I. Lashenko</i>	6
Technologies and materials	
Welding of heat-resistant plastics. Ultrasonic welding. <i>M. V. Iurzhenko, N. G. Korab, V. L. Demchenko, V. V. Anistratenko, S. M. Dyachenko</i>	10
Deposition of coverings based on composite powder materials by plasma spraying. <i>E. K. Fen'</i>	12
Our consultations	14
Production experience	
Repair of shell regenerator R-202. <i>V. D. Poznyakov, A. V. Klapatyuk, A. A. Maksimenko, A. M. Gerasimenko, E. A. Davydov</i>	16
New promising directions in the production of rail transport for social purposes. <i>A. N. Motorin, V. A. Doroshenko, V. V. Maslov</i>	21
Recovery technology of the necks of cast iron rolls of the pure mill stand 1700 at PJSC «MMK im. Ilyicha». <i>Yu. V. Demchenko, S. V. Krylov, O. V. Korobka</i>	24
Mechanized flame cutting of cast iron waste in the field. <i>V. M. Litvinov, Yu. N. Lysenko, S. A. Chumak, V. A. Belinskiy, A. I. Korovchenko</i>	26
Economic of welding production	
Technical and economic aspects of application of electron beam welding. <i>A. A. Mazur, O. K. Makovetskaya</i>	29
Economical and statistical review of world and regional markets of titanium. <i>S. V. Pustovoi, S. V. Ahonin, V. S. Petruk, N. S. Brovchenko</i>	31
Exhibitions	
Calendar of exhibitions on 2016	38

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

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

Тел. моб. +7 903 795 18 49

E-mail ctt94@mail.ru

Главный редактор В. Д. Позняков

Зам. главного редактора В. Г. Абрамишвили

Редактор, маркетинг О. А. Трофимец

Верстка и дизайн В. П. Семенов

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 25.01.2016. Формат 60×84 1/8.

Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура PetersburgC.

Отпечатано в ЗАО «ТДДС-Столица-8».

Заказ № 669 от 25.01.2016. Тираж 1000 экз.

Издание выходит при содействии информационно-технического журнала «Сварщик»

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

Издатель ООО «Экотехнология»

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, П. П. Проценко, С. В. Пустовойт, И. А. Рябцев

Адрес редакции 03150 Киев, ул. Горького, 62Б, а/я 52

Телефон +380 44 200 5361

Тел./факс +380 44 200 8014, 200 8018

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

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

ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА

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

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

ГЛАВНЫЕ ТЕМЫ НОМЕРА

Электронно-лучевые технологии в сварочном производстве

Г. И. Лащенко

Рассмотрены особенности технологии электронно-лучевой сварки (ЭЛС). Представлена схема конструкции типовой электронно-лучевой пушки. Изучены особенности ЭЛС толстолистового металла. Приведены характерные значения давлений, влияющих на расплав при ЭЛС. Рассмотрены формы отклонений электронного пучка и приведена схема последовательности операций по его отклонению.

Сварка термостойких пластмасс. Ультразвуковая сварка

М. В. Юрженко, Н. Г. Кораб, В. Л. Демченко, В. В. Анистратенко, С. М. Дяченко

Изучены технологические особенности ультразвуковой сварки термостойких полимерных материалов класса полиариленов марок ZX-410 (на основе PEI) и ZX-324 (на основе PEEK). Исследовано влияние параметров ультразвуковой прессовой сварки на качество сварных соединений для этих полимерных материалов. Показано, что наибольшую прочность имеют швы, сваренные на «мягких» режимах с небольшими значениями амплитуды механических колебаний и энергии сварки.

Нанесение покрытий на основе композиционных порошковых материалов плазменным напылением

Е. К. Фень

Предложен плазменный метод упрочнения или восстановления деталей и конструкций с помощью жароизносостойких покрытий. Получен ряд композиционных порошковых материалов с высокими физико-химическими свойствами для плазменного напыления таких покрытий. Показано, что для плазменного напыления покрытий нужны порошки из сплавов с размером частиц 40–80 мкм, а для тугоплавких — 20–40 мкм. Исследованы основные физико-механические свойства покрытий, полученных из композиционных порошковых материалов.

Ремонт корпуса регенератора P-202

В. Д. Позняков, А. В. Клапатык, А. А. Максименко, А. М. Герасименко, Е. А. Давыдов

Приводится пример создания и реализации ремонтно-сварочных технологий для восстановления целостности и характеристик корпуса регенератора P-202. Представлены технические характеристики регенератора P-202, его геометрические размеры и материалы. Описан поэтапный ремонт образовавшихся трещин на «теле» регенератора, в процессе которого на корпус регенератора, где имелось большое количество трещин, приварены накладки. Показан химический состав проб металла. На основании исследований сделан вывод, что технология ремонта должна предусматривать удаление металла, расположенного на расстоянии не менее 150 мм от оси шва. После ремонта выполнены пневматические испытания корпуса регенератора на плотность, видимых деформаций в зоне ремонта не наблюдалось, что свидетельствует о высоком качестве и надежности сварных соединений.

Технология восстановления шеек чугунных прокатных валков чистой клетки стана 1700 на ПАО «ММК им. Ильича»

Ю. В. Демченко, С. В. Крылов, О. В. Коробка

Предложена технология электродуговой наплавки, позволяющая увеличить стойкость шеек чугунных валков. Она была реализована при восстановлении шейки валка кл. 510 НШС 1700 массой 6,7 т твердостью HB 1920–2070 МПа на ПАО «ММК им. Ильича». Показано, что эта технология обеспечивает полное восстановление размеров и служебных свойств поврежденной шейки валка до уровня основного металла и рекомендована для промышленного применения.

Экономико-статистический обзор мирового и региональных рынков титана

С. В. Пустовойт, С. В. Ахонин, С. Н. Кирик, Н. С. Бровченко

Представлена систематизированная экономико-статистическая информация о состоянии и перспективах мирового и региональных рынков титана и сплавов на его основе, приведены их количественные и стоимостные показатели. Рассмотрены сферы применения титана, титановой губки и сплавов на основе титана. Показаны тенденции развития титановой промышленности на внутреннем и внешних, мировых рынках.



Алюминий-литиевый сплав нового поколения

Алюминий-литиевые сплавы второго поколения № 1420, 1441, которые были разработаны в конце XX века, находят широкое применение при строительстве самолетов Ту-204, Бе-103, Бе-200, а также используются в конструкции некоторых средств ПВО, ракетносителей и военной авиационной техники. Специалистами из Всероссийского научно-исследовательского института авиационных материалов (ВИАМ) разработаны алюминий-литиевые сплавы нового третьего поколения — В-1461, В-1469. Они легированы редкоземельными металлами и обладают повышенными прочностными характеристиками и устойчивостью против образования трещин в условиях пониженной плотности в сравнении с традиционными алюминиевыми сплавами. Новые сплавы хорошо свариваются между собой, что позволило впервые в отечественной практике получить фрагмент сварной панели крыла, выполненного с помощью сварки трением с перемешиванием. Применение новых материалов совместно с прогрессивной технологией сварки позволило получить не только повышенные характеристики устойчивости конструкции, но и значительно снизить ее массу на 10–15%. А на базе нового высокопрочного алюминий-литиевого сплава В-1469 удалось реализовать концепцию гибридной панели крыла с использованием слоистых ме-



таллополимерных композиционных материалов.

Проведенные технические испытания показали возможность использования данных конструкций для повышения весовой эффективности авиационной техники, при этом сохранены все остальные ее эксплуатационные характеристики. Специалисты ВИАМ рекомендуют применять эти современные инновационные материалы в перспективных изделиях гражданской авиационной техники и не только в ней. Новые алюминий-литиевые сплавы, наряду с применяемыми ранними разработками ВИАМ, позволят России создавать конкурентоспособные авиалайнеры, которые не будут уступать по своим летным характеристикам зарубежным аналогам. Как рассказали в ВИАМ, технология выплавки новых материалов освоена Каменск-Уральским металлургическим заводом, который способен производить до 1000 т данных алюминий-литиевых сплавов в течение года. ● #898

www.promvest.info

ИркАЗ продолжает расширять выпуск крылатого металла

Иркутский алюминиевый завод (ИркАЗ, входит в состав Русала) произвел в 3-м квартале 2015 г. 103 тыс. т алюминия, что на 1 тыс. т больше по сравнению со 3-м кварталом 2014 г. При этом доля продукции с добавленной стоимостью увеличилась на 5 тыс. т и составила 73,76%.

За 9 месяцев 2015 г. было выпущено 307 тыс. т крылатого металла. По сравнению с аналогичным периодом прошлого года рост составил 4,7%.

ИркАЗ успешно реализует комплексную программу по снижению себестоимости алюминия-сырца и добился экономии по всем основным расходным коэффици-



ентам. По корпусам 1–8 (основное производство) расход глинозема на 1 т алюминия уменьшился на 2 кг, фтористого алюминия — на 1,3 кг, смешанного криолита — на 0,9 кг, анодной массы — на 2,2 кг. По 5-й серии расход обожженных анодов на 1 т алюминия снизился на 2 кг, фтористого алюминия — на 0,3 кг. ● #899

www.metalinfo.ru

Съезд Национального Агентства Контроля Сварки

В период с 19 по 22 января 2016 г. в Москве СРО НП «Национальное Агентство Контроля Сварки» проводился Съезд организаций, участвующих в деятельности Системы аттестации сварочного производства (САСв), Совета по профессиональным квалификациям в области сварки (СПКС) и Системы добровольной сертификации (СДС НАКС).

В рамках Съезда состоялись Общее собрание членов СРО НП «НАКС», заседания Технического Комитета по стандартизации ТК 364 «Сварка и родственные процессы», Президиума СРО НП «НАКС», Научно-Технического Совета НАКС, Совета по профессиональным квалификациям в области сварки, Координационного Совета СДС НАКС, семинар «Основные направления развития Системы аттестации сварочного производства, Системы доброволь-



ной сертификации, Совета по профессиональным квалификациям в области сварки. Обсуждались реализация программ дополнительного профессионального образования в области сварки, проводились тематические совещания и круглые столы.

● #900
www.naks.ru

Производственный комплекс элементов трубопроводов от «Белэнергомаш»

На заводе «Белэнергомаш – БЗЭМ» (Белгород, РФ) открыт новый производственный комплекс элементов трубопроводов. Это первый масштабный инвестпроект в постсоветской истории предприятия. Производственный корпус, построенный по инновационным технологиям, стал крупнейшей площадкой такого формата.

На заводе будет осуществляться производство труб и соединительных элементов трубопроводов, предназначенные для эксплуатации на атомных и тепловых электростанциях.

Гендиректор ООО «Белэнергомаш – БЗЭМ» Александр Ващенко рассказал, что производственная площадь нового комплекса составляет 45 тыс. м², при этом создана замкнутая технология изготовления труб, их мехобработки, блочной сборки и сварки, контроля, покраски и упаковки. Его мощности, позволят предприятию обеспечивать выпуск трубопроводов в объеме 1500 т еже-



месячно. Новый комплекс позволил увеличить мощности завода по изготовлению металлоконструкций до 5000 т в месяц.

В настоящее время в новом производственном комплексе смонтировано 70 единиц оборудования, в ближайшее время будет докуплено и перебазировано из других корпусов еще 50. На полную мощность производство выйдет в течение полугода.

● #901
www.energomash.ru

Электронно-лучевые технологии в сварочном производстве*

Г. И. Лашенко, канд. техн. наук, НТК «Институт электросварки им. Е. О. Патона» НАНУ

2. Электронно-лучевая сварка

Важное место среди электронно-лучевых технологий занимает электронно-лучевая сварка. При осуществлении электронно-лучевой сварки (ЭЛС) в качестве энергоносителя используют мощный электронный пучок (луч), который генерируется в электронно-лучевой пушке (ЭЛП), конструктивная схема которой приведена на рис. 3 [5].

В катодном блоке 1 расположен разогреваемый металлический диск, эмитирующий электроны. Электрическое поле, создаваемое между катодом и анодом 2, формирует электроны в пучок и направляет его в отверстие по оси анода. За пределами анода пучок движется по инерции под воздействием магнитных полей фокусирующих линз 3, 4 и обмоток 5, которые отклоняют пучок.

Современные ЭЛП формируют пучки с углом схождения $\alpha_{\text{п}} = 0,02$ рад. Максимальный технологический эффект достигается в наиболее узкой части пучка, а именно в плоскости фокального пятна.

Сварку тонколистовых металлов ($\delta \leq 1-3$ мм) обычно выполняют расфокусированным пучком электронов при небольших значениях удельной мощности в пятне нагрева (рис. 4) [6]. По термомеханическому циклу такая сварка почти не отличается от аргонодуговой сварки неплавящимся электродом.

Большинство исследований и разработок в области ЭЛС, выполненных в последние десятилетия, посвящено сварке толстолистового металла.

Особенности электронно-лучевой сварки толстолистового металла. При сварке толстолистовых металлов используют острофокусные пучки электронов с плотностью мощности $1 \cdot 10^7$ Вт/см². Такой электронный пучок представляет собой сосредоточенный источник и обеспечивает «кинжальное» проплавление металла. Теоретический термический КПД такого

источника $\eta_{\text{т}} = 0,484$. Эффективный КПД нагрева основного металла электронным пучком $\eta_{\text{и}}$ достигает 0,95. Поэтому согласно [5] полный тепловой КПД ЭЛС достигает

$$\eta_{\text{пр}} = \eta_{\text{и}} \cdot \eta_{\text{т}} = 0,45 \quad (8)$$

В работе [7] показано, что электронно-лучевая и лазерная сварки являются синергетическими (самоорганизующимися) процессами. Они характеризуются в определенном диапазоне режимов высокими значениями $\eta_{\text{т}}$, которые при сварке титана достигают 0,7 (т.е. превышают теоретический). При этом установлено, что термический КПД в значительной степени зависит от теплопроводности свариваемого материала (для низкотеплопроводного материала $\eta_{\text{т}}$ выше) и параметров сварки.

Параметрами процесса ЭЛС являются ускоряющее напряжение $U_{\text{уск}}$, сила тока пучка $I_{\text{п}}$, расстояния от пушки до изделия d и от пушки до плоскости фокусировки b , скорость сварки $v_{\text{св}}$.

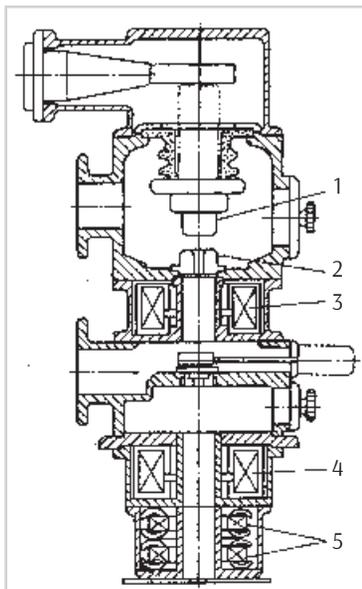


Рис. 3. Схема конструкции типовой сварочной ЭЛП: 1 – катодный блок; 2 – анодный блок; 3, 4 – фокусирующие линзы; 5 – обмотка

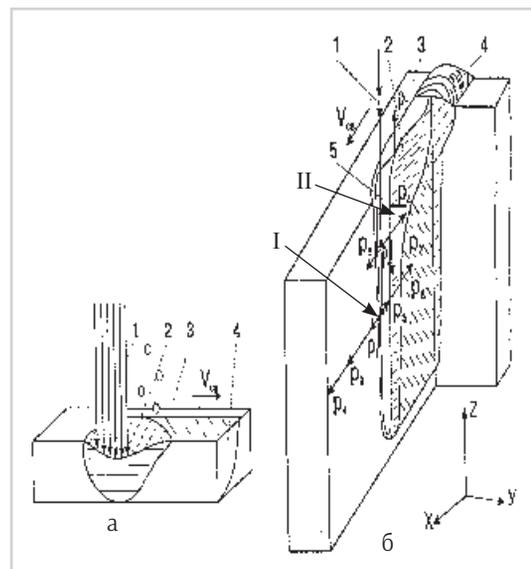


Рис. 4. Продольно-поперечное сечение сварочной ванны со схемой давлений, воздействующих на жидкий металл: а – сварка низкоконцентрированным источником нагрева; б – сварка с глубоким проплавлением; 1 – сварочный пучок; 2 – расплавленный металл; 3 – свариваемый металл; 4 – сварной шов; 5 – пародинамический канал; I – передняя стенка канала; II – задняя стенка канала

* Продолжение. Начало в № 4, 5–2015.

Объем металла V_M , расплавляемый сосредоточенным источником теплоты мощностью $P = U_{\text{уск}} \cdot I_{\text{п}}$, составляет

$$V_M = h \cdot B \cdot v_{\text{св}} = \eta_T \cdot P \cdot \eta_{\text{п}} / T_{\text{пл}} \cdot c_{\gamma}, \quad (9)$$

где h и B – средние значения глубины проплавления и ширины шва соответственно; $v_{\text{св}}$ – скорость сварки; c_{γ} – объемная теплоемкость металла; $T_{\text{пл}}$ – температура плавления.

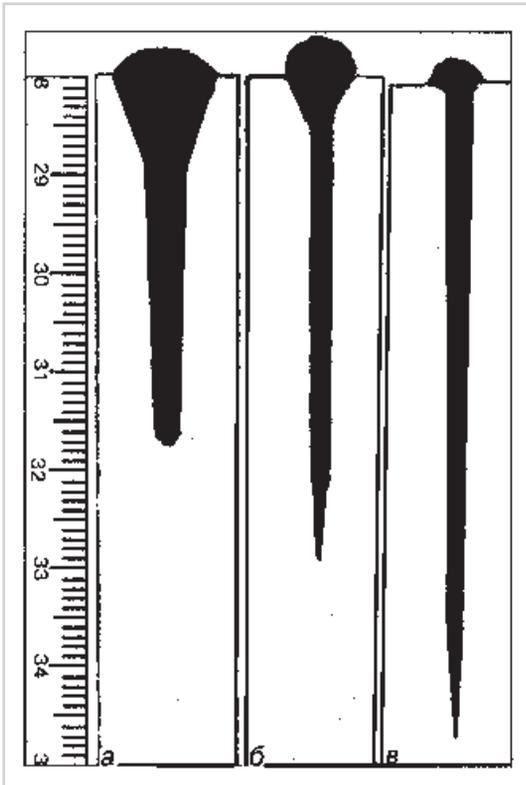


Рис. 5. Макрошлифы стали X18N9T, сформированные электронными пучками при различных ускоряющих напряжениях $U_{\text{уск}}$, кВ: а = 30; б = 60; в = 100

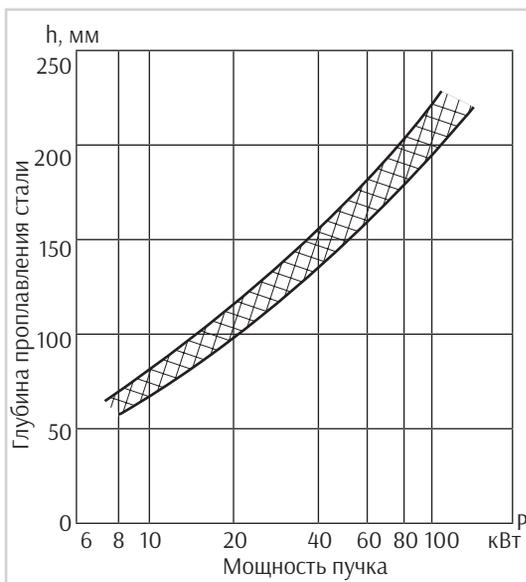


Рис. 6. Зависимость глубины проплавления стали X18N9T от мощности пучка

Установлено [5, 6], что при изменении мощности пучка P за счет увеличения $I_{\text{п}}$ ширина шва B возрастает, а глубина проплавления h практически не изменяется.

При одинаковой ширине пучка с ростом ускоряющего напряжения $U_{\text{уск}}$ глубина проплавления увеличивается. На *рис. 5* приведены макрошлифы стали X18N9T, проплавленные электронным пучком мощностью 10 кВт при различных ускоряющих напряжениях – 30, 60 и 100 кВ [5]. На *рис. 6* показаны зависимости глубины проплавления h этой стали от мощности пучка P .

При сварке стали в нижнем положении со скоростью 2,5 мм/с – $P/h = 0,25$ кВт/мм, в горизонтальном – $P/h = 0,20$ кВт/мм. Эти ориентировочные величины могут быть использованы технологами при выборе типа ЭЛП.

Глубину проплавления h можно определить по формуле [5]

$$h = 0,4 \eta_{\text{п}} \cdot P / v_{\text{св}} S B, \quad (10)$$

где S – теплосодержание единицы объема расплавленного металла.

Экспериментально установлено, что $B = (1-2) d_{\text{п}}$ ($d_{\text{п}}$ – диаметр пучка).

При низком ускоряющем напряжении (до 30 кВ) глубину проплавления шва h можно вычислить по формуле определения мощности для проплавления на заданную глубину:

$$U_{\text{б}} I_{\text{п}} = 0,5 h \cdot v_{\text{св}} d_{\text{ф}} \cdot [c_{\text{р}} \cdot \rho (T_{\text{пл}} - 273) + H] \times [1 + 1,2 \lambda (1/d_{\text{ф}} v_{\text{св}} + 1/2\alpha)], \text{ Вт}, \quad (11)$$

где $U_{\text{уск}}$ – ускоряющее напряжение, В; $I_{\text{п}}$ – сила тока пучка, А; h – глубина проплавления шва, см; $v_{\text{св}}$ – скорость сварки, см/с; $d_{\text{ф}}$ – диаметр луча в фокусе, см; $c_{\text{р}}$ – теплоемкость, Дж/кг; ρ – плотность, г/см³; $T_{\text{пл}}$ – температура плавления, °К; H – скрытая теплота плавления, Дж/см³; λ – коэффициент теплопроводности, Дж/(см·с·К); α – коэффициент температуропроводности, см²/с.

Для нелегированных и низколегированных сталей $c_{\text{р}} = 0,71$, $\rho = 7,65$, $\lambda = 0,33$, $\alpha = 0,0615$, $H = 2135$, $d_{\text{ф}} = 0,1$. Подставляя эти значения, получают упрощенную формулу для глубины проплавления шва h :

$$U_{\text{уск}} I_{\text{п}} = 515 h \cdot v_{\text{св}} \cdot [1 + 0,4 (10/v_{\text{св}} + 8,13)], \text{ Вт}. \quad (12)$$

При высоких ускоряющих напряжениях 75–150 кВ справедлива скорректированная формула для глубины проплавления шва h :

$$U_{\text{уск}} I_{\text{п}} = 258 h \cdot v_{\text{св}} \cdot [1 + 0,4 (20/v_{\text{св}} + 8,13)], \text{ Вт}. \quad (12)$$

Сварка толстого металла происходит в несколько этапов. В начальный период из-за высоких концентрации энергии в пятне нагрева и температурного градиента преимущественно происходит испарение металла. В дальнейшем по мере нагрева металл плавится и образуется сварочная ванна. Под воздействием реактивного давления паров жидкий металл оттесняется из зоны нагрева. При этом оголяемые глубинные слои металла, получая энергию электронов, плавятся, испаряются, вытесняются, образуется парогазовый канал и наступает динамическое равновесие всех сил, действующих на жидкий металл [6].

Оценка давлений, действующих в парогазовом канале при сварке стали в нижнем положении с несквозным проплавлением глубиной 50 мм, представлена в табл. 2 [6].

Таблица 2. Характерные значения давлений, влияющих на расплав при ЭЛС

Источник и вид давления	Обозначение*	Давление, дин/см ²
Поток энергии	p_1	$5 \cdot 10^2$
Гравитация, объемное давление	p_2	$3,4 \cdot 10^4$
Отдача при испарении	p_{30}	$10^6 - 10^7$
	$p_{3 \text{ уст}}$	$10^4 - 10^5$
Пар в канале	p_4	$10^4 - 10^5$
Поверхностное натяжение	p_5	10^4
Термокапиллярный эффект	p_6	$3,25 \cdot 10^2$
Увлечение жидкости потоком пара	p_7	$10^1 - 10^2$

* Индексы «0» и «уст» соответствуют начальному процессу проплавления и установившемуся состоянию.

Качество формирования швов при ЭЛС с глубоким проплавлением во многом зависит от формы зоны проплавления и соотношения сил, действующих в сварочной ванне. Статическое равновесие канала в сварочной ванне описывает уравнение [5]

$$p_1 - p_2 \cos \gamma + p_4 - p_5 = 0, \quad (13)$$

где γ — угол между осью электронного потока и направлением силы тяжести.

Анализ сил, действующих на сварочную ванну, показывает, что с возрастанием глубины проплавления при сварке в нижнем положении объемное давление $p_2 = \rho_{ж}gh$, где $\rho_{ж}$ — плотность расплава; g — ускорение свободного падения, также увеличивается и все больше препятствует проникновению электронного пучка в глубь металла, требуя пропорционального увеличения его мощности. Поэтому при сварке стальных деталей толщиной более 60 мм с глубоким проплавлением электронный пучок рекомендуют располагать горизонтально. При этом объемное давление практически не оказывает влияния на глубину проплавления.

В процессе формирования сварных швов образуется ряд специфических дефектов: пустоты в корне шва (холодные затворы), полости большой протяженности (ложные каналы), узкие щели в плоскости симметрии шва [5, 6]. При кристаллизации металла шва могут возникать трещины и поры.

Процесс сварки может сопровождаться разбрызгиванием и выплесками расплава из сварочной ванны, что связано

с нарушением гидродинамической стабильности сварочной ванны.

Для устранения упомянутых выше дефектов и недостатков применяют ряд технологических приемов [6]. Наиболее широко распространены следующие: полное проплавление, развертка и наклон электронного пучка, сварка с присадкой, сварка смещенным и расщепленным электронным пучком, модуляция силы тока электронного пучка.

При полном проплавлении удается исключить дефекты в корне шва, свести к минимуму угловые деформации и вероятность появления пор и раковин.

Наиболее эффективными формами отклонений электронного пучка являются окружность, эллипс, дуга (продольная и поперечная). В результате формирования при развертке усредненного распределения плотности мощности пучка поперек направления сварки с минимумом в приосевой области уменьшается амплитуда корневых пиков и расширяется корень сварного шва. Установлено, что при радиусе закругления корня сварного шва 1–1,5 мм (для глубины проплавления 10–80 мм) и 2–4 мм (для глубины проплавления 100–200 мм) вероятность появления дефектов в корне шва минимальна. Двойное преломление электронного пучка при развертке (рис. 7) позволяет существенно увеличить угол его отклонения относительно оси по сравнению с однократным преломлением при сохранении той же ширины сварного шва в его верхней части. Этот прием предназначен для получения сварных швов с параллельными границами и широким корнем.

Сварку выполняют в несколько этапов (рис. 7): вначале неотклоненным электронным пучком (I), а затем при поочередном его отклонении с помощью двойного преломления вперед и назад по отношению к направлению перемещения зоны сварки (II–V). Одновременно производят сканирование электронного пучка по траектории, являющейся дугой окружности или эллипса и обращенной выпуклостью в сторону отклонения электронного пучка, что и позволяет получить сварочную ванну цилиндрической формы, предотвратив таким образом образование дефектов в корне шва.

Рекомендуемая частота развертки электронного пучка находится в диапазоне 100–500 Гц для сталей и 500–1000 Гц для

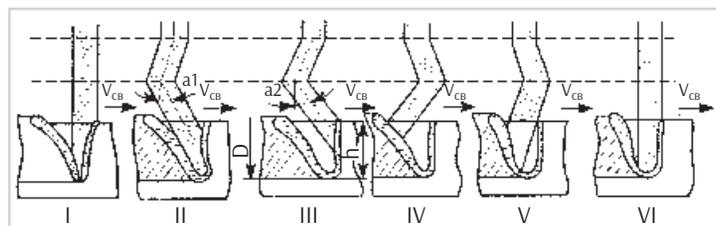


Рис. 7. Схема последовательности операций отклонения электронного пучка

алюминиевых и титановых сплавов. Поперечные размеры траектории развертки составляют 1–1,5 мм. При этом скорость движения электронного пучка вдоль траектории развертки желательнее поддерживать постоянной: 600–800 мм/с для сталей и 2000–2500 мм/с для алюминиевых и титановых сплавов.

Качество сварных швов заметно улучшается при тандемной сварке двумя электронными (расщепленными) пучками листовых металлов толщиной ≤10 мм. В этом случае при увеличении общей мощности источников сварочного нагрева на 20–25% возможно резкое (в 5–7 раз) увеличение скорости сварки.

Сварка с постоянным наклоном электронного пучка углом вперед на 5–7°, а иногда и до 20°, позволяет предотвратить s-образную форму фронта кристаллизации сварочной ванны и тем самым снизить пористость и вероятность образования раковин, а также исключить бугристость сварного шва.

Сварку с присадкой обычно используют для устранения проседания сварного шва, вызванного повышенными зазора-

ми в стыке, а также для дополнительного введения легирующих элементов в шов. При этом применяют в основном проволоку диаметром 0,8–1,2 мм, подаваемую в сварочную ванну позади электронного пучка под углом 15–45° к его оси или укладываемую на стык перед зоной сварки.

Для устранения дефектов в корне шва прибегают к использованию различных подкладок (удаляемых и неудаляемых) в виде гранул или рубленой проволоки, а также керамических подкладок.

При сварке разнородных металлов распространенным приемом является поперечное смещение луча в сторону более тугоплавкого, а при сварке-пайке — в сторону менее тугоплавкого металла.

Импульсную модуляцию силы тока с частотой до 400 Гц обычно используют для уменьшения тепловложения при сварке малогабаритных тонкостенных изделий.

● #902

Литература

5. Электронно-лучевая сварка / Под ред. Б. Е. Патона. — Киев: Наукова думка, 1987. — 256 с.
6. Бах Ф. В., Беньяш А., Лау К. и др. Вневакуумная электронно-лучевая сварка конструкционных сталей // Автомат. сварка. — 2009. — № 5. — С. 29–34.
7. Зуев И. В. Самоорганизация (синергетика) процессов сварки и пайки. Работа формирования шва // Свароч. пр-во. — 1995. — № 9. — С. 13–16.

*Национальная академия наук Украины.
Институт электросварки им. Е. О. Патона НАНУ
Международная Ассоциация «Сварка»*

Международная конференция

Современные технологии сварки

*13–15 июня 2016 г., г. Киев,
ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины*

Тематика конференции:

- Электронно-лучевая сварка
- Лазерная сварка
- Гибридные процессы сварки
- STIR
- Контактнo-стыковая сварка высокопрочных сталей
- Сварка дугой, вращающейся в магнитном поле
- 3D аддитивные технологии, базирующиеся на сварочных процессах
- Методы НК и диагностики сварных конструкций

Во время работы конференции в корпусе № 4 ИЭС им. Е. О. Патона будет работать выставка «Сварка и родственные технологии». Время работы выставки — 14 июня с 10.00 до 17.00, 15 июня — с 10.00 до 16.00.

Секретариат А. Т. Зельниченко, к. ф. - м. н., тел./факс: (38044) 200-82-77, 200-81-45,
конференции: e-mail: journal@paton.kiev.ua

И. Ю. Романова, к. т. н., тел.: (38044) 205-22-26,
e-mail: romanova@paton.kiev.ua

Информационная поддержка конференции: журналы «Автоматическая сварка» и «Сварщик».

Адрес: ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ, 03680, г. Киев, ул. Боженко, 11.
E-mail: journal@paton.kiev.ua
http://pwi-scientists.com/rus/modernweld2016



Сварка термостойких пластмасс. Ультразвуковая сварка*

М. В. Юрженко, канд. физ.-мат. наук, **Н. Г. Кораб**, канд. тех. наук, **В. Л. Демченко**, канд. физ.-мат. наук, **В. В. Анистратенко**, Институт электросварки им. Е. О. Патона НАНУ, **С. М. Дяченко**, ТОО «Путек»

В настоящее время при изготовлении изделий из термостойких пластмасс на основе термопластичных полимеров класса полиариленов применяют практически все известные способы сварки пластмасс. Последняя часть нашей серии статей посвящена изучению технологических особенностей соединения таких пластмасс широко распространенным способом ультразвуковой сварки.

Термопластичные полимеры класса полиариленов, в частности полиэфиримид (PEI) и полиэфирэфиркетон (PEEK), используются для изготовления самых разнообразных изделий в чистом виде, с различными наполнителями, а также в качестве матриц для полимерных композитных материалов на базе стекло- и углепластиков [1]. В зарубежной литературе отмечается, что оба эти материала можно соединять при помощи ультразвуковой сварки [2]. Сварка ультразвуком композитных полимерных материалов широко применяется, в частности, для соединения изделий в аэрокосмической промышленности. В отдельных случаях этот способ сварки используют как дополнение к другим способам. К примеру, в Европе при изготовлении вертикального стабилизатора легкомоторного самолета из композитного пластика углеволокна на основе PEI используют терморезисторную сварку для протяженных соединений и ультразвуковую для приварки небольших деталей [3]. В ряде зарубежных работ [4, 5] исследовались технологические особенности ультразвуковой сварки композитных пластмасс на основе полиэфиримид и полиэфирэфиркетона, в Украине до настоящего времени подобные исследования не проводились. В данной работе освещены исследования технологии ультразвуковой сварки полимерных материалов компании Zedex марок ZX-410 (на основе PEI) и ZX-324 (на основе PEEK).

Для проведения экспериментальных сварочных работ из обоих материалов путем механической обработки изготавливали прямоугольные образцы размером 10×10×15 мм (рис. 1). Особенностью ультразвуковой сварки пластмасс является необходимость наличия спе-

циальных концентраторов механической энергии в зоне сварки, без которых ультразвуковая сварка жестких пластмасс невозможна. Для чего на свариваемых поверхностях образцов формировали по два подобных концентратора энергии треугольной формы с максимальной высотой 0,7 мм.

Сварку проводили на установке для ультразвуковой прессовой сварки УЗПК-12 (Украина) со специальными зажимами для образцов (рис. 2). Образцы из PEI и PEEK сваривали на идентичных режимах при сварочном усилии $F_{\text{свар}} = 0,2$ МПа и амплитудой (пик-пик) механических колебаний в диапазоне 44–80 мкм. Время сварки варьировали таким образом, чтобы энергия сварки менялась в пределах от 300 до 900 Вт·с, а пиковая энергия сварки была в диапазоне 2200–2400 Вт·с.

В результате получали сварные соединения с линией сплавления, изогнутой в местах расположения концентраторов энергии и небольшими выплесками расплавленного материала (рис. 3).

Прочность швов определяли испытанием на одноосное растяжение по ГОСТ 11262-80 «Пластмассы. Метод испытания

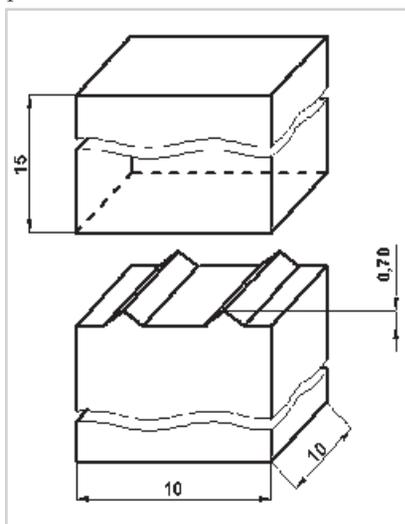


Рис. 1. Чертеж экспериментального образца из жесткого полимера для ультразвуковой сварки.



Рис. 2. Установка УЗПК-12 для ультразвуковой сварки пластмасс.

* Часть 3. Части 1, 2 в № 4, 5 – 2015.

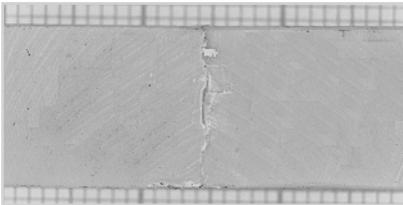


Рис. 3. Сварное соединение образца из PEI

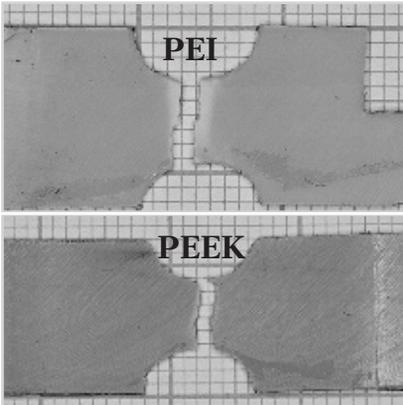


Рис. 4. Лопатки, вырезанные из сварных соединений, после механических испытаний

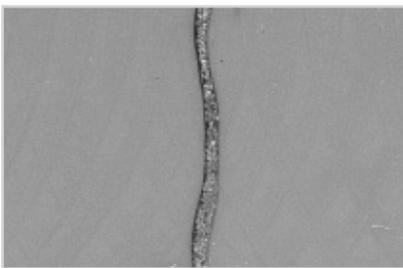


Рис. 5. Разрез сварного соединения образца из PEEK

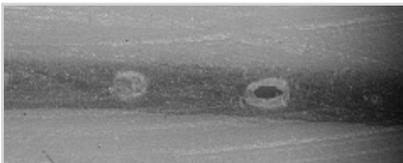


Рис. 6. Поры в сварном соединении образца из PEEK

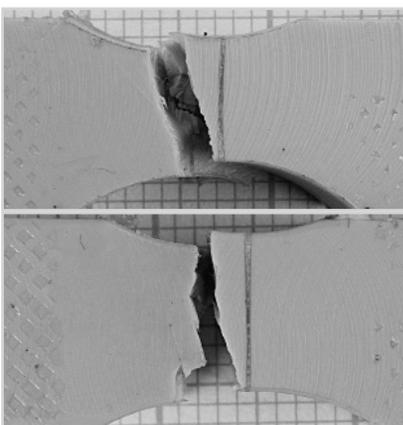


Рис. 7. Сварные соединения образцов из PEEK, сваренные на «мягких» режимах после механических испытаний

на растяжение». Из полученных образцов вырезали пластины толщиной 1 мм, на которых, в месте расположения линии сплавления, фрезерованием формировали лопатки с минимальной шириной образца 5 мм. Образцы-лопатки испытывали на разрывной машине по стандартной методике.

Результаты испытаний показали, что все образцы разрушались вблизи линии сплавления (рис. 4) и показывали величину предела текучести не более 50% от значения этого показателя для основного материала. С увеличением энергии сварки прочность сварного соединения несколько снижалась. В предыдущих статьях этой серии отмечалось, что исследуемые материалы ZX-410 и ZX-324 склонны к образованию пор при избыточном нагреве. Вероятно, при интенсивном нагреве образцов мощными ультразвуковыми колебаниями происходит перегрев материала с образованием дефектов.

На шлифах сварных соединений видно, что линия сплавления имеет волнообразную форму вследствие влияния концентраторов энергии, а само сварное соединение представляет собой узкую полосу видоизмененного материала (рис. 5). При изучении сварного соединения под микроскопом проявляются поры и неоднородности материала вдоль линии сплавления (рис. 6), которые снижают механическую прочность сварного шва. Очевидно, что для исследуемых материалов «жесткие» режимы ультразвуковой сварки с интенсивным тепловложением в сварное соединение не подходят.

В последующей экспериментальной серии исследований образцы сваривали на «мягких» режимах с небольшими значениями амплитуды механических колебаний и энергии сварки. Для механических испытаний фрезерованием формировали лопатки непосредственно из сварного соедине-

ния, чтобы определить прочность всего шва.

Испытания образцов-лопаток показали, что в этом случае разрушение происходит по основному материалу, не затрагивая сварное соединение (рис. 7).

Таким образом, для термостойких полимерных материалов класса полиариленов на основе полиэфиримида и полиэфирэфиркетона исследовано влияние параметров ультразвуковой пресовой сварки на качество сварных соединений. Показано, что наибольшую прочность имеют швы, сваренные на «мягких» режимах с небольшими значениями амплитуды механических колебаний и энергии сварки.

Список литературы

1. Михайлин Ю. А. Термостойчивые полимеры и полимерные материалы.— СПб: Профессия, 2006.— 624 с.
2. Handbook of Plastics Joining. A Practical Guide. 2nd Edition. Plastics Design Library. New York, 2008.
3. H.E.N. Bersee, M. Van Dongen, A. Beukers. Manufacturing of a thermoplastic composite rudder. SAMPE Conference, Long Beach, CA. USA. April 30 – May 4, 2006.
4. A. Levy, S. Corre, A. Poitou. Ultrasonic welding of thermoplastic composites: a numerical analysis at the mesoscopic scale relating processing parameters, flow of polymer and quality of adhesion.— International Journal of Material Forming, Volume 7, Issue 1, March 2014.
5. I. Fernandez, D. Stavrov, H.E.N. Bersee. Ultrasonic welding of advanced thermoplastic composites: an investigation energy directing surfaces.— Advances in Polymer Technology (Special Issue: Thermoplastic Composite Materials), Volume 29, Issue 2, pages 112–121, Summer, 2010.

● #903

Нанесение покрытий на основе композиционных порошковых материалов плазменным напылением

Е. К. Фень, канд. техн. наук, Национальный технический университет Украины «КПИ» (Киев)

В современной технике имеется большая номенклатура деталей и конструкций, работающих в значительном диапазоне температур — от отрицательных до 1200 °С, рабочие поверхности которых нуждаются в упрочнении или восстановлении с помощью жароизносостойких покрытий. Для нанесения таких покрытий предложен плазменный способ. Разработано несколько видов композиционных порошковых материалов для плазменного напыления. Исследованы основные физико-механические свойства покрытий: интенсивность износа при комнатной температуре; износ при фреттинге при комнатной и повышенных температурах; прочность сцепления покрытий с основой из различных материалов; твердость; жаростойкость и остаточные напряжения в покрытиях.

Применение современных материалов для защитных покрытий — необходимое и технологически эффективное решение проблем увеличения надежности и долговечности машин и механизмов. Для разного вида условий работы деталей или конструкций, при восстановлении изношенных и упрочнении новых изделий, требуется точный подбор собственного химического состава материала покрытия и способа его нанесения. Поэтому актуальной задачей является разработка новых материалов покрытий и способа их нанесения.

В статье рассмотрен обычный (не сверхзвуковой) способ нанесения покрытий.

Способ плазменного нанесения покрытий применяется тогда, когда площадь напыляемой детали или конструкции более 10 см², т.е. там, где требуется нанесение большого количества напыляемого материала на большую площадь напыления, для того, чтобы расход напыляемого материала составлял не менее 80% от исходного количества. Пористость покрытий, в зависимости от состава напыляемого материала, составляет от 2 до 10%.

При способе плазменного нанесения покрытий обычно применяют установки следующих марок: УМП-7, УПУ-8, УПУ-ЗД, ЧПКТИ и другие, в которых в качестве энергоносителя используют аргон-азот-водородные смеси.

Разработан ряд композиционных порошковых материалов для жароизносостойких покрытий, химический состав которых и их процентное соотношение между собой на основе Ni-Cr-(Co)-Al-Y(La) сплава, с добавками других металлов (титан, молибден, марганец, тантал, гафний, ниобий) и тугоплавких соединений (карбиды титана, хрома, вольфрама, бора, кремния; нитриды алюминия, кремния; бориды лантана, титана, хрома), подобраны с таким учетом, чтобы при формировании структуры покрытий в них содержалось не менее 20–25% упрочняющих фаз [1]. Жаростойкость покрытий зависит от количества упрочняющих фаз. Когда основной составляющей покрытия является γ -фаза, то покрытия будут работать при высоких рабочих температурах.

Покрытия получали способом плазменного напыления при следующих технологических режимах: расход аргона 7–7,5 л/мин, расход водорода 7–7,5 л/мин, расход аргона для подачи порошка 3 л/мин, ток 450–480 А, напряжение 72–75 В, дистанция напыления 140 мм, толщина покрытия 300–400 мкм. Для напыления использовались в основном порошки размером 20–100 мкм, в зависимости от температуры плавления составляющих их компонентов.

Разработанные композиционные материалы на основе Ni-Cr-(Co)-Al-Y(La) получали способом расплавления данной основы с добавками других компонентов (металлов и металлоидов с температурой плавления не более 300 °С) в индукционной печи в вакууме (кроме тугоплавких соединений), с последующим распылением их в защитной атмосфере на установке марки «УРС-40» Института проблем материаловедения НАНУ до получения порошков с размером частиц 40–80 мкм. Распыленный материал смешивали механическим способом с тугоплавкими соединениями в специальных шнеках, а также получали порошки методом плакирования или конгломерирования данных композиционных порошков на органических связках.

Исследования показали, что для способа плазменного нанесения покрытий нужны порошки из сплавов с размером частиц 40–80 мкм, а для тугоплавких соединений порошки с размером частиц 20–40 мкм.

Полученные порошковые материалы покрытий наносили на подложки из следующих марок сталей и сплавов: 40Х, ЭИ598, ЖС6У, ВЖЛ-12У, ВТЗ-1.

Рентгеноструктурные исследования исходных порошковых материалов и покрытий из них, проведены на дифрактометре типа ДРОН-3,0, в монохроматизированном MoK_{α} излучении. Исследования показали, что покрытия различных составов являются однородными, перенасыщенными твердыми растворами, т.е. основу покрытий составляет γ -твердый раствор хрома в никеле с добавками твердосплавных включений — карбидов, нитридов или боридов.

Металлографические исследования, проведенные на микроскопе <Neophot-2>, показали, что микроструктура данных жароизносостойких покрытий имеет слоистый характер, с эвтектической структурой исходного материала и фаз внедрения, являющихся базовыми карбидами, нитридами или боридами с высокой твердостью. Пористость исследуемых жароизносостойких покрытий не превышала 2–3%.

Определены основные физико-механические свойства покрытий, полученных из предлагаемых композиционных порошковых материалов.

Прочность сцепления покрытий с основой определялась методом «конусного штифта» на разрывной машине марки МР-5, с диаметром иглы в основании 2,0–2,5 мм [2]. Образцы перед напылением обезжиривали и обрабатывали струями песка. Прочность сцепления исследуемых покрытий (толщина слоя 250–350 мкм) с титановым сплавом ВТЗ-1 составляла 67–90 МПа, со сплавом ЖС6У – 67–92 МПа, со сплавом ВЖЛ12-У – 65–67 МПа, со сплавом ЭИ598 – 73–80 МПа, со сталью 40Х – 73–80 МПа.

Испытание на износ исследуемых покрытий на воздухе при трении скольжения без смазки проводили на машинах трения МТ-66 и УМТ-1 (ГОСТ 26614-85) при нагрузках $P = 1\text{--}2$ МПа, скорости скольжения 1 м/с, температуре $T = 20$ °С. Износ поверхности покрытий при нагрузке $P = 1$ МПа составил 13–26 мкм/км, а при нагрузке $P = 2$ МПа соответственно 20–38 мкм/км, в зависимости от состава шихты и процентного соотношения ее компонентов. Контртелом служил вольфрамовый сплав марки ВК-8 (ГОСТ 3882-74).

Коэффициент трения для всех исследуемых материалов покрытий при испытании их на воздухе при сухом трении скольжения без смазки не превышает 0,2–0,3 и зависит, главным образом, от состава и свойств оксидных пленок, образующихся при трении, и мало зависит от скорости скольжения и нагрузки, вследствие преобладания окислительного износа. Образующиеся пленки оксидов (вторичных структур) на поверхности покрытий являются как бы смазкой и были изучены на электронографе ЭМР-100.

С помощью химического и рентгеноспектрального анализа установлено, что в условиях сухого трения скольжения на воздухе материал подложки существенно не влияет на коэффициент и интенсивность износа жароизносостойких покрытий.

Испытания на износ при фреттинге проводили на машине трения марки МФК-1 разработки Национального авиационного университета [3], с использованием пары образцов с одноименным покрытием (для каждого материала не менее 3-х пар образцов) после их доводки до толщины 200–250 мкм и шероховатости поверхности $R_a = 0,63\text{--}0,32$ (ГОСТ 2789-73). Режимы испытаний были следующие: удельная нагрузка $P = 30$ МПа, амплитуда виброперемещений $A = 0,1$ мм, частота колебаний $f = 30$ Гц, температуры испытаний $T = 20$ °С и $T = 800$ °С, база испытаний $N = 5 \cdot 10^5$ циклов. Износ при фреттинге для испытуемых покрытий при температуре испытаний 20 °С находился в пределах 3,1–7,0 мкм, а при 800 °С – 1,7–2,8 мкм.

Твердость покрытий по Роквеллу (толщина покрытия 250–400 мкм) измерялась на приборе марки ТК-201 (ГОСТ 9013-75) и составляла 65–73 НРА, при шероховатости поверхности шлифа $R_a = 0,32\text{--}0,16$.

Жаростойкость покрытий, т.е. кинетику высокотемпературного окисления, изучали методом дериватографического анализа на дериватографе « θ -1000», в интервале температур от 20 °С до 900–1100 °С со скоростью нагрева 10 °С/мин, до максимальной температуры работы покрытия. Жаростойкость покрытий за время испытаний в течение 4-х часов составляла: при температуре 900 °С – 0,6–1,2 г/м²; при температуре 1000 °С – 1,3–2,1 г/м²; при температуре 1100 °С – 2,5–3,3 г/м² привеса в зависимости от состава покрытий и процентного соотношения их компонентов.

Остаточные напряжения в покрытиях определяли методом послойного стравливания напряженных слоев по методу Давиденкова Н. Н. [4]. Во всех материалах покрытий присутствуют напряжения сжатия, максимум которых составляет 300–350 МПа и находится на расстоянии 30–40 мкм от подложки. По мере удаления от подложки остаточные напряжения уменьшаются в направлении поверхности покрытия, где происходит их полное исчезновение.

При определении физико-механических свойств покрытий, результаты испытаний на прочность сцепления покрытия с основой, интенсивность изнашивания при трении скольжения, износ при фреттинге, твердость, жаростойкость и остаточные напряжения обрабатывались в соответствии с ГОСТ 23.211-80.

Исходя из вышеизложенного отметим, что получен ряд композиционных порошковых материалов с высокими физико-химическими свойствами для жароизносостойких покрытий. Способ плазменного нанесения покрытий и полученные материалы для покрытий могут найти широкое применение в различных сферах современной техники, детали машин и конструкций которых работают при высоких температурах.

Литература

1. Фень Е. К. Влияние добавок из различных материалов на физико-механические свойства покрытий на основе Ni-Cr при газотермическом напылении // Сварщик. – 2012. – № 3. – С. 16–18.
2. Шаривкер С. Ю., Ляшенко Б. А., Ришин В. В., Астахов Е. А. Исследование прочности сцепления детонационно-напыленных покрытий // Проблемы прочности. – 1973. – № 3. – С. 35–38.
3. Фреттинг-коррозия металлов / Н. Л. Голего, А. Я. Алябьев, В. В. Шевеля. – К.: – Техніка. – 1970. – 271 с.
4. Давиденков Н. Н. Измерение остаточных напряжений // ЖТФ. – вып. 1. – 1931.

● #904



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 52 или по 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.

Техника выполнения сварных швов*

Сварка нахлесточного соединения в нижнем положении.

Данный тип сварного соединения широко используется в промышленности благодаря своей экономичности, так как не требует каких-либо значительных затрат на подготовку и сборку. Его максимальная прочность достигается при двухсторонней сварке угловым швом.

Сварка такого соединения может производиться как на прямой, так и на обратной полярности оптимальной величины. При этом положение электрода должно соответствовать изображенному на рис. 15.

При сварке нахлесточного соединения в нижнем положении на прямой полярности требуется поддержание достаточно короткой дуги, а на обратной полярности — минимально короткой. Сварочная дуга должна быть сориентирована в направлении корня соединения и горизонтальной поверхности пластины. Во время сварки необходимо совершать, относительно оси сварного шва, небольшие возвратно-поступательные колебания электрода. Это способствует предварительному подогреву соединения перед движущейся сварочной дугой, обеспечивает создание полноразмерной выпуклости и покрывает шлаковой коркой хвостовую часть сварочной ванны.

Очень важным условием для получения качественного соединения является полное проплавление корня шва и хорошее сплавление с поверхностями двух пластин. При сварке на прямой полярности верхняя кромка верхней пластины имеет тенденцию к прожогу, поэтому в любой момент существует риск как недозаполнения наплавленного валика, так и того, что сва-

рочная дуга недостаточно коротка. Подрезы появляются очень редко.

При сварке на обратной полярности важно следить за поддержанием более короткой дуги, а также за устранением возможного подреза, как на плоской поверхности пластины, так и вдоль верхней кромки верхней пластины. Для уменьшения вероятности появления подрезов, перемещение дуги должно быть ограничено размерами сварного шва.

Сварка нахлесточного соединения в горизонтальном положении. Сварка нахлесточного соединения в горизонтальном положении однопроходным угловым швом на прямой полярности часто применяется при сооружении резервуаров и в других строительных конструкциях.

При сварке данного соединения сварочный ток не должен быть слишком высоким. Электрод необходимо направлять в корень сварного шва, а его положение ориентировано в соответствии с рис. 16. Сварку лучше всего производить с небольшими возвратно-поступательными перемещениями электрода в направлении оси сварного шва, можно также применять незначительные поперечные колебания электрода. Сварочная ванна не должна быть слишком перегрета, поскольку это может привести к появлению трещин в металле сварного шва. В процессе сварки следует обращать особое внимание на перемещения электрода, с тем, чтобы не допустить появления прожогов кромки пластины, а также на то, чтобы сварочная дуга не контактировала с поверхностью вертикальной пластины вне пределов сварного шва, в противном случае неизбежно появление подрезов.

Сварка таврового соединения в нижнем положении. Большинство сварных швов, выполняемых сварщиком на практике, составляют угловые швы, выполняемые в нижнем положении. Технология сварки может включать как однопроходную, так и многопроходную сварку всеми типами электродов. Несмотря на то, что электроды, предназначенные для сварки на обратной полярности, не являются оптимальными для выполнения однопро-

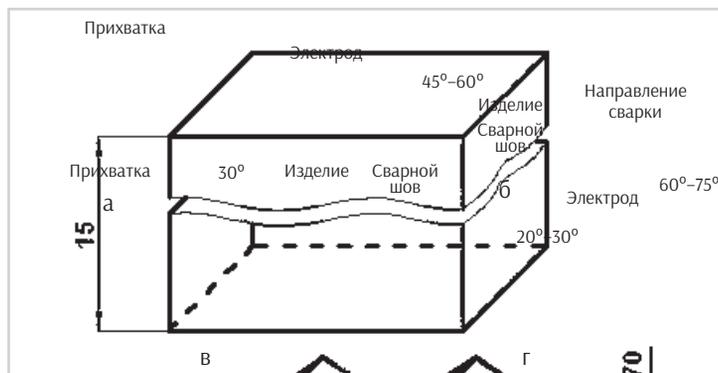


Рис. 15. Сварка нахлесточного соединения в нижнем положении: а — подготовка соединения к сварке; б — положение электрода при сварке однопроходным швом равных толщин; в — положение электрода при втором и третьем проходе при выполнении многопроходного шва; г — положение электрода при сварке разных толщин

* Продолжение. Начало в № 1, 2, 3, 4, 5—2015

ходных угловых швов, использование таких электродов в подобных целях достаточно распространенная практика.

При сварке таврового соединения в нижнем положении на прямой полярности сварочный ток должен быть достаточным для получения обширной сварочной ванны. При сварке на обратной полярности сварочный ток должен быть несколько меньше. Положение электрода при сварке на прямой полярности должно соответствовать изображенному *рис. 17*.

Электрод должен быть направлен в корень сварного соединения. При сварке на обратной полярности длина дуги должна быть меньше. Перемещение электрода должно производиться равномерно на всем протяжении стыка, не выходя за пределы сварочной ванны.

Однако некоторые сварщики предпочитают использовать при этом небольшие возвратно-поступательные перемещения электрода в направлении оси шва. Это оказывает положительное влияние в виде предварительного подогрева свариваемых кромок и корневой части соединения, находящихся перед движущимся электродом, улучшает формирование наплавленного металла на вертикальной плоскости пластины, а также способствует предотвращению подтекания расплавленного шлака в головную часть сварочной ванны. При сварке на прямой полярности подрезы маловероятны. Сварка на обратной полярности требует обеспечения повышенных мер по исключению подрезов.

Сварка таврового соединения многопроходным швом в нижнем положении. Сварку крупных угловых швов часто выполняют путем многократного наложения узких валиков без поперечных колебаний электрода. В большинстве случаев облицовочный слой или последний валик выполняются без поперечных колебаний электрода. В некоторых случаях требуется, чтобы последний проход выполнялся с поперечными колебаниями, в частности, таковы требования при сварке трубопроводов и сосудов высокого давления. Сварка может выполняться как на прямой, так и на обратной полярности сварочного тока.

При сварке данного соединения сварочный ток устанавливается таким же, как и при сварке узким однопроходным швом. Положение электрода будет изменяться в зависимости от последовательности наложения слоев (*рис. 18*). Перемещение электрода аналогично перемещению при сварке однопроходным швом. Расположение или раскладка валиков по сторонам должны производиться таким об-

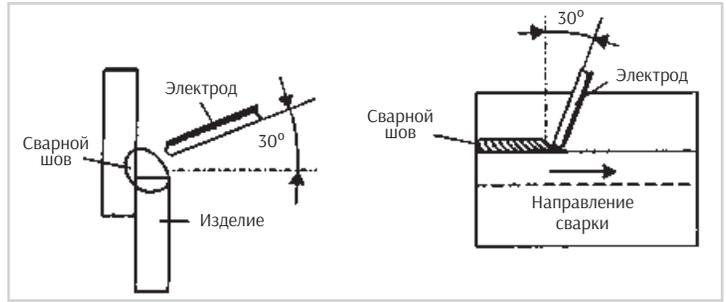


Рис. 16. Положение электрода при сварке нахлесточного соединения в горизонтальном положении

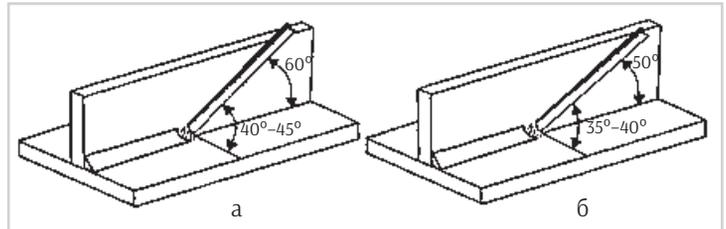


Рис. 17. Положение электрода при сварке таврового соединения в нижнем положении: а – на прямой полярности; б – на обратной полярности

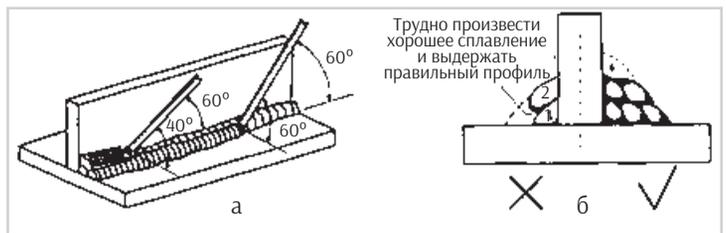


Рис. 18. Положение электрода при сварке таврового соединения многопроходным швом: а – в нижнем положении; б – порядок наложения слоев

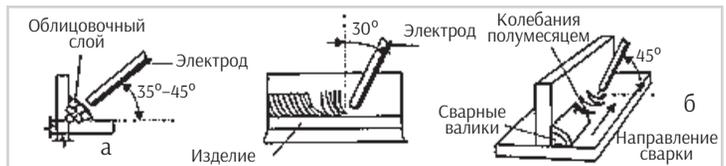


Рис. 19. Положение электрода: а – при выполнении облицовочного слоя; б – траектория колебательных движений электрода

разом, чтобы облицовочный слой точно соответствовал заданному размеру катета углового шва. Порядок наложения слоев показан на *рис. 18, б*.

Техника выполнения облицовочного слоя достаточно сложна. Сварочный ток должен быть оптимальным. Положение электрода и траектория перемещения должны соответствовать изображенному на *рис. 19, а, б*. Перемещение электрода вверх должно производиться быстро, на максимально растянутой дуге, но без обрыва дуги.

При сварке облицовочного слоя указателями ширины перемещения электрода могут служить две параллельные кромки ранее выполненных сварных валиков. Для предотвращения появления подрезов необходимо проводить задержки электрода на верхней и нижней кромках сварного шва. Нужно помнить, что при многопроходной сварке требуется тщательная очистка от шлаковой корки каждого наложенного слоя.

• #905

Продолжение в следующих номерах журнала

Ремонт корпуса регенератора Р-202

В. Д. Позняков, чл.-корр. НАНУ, А. В. Клапатюк, А. А. Максименко, А. М. Герасименко, Е. А. Давыдов, канд. тех. наук, ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ

Продление ресурса безопасной эксплуатации крупногабаритных сварных конструкций в настоящее время приобретает все большую актуальность. Это связано с тем, что большинство конструкций, сооружений и машин отработали свой нормативный ресурс или близки к такому состоянию. Особо остро стоит проблема продления ресурса конструкций, в которых при длительной эксплуатации образовались недопустимые дефекты в виде трещин. В данной статье приводится пример создания и реализации ремонтно-сварочных технологий для восстановления целостности и эксплуатационных характеристик корпусов сосудов, работающих под давлением.

Регенератор Р-202 изготовлен на НПО «Дзержинскимаш» г. Дзержинск Горьковской области в 1988 г. и после завершения монтажных работ в 1993 г. был введен в эксплуатацию на заводе ЧАО «ЛИНИК» г. Лисичанск.

Технические характеристики регенератора Р-202 приведены в табл. 1. Основными его конструктивными элементами являются: обечайки, днище полусферическое, верхний и нижний конуса (табл. 2).

В 2010 г., при проведении испытания регенератора на плотность (герметичность) в сварных соединениях обечайки диаметром 11000 мм и верхнего днища выявлены сквозные трещины. Ремонт подверженных трещинам участков

Таблица 1. Технические характеристики регенератора Р-202

Наименование конструкции	Давление рабочее, МПа (кгс/см ²)	Температура рабочая, °С	Рабочая среда
Регенератор	вверху – не более 0,14 (1,4) внизу – не более 0,17 (1,7) расчетное – 0,35 (3,5)	среда – не более 700 стенка – 150 расчетная – 300	дымовые газы, воздух, водяной пар, микросферический цеолитсодержащий катализатор

Таблица 2. Геометрические размеры и материалы элементов конструкции Р-202

Элемент конструкции	Типоразмер, мм (Днар. × толщину)	Высота, мм	Полный объем, м ³	Материал	Стандарт
Обечайка	11 000 × 022 9 000 × 22	27 500	1800	09Г2С-15	ГОСТ 19282-73
Днище полусферическое	11 000 × 20			09Г2С-12	ГОСТ 19282-73
Конус	11 000/9 000 × 22			09Г2С-15	ГОСТ 19282-73
Нижний конус	9 000/1400 × 36			09Г2С-15	ГОСТ 19282-73

корпуса регенератора был выполнен ремонтной службой предприятия, которое эксплуатирует данный объект, по разработанной ими технологии. В процессе ремонта на корпус регенератора, где наблюдалось большое количество трещин, были приварены накладки. Единичные трещины разделявали и заваривали. При этом столкнулись с новой проблемой. В процессе приварки накладок и заварке дефектных мест, начали развиваться новые трещины. Но, поскольку выпуск светлых нефтепродуктов на предприятии был приостановлен, этому не придали значения.

К решению указанной выше проблемы вернулись в 2013 г., после того как специалисты ИЭС им. Е. О. Патона выполнили повторный детальный контроль состояния сварных соединений регенератора.

С помощью неразрушающего ультразвукового контроля было установлено, что в сварных кольцевых швах, выполненных в условиях монтажа, которыми соединены между собой основные элементы конструкции, указанные в табл. 2, массово образовались сквозные и несквозные трещины.

Было решено удалить поврежденные элементы конструкции и на их место варить новые. Однако, учитывая отрицательный опыт выполнения таких работ собственными силами предприятия, для разработки ремонтно-сварочных технологий и осуществления инженерно-технического сопровождения сварочных работ были привлечены специалисты ИЭС им. Е. О. Патона.

Разработке ремонтно-сварочных технологий предшествовали работы, связанные с изучением состояния металла после длительной, более 131 000 часов наработки в условиях эксплуатации, указанных в табл. 1. Для проведения металлографических исследований, а также оценки механических свойств стали и ее сопротивляемости образованию холодных трещин после длительной эксплуатации, из корпуса регенератора (рис. 1) были вырезаны фрагменты конструкции (отмеченные на рис. 1 черными прямоугольниками).

По результатам исследований проб металла установлено следующее:

1. Подтверждено, что металлоконструкции регенератора изготовлены из стали 09Г2С (табл. 3).
2. В процессе эксплуатации заметных изменений в структуре металла на удалении более 150 мм от имеющихся швов не произошло.

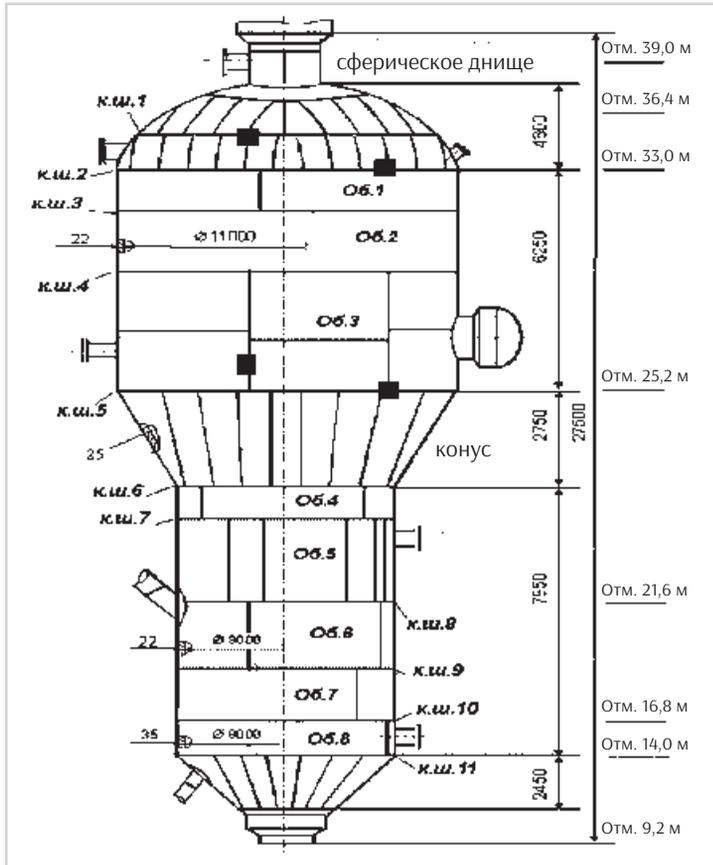


Рис. 1. Схематическое изображение корпуса регенератора P-202

Таблица 3. Химический состав проб металла № 1-4

№№ пробы	C	Si	S	P	Mn	Cu	Cr	Ni	Примечание
1	0,058	0,573	0,020	0,021	1,50	0,188	0,090	0,112	09Г2С
2	0,072	0,573	0,023	0,024	1,60	0,197	0,094	0,117	09Г2С
3	0,052	0,548	0,023	0,021	1,47	0,179	0,095	0,109	09Г2С
4	0,074	0,629	0,032	0,027	1,44	0,099	0,099	0,094	09Г2С
ГОСТ 19281-89	н. б. 0,12	0,5-0,8	н. б. 0,035	н. б. 0,030	1,3-1,7	н. б. 0,30	н. б. 0,30	н. б. 0,30	

Таблица 4. Механические характеристики стали проб № 1-4

№ № проб	σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	ψ , %
1	359-363	494-495	33,4-35,2	68,3-70,7
2	426-426	564-564	29,6-31,2	68,4-68,5
3	444-464	582-594	28,6-31,6	67,0-68,5
4	408-409	526-529	30,9-34,2	58,9-61,2
исходное состояние	387-398	540-578	30,0-33,5	55,7-55,3
ГОСТ 19281-89	345	480	21	-

3. Металл сохранил статическую прочность, пластичность и ударную вязкость на уровне требований, предъявляемых к стали 09Г2С (табл. 4 и 5).
4. При эксплуатации в металле шва и в основном металле, который расположен на расстоянии до 150 мм от оси шва, на внутренней и внешней поверхностях сварных соединений образовались микро- и макротрещины (рис. 2).
5. Межзеренный характер развития трещин (рис. 3) свидетельствует о том, что это трещины коррозии, возникшие под напряжением.
6. На удалении 150 мм и более от металла швов сталь 09Г2С сохранила хорошую способность сопротивляться образованию холодных трещин.

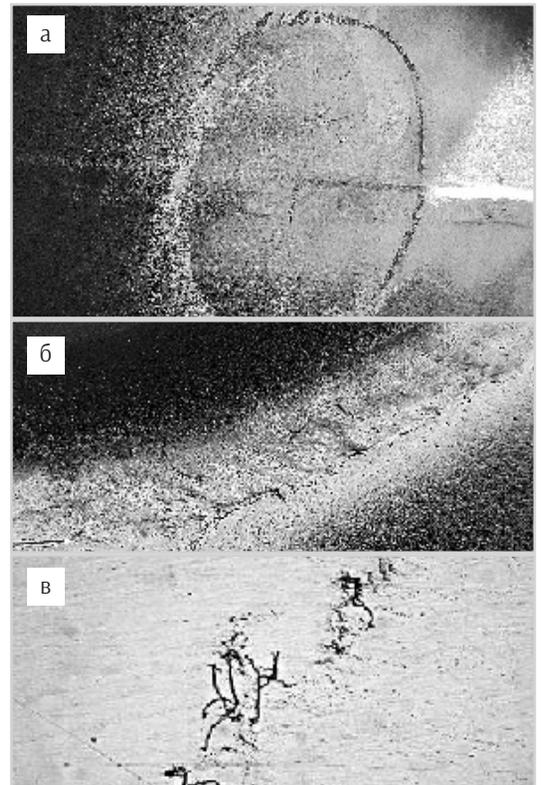


Рис. 2. Макротрещины (а, б) и микротрещины (в), образовавшиеся на внутренней (а) и внешней (б) поверхностях сварных соединений

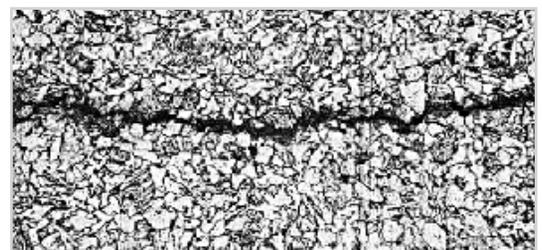


Рис. 3. Структура металла образца № 1 в зоне образования трещины (×320)

Таблица 5. Ударная вязкость стали проб № 1–4

№ № проб	Ударная вязкость, КСУ, Дж/см ²		
	+ 20 °С	-20 °С	-40 °С
1	255–333	188–304	234–346
2	160–176	116–120	83–111
3	150–156	92–110	84–89
4	90–93	78–84	55–61
исходное состояние	191–196	120–136	63–105
ГОСТ 19281-89	59	–	34

На основании проведенных исследований сделан вывод, что технология ремонта должна предусматривать обязательное удаление металла, который расположен на расстоянии не менее 150 мм от оси шва. На участках, где встречались единичные трещины небольшой протяженности, их нужно удалять шлифовкой, а образовавшуюся разделку заваривать.

Таким образом, ремонт кольцевых швов с массовым скоплением трещин должен выполняться методом поэтапной замены дефектных участков пластинами-вставками. С использованием данной технологии на участках указанных на рис. 4 произведен ремонт сварных соединений номер к.ш.5, к.ш.2 и к.ш.1 корпуса регенератора (рис. 1).

При поэтапном способе замены дефектных участков в вырезанные и подготовленные механическим путем проемы последовательно устанавливались и сваривались, предварительно подвальцованные по радиусу пояса-вставки — листы стали 09Г2С. Учитывая, что дефектные пояса имели значительные повреждения на длине равной не менее 3/4 от их общей протяженности, их разбивали на равное количество участков.

Длина участков вырезки была соизмерима с длиной пластин, из которых состояла обечайка, и корректировалась, ис-

ходя из следующих требований: места расположения вертикальных швов в местах соединения между собой вставок следует смещать относительно имеющихся на обечайке заводских швов на расстояние 150–200 мм. Количество участков, на которые разбивали ремонтируемые пояса, уточнялось по результатам контроля с внутренней стороны регенератора. Ширина листов-вставок составляла 300 мм.

Последовательность сварки пластин-вставок в корпусе регенератора показана на рис. 5.

Работу проводили поэтапно. Сначала, после удаления футеровки, внутренняя и наружная поверхности корпуса, где производилась замена металла, очищались от загрязнения, а затем зачищались на ширину не менее 50 мм в каждую сторону от границ предполагаемого проема для проведения неразрушающего контроля. Зачистка выполнялась до металлического блеска механическим способом с использованием шлифмашинок, оснащенных набором абразивных кругов и дисковых проволочных щеток.

Для определения границ, пораженного трещинами участка, проводился неразрушающий контроль с использованием визуального-оптического, капиллярного и ультразвукового методов.

По результатам неразрушающего контроля производили разметку ремонтируемого участка корпуса регенератора под вырезку.

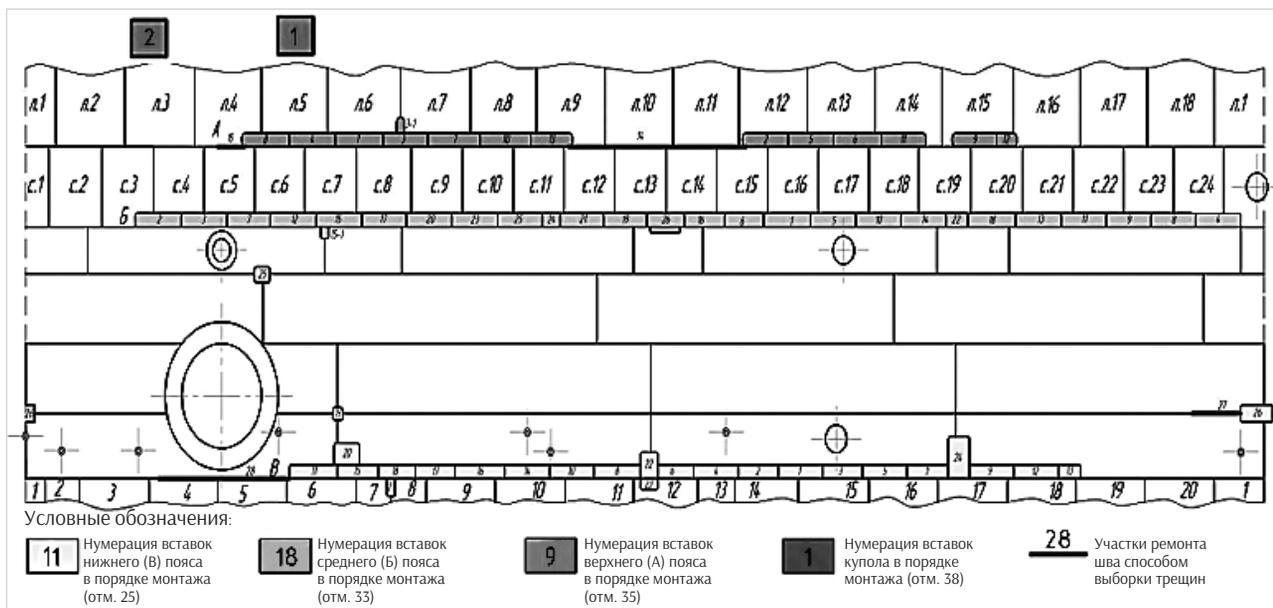


Рис. 4. Схематическое изображение размещения пластин-вставок

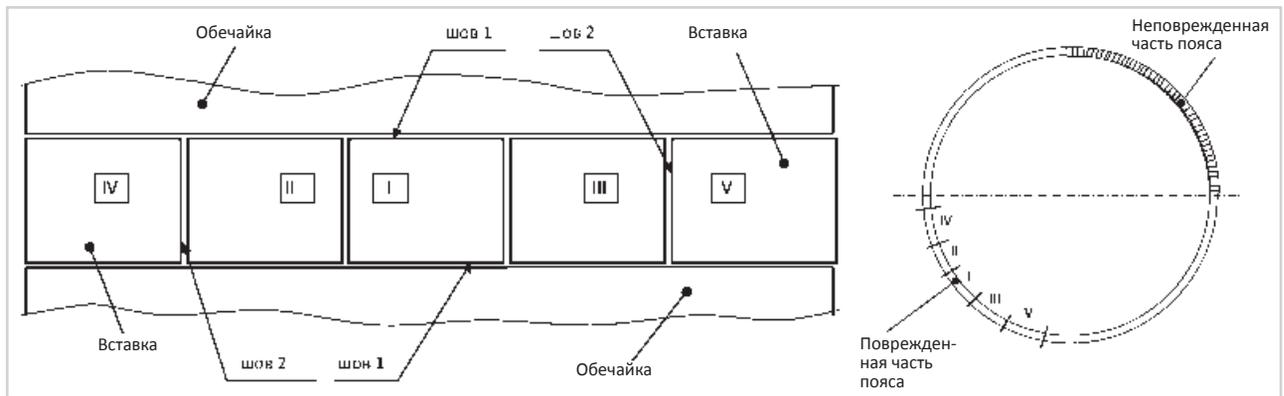


Рис. 5. Очередность сварки пластин-вставок при ремонте регенератора Р-202

Вырезку поврежденного трещинами участка осуществляли с использованием воздушно-плазменной резки. Так как работы выполнялись в зимний период, перед вырезкой дефектного участка его подогревали газовыми горелками до температуры 50–70 °С.

Технологические проемы вырезали таким образом, чтобы их длина была на 300 мм, а ширина на 6–10 мм больше размеров ввариваемых пластин.

После вырезки технологического проема механическим способом осуществлялась зачистка поверхности реза на глубину 0,5–1,0 мм, а затем визуально и с использованием метода цветной дефектоскопии контролировали полноту удаления дефектов.

Если в процессе контроля выявлялись остатки трещин, они разделялись механическим способом и повторно подвергалась неразрушающему контролю. После полного удаления дефектов образовавшиеся разделки заваривались.

Перед сваркой каждый из участков, где была выполнена разделка остатков трещин, нагревался до температуры 120–150 °С. Сам процесс сварки осуществляли ручным дуговым способом с использованием электродов марки LB-52U Ø3,2 мм при выполнении корневого слоя шва и электродов марки Ok 48-00 Ø4,0 мм при выполнении заполняющих и лицевого слоев шва. Сварка производилась на постоянном токе обратной полярности с использованием следующих режимов: $I_{св} = 90–120$ А, $U_{д} = 26–28$ В при сварке электродами Ø3,2 мм и $I_{св} = 140–170$ А, $U_{д} = 24–28$ В — электродами Ø4,0 мм.

После восстановления целостности кромок технологического окна, с использованием воздушно-плазменной резки, готовилась их разделка под сварку пластин-вставок

с корпусом регенератора. Затем кромки зачищались механическим способом на глубину 0,5–1,0 мм от поверхности кромки. При этом до металлического блеска, с внешней и внутренней стороны корпуса и пластин-вставок, зачищалась поверхность свариваемых элементов. Зачистка выполнялась шлифмашинкой на расстояние не менее чем 20 мм от края каждой кромки. На окончательном этапе подготовки корпуса регенератора и пластин-вставок под сборку и сварку проверяли геометрию разделки и качество подготовки кромок. Конструктивные элементы сварных соединений, соединяющих между собой пластину-вставку с корпусом регенератора, и двух соседних пластин-вставок, соответствовали соединениям С12 и С21, указанным в ГОСТ 56264-80 и ГОСТ 14771-76.

Во время сборки пластины-вставки устанавливались в подготовленные под сварку проемы в корпусе регенератора и прихватывались. Перед установкой прихваток и в процессе сварки соединения подогревали до температуры 120–150 °С, так как сварка производилась в зимнее время, когда температура воздуха опускалась ниже минус 20 °С.

В процессе сварки регулярно осуществляли контроль межслойной температуры сварного соединения и следили за тем, чтобы в процессе заполнения разделки она находилась в пределах 100–180 °С. В случае вынужденных перерывов, температуру сварного соединения поддерживали на уровне 100 °С.

Сварку выполняли без перерывов в работе в следующей последовательности.

Первоначально штучными электродами с внутренней стороны регенератора выполнялась ручная дуговая сварка корневых слоев шва верхнего и нижнего горизонтальных стыковых соединений. При этом края пластины-вставки длиной 150–200 мм оставляли недоваренными. Сварку вели от середины вставки к ее концам обратно-ступенчатым способом, участками по 100–150 мм, смещая начало и концы ступеней второго прохода относительно первого на 25–40 мм. Корень шва проваривался методом «двойного слоя».

После выполнения полноценных внутренних горизонтальных швов с наружной стороны с помощью шлифмашинки обрабатывались корни горизонтальных швов до чистого бездефектного металла. Затем производили сварку горизонтальных

швов наружной стороны корпуса регенератора. Последовательность сварки наружной части шва была такой же, как и при его выполнении с внутренней стороны корпуса регенератора.

Для выполнения корневых валиков использовали электроды LB-52U Ø3,2 мм. Сварку осуществляли на следующем режиме: $I_{св} = 100-130$ А, $V_{св} = 6-7$ м/ч. Второй и последующие слои наружного шва выполнялись механизированной сваркой в среде смеси газов 80% Ar + 20% CO₂ проволокой марки ОК Aristorod 12.50 Ø1,2 мм на режиме: $I_{св} = 160-190$ А, $U_{д} = 24-28$ В, $V_{св} = 10-14$ м/ч. В труднодоступных для механизированной сварки местах заполнение разделки осуществлялось ручным дуговым способом штучными электродами ОК 53-70 (48-00) Ø4 мм на режиме: $I_{св} = 150-160$ А, $V_{св} = 7-9$ м/ч.

После завершения сварки верхнего и нижнего горизонтальных швов сварные соединения нагревались до температуры 200–220 °С (температура низкотемпературного отпуска), выдерживались при этой температуре в течение одного часа, затем укрывались теплоизолирующим поясом, под которым находились до полного остывания.

Далее воздушно-плазменной резкой производили вырезку дефектной части корпуса регенератора слева и справа от вставки I для установки листов-вставок (карт) II и III (рис. 5). Выполняли разделку кромок и их зачистку до металлического блеска с внешней и внутренней стороны на расстояние не менее чем 20 мм от края каждой кромки. Устанавливали вставки II и III в проектное положение и закрепляли на сварочных монтажных прихватках. С внутренней стороны сваркой выполняли горизонтальные швы, оставляя у кромок примыкания листов II и III к листам I, IV и V роспуски длиной 200–300 мм.

После того, как в корпус регенератора были вварены вставки I, II и III, приступали к сварке вертикальных швов, которыми соединялись между собой вставки I и II, I и III. Сварка вертикальных швов начинала выполняться в основном с внутренней стороны корпуса регенератора. В отдельных случаях порядок выполнения сварки вертикального шва целенаправленно использовался для регулирования положения пластины-вставки по отношению к корпусу регенератора. Например, когда возникала необходимость «втянуть» концы пластины-вставки внутрь корпуса регенератора, последовательность сварки изменялась и вертикальный шов начинали выполнять с наружной стороны корпуса.

Корневой и прикорневые слои вертикальных швов (с 1-го по 3-й) выполняли электродами марки LB-52U Ø3,2 мм на следующем режиме: $I_{св} = 90-120$ А, $U_{д} = 22-24$ В, $V_{св} = 6-7$ м/ч. Затем с лицевой стороны сварного соединения производилась расчистка корневого слоя шва механическим способом до чистого (бездефектного) металла. К заполнению разделки приступали после визуального контроля состояния поверхности расчищенного шва. Заполнение разделки осуществлялось комбинированным способом: 4-й, 5-й и 6-й слои выполняли ручной дуговой сваркой с использованием электродов марки ОК 53-70 (48-00) Ø4,0 мм; сварку последующих

слоев шва осуществляли механизированным способом в смеси защитных газов проволокой сплошного сечения марки ОК Aristorod 12.50 Ø1,2 мм. При этом использовались следующие режимы: $I_{св} = 150-160$ А, $U_{д} = 24-26$ В, $V_{св} = 7-9$ м/ч — для ручной дуговой сварки; $I_{св} = 140-150$ А, $U_{д} = 23-24$ В; $V_{св} = 7-9$ м/ч — для механизированной сварки в смеси газов.

После сварки вертикального шва выполнялось «замыкание» горизонтальных швов (в местах роспусков), т.е. в той части, которая оставалась недоваренной до выполнения вертикальных швов. Процедуру сварки горизонтальных швов в местах «замыканий» выполняли теми же сварочными материалами, в той же последовательности и на тех же режимах, что и основные горизонтальные швы, которыми сварены между собой пластины-вставки и корпус регенератора.

После завершения сварки вертикальных швов и «замыканий», участок корпуса регенератора, на котором выполнялись эти работы, нагревали до температуры 200–220 °С и выдерживали при данной температуре в течение одного часа с последующим укрытием теплоизолирующим поясом до полного остывания. После полного остывания сварных соединений их поверхность подготавливали механическим способом для выполнения неразрушающего контроля. Контроль качества сварных соединений осуществляли визуально-оптическим и ультразвуковым методами.

Перечисленные выше операции, способы и последовательность их выполнения были осуществлены при ремонте остальных участков корпуса регенератора, требующих замены поврежденного металла. Всего с использованием этого способа была произведена замена поясных монтажных швов к.ш.5 протяженностью 23 м (вварено 18 пластин-вставок), к.ш.2 протяженностью 30 м (вварено 24 пластины-вставки) и к.ш.1 протяженностью 16 м (вварено 13 пластин-вставок).

После выполнения ремонтных работ проводились пневматические испытания корпуса регенератора на плотность. Во время испытаний утечек и видимых деформаций в зоне ремонта элементов конструкции не наблюдалось. Это свидетельствует о высоком качестве и надежности ремонтных сварных соединений.

● #906

Новые перспективные направления в производстве рельсового транспорта социального назначения

А. Н. Моторин, В. А. Дорошенко, В. В. Маслов, ООО «НПФ «Техвагонмаш» (Кременчуг)

Развитие транспорта социального назначения сегодня является одной из актуальных проблем, требующих неотложного решения. Эта отрасль машиностроения постоянно и активно развивается. Новинки науки и техники применяются здесь в первую очередь. Технический прогресс и время приводят к моральному износу средств и способов производства, подталкивают к замене моделей транспортных средств на современные типы.

В производстве трамваев, как и в других промышленных сферах, изделия становятся все более конструктивно сложными, имеют много технических особенностей. В связи с этим предъявляются повышенные требования к универсальности оборудования, времени изготовления изделия, механизации и автоматизации работы. А главной целью представляется сокращение времени на переналадку технологического сборочно-сварочного оборудования при модификации изделий.

В данной статье приведены конструкции оборудования и техники изготовления различных элементов новых моделей трамваев. Проект реализуется украинской фирмой ООО «НПФ «ТЕХВАГОНМАШ».

В 2014 г. в НПФ «Техвагонмаш» разработан комплекс оборудования для производства низкопольных трамваев. В состав комплекса входит оборудование полного производственного цикла изготовления изделий, включая сборочно-сварочную часть, а также склады листового и профильного металлопроката.



Рис. 1. Общий вид универсального станда сборки и роботизированной сварки крыш.

Отдельного описания заслуживает следующее нестандартное оборудование завода ООО «НПФ «ТЕХВАГОНМАШ»:

- универсальный станд сборки и роботизированной сварки крыш трамваев;
- роботизированная ячейка для сборки и сварки узлов тележки трамвая;
- универсальный станд сборки каркасов кузовов трамваев;
- станд сварки и сверловки рам соединения секций трамваев.

Универсальный станд сборки и роботизированной сварки крыш трамваев. Станд всесторонне подходит для изготовления крыш 3-х моделей трамвая (рис. 1).

Для фиксации деталей и узлов каркаса крыши между собой в станде используются пневматические прижимы. Сварка выполняется с помощью робота, установленного на передвижном портале. Портал перемещается с помощью сервоприводов, что обеспечивает точность перемещения и позиционирования. А для прижатия листов обшивки перемещается специальный портал. Перемещая или заменяя некоторые опорные элементы и упоры, из которых формируют крышу трамвая, можно собирать типовые изделия различной геометрии.

Роботизированная ячейка для сборки и сварки узлов тележки трамвая. НПФ «ТЕХВАГОНМАШ» предлагает собственную концепцию изготовления узлов тележки трамвая,

с использованием роботизированной ячейки для сборки и сварки (рис. 2).

Посредством штабелера необходимое приспособление подается на сборочный стол, где выполняется сборка и прихватка составных элементов изделия. После сборки изделие снимается с приспособления и передается на установочный стол. Здесь проходит установка и фиксация узла на соответствующем сварочном спутнике, который заранее подается штабелером со стеллажа для хранения паллет. Далее спутник транспортируется мостовым краном на траверсу сварочного вращателя, где с помощью пневматических досылателей и прижимов происходит базирование и закрепление. После выполнения данного действия оператор покидает сварочную зону и запускает необходимую программу работы робота с пульта управления. Установленная на границе ограждающая колонна сигнализирует об окончании рабочего цикла. Спутник перемещается обратно на установоч-



Рис. 2. Общий вид роботизированной ячейки для сборки и сварки узлов тележки трамвая.

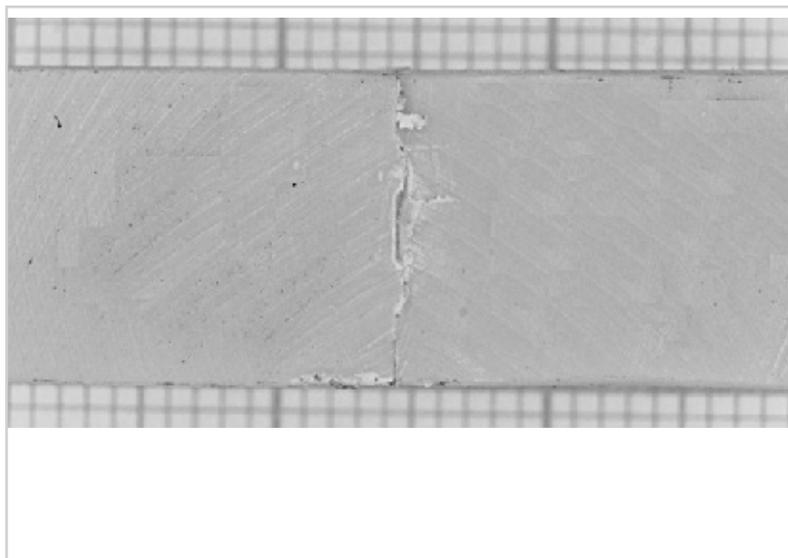


Рис. 3. Общий вид универсального стенда сборки каркасов кузовов.

ный стол. Готовое изделие снимается и транспортируется на следующую операцию или место складирования.

Универсальный стенд сборки каркасов кузовов трамваев.

Стенд представляет собой объемную конструкцию и используется для сборки каркасов кузовов трамваев разных типоразмеров (рис. 3). В состав стенда входят: транспортные тележки, металлоконструкции, подъемники, базисующие элементы и электрооборудование. Конструкция стенда включает в себя также стационарные боковые площадки, лестницы и колонны. Для установки и поджима боковых стен к раме на колоннах имеются горизонтальные базисующие элементы. Приводы прижимов и фиксаторов пневматические. Электрическое управление механизмами стенда выполняется с пульта управления и предусматривает блокировки для безопасной работы.

Транспортные тележки используются для подачи и установки рамы на стенд. Тележки перемещаются по рельсовому пути с колесей 1524 мм. Загрузка рам происходит на продольной оси стенда, вне рабочей зоны.

В стенде тележки останавливаются по осевым базисующим элементам, затем выполняется выравнивание рамы по продольной оси за счет выдвигения осевого базисующего элемента. Далее в рабочую зону выводятся упоры боковых стен. Боковые стены устанавливаются краном и фиксируются в поперечном и вертикальном направлениях. Пневматические подъемники поджимают раму к боковым стенам и производится прихватка.

С помощью шаблона устанавливается рама соединения и при-

жимается к боковым стенам винтовыми прижимами.

Установка торцевых элементов каркаса выполняется визуально при помощи крана.

На каркас краном укладывается крыша и фиксируется при помощи струбцин. Работы по установке крыши ведутся со специальных площадок. Крыша приваривается в автоматическом режиме при помощи сварочных тележек.

После сборки и обварки каркас освобождается от прижимных и базирующих элементов, опускается на тележки и передается на следующее рабочее место.

Стенд сварки и сверления рам соединения секций трамваев. Стенд предназначен для сборки и сварки рам соединения секций трамвая (рис. 4), с последующим автоматическим сверлением изделия (рис. 5). Детали и узлы рам соединения последовательно, согласно карте технологического процесса, укладываются на базовые поверхности стенда по упорам и фиксируются. Производится прихватка и сварка рам соединения. После завершения сварки все фиксирующие и базовые элементы откидываются, при помощи портала со сверлильной головкой производится сверление отверстий (63 шт.) для крепления узла соединения. Готовая рама соединения снимается со стенда и транспортируется на последующее рабочее место.

Видео о работе данного стенда можно посмотреть на видеоканале ООО НПФ «Техвагонмаш»:

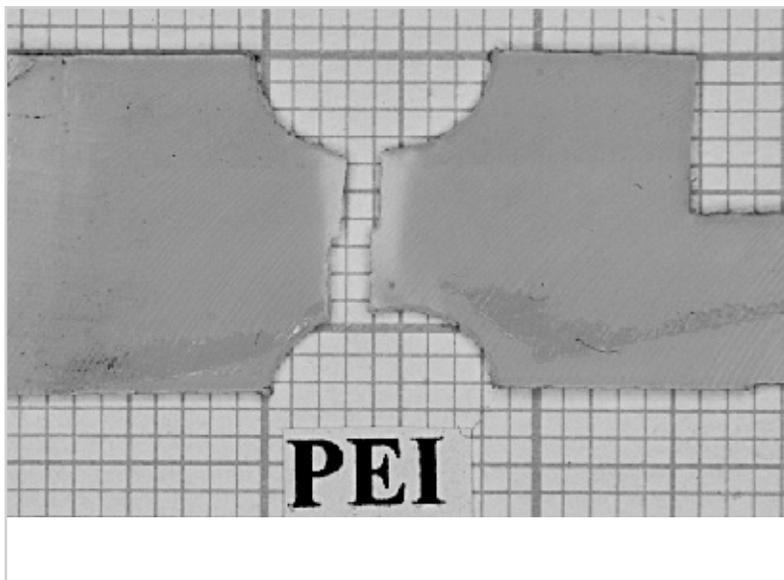


Рис. 4. Стенд сборки рам.

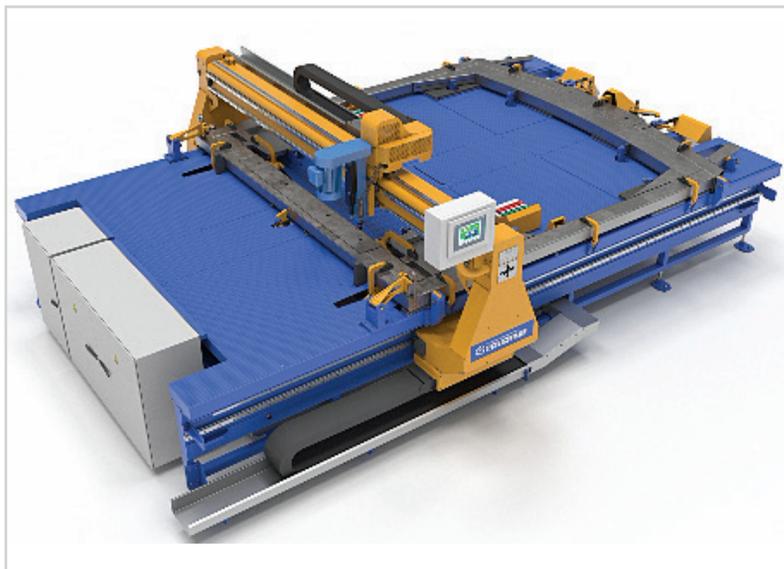


Рис. 5. Общий вид стенда сварки и сверления рам соединения секций трамваев.

<https://www.youtube.com/user/Techvagonmash>

Сейчас данное оборудование проходит завершающую стадию пуско-наладочных работ и в ближайшее время комплекс будет готов к использованию для выпуска опытно-промышленной партии трамваев нового поколения.

Разработчики уверены, что созданная ими высокопроизводительная современная техника в сочетании с гибкостью технологии обеспечит высокое качество, конкурентные цены и заданный объем производства.

● #907

Технология восстановления шеек чугунных прокатных валков чистой клетки стана 1700 на ПАО «ММК им. Ильича»

Ю. В. Демченко, канд. техн. наук, ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ (Киев), С. В. Крылов, канд. техн. наук, НТЦ «Промавтосварка», О. В. Коробка, ПАО «ММК им. Ильича» (Мариуполь)

На ПАО «ММК им. Ильича» валки чистой рабочей клетки стана 1700 массой 6700 кг изготавливаются из специального серого чугуна с пластинчатым графитом. Гарантированный срок эксплуатации валка составляет не менее 125 тыс. т металла. Однако, в процессе эксплуатации имеют место случаи повреждения шеек валков от разрушения внутренней обоймы подшипников, задолго до истечения ресурса «бочки» валков. В настоящее время такие валки практически не восстанавливаются, выводятся из эксплуатации и отправляются на переплавку, что влечет за собой значительные затраты. Это связано с тем, что существующие технологии восстановления, основанные на использовании стальных феррито-перлитных и аустенитных проволок не прижились, поскольку они не учитывают особенности чугуна, условия

эксплуатации, требования термической обработки и являются довольно трудоемкими. Восстановленные по этим технологиям шейки валков не дорабатывали до истощения ресурса «бочки» по причине повторных разрушений, но уже из-за деградации основного металла под воздействием наплавки.

Авторами была решена техническая задача увеличения стойкости восстановленных шеек валков до срока истощения ресурса «бочки». Оперативное восстановление шеек валков, при наличии такой эффективной технологии, позволяет вернуть их в эксплуатацию в проектном режиме. Наша технология включает в себя следующие технические решения: механическое удаление поврежденного слоя, предварительный и сопутствующий подогрев изделия, электродуговую наплавку и последующее самопроизвольное охлаждение наплавленного слоя. В ней также присутствуют обоснованный выбор сварочной проволоки на никелевой основе, соответствующего оборудования и оптимальных технологических параметров режима наплавки. Наплавка шейки валка выполняется по образующей методом крестообразной компенсации в определенном температурном режиме.

Предложенная авторами технология была реализована при восстановлении шейки чугунного валка кл. 5 10 НШС 1700 массой 6,7 т твердостью НВ 1920–2070 МПа, в условиях наплавочного участка ЛПЦ-1700 ПАО «ММК им. Ильича». Перед наплавкой была проведена цветная дефектоскопия и замер коэрцитивной силы для оценки напряженного состояния участков, а также замеры твердости. Далее с шейки валка механической обработкой на токарном станке удаляли поврежденный слой на ширину 120 мм (рис. 1). Затем валок перемещался в наплавочную установку (рис. 2) и проводился его подогрев с помощью газовых горелок до температуры ~80 °С. Наплавка валка осуществлялась с использованием сварочного полуавтомата Aristo Mig 3000i в режиме MIG/MAG (защитный газ — аргон) проволокой на никелевой основе Ø1,2 мм на режимах: сварочный ток 130–140 А, напряжение на дуге 15–16 В, скорость сварки 15 м/ч, методом крестообразной компенсации (поворот изделия на 180° после наплавки очередного валика).

Применяемый диаметр электродной проволоки 1,2 мм позволяет регламентировать величину проплавления с минимальным перемешиванием с основным металлом. При наплавке углерод из основного металла может диффундировать в наплавленный слой, однако никель, как основной легирующий

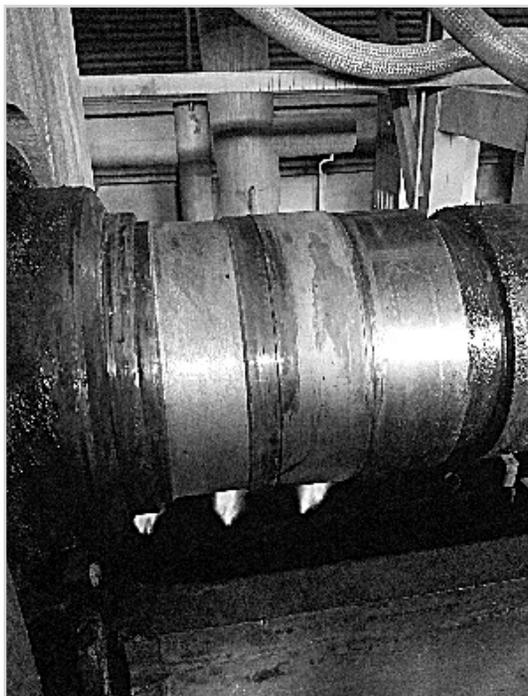


Рис. 1. Удаление поврежденного слоя с шейки валка на токарном станке

элемент, не взаимодействует с ним и не образует хрупких карбидных соединений и трещин в основном и наплавленном металле. Установлено, что твердость наплавленного металла составляет НВ 1900–2000 МПа. В режиме MIG/MAG при оптимальном тепловложении создается минимальная зона термического влияния не превышающая 1000 мкм.

В ходе проведения работ установлено, что в процессе наплавки шейки температуру валка необходимо поддерживать в пределах до 100 °С. Это позволяет исключить перегрев изделия, обеспечить незначительные сварочные напряжения, удовлетворительные условия труда и незначительное потребление энергоносителя.

После наплавки валок самопроизвольно охлаждался до температуры окружающей среды. Проверка напряженного состояния шейки валка методом измерения коэрцитивной силы показала улучшение напряженного состояния (до наплавки — 10 А/см², после наплавки — 5,9 А/см²).

После завершения наплавки валок был перемещен на вальцешлифовальный станок, где наплавленная шейка была доведена до номинального диаметра. Цветная дефектоскопия засвидетельствовала отсутствие трещин. Восстановленный и обработанный чугунный валок собирался с подшипниками и подушками, а затем помещался в чистовую рабочую клеть стана 1700 с последующим осуществлением горячей прокатки стальных листов в проектом режиме.

С июня по сентябрь 2015 г. при проведении опытно-промышленной эксплуатации валок прокатал более 90 тыс. т металла, при постоянном контроле его состояния. Валок был

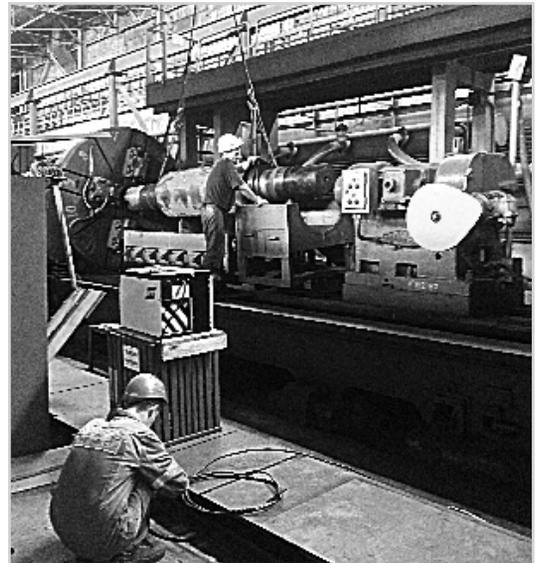
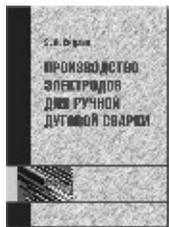


Рис. 2. Установка для наплавки шейки валка

снят с эксплуатации после исчерпания ресурса «бочки» (восстановленные места валка могли эксплуатироваться и далее). Таким образом, предложенная технология обеспечивает полное восстановление геометрических размеров и служебных свойств поврежденной шейки валка практически до уровня основного металла и может быть рекомендована для промышленного применения. ● #908

Книги издательства «Экотехнология»

Тел.: +38 (044) 200-80-14, 200-53-61



З. А. Сидлин. Производство электродов для ручной дуговой сварки. 2009. — 464 с.

Детально описаны все стадии технологического процесса производства металлических покрытых электродов для ручной дуговой сварки, применяемые материалы и оборудование. Даны теоретические основы процессов, протекающих как при изготовлении, так и при применении электродов. Особое внимание уделено вопросам обеспечения качества продукции.

Для инженерно-технического персонала, мастеров и рабочих электродных производств, может быть использована для индивидуальной подготовки и повышения квалификации.

С. Н. Жизняков, З. А. Сидлин. Ручная дуговая сварка. Материалы. Оборудование. Технология. 2006. — 360 с.

Рассмотрены физико-металлургические процессы при ручной дуговой сварке покрытыми электродами. Даны характеристики и классификация электродов, представлена номенклатура промышленных марок, источники питания и другое оборудование. Изложены рекомендуемые технологии сварки сталей, чугуна и цветных металлов и их особенности. Рассмотрены дефекты сварных соединений и причины их образования, а также вопросы ремонтной сварки.



Г. И. Лащенко. Способы дуговой сварки стали плавящимся электродом. 2006. — 384 с.

Рассмотрены структурные схемы способов дуговой сварки сталей плавящимся электродом (ДСПЭ) и общие вопросы свариваемости сталей. Изложены современные представления об энергетической эффективности процесса, формировании швов, производительности и экологических показателях ДСПЭ. Приведены современные способы сварки с применением различных защитных сред, позволяющие регулировать тепловложение в свариваемое изделие, улучшающие формирование металла шва и повышающие производительность сварки. Приведены сведения о гибридных и комбинированных способах дуговой сварки плавящимся электродом.

E-mail: welder.kiev@gmail.com trofimets.welder@gmail.com URL: <http://www.welder.stc-paton.com/>

Механизированная кислородная резка чугунных отходов в полевых условиях

В. М. Литвинов, Ю. Н. Лысенко, С. А. Чумак, ООО «НИИПТмаш – Опытный завод»;
В. А. Белинский, А. И. Коровченко, ПАО «НКМЗ» (Краматорск)

На территории ПАО «НКМЗ», на участке буровзрывных работ, в труднодоступных для транспортировки местах находятся на хранении чугунные отходы (чугун, вылитый из чаши чугуновогоза, или застывший в ней) и стальные заготовки массой от 30 до 90 т. В условиях возрастающего дефицита металлолома и роста цен на него организация работ по разделке этих отходов и заготовок на габаритные куски экономически оправданна.

В 2013 г. в копровом цехе на машине газовой резки (МГР) УОПП-1 был установлен газокислородный резак РГКМ-5, который расширил технологические возможности МГР:

- толщина заготовки из углеродистой и низколегированной стали, максимально разрезаемая за один проход, увеличилась с 1200 мм до 1500 мм;
- стало возможным осуществлять машинную кислородную резку крупных заготовок из высоколегированных сталей и чугуна. Ранее для этих целей использовали малопроизводительную и дорогую резку кислородным копьём.

Было предложено два варианта разделки чугунных отходов и стальных заготовок на габаритные куски с помощью МГР УОПП-1:

1. Доставка отходов (или стальных заготовок) от места хранения к МГР и разделка их на участке кислородной резки крупного металлолома в копровом цехе.

2 Доставка МГР на место хранения отходов (или стальных заготовок), прокладка временных трубопроводов для кислорода и природного газа к МГР и организация разделки указанных заготовок с последующим вывозом габарит-

ных кусков (2–5 т) при помощи обычного автокрана и грузовой машины.

После предварительного технико-экономического анализа приняли решение остановиться на втором варианте.

МГР УОПП-1 перемещается по рельсовому пути длиной 6 метров, выполненному в виде жесткой рамы. По углам рамы расположены 4 винтовых домкрата, с помощью которых рама с МГР устанавливается горизонтально.

Погрузка МГР с рамой на бортовой грузовик «КАМАЗ» и разгрузка ее осуществлялась обычным автокраном.

Длина временных трубопроводов для кислорода и природного газа от точек подключения их к заводским магистралям до места хранения заготовок составила 50–150 м. Для компенсации потерь во временном трубопроводе давление кислорода на входе в него поддерживалось выше обычного на 0,2 МПа и составило 1,2 МПа. С этой же целью давление природного газа на входе во временный трубопровод поддерживалось выше обычного на 0,01 МПа и составило 0,075 МПа.

На рис. 1 показан начальный момент разделки чугунного отхода: нагрев поверхности заготовки по линии реза, пуск режущей струи кислорода и формирование шлаковой дорожки. Это наиболее ответственный

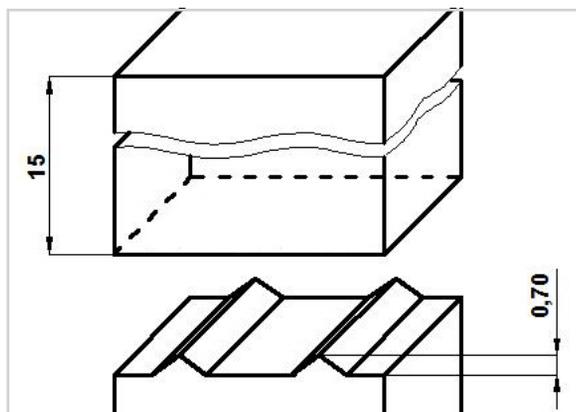


Рис. 1. Врезание кислородной струи в заготовку



Рис. 2. Процесс кислородной резки чугунного отхода массой 30 т

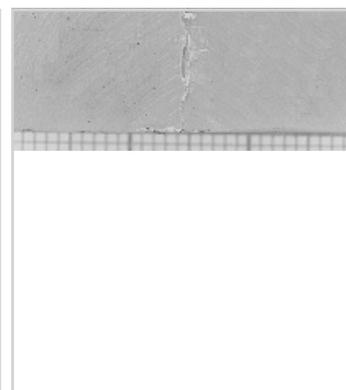


Рис. 3. Заготовка из чугунного отхода с вырезанным сегментом

этап, от которого зависит успешное окончание процесса кислородной резки.

Воспламенение металла заготовки осуществлялось с помощью металлического прутка диаметром 10 мм. Далее процесс резки происходил без каких-либо присадок.

На *рис. 2* показан процесс кислородной резки в завершающей его стадии. Сделан надрез длиной 1 метр. Затем вертикальным ходом резака вырезан сегмент из заготовки массой 2–5 т. Процесс резки происходит стабильно, шлаковый поток яркий и истекает из полости реза равномерно.

На *рис. 3* показана заготовка из чугуна после выполнения очередного надреза. Вследствие неизбежного отставания линии реза по толщине заготовки, в местах соединения различных горизонтальных и вертикальных надрезов образуются тонкие перемычки. Эти перемычки уда-

ляются с помощью кислородного копья непосредственно перед погрузкой габаритных кусков на автомобиль. Поскольку погрузочные операции магнитной шайбой в полевых условиях выполнить невозможно, схема разделки и последовательность выполнения резов выбраны таким образом, чтобы можно было осуществить погрузку габаритных кусков с помощью стальных тросов.

Результаты разделки чугуновых отходов непосредственно на месте их хранения подтвердили выводы предварительного технико-экономического анализа. При втором варианте, принятом к исполнению, общие сроки выполнения работы уменьшились в 1,8 раза, а стоимость всех работ сократилась в 1,4 раза (при одинаковых затратах энергоносителей при 1-ом и 2-ом вариантах разделки).

Сокращение сроков выполнения работы и уменьшение ее стоимости произошло за счет отказа от привлечения дорогой спецтехники для погрузочно-разгрузочных и транспортных операций и за счет отказа от строительства подъездных дорог для этой спецтехники к местам хранения чугуновых отходов и стальных заготовок массой от 30 до 90 т.

● #909

ООО «Интерпро». Производство сварочной и наплавочной порошковой проволоки

В 2012 г. в Орловской области было организовано предприятие ООО «Интерпро» по производству сварочной и наплавочной порошковых проволок.

ООО «Интерпро» имеет высокопроизводительное, современное, европейское оборудование; использует в производстве качественные компоненты: ленту, минеральное сырье, ферросплавы.

ООО «Интерпро» выпускает широкую номенклатуру сварочной и наплавочной порошковых проволок диаметром от 1,6 до 3,6 мм. Готовая продукция поставляется на кассетах К300 и К415 с рядной намоткой.

ООО «Интерпро», являясь производителем порошковой проволоки, учиты-

вает требования заказчика к техническим характеристикам и сварочно-технологическим свойствам порошковой проволоки, производительности и экономической составляющей. Оперативно решает вопрос о заданном объеме производства и сроках поставки.

Основная задача компании базируется на выпуске порошковой проволоки, которая по качеству не уступает импортным аналогам и имеет оптимальное соотношение цены и качества.

В настоящее время ООО «Интерпро» активно участвует в программе импортозамещения сварочных материалов и предлагает отечественным потребителям в различных сферах сварочной отрасли сварочную и наплавочную порошковую проволоку отличного качества по конкурентной цене.

● #910

Всегда рады сотрудничеству!

Россия, 302025, Орловская область, Орловский район, ул. Коневская, д. 11
 тел. +7 (4862) 33-03-19, факс +7 (4862) 33-00-78
 e-mail: interpro-rybin2012@yandex.ru
 www.interpro-orel.ru

интерпро

Памяти Владимира Петровича Костюченко

6 сентября 2015 г. ушел из жизни генеральный директор ООО «Интерпро» Владимир Петрович Костюченко, человек, широко известный в сфере сварочных технологий.

Родился Владимир Петрович в Житомирской области, на Украине, в 1950 г. С юных лет он мечтал получить фундаментальное образование и очень хотел стать хирургом. Но страх перед скальпелем и болью людей заставил его отказаться от этой профессии. Трудно сказать, что именно повлияло на выбор его будущей судьбы, но он был сделан правильно.

В 1974 г. В.П. Костюченко окончил Киевский политехнический институт по специальности «Технология производства сварочных материалов».

Трудовой путь В.П. Костюченко начался в 1974 г. на Орловском сталепрокатном заводе в должности мастера электродного цеха, затем он работал начальником технологического бюро, начальником электродного цеха, техническим директором, генеральным директором ОАО «ОСПАЗ».

В 1995 г. В.П. Костюченко прошел стажировку в бельгийской фирме «Bekart».

За годы работы на Орловском сталепрокатном заводе В.П. Костюченко совершил много зарубежных поездок, из которых черпал новаторские идеи и перенимал зарубежный опыт в области развития сварочных технологий.

В 2000 г. В.П. Костюченко в должности генерального директора возглавил ОАО «Межгосметиз-Мценск» и руководил этим предприятием 12 лет.

За время работы в ОАО «Межгосметиз-Мценск», В.П. Костюченко сумел превратить завод, находящийся на грани банкротства в успешное, известное в России и за ее пределами, предприятие по производству различных марок сварочной проволоки и электродов. Он был выдающимся стратегом и управленцем-хозяйственником, отличавшимся высоким профессионализмом и блестящей эрудицией. Лично вникал во все тонкости производства и внедрял новейшие технологии, был достаточно жестким и требовательным руководителем, который всегда ставил интересы дела во главу угла. Не боялся ответственности и отстаивал свою точку зрения перед партнерами — собственниками предприятия, понимая и предвидя успешность внедряемых им инноваций.

В.П. Костюченко всегда ценил и заботился о людях, которые работали с ним в команде, прекрасно осознавая, что здоровые, успешные и достойно за-

рабатывающие люди — это опора и индикатор развития бизнеса. К нему обращались за разного рода помощью, и он никому не отказывал, так как был человеком большой души.

Активная управленческая деятельность В.П. Костюченко была высоко оценена правительством: он был награжден орденом «За заслуги перед Отечеством II степени».

В 2012 г. В.П. Костюченко принял рискованное по меркам «стартаперов» решение: он расстался с ОАО «Межгосметиз-Мценск» и начал свой новый бизнес-проект ООО «Интерпро» — производство сварочной и наплавочной порошковой проволоки. Это был взвешенный шаг. Он хотел приобрести новый опыт и независимость. В.П. Костюченко набрал команду профессионалов, организовал производство, купил новейшее импортное оборудование для производства порошковой проволоки, задал направление движения и вновь пошел вперед. Потому, что по-другому не умел. Он всегда и во всем был создателем и победителем, не сумев победить лишь свою болезнь, которая забрала его здоровье в 65 лет.

Успех Владимира Петровича объясним: он работал не жалея себя, изучал все новое, общался со множеством специалистов в области сварочных технологий и имел свой личный стиль работы, который был присущ только ему. И еще, он очень любил жизнь, обожал свою семью, окружающий мир и людей. Это давало ему вдохновение, от всего этого он черпал свои силы.

Верим, что дело В.П. Костюченко будет дальше процветать и умножаться.

Все, кто знал Владимира Петровича, навсегда сохранят о нем память как о разносторонне образованном специалисте, прекрасном организаторе, незаурядном, чутком и отзывчивом человеке.

*Коллектив ООО «Интерпро»
(г. Орел, РФ)*

Технико-экономические аспекты применения электронно-лучевой сварки

А. А. Мазур, канд. экон. наук, **О. К. Маковецкая**, канд. экон. наук, Институт электросварки им. Е. О. Патона НАНУ

Стандартизированная номенклатура процессов сварки, применяемых в современном промышленном производстве, составляет более ста наименований [1].

В машиностроении, автомобилестроении, авиастроении, судостроении и других отраслях промышленности в процессе изготовления изделий используются разнообразные процессы соединения материалов. В частности, при производстве авиадвигателей Британская компания Rolls-Royce применяет до десятка сварочных процессов, среди них: плазменная дуговая сварка, диффузионная сварка, сварка трением, дуговая сварка вольфрамовым электродом в инертном газе с присадочным сплошным материалом, лазерная сварка, электронно-лучевая сварка.

Каждый процесс соединения металлов имеет свои уникальные характеристики и параметры. Выбор процесса соединения для конкретной операции требует проведения интегрированной оценки технических характеристик, технологических требований и рабочих условий осуществления данного процесса, его производительности и стоимости. Например, использование технологических и экономических преимуществ отдельных сварочных процессов при изготовлении авиационных двигателей, позволило компании Rolls-Royce достичь существенной экономии топлива, снижения массы, увеличения срока службы отдельных узлов и деталей, снижения шума и повышения аэродинамических характеристик авиационного двигателя.

В частности, внедрение линейной сварки трением для приварки рабочих лопаток к диску турбины и электронно-лучевой сварки (ЭЛС) при изготовлении корпуса двигателя внутреннего сгорания обеспечило значительное снижение стоимости и массы изделия, а также увеличило срок его годности [2].

При изготовлении ответственных конструкций жесткие требования, предъявляемые не только к соединяемым материалам, но и к качеству сварки, вызвали в последнее время заметный рост интереса к ЭЛС в промышленном производстве.

Технологию ЭЛС отличает высокое качество сварных соединений. Определяющим при этом являются минимальные деформации и остаточные напряжения, высокие механические и прочностные (практически на уровне основного металла) характеристики сварных соединений. Например, газотурбинные двигатели ДН-80, ДГ-90, ГТД-110 и их модификации, выпускаемые НПКГ «Зоря» — «Машпроект» (Николаев), разработали исходя

из возможности соединения деталей с помощью сварки электронным пучком: около 90% сварки выполняется ЭЛС и альтернативы этому процессу нет.

Сравнение технологических параметров процесса аргонодуговой сварки и ЭЛС применительно к изготовлению силового корпуса Н80028040 газовой турбины показало, что ЭЛС действительно намного более производительна, чем традиционная аргонодуговая сварка. Время сварки почти в шесть раз меньше по сравнению с аргонодуговой сваркой. Процесс ЭЛС не требует применения сварочных материалов — защитного газа и сварочной проволоки, в изделиях практически отсутствуют деформации [3].

В Институте сварки Университета г. Аахен (ФРГ) выполнен сравнительный анализ сварки толстостенных труб большого диаметра (длиной до 12 м) для газо- и нефтепроводов несколькими способами сварки, который показал, что ЭЛС является наиболее экономичным вариантом продольной сварки труб большого диаметра с толщиной стенки 11–40 мм [4].

Существенное расширение использования ЭЛС в промышленности связано также с возможностью эффективного производства с ее помощью изделий из конструкционных металлов и сплавов больших толщин (до 300 мм): сосудов высокого давления, корпусов ядерных и химических реакторов, контейнеров для ядерных отходов, корпусов подводных аппаратов, роторов паровых и газовых турбин, несущих конструкций сверхзвуковых самолетов.

Сравнение технических характеристик процесса ЭЛС, дуговой сварки плавящимся электродом в защитном газе (GMAW), дуговой сварки под флюсом в узкий зазор (SAW n.g) и обычной дуговой сварки под флюсом (SAW c.) листов из низко- и высоколегированных сплавов с толщиной стенки до 300 мм, свидетельствует, что ЭЛС выгодно отличается от других процессов вы-

сокой производительностью — ЭЛС осуществляется за один проход, тогда как применение других процессов сварки требует от 35 (GMAW) до 143 (SAW с.) проходов и время сварки при использовании этих способов значительно больше.

ЭЛС отличается высокой энергетической эффективностью: потребляемая энергия в случае ее применения в 5 раз меньше. При ЭЛС не используются присадочные материалы. Техничко-экономические показатели дуговой сварки под флюсом в узкий зазор несколько лучше, чем обычной дуговой сварки под флюсом, но все таки значительно уступают ЭЛС [4].

Преимущества ЭЛС, которые по сравнению с другими способами сварки плавлением, дают возможность осуществить комплексную автоматизацию производственного процесса, следующие:

- широкий диапазон толщин свариваемых деталей — от долей миллиметра до 100 мм и более, универсальность аппаратуры для ее выполнения;
 - возможность получения узких швов с глубоким проплавлением;
 - возможность регулирования отношения глубины проплавления к ширине шва;
 - уменьшение роста зерна в шве и зоне термического влияния (ЗТВ) сварки;
 - небольшие линейные размеры ЗТВ;
 - большие скорости нагрева и охлаждения металла в вакууме, что позволяет получать максимальную степень чистоты и высокие физико-механические свойства соединения;
 - резкое снижение величины деформаций сварных конструкций;
 - возможность сварки соединений различных типов, в том числе принципиально новых, не выполнимых известными способами сварки плавлением;
 - высокая производительность и экономичность;
 - универсальность аппаратуры, позволяющая сваривать детали разных толщин;
- Перечисленные преимущества являются одними из основных факторов внедрения ЭЛС в массовое производство, особенно в секторе автомобилестроения.

Следует отметить, что широкое внедрение ЭЛС в высокотехнологичные производства затрудняется некоторыми экономическими и техническими особенностями.

Прежде всего технологии ЭЛС требуют высоких капиталовложений: затраты начинаются с 250 тыс. долларов и, в зависимости от уровня автоматизации, могут превышать эту сумму.

Процесс ЭЛС требует весьма точной подгонки свариваемых элементов, размер свариваемых конструкций ограничен, поскольку сварку приходится выполнять в камерах. Также следует принимать специальные меры для обеспечения направления электронного луча по стыку и учитывать необходимость защиты, поскольку в процессе ЭЛС происходит генерирование рентгеновского излучения, особенно при $U_{\text{уск}} = 60 \text{ кВ}$ [5].

Несмотря на высокую стоимость оборудования для электронно-лучевой сварки, трудоемкость и длительность подготовительных операций к сварке, опыт эксплуатации сварочных установок различного типа показал, что срок их окупаемости обычно не превышает 2-х лет. При этом для массового сварочного производства установки ЭЛС могут окупаться еще быстрее [4].

Применение ЭЛС постоянно расширяется. В начале 80-х годов прошлого века количество эксплуатируемых в мире электронно-лучевых установок составляло около 4000 ед. Ежегодно их изготавливается 150–200 ед., создаются крупногабаритные вакуумные камеры объемом до 500 м³ (в авиационной промышленности — до 1500 м³). В 2000 г. их количество достигло 7000 ед., а в настоящее время составляет не менее 8000 единиц [6].

Литература

1. ISO 4063:2009. Welding and allied processes — Nomenclature of processes and reference numbers (IDT)
2. Jones S. Welder: Welding Engineering — Leveraging the delivery of economic recovery // The Welding & Joining Society report.— Central Sussex College.— April 2012.— P. 2.
3. Кайдалов А. А., Гейкин В. А., Поболь И. Л., Драгунов В. К. Электронно-лучевая сварка и смежные процессы в промышленности СНГ // Технологии и оборудование электронно-лучевой сварки — 2008. Материалы Первой Санкт-Петербургской международной научной конференции.— СПб: ООО «Агенство «Ви-Принт».— 2008.— С. 21–34.
4. Dilthey U. Welding technology // ISF — Welding Institute RWTH.— 2005.— P. 120–133.
5. Башенко В. В., Вихман В. Б., Козлов А. Н. Состояние и перспективы развития электронно-лучевой сварки // Технологии и оборудование электронно-лучевой сварки — 2008. Материалы Первой Санкт-Петербургской международной научной конференции.— СПб: ООО «Агенство «Ви-Принт».— 2008.— С. 5–21.
6. Smallbone Ch., Kocak M. Improving Global Quality of Life Through Optimum Use and Innovation of Welding and Joining Technologies // International Institute of welding.— 2012.— 178 p.

● #911

Экономико-статистический обзор мирового и региональных рынков титана

С. В. Пустовойт, к.т.н., С. В. Ахонин, д.т.н., В. С. Петрук, Н. С. Бровченко, ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ

Титан является стратегическим и наиболее востребованным металлом, который активно используется при разработке новых видов техники и технологий. Основные продукты переработки титановых концентратов — диоксид титана и губчатый титан (промежуточный продукт в производстве металлического титана). Свыше 93% рынка титановой продукции приходится на диоксид титана, на металлический титан и сварочные материалы — около 7%. В мировом масштабе на аэрокосмический сегмент приходится 50% потребления титановой продукции, на промышленность и инфраструктурные проекты — до 40%, на военную сферу — 6%, на потребительские продукты — около 5%. В статье представлена систематизированная экономико-статистическая информация о состоянии и перспективах мирового и региональных рынков титана и сплавов на его основе, приведены их количественные и стоимостные показатели.

Титан — металл серебристо-белого цвета, подтверждающий свое пророческое название, данное ему немецким химиком Клапротом в 1795 г., обладает замечательными механическими свойствами — легкостью, прочностью, термостойкостью, высокой химической стойкостью по отношению ко многим агрессивным средам неорганического и органического происхождения (морской воде, физиологическим средам и пищевыми кислотами). Титан и сплавы на его основе хорошо поддаются обработке давлением и сварке. Благодаря этим качествам титан является стратегическим и наиболее востребованным металлом, который активно используется в новых видах техники и технологиях.

Сырьевая база титана. Титан является одним из распространенных химических элементов, среднее содержание титана в земной коре составляет около 0,6% [1, 2]. По распространенности среди металлов конструкционного назначения титан занимает четвертое место [3].

Титан входит в состав очень многих минералов, так, в 80 минералах он является одной из главных частей. Важнейшие минералы титана входят в состав пяти характерных групп — рутила, ильменита, перовскита, ниоботанталотитанатов и сфена, где наибольшее практическое значение имеют группы рутила и ильменита.

В рутиловых концентратах содержание диоксида титана составляет 93–96%, в ильменитовых — 44–70%, а в концентратах из лейкоксеновых руд — до 90%.

Всего в мире выявлено более 300 месторождений титановых минералов, из них 70 магматических (69% мировых запасов), 10 в корях выветривания (около 10% запасов) и более 230 рассыпных (20% запасов). В ильмените мировые запасы титана составляют 82%, анатазе — менее 12% и рутиле — 6%.

Данные о выявленных ресурсах (2072 млн т) и мировых запасах (907 млн т) титановых минералов по оценке экспертов USGS [4, 5] представлены в табл. 1.

Таблица 1. Выявленные ресурсы и мировые запасы диоксида титана (на 01.01. 2008 г.)

Страна	Ресурсы, млн т	Запасы, млн т	Доля, % (по запасам)	Содержание TiO ₂ , %					
				Коренные			Рассыпные		
				ильменит	рутил	прочие	ильменит	рутил	прочие
Азия, (в т.ч.):	640,7	319,1	34,8	—	—	—	—	—	—
КНР	366,7	213	23,2	10	2,3	—	0,9	0,9	—
Индия	230	92,4	10,1	—	—	—	7	1,3	—
Вьетнам	14	1,6	1,5	—	—	—	0,8	—	—
Россия	557,6	204,3	22,25	5	2,5	3	1	0,1	10,4
Африка, (в т.ч.):	359,6	102,7	11,2	—	—	—	—	—	—
ЮАР	244	71,3	7,75	—	—	—	2,6	0,3	—
Мозамбик	60,6	12,4	1,35	—	—	—	2	0,1	—
Мадагаскар	37	16,5	1,8	—	—	—	2,6	—	—
Сьерра-Леоне	36	2,5	0,3	—	—	—	—	1,4	—
Кения	14,4	0	0	—	—	—	2	0,1	—
Австралия	223,5	139,7	15,2	—	—	—	8	0,8	—
Америка, (в т.ч.):	183,3	81,6	8,9	—	—	—	—	—	—
Бразилия	86,5	44,2	4,8	—	21,8	—	1,4	0,1	—
США	60,8	6,4	0,7	—	—	—	1,5	0,3	—
Канада	36	31	3,4	31	—	—	—	—	—
Европа, (в т.ч.):	108	70	7,6	—	—	—	—	—	—
Норвегия	60	37	4,0	18	—	—	—	—	—
Украина	48	33	3,6	7,2	—	—	1,2	0,2	—
Итого	2072,9	917,4	100	—	—	—	—	—	—

Основные месторождения титана находятся на территории Австралии, ЮАР, Китая, Японии, России, Украины, Индии, Шри-Ланки, Казахстана, Бразилии, Канады, США.

По результатам 2013 г. мировое производство титановых концентратов составило около 7,5 млн т. Ведущим производителем ильменитов является ЮАР, Австралия — лидер горного производства рутила [6].

Мировая добыча ильменитовых руд и концентратов в 2013 г. увеличилась на 4% и достигла 6,7 млн т. Объем добычи рутиловых руд и концентратов в 2013 г. [7] составил 774 тыс. т.

По прогнозам экспертов [6], рынок титановых концентратов стоит на пороге устойчивого роста и его объем в 2018 г. составит 8,5 млн т.

Динамика цен на рутиловый и ильменитовый концентраты приведена на *рис. 1*.

Динамика производства титаносодержащих концентратов в мире и Китае за 1998–2012 гг. представлена на *рис. 2*.

Тенденции на увеличение их производства в будущем способствует вложение ведущими компаниями титановой отрасли инвестиций в разработку новых месторождений и коммерческое использование замороженных [8].

Основными продуктами переработки титановых концентратов являются диоксид титана (титановый пигмент) и губчатый титан (TiO₂) — промежуточный продукт в производстве металлического титана.

Свыше 93% рынка титановой продукции приходится на диоксид титана. На металлический титан и сварочные материалы приходится около 7%. Такая структура потребления связана с тем, что потребность в сырье для производства только металлического титана не соизмерима с рентабельными объемами добычи руды [9].

Таблица 2. Потребление титановой продукции в мире, тыс. т*

Отрасли промышленности	Год				
	2008	2009	2010	2011	2012
Аэрокосмическая	46,9	29,8	41,2	47,0	60,0
Оборонная	6,4	5,8	6,7	6,0	6,0
Прочие отрасли	43,0	27,6	36,9	52,1	53,0
Развивающиеся рынки	5,3	1,7	2,4	3,0	3,0
Всего	101,6	64,9	87,1	108,1	122,0

* без учета России и Китая

В денежном эквиваленте общий объем рынка титановой продукции составляет порядка 9 млрд долл. США в год [7]. По оценкам экспертов за последние 25 лет спрос на титан рос на 3% в год вследствие роста объемов его потребления в различных отраслях промышленности.

Основными потребителями титановой продукции являются Северная Америка, Европа и Япония. Однако в последние годы ведущим потребителем титана становится и Китай.

Структура потребления титановой продукции имеет региональные особенности [10]. Потребление титана в аэрокосмической отрасли в США и Европе составляет 65–85%. В Японии на гражданский авиакосмический сектор приходится менее 5% (2–3% по данным [4]), 30% от общего спроса приходится на оборудование и конструкционные элементы химических заводов и 22% — на атомную энергетику и станции на твердом топливе.

В США традиционно крупными конечными рынками потребления титана являются химическая промышленность, промышленное и медицинское оборудование, а в Европе наибольшее применение титана приходится на нефтегазовую промышленность и строительство.

Основная доля рынка титана в СНГ [11] принадлежит аэрокосмическому сектору, весомо применение титана и в судостроении, в т.ч. военном, для которого была разработана серия «морских» титановых сплавов.

В мировом масштабе доля аэрокосмического сегмента составляет 50% потребления от общего объема производства титана, доля промышленности и инфраструктурных проектов — до 40%, на военную сферу приходится 6%, на потребительские продукты — около 5%.

Потребление титана в мире по основным отраслям промышленности (по данным ТИМЕТ) представлено в *табл. 2*.



Рис. 1. Динамика цен на рутиловый и ильменитовый концентраты

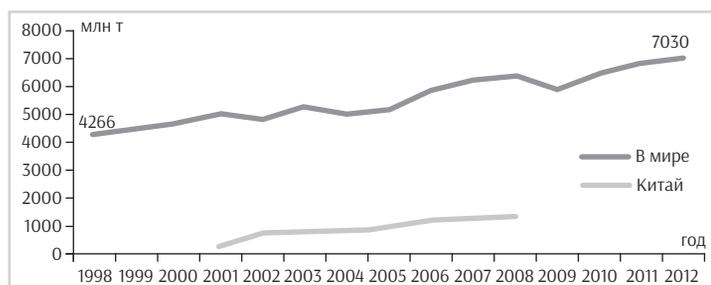


Рис. 2. Динамика производства титаносодержащих концентратов в мире и Китае

Производство губчатого титана. Одним из основных видов титановой продукции является губчатый титан, на производство которого, согласно данным Roskill [7] используется до 7% производимого титанового сырья. На рис. 3 и 4 представлена динамика мирового производства губчатого титана (TiO₂), использования рутила и ильменита в качестве исходного сырья и изменение среднегодовых цен на TiO₂ – титановую губку.

Среднегодовая цена на титановую губку с 1990 по 2004 г. была ниже 10 долл./кг, в начале 2005 г. (в период восстановления авиационной промышленности) она выросла, а в последующие годы постоянно снижалась. На сегодня цена на сырье составляет 10 долл./кг.

За последнее десятилетие на рынке значительно возросли мощности предприятий по производству губчатого титана (рис. 5). Если в 2003 г. они были на уровне 100 тыс. т, то к 2012 г. достигли 283 тыс. т.

Мощности предприятий стран-производителей титановой губки увеличились во всем мире, при этом наибольший рост наблюдался в Китае – с 67 до 126 тыс. т, Японии – с 40 до 66 тыс. т, России – с 32 до 49 тыс. т. Мощности стран-производителей и их доля на мировом рынке представлены на рис. 6.

До финансового кризиса 2008 г. производство титановой губки ежегодно росло, затем объем выпуска сократился до 110 тыс. т., к 2011 г. он вновь достиг докризисного уровня.



Рис. 3. Динамика производства губчатого титана в мире



Рис. 4. Динамика среднегодовых цен на губчатый титан

Глобальная мощность промышленного производства титановой губки в недалеком будущем специалистами Roskill оценивается в 330 тыс. т, из них более 40% промышленного класса будут составлять изготовленные в Китае.

Мощности производителей рынка титановой губки аэрокосмического класса составляют около 130 тыс. т, что более чем достаточно для удовлетворения текущего спроса. Такая титановая губка производится в Японии, России, США, Казахстане, ее выпуск осваивается в Китае и Украине.

Финансовый кризис 2008 г. вынес на рынок конструкционных металлов ряд негативных тенденций, которые коснулись и рынка титановой губки. В 2009 г. объемы продаж губчатого титана сократились до 123,5 тыс. т. Однако резкий спад производства был преодолен очень быстро. В период с 2010 по 2012 г. ежегодный рост рынка губчатого титана составил в среднем 26,7%. За

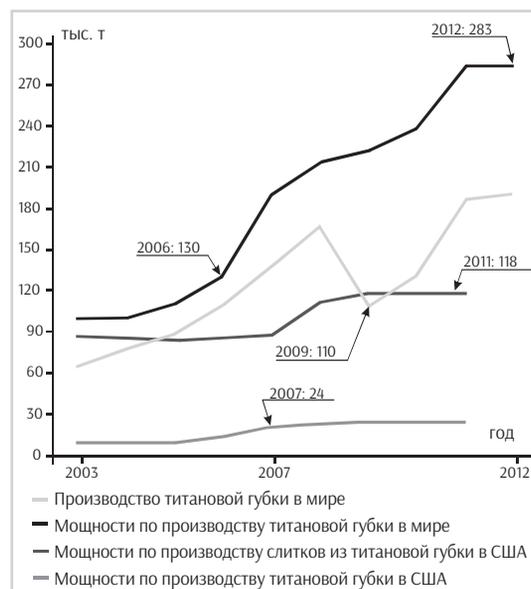


Рис. 5. Динамика производства титановой губки

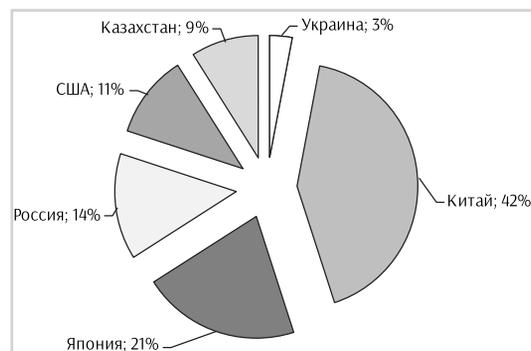


Рис. 6. Мощности стран-производителей титановой губки (за 2012 г.) и их доля на мировом рынке, %

2012 г. было произведено около 241 тыс. т губчатого титана. В 2013 г. его производство снизилось до 230 тыс. т.

Основными странами-производителями титановой губки в мире являются Китай, Япония, Россия, Казахстан, США, Украина (рис. 7).

Следует отметить, что с 2007 г. в Китае ежегодно увеличивается производство титановой губки, он единственный не снизил темпы роста и становится мировым лидером по объемам ее выпуска (рис. 7, 8, 9).

В тройку стран мировых лидеров по производству титановой губки входят Китай, Япония и Россия (рис. 6, 8, 9).

В Китае растет не только выпуск, но и экспорт титанового проката (рис. 10), например ее экспорт в 2012 г. составил более 12 тыс. т, продукция поставлялась в 70 стран, больше всего на Тайвань, в Россию, Южную Корею и США (рис. 10).

Основным потребителем губчатого титана являются США. В 2012 г. его импорт составил 65 тыс. т, что составляет 40% от мировых объемов производства.

Наиболее качественная титановая губка аэрокосмического класса производится в Японии, России и Казахстане. Однако ведущие предприятия-поставщики этих стран уже столкнулись с конкуренцией в этом сегменте рынка с производителями из Китая.

На рис. 9 представлены основные производители титановой губки (9 предприятий) и их доли по итогам продаж в 2012 г. Суммарная доля предприятий СНГ составляет 30%.

В США три компании производят титановую губку аэрокосмического класса для внутреннего рынка.

Мощности Китая оцениваются в 147 тыс. т, в основном продукция используется на внутреннем рынке. Основными производителями являются Zunyi Titanium, Tangshan Tianhe Titanium и Shuangrui Wanji Titanium. Мощности по производству титановой губки промышленного и аэрокосмического назначения оцениваются на уровне 68 тыс. т, половина объема выпускаемой продукции экспортируется на внешний рынок.

В России мощности двух производителей ВСМПО «Ависма» и «Соликамск Магнезиум» позволяют изготавливать до 49 тыс. т титановой губки промышленного и аэрокосмического классов, значитель-

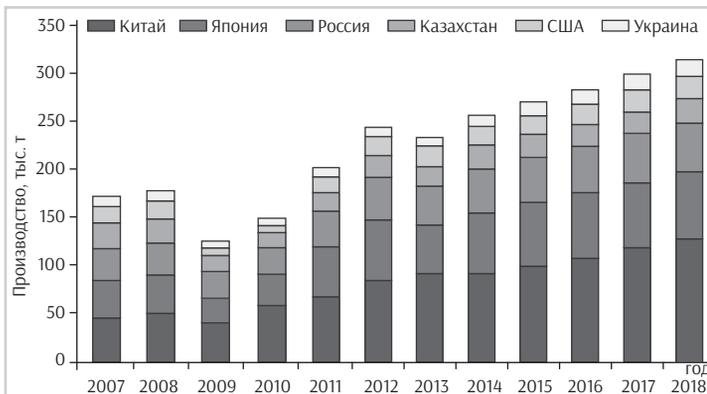


Рис. 7. Динамика производства титановой губки в мире

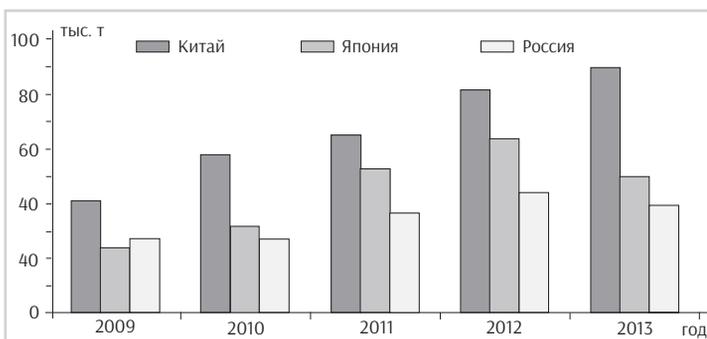


Рис. 8. Динамика производства титановой губки в Китае, Японии и России

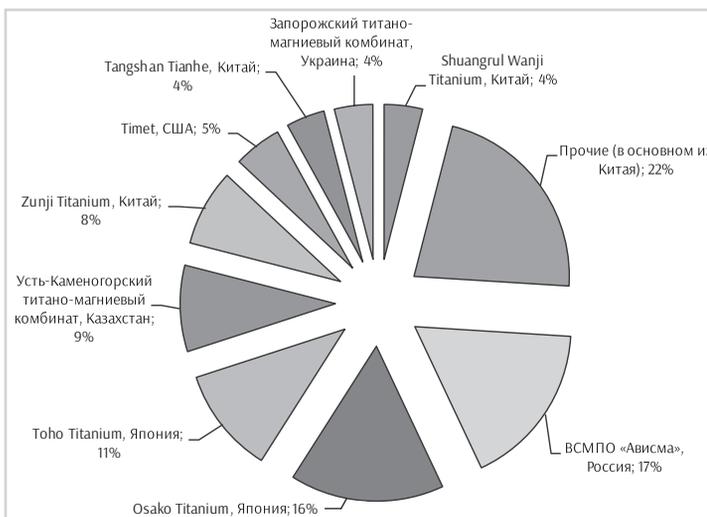


Рис. 9. Основные производители титановой губки и их доля на рынке в 2012 г., %

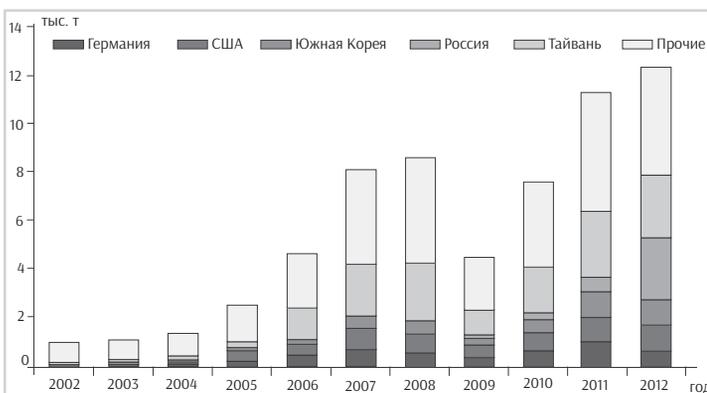


Рис. 10. География и динамика экспорта титанового проката из Китая, тыс. т

ная часть выпускаемой продукции поставляется на внешний рынок.

Усть-Каменогорский титано-магниевый завод, расположенный в Казахстане, обладает мощностью по выпуску 25 тыс. т титановой губки, большую часть продукции поставляет на внешние рынки.

Запорожский титано-магниевый комбинат, входящий в состав холдинга «Титан Украина», образованного в 2009 г., имеет мощности по выпуску 12 тыс. т титановой губки. В 2012 г. он произвел 10,3 тыс. т, которые были поставлены в основном потребителям в России, США и Евросоюзе.

К 2018 г. ожидается рост производства титановой губки в мире до 310 тыс. т [7], в основном за счет увеличения ее производства в Китае, Украине [12] и Японии (рис. 7).

В будущем основным потребителем по-прежнему останется аэрокосмическая отрасль. В частности, за счет производства последних моделей самолетов Boeing и Airbus, в которых увеличено количество деталей и узлов корпусов самолетов, изготавливаемых из титана. Если в настоящее время спрос на титановую продукцию в аэрокосмической отрасли находится на уровне 65 тыс. т, то к 2018 г. может составить 80–100 тыс. т. На рис. 11 представлен оценочный прогноз производства титановой губки до 2018 г. в сопоставлении с объемами выпуска (поставки) самолетов.

Одной из тенденций, наблюдаемых на рынке, является ввод в действие новых технологических линий по дальнейшей механической обработке титановой губки в готовые детали и конструкции для поставки потребителям. Стоимость таких готовых изделий выше стоимости исходного сырья в 2–3 раза вследствие наукоемкости производства продукции. С ростом сложности изделия и требований к составу металла разница в ценах достигает 5–10 раз и более.

ВСМПО «Ависма» (Россия) и «ATI» (США) создали совместное предприятие «Uniti» с целью расширения производства и сбыта продукции из технического титана для «неаэрокосмических» потребителей [13]. АО «Усть-Каменогорский ТМК» и «POSKO» организовали совместное предприятие для производства титановых слябов и плит [11]. ВСМПО «Ависма» и Boeing создали совместное предприятие «Ural», которое занимается механообработкой ти-

тановых штамповок. В 2017 г. планирует запуск совместного предприятия, которое будет выпускать высокотехнологичную продукцию из титана и алюминия для авиакосмической промышленности.

Совместные предприятия позволяют увеличить степень переработки исходного сырья и получить дополнительный доход от продажи продукции с более высокой добавочной стоимостью, поскольку стоимость слитков титана выше стоимости титановой губки.

Металлический титан и сферы его применения. В настоящее время титан и сплавы на его основе как конструкционный материал применяются во многих отраслях промышленности. Если в начале 50-х годов объемы его потребления были показателем милитаризации страны, поскольку свыше 90% выпускаемого титана использовалось в военной промышленности, то в настоящее время они свидетельствуют об уровне ее научно-технического прогресса [13].

За период с 1953 по 2010 г. объемы выпуска титанового проката постоянно росли и максимум в 100 тыс. т был достигнут в докризисный 2008 г. Вследствие финансового кризиса производство титановой продукции в 2009 г. снизилось, но в последующие годы опять наметился рост объемов ее производства.

Производители стараются расширить сферы применения металлического титана, поэтому в последние годы расширяется его использование в инфраструктурных проектах, медицинском оборудовании, в производстве спортивного снаряжения и пр. Снижение стоимости титановой продукции является одним из весомых факторов расширения сфер ее применения (рис. 12).

В настоящее время основной сферой применения титана и его сплавов является авиакосмическая отрасль. Так, высокие удельная прочность и жаропрочность, сопротивление усталостным нагрузкам, трещиностойкость и коррозионная стойкость титановых сплавов определили их использование в самолетостроении. Изготовленные из них детали составляют около 10–20% общего веса современных пассажирских самолетов (а для военных — до 50%).

Современный авиационный двигатель на 20–30% состоит из титана, при этом применение титановых сплавов позволяет уменьшить его массу на 10–25%.

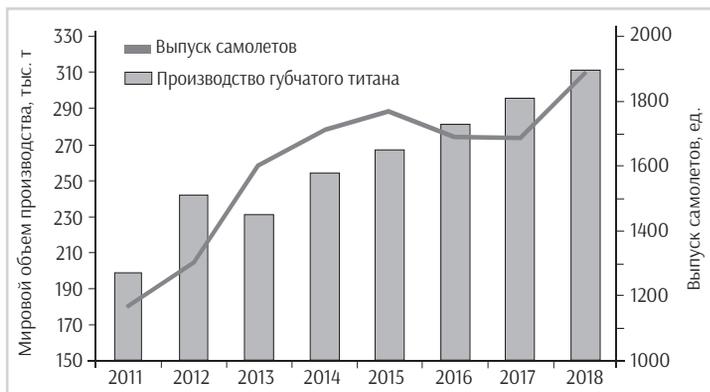


Рис. 11. Оценочный прогноз производства титановой губки, тыс. т, и объемы выпуска самолетов, ед.

Такие свойства титана, как высокая удельная прочность, низкая хладноломкость, высокая упругость паров в глубоком вакууме, предопределили его применение в ракетостроении. Титановые сплавы широко использовались в советских ракетных комплексах «Восток», «Союз», «Луна», «Марс», «Венера», а также «Энергия» и орбитальном корабле «Буран». Американские космические корабли «Аполлон» содержали 60 т различных деталей и агрегатов, сделанных из титана и его сплавов. Корпус ракеты-носителя серии «Титан» (1971–1983 гг.) был сделан целиком из титана.

В судостроении титановые сплавы используются как коррозионноустойчивый материал в морской среде.

Высокая антикоррозионная стойкость титана и сплавов на его основе определила их применение в химическом машиностроении при изготовлении емкостей, химических реакторов, трубопроводов, арматуры, насосов и других изделий, работающих в агрессивных средах.

Применение титана в энергетическом машиностроении при изготовлении рабочих лопаток паровых турбин длиной более 1000 мм, приводит к разгрузке напряженности ротора низкого давления турбин и повышает надежность конструкции в целом. В условиях воздействия влажного пара титановые лопатки по своей коррозионно-эрозионной стойкости превосходят стальные во много раз [14].

В атомном машиностроении титан и его сплавы применяются для изготовления оболочки реакторов на быстрых нейтронах, конструктивных деталей ядерных реакторов с водяным охлаждением, футеровки реакторов тонкими пористыми или перфорированными листами титана.

В автомобильной промышленности в течение последних 20 лет наблюдается рост применения титановых сплавов для деталей высоконагруженных двигателей, несущей конструкции и ходовой части автомобилей. В Японии растет объем применения деталей, изготовленных из формозапоминающих титаново-никелевых (Ti/Ni) сплавов, которые могут изменять форму при механическом воздействии, но принимают свою первоначальную форму при нагревании [15].

Применение титана в оборудовании для целлюлозно-бумажной промышленности

позволяет значительно увеличить срок службы такого оборудования.

Поскольку титан биологически безвредный и практически полностью отвечает высоким санитарно-гигиеническим требованиям пищевых производств, он является превосходным материалом для изготовления оборудования для пищевой промышленности.

В черной металлургии оборудование — аппараты и трубопроводы, изготовленные из титана, применяется в коксохимических, металлургических, сталеплавильных и ферросплавных производствах. В цветной металлургии титановое оборудование (емкости, колонны, реакторы, насосы и др.) успешно применяется во многих производствах, способствуя техническому прогрессу отрасли в целом и повышению производительности труда.

Такие уникальные свойства титана, как биологическая совместимость с живой тканью человеческого организма и высокая удельная прочность, обусловили его применение в медицине. Из титана и его сплавов изготавливают: протезы (для замены костей и суставов), имплантаты, зубные металлокерамические коронки, кардиостимуляторы, хирургические инструменты, наркозо-дыхательные аппараты, «искусственные» сердца, легкие, почки; защитные устройства радиологической аппаратуры.

Используют сплавы на основе титана для изготовления бытовой техники и приборов.

В последнее десятилетие расширяется применение титана и его сплавов при изготовлении экспедиционного и спортивного инвентаря (для антарктических экспедиций, в частности)

Еще одной из сфер применения титана и сплавов на его основе является строительство и архитектура. Так, за период 1973–1996 гг. в архитектуре и строительстве было использовано 1354 т титана [16], в том числе: на крыши — 63%, на внутренние и наружные стены — 30%, на монументы и другие сооружения — 7%.

Тенденции развития титановой промышленности. В мире наблюдается интенсивное развитие титановой промышленности [8]. Прогнозируемое увеличение объемов производства титановой продукции в ближайшем будущем потребует увеличения поставок исходного титаново-

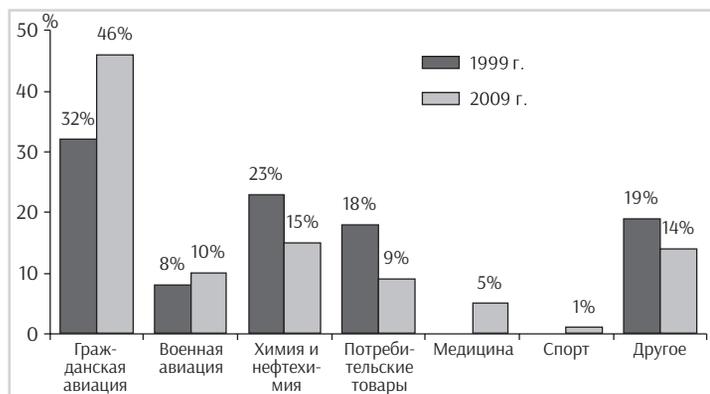


Рис. 12. Динамика и структура потребления титана в мире, % [14]

го сырья, вследствие этого ожидается расширение рудной базы титановой промышленности как за счет ввода в эксплуатацию новых, более сложных месторождений, так и за счет разработки новых технологий.

Сдерживающими факторами, затрудняющими расширение титанового производства, являются высокие капиталоемкость и энергоемкость [1]. Для снижения стоимости получения титана необходимо разрабатывать новые, более дешевые технологии обогащения титановых руд, способы производства титана и новые технологические процессы [2]. Необходима также разработка новых, экономически эффективных технологических решений для получения фасонных отливок в виде полуфабрикатов и готовых изделий из титана и его сплавов [11].

Согласно мировым тенденциям [4] доля использования металлического титана и его сплавов будет возрастать, следовательно, необходимо проводить научные исследования в области механической обработки, сварки титана и его сплавов.

На внешнем рынке среди основных производителей титановой продукции существует жесткая конкуренция, которая обостряется вследствие усиления позиций китайских производителей. Поэтому для сохранения ведущих позиций на рынке титана украинским предприятиям необходимо постоянно совершенствовать технический уровень как производства, так и выпускаемой продукции.

Одним из направлений, наблюдаемых в мире, является концентрация производства и потребления титана и его сплавов внутри страны [5].

Разработка и выпуск новых, более наукоемких видов продукции в завершённом цикле губчатый титан — готовое изделие подразумевают проведение исследовательских работ по новым направлениям [10].

С учетом вышесказанного необходимо создавать новые и реконструировать имеющиеся мощности по выпуску как титановой губки, так и проката из титана. Для снижения зависимости производства от конъюнктуры внешнего рынка необходимо расширять сферы применения в промышленности титана и сплавов на его основе, а также развивать внутренний рынок титана.

В будущем перспективно создание новых технологий для получения порошков нанотитана [2].

Литература

1. Титан / Гармата В. А., Петрунько А. Н., Галицкий Н. В., Олесов Ю. Г., Сандлер Р. А.— М.: Металлургия, 1983.— 559 с.
2. Баранов Г. А., Крюковская В. И., Марончук И. И. Получение нанопорошков титана из титановой губки и отходов промышленности с применением метода бактериального выщелачивания // Вісник Національного технічного університету «Київський політехнічний інститут». Серія машинобудування.— 2013.— № 3 (69).— С. 131–135.
3. Металлургия и технология сварки титана и его сплавов / Гуревич С. М., Замков В. Н., Блащук В. Е. и др.— 2-е изд.— доп.— перераб.— К.: Наукова думка. 1986.— 240 с.
4. Запасы титана в мире и производство титанового сырья. Доступ: <http://protown.ru/>
5. Направления снижения себестоимости титана / Иващенко В. И., Червонный И. Ф. // Сборник трудов международной конференции «Ti-2009 в СНГ».— 2009.— С. 87–91.
6. Market publishers report data base: Titanium and Compounds: 2014 Market Review and Forecast. Доступ: <http://marketpublishers.com/>
7. Philip Dewhurst. Titanium sponge supply past, present and future. Доступ: <http://www.roskill.com/>
8. Стратегия развития титановой отрасли Украины в 2012 году и последующие годы / Галецкий Л. С., Ремезов Е. А. // Сборник трудов международной конференции «Ti-2012 в СНГ».— 2012.— С. 7–11.
9. Александров А. В. Развитие рынка титана в СНГ // Сборник трудов международной конференции «Ti-2009 в СНГ».— 2009.— С. 7–10.
10. Особенности промышленного производства титановой продукции в период кризиса / Кучук В. В., Печерица К. А., Давыдов С. И., Кокарев В. А., Оверченко И. Е., Шварцман Л. Я. // Сборник трудов международной конференции «Ti-2009 в СНГ».— 2009.— С. 11–14.
11. Основные тенденции в развитии титановой промышленности и научных исследований в области титана в СНГ / Ивасишин О. М., Александров А. В. // Сборник трудов международной конференции «Ti-2011 в СНГ».— 2011.— С. 7–18.
12. Group DF развернет на «ЗТМК» новое титановое производство и усилит позиции Украины на мировых рынках. Доступ: <http://ztmc.zp.ua/ru/>
13. ВСМПО «АВИСМА»: титан расправляет плечи. Доступ: <http://quote.2stocks.ru/>
14. Зубков Л. Б. Космический металл. Все о титане — М.: Наука, 1987—128 с.
15. Шевченко А. Л. Применение титановых сплавов в автомобильной и мотоциклетной промышленности // Проблемы тертя та зношування.— 2011.— Вип. 55.— С. 198–208.— Режим доступа: <http://nbuv.gov.ua/>
16. Применение титана. Доступ: <http://libmetal.ru/titan/>

● #912

Календарь выставок на 2016 г. Международные

Дата	Место проведения	Название выставки	Тематика	Организатор, контакты
21.01–26.01	Бангалор, Индия	Imtex Forming 2016	Выставка металлообрабатывающей пластиковой и композиционной промышленности	www.imtex.in
11.02–14.02	Стамбул, Турция	WIN Eurasia Metal Working 2016	Международная выставка металлообработки	www.win-metalworking.com
23.02–27.02	Дюссельдорф, Германия	METAV 2016	Международная выставка металлообрабатывающего оборудования и систем автоматизации	www.metav.de
09.03–11.03	Кельце, Польша	Welding Kielce	Международная выставка технологий сварки и сварочного оборудования	www.targikielce.pl
09.03–11.03	Кельце, Польша	STOM-Blech@Cutting	IX выставка обработки листового металла	www.targikielce.pl
10.03–13.03	Измир, Турция	3T-2016	IV ярмарка обработки металла, сварка и резка	www.3tfuari.com
15.03–17.03	Тампере, Финляндия	Nordic Welding Expo 2016	Выставка металлообработки и сварочных технологий	www.nordicweldingexpo.fi
16.03–17.03	Эссен, Германия	All about automation essen 2016	Выставка средств автоматизации промышленности	www.automation-essen.com
17.03–20.03	Ухань, Китай	WME 2016 Wuhan – Welding Cutting Equipment	Международная выставка оборудования для сварки и резки	619 Yingwu Avenue Hanyang, Wuhan, China +86-27-8665 5088*6601 www.chinaexhibition.com
29.03–31.03	Киев, Украина	Киевская техническая ярмарка – 2016	III Международная специализированная выставка	ООО «Международный выставочный центр» www.tech-expo.com.ua
05.04–08.04	Минск, Беларусь	Сварка и резка – 2016	16-я Международная специализированная выставка	ЗАО «МинскЭкспо» тел.: + 375-17-226 98 58, 226 90 83 e-mail: e_fedorova@solo.by, darya@minskexpo.com www.minskexpo.com
08.04–10.04	Чунцин, Китай	IIEF 2016 Chongqing	Международная выставка инструментов и сварочного оборудования	www.worldgbh.org
19.04–22.04	Загреб, Хорватия	Welding and Welded Structures Fair – 2016	Ярмарка сварки	www.zv.hr
21.04–24.04	Целе, Словения	Welding@Foundry 2016	Международная выставка технологий сварки и резки	www.exponet.ru
25.04–29.04	Ганновер, Германия	SurfaceTechnology – 2016	Выставка технологий обработки поверхностей	www.hannovermesse.de
10.05–13.05	Прага, Чехия	For Industry – 2016	Международная выставка машиностроительных технологий, сварки и резки	www.forindustry.cz
11.05–14.05	Болонья, Италия	Lamiera-2016	Выставка машин и оборудования для обработки листового металла и сварки	www.lamiera.net
24.05–27.05	Нитра, Словакия	Eurowelding-2016	22 Международная выставка сварки и сварочных технологий	www.agrokomplex.sk
31.05–02.06	Хемниц, Германия	SIT (Saxon Industry and Technology Trade Fair) 2016	7-ая международная выставка сварочных технологий	www.sit-chemnitz.de
01.06–04.06	Бухарест, Румыния	Metal Show 2016	Международная выставка металлообработки, сварки и робототехники	www.metalshow.ro
07.06–10.06	Познань, Польша	ITM Poland 2016	Международная выставка промышленных технологий и оборудования для сварки	www.itm-polska.pl
14.06–17.06	Пекин, Китай	BEW 2016	Международная выставка сварки и резки	www.exponet.ru
03.10–07.10	Брно, Чехия	Profintech-2016	Международная выставка технологий обработки поверхности	www.bvv.cz
03.10–07.10	Брно, Чехия	MSV-2016	Международная выставка машиностроения	www.bvv.cz
03.10–07.10	Брно, Чехия	Fond-ex 2016	Международная выставка литейной промышленности	www.bvv.cz
03.10–07.10	Брно, Чехия	IMT-2016	Выставка металлургического и обрабатывающего оборудования	www.bvv.cz/imt-gb
03.10–07.10	Брно, Чехия	Plastex Brno 2016	Международная выставка полимерной промышленности и технологий производства композиционных материалов	www.bvv.cz/en/plastex/
03.10–07.10	Брно, Чехия	Welding Brno 2016	Международная выставка сварочной техники	www.bvv.cz/en/welding
29.11–01.12	Дюссельдорф, Германия	Aluminium 2016	Международная выставка алюминиевой промышленности	www.aluminium-messe.com
08.12–11.12	Бурса, Турция	Bursa Iron – Steel 2016	Выставка по сварке и резке. Оборудование и технологии	www.tuyap.com.tr

Календарь выставок на 2016 г. Россия

Дата	Место проведения	Название выставки	Тематика	Организатор, контакты
02.02–05.02	Красноярск, МВДЦ «Сибирь»	Металлообработка и сварка – 2016	XI выставка машиностроения, металлообработки, литья, сварки	МВДЦ «Сибирь» www.krasfair.ru
16.02–18.02	Набережные Челны, ВЦ «Экспо-Кама»	Камский промышленный форум – 2016	XI специализированная выставка с международным участием	ООО «Экспо-Кама» www.kampromforum.ru
24.02–26.02	Уфа, ВДНХ-ЭКСПО	XI Промышленный салон – 2016	Сварка. Контроль. Диагностика	ООО «Башкирская выставочная компания» www.bvkexpo.ru
01.03–03.03	Уфа, ВДНХ-ЭКСПО	Сварка. Контроль. Диагностика – 2016	Специализированная промышленная выставка в рамках «Промышленного салона»	ООО «Башкирская выставочная компания» www.bvkexpo.ru
10.03–12.03	Челябинск, ТРК «Гагарин Парк»	Машиностроение. Металлообработка. Сварка. ПромИнновации – 2016	Специализированная выставка	Южно-Уральский КВЦ «Экспочел» www.expochel.ru
15.03–17.03	Санкт-Петербург, Конгрессно-выставочный центр ЭКСПОФОРУМ	Петербургская техническая ярмарка (ПТЯ)	Металлургия. Литейное дело, Металлообработка, Машиностроение	ГП «РЕСТЕК®» www.lenexpo.ru www.ptfair.ru
29.03–31.03	Тюмень, «Тюменская ярмарка»	Машиностроение. Металлообработка. Сварка – 2016	Специализированная выставка	ОАО «Тюменская ярмарка»
29.03–01.04	Новосибирск, МВК «Новосибирск Экспоцентр»	Mashex Siberia	Международная выставка машиностроения и металлообработки	Компания «ITE Сибирь» www.sibmetall.sibfair.ru
05.04–08.04	Пермь, ВЦ «Пермская ярмарка»	Металлообработка. Сварка – 2016	15-я специализированная выставка современных технологий, оборудования, материалов для сварочного производства	Пермская ярмарка www.expometperm.ru
13.04–15.04	Москва, ЦВК «Экспоцентр»	Экспо Контроль 2016	8-я специализированная выставка приборов и средств контроля, измерений, испытаний	Экспоцентр на Красной Пресне www.ruai-interex.ru
26.04–29.04	Нижний Новгород, ВК «Нижегородская ярмарка»	Машиностроение. Металлургия. Сварка	14-я Международная выставка	ВЗАО «Нижегородская ярмарка» www.yarmarka.ru
17.05–20.05	Санкт-Петербург, КВЦ «ЭкспоФорум»	Сварка / Welding 2016	17-я Международная выставка по сварке, резке и родственным технологиям	Компания «ЭкспоФорум-Интернэшнл» www.expoforum-center.ru
17.05–20.05	Санкт-Петербург, КВЦ «ЭкспоФорум»	Защита от коррозии 2016	Выставка-конгресс технологий, оборудования и материалов антикоррозионной защиты	Компания «ЭкспоФорум-Интернэшнл» www.expoforum-center.ru
23.05–27.05	Москва, ЦВК «Экспоцентр»	Металлообработка-2016	17-я международная специализированная выставка «Оборудование, приборы и инструменты для металлообрабатывающей промышленности»	Экспоцентр на Красной Пресне www.expoctr.ru
06.06–09.06	Москва, ЦВК «Экспоцентр»	Трубы России-2016	Международная выставка трубной промышленности и трубопроводов	Экспоцентр на Красной Пресне www.expoctr.ru
06.06–09.06	Москва, ЦВК «Экспоцентр»	Металлургия-Литмаш-2016	Международная выставка машин, оборудования, технологий и продукции металлургической промышленности	Экспоцентр на Красной Пресне www.expoctr.ru
06.06–09.06	Москва, ЦВК «Экспоцентр»	Алюминий / Цветмет-2016	Международная выставка по алюминию, цветным металлам, материалам, технологиям и продукции	Экспоцентр на Красной Пресне www.expoctr.ru
06.06–09.06	Москва, ЦВК «Экспоцентр»	Металлоконструкции 2016	Международная выставка	Экспоцентр на Красной Пресне www.expoctr.ru
13.09–15.09	Москва, ЦВК «Экспоцентр»	Термообработка-2016	10-я международная специализированная выставка технологий и оборудования для термообработки	Экспоцентр на Красной Пресне www.expoctr.ru
20.09–22.09	Санкт-Петербург, КВЦ «ЭкспоФорум»	Российский промышленник 2016	Международный промышленный форум	Компания «ЭкспоФорум-Интернэшнл» www.expoforum-center.ru
11.10–14.10	Москва, КВЦ «Сокольники»	Weldex / Россварка – 2016	16-я Международная выставка сварочных материалов, оборудования и технологий	Выставочный холдинг MVK Компания «Элсвар» www.weldex.ru
24.10–27.10	Москва, ЦВК «Экспоцентр»	ТЕХНОФОРУМ-2016	Международная специализированная выставка «Оборудование и технологии обработки конструкционных материалов»	Экспоцентр на Красной Пресне www.expoctr.ru
25.10–27.10	Москва, МВЦ «Крокус Экспо»	Mashex Moscow	19-я Международная выставка оборудования для обработки металлического профиля, труб, листа и производства металлоизделий	МВЦ «Крокус Экспо» www.crocus-expo.ru www.mashex.ru
08.11–11.11	Москва, ВДНХ	Металл-Экспо – 2016	22-я Международная промышленная выставка	www.metal-expo.ru
15.11–18.11	Уфа, ВДНХ-ЭКСПО	Сварка и контроль 2016	18-я Международная специализированная выставка	БашЭКСПО www.exponet.ru
07.12–09.12	Казань, ОАО «Казанская ярмарка»	Машиностроение. Металлообработка. Казань	16-я Международная специализированная выставка	ОАО «Казанская ярмарка» www.expomach.ru
07.12–09.12	Казань, ОАО «Казанская ярмарка»	TechnoSварка – 2016	11-я специализированная выставка	ОАО «Казанская ярмарка» www.svarkaexpo.ru

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: 119049, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 6, стр. 7, оф.19, «Сварщик в России».

898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909
910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921
922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933
934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945
946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957
958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969
970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981

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 в 2015, 2016 гг.

На внутренних страницах

Площадь	Размер, мм	Стоимость, руб.
1 полоса	210×295	20000
1/2 полосы	180×125	10000
1/4 полосы	88×125	5000

На страницах основной обложки

Страница	Размер, мм	Стоимость, руб.
1 (первая)	215×185	45000
8 (последняя)	210×295 (после обрезки 205×285)	30000
2		28000
7		26000

На страницах внутренней обложки

Стр. (площадь)	Размер, мм	Стоимость, руб.
3, 1 полоса	210×295	25000
4, 1 полоса,	210×295	23000
3 и 4, 1/2 полосы	180×125	12000
5 и 6, 1 полоса)	210×295	22000
5 и 6, 1/2 полосы	180×125	11000

Изготовление оригинал-макета

- 10% стоимости рекламной площади

Статья на правах рекламы

- 1 стр. — 7500 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, цветные палитру CMYK, текст в кривых, если нет шрифтов.

Сопроводительные материалы: распечатка файла обязательна, для цветных макетов – цветная, с названием файла, размерами макета и подписью заказчика. Размеры макета должны точно соответствовать указанным редакцией.

Носители: CD, DVD, или флэш-диск.

Подача материалов в очередной номер — до 15-го числа нечетного месяца

Зам. гл. ред., рук. рекл. отд. **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

Зам. рук. рекл. отд., ред., **О.А. Трофимец:**
тел./факс: +380 44 200-80-18
e-mail: trofimits.welder@gmail.com
www.welder.stc-paton.com\

Заполняется печатными буквами