

Патоновская марка



СВАРЩИК

Производственно-технический журнал

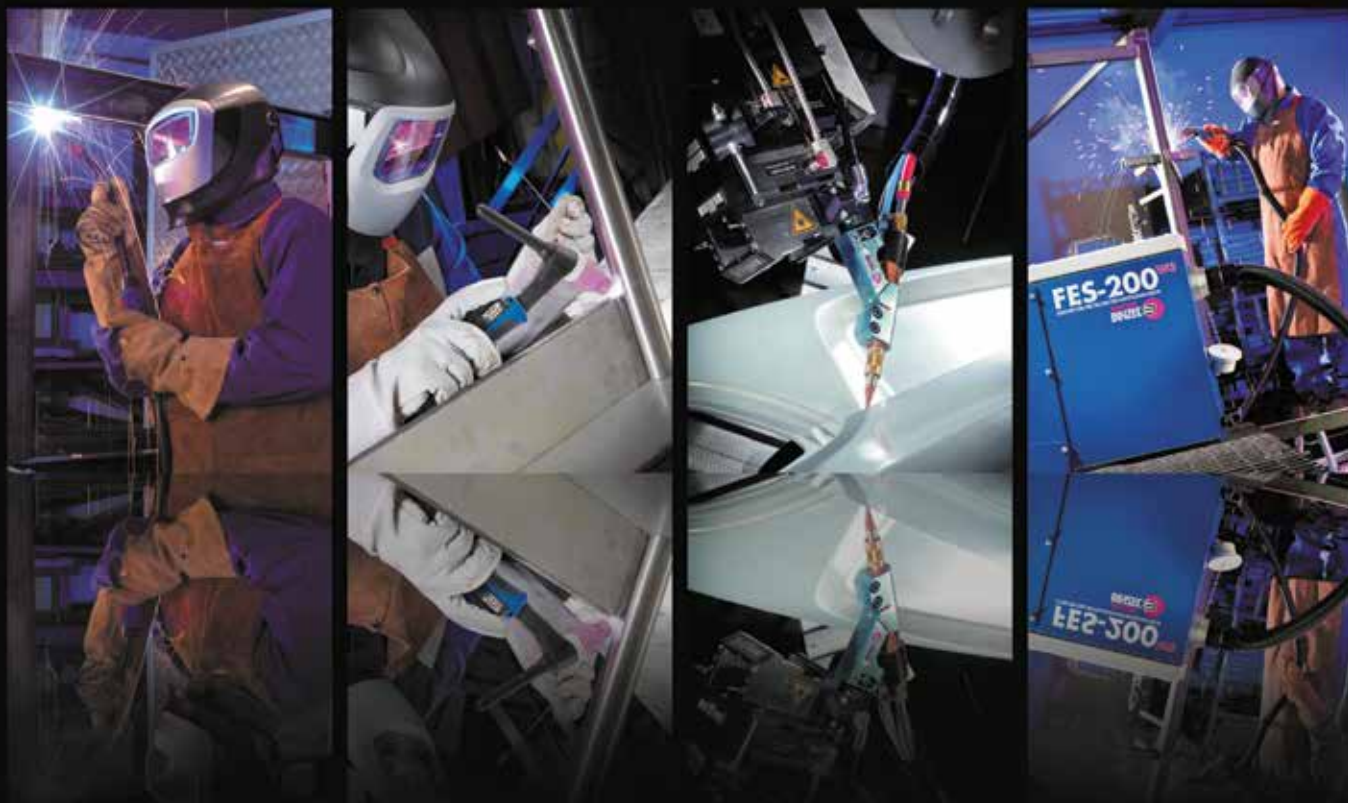
№ **5** 2017
сентябрь-октябрь

ТЕХНОЛОГИИ
ПРОИЗВОДСТВО
РЕМОНТ

TECHNOLOGY FOR THE WELDER'S WORLD

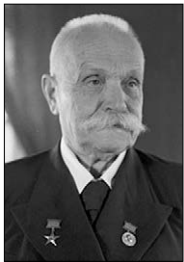


MIG/MAG • TIG • Плазма • РОБО • Аксессуары



ПІІ ТОВ «Бінцель Україна ГмБХ»
Тел.: 0-44 / 403-1299, 403-1399
Факс: 0-44 / 403-1499, 403-1599
E-mail: info@binzel.kiev.ua

www.binzel-abicor.com



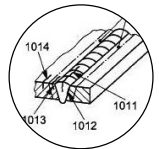
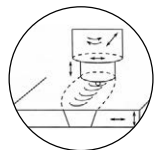
5(117) 2017

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

Журнал награжден Почетной грамотой и Памятным знаком Кабинета Министров Украины

СОДЕРЖАНИЕ

Поздравляем!	4
Новости техники и технологий	5
Технологии сварки трением Сварка металлов и сплавов трением. Технологические особенности сварки трением с перемешиванием. <i>Г.И. Лашенко</i>	6
Дефекты в наплавленном металле Дефекты в наплавленном металле, их происхождение и меры борьбы с ними. Трещины. <i>И.А. Рябцев, И.И. Рябцев, А.А. Бабинец, Э.В. Турык</i>	13
Технологии ремонтной сварки Внепечные методы воздействия на напряженно-деформированное состояние металла массивных сварных конструкций сложной формы. <i>В.И. Панов</i>	20
Технологии и оборудование Современные высокоэффективные многостовые системы ручной и механизированной дуговой сварки. <i>Н.М. Махлин, В.Ю. Буряк, В.Е. Водолазский, В.Е. Попов, Д.С. Олияненко, А.Е. Коротынский, М.И. Скопюк</i>	24
Новинки сварочного оборудования Новая система документирования и анализа данных – Weld Cube от Fronius	34
Роботизация сварочного производства Высокие технологии мирового уровня от RFA Robotics	37
Наши консультации	41
Вклад ИЭС им. Е.О. Патона в научно-технический прогресс Создание ответственных конструкций из специальных сплавов. К 100-летию А.А. Россошинского и 80-летию В.Ф. Хорунова. <i>А.Н. Корниенко</i>	49
Все для сварки. Торговый Ряд	54



Вітаємо!	4
Новини техніки та технологій	5
Технології зварювання тертям	
● Зварювання металів та сплавів тертям. Технологічні особливості зварювання тертям із перемішуванням. <i>Г.І. Лашенко</i>	6
Дефекти в наплавленому металі	
● Дефекти в наплавленому металі, їх походження і заходи боротьби з ними. Тріщини. <i>І.А. Рябцев, І.І. Рябцев, А.А. Бабінець, Е.В. Турик</i>	13
Технології ремонтного зварювання	
● Позапічні методи дії на напружено-деформований стан металу масивних зварних конструкцій складної форми. <i>В.І. Панов</i>	20
Технології та обладнання	
● Сучасні високоефективні багатопостові системи ручного та механізованого дугового зварювання. <i>Н.М. Махлін, В.Ю. Буряк, В.Є. Водолазський, В.Є. Попов, Д.С. Оліяненко, А.Є. Коротинський, М.І. Скопюк</i>	24
Новинки зварювального устаткування	
● Нова система документування та аналізу даних – Weld Cube від Fronius	34
Роботизація зварювального виробництва	
● Високі технології світового рівня від RFA Robotics	37
Наші консультації	41
Вклад ІЕС ім. Є.О. Патона у науково-технічний прогрес	
● Створення відповідальних конструкцій із спеціальних сплавів.	
● До 100-річчя О.А. Россошинського та 80-річчя В.Ф. Хорунова. <i>А.М. Корнієнко</i>	49
Все для сварки. Торговий Ряд	54
CONTENT	
Congratulations!	4
News of technique and technologies	5
Technologies of friction welding	
● Welding of metals and alloys by friction. Technological features of the friction stir welding. <i>G.I. Lashenko</i>	6
Defects in the weld metal	
● Defects in the weld metal, their origin and measures to combat them. Cracks. <i>I.A. Ryabtsev, I.I. Ryabtsev, A.A. Babinets, E.V. Turyk</i>	13
Technologies of repair welding	
● Out-of-furnace methods of action on stress-strain state of the metal of massive welded structures of complex shape. <i>V.I. Panov</i>	20
Technologies and equipment	
● Modern highly effective of multi-station systems manual and mechanized arc welding. <i>N.M. Makhlin, V.Yu. Buryak, V.E. Vodolazsky, V.E. Popov, D.S. Oliyanenko, A.E. Korotynsky, M.I. Skopyuk</i>	24
New welding equipment	
● A new system for documenting and analyzing data – Weld Cube from Fronius	34
Robotization of welding production	
● High-level world-class technology from RFA Robotics	37
Our consultations	41
Contribution of the E.O. Paton EWI in scientific and technical progress	
● Creation of responsible structures from special alloys. To the 100-th anniversary of A.A. Rossoshinsky and the 80-th anniversary of V.F. Khorunov. <i>A.N. Kornienko</i>	49
All for welding. Trading row	54

Свидетельство о регистрации
КВ № 21846-11746 ПП от 22.01.2016

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

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

Информационная поддержка:

Общество сварщиков Украины
Журнал «Автоматическая сварка»
Национальный технический
университет Украины «КПИ»

Журнал издается
при содействии UNIDO

**Главный редактор** В. Д. Позняков**Зам. главного редактора**

В. Г. Абрамишвили

Редакционная коллегия

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

Редакционный совет

В. Г. Фартушный (председатель),
Н. В. Высоколян, П. А. Косенко,
М. А. Лактионов, Я. И. Микитин,
В. Н. Проскудин

Редакторы

Р. С. Сухомуд
О. А. Трофимец

Верстка

А. В. Рябов

Адрес редакции

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

Телефон

+380 44 200 53 61, 200 80 18

Тел./факс

+380 44 200 80 14

E-mail

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

URL<http://www.welder.stc-paton.com/>**Представительство в Беларуси**

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

Представительство в России

Москва, ООО «Специальные
сварочные технологии»
В. В. Сипко
+7 903 795 18 49
e-mail: ctt94@mail.ru

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

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

Подписано в печать 04.10.2017. Формат 60×84 1/8.

Печать офсетная. Бумага офсетная.

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

Зак. №1767 от 04.10.2017. Тираж 900 экз.

Печать: ЧП «ИТЕК СЕРВИС», 2017.

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

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

Подписка-2017
на журнал «Сварщик»
в каталоге «Укрпочта»
Подписной индекс
22405

Сварка металлов и сплавов трением. Технологические возможности сварки трением с перемешиванием.

Г.И. Лашенко

Показано, что благодаря отсутствию плавления металла сварка трением с перемешиванием (СТП) позволяет существенно улучшить свариваемость различных материалов (алюминиевых, магниевых, титановых, медных сплавов и сталей) по сравнению с дуговой сваркой и др. способами сварки плавлением. При этом улучшаются структура, механические свойства и ряд характеристик соединений. Основным препятствием для широкого использования СТП применительно к соединению высокопрочных сталей различных классов является недостаточная стойкость сварочного инструмента. Но и в этом направлении в последние годы наблюдается заметный прогресс. Сегодня технология СТП эффективна во многих наукоемких областях: судостроение, аэрокосмическая промышленность, железнодорожный транспорт и метро, автомобильная, электротехническая и пищевая промышленности, строительная индустрия, ядерная энергетика.

Дефекты в наплавленном металле, их происхождение и меры борьбы с ними. Трещины.

И.А. Рябцев, И.И. Рябцев, А.А. Бабинец, Э.В. Турик

Приведены характеристики различных групп дефектов наплавленного металла, их происхождение, меры борьбы с ними и классификация дефектов сварки (наплавки) по стандартам ISO 6520-1:2007 и ГОСТ 6520-1:2012. Описаны различные виды трещин, образующиеся в наплавленном металле и ЗТВ, которые являются одним из наиболее опасных дефектов и приводят к возможному разрушению наплавленных деталей. Проведен анализ причин образования этих трещин и показано, что с ними можно успешно бороться, применяя соответствующие электродные (присадочные) материалы, а также используя предварительный подогрев, регулирование термического цикла и погонной энергии наплавки, применяя оптимальные способы, технологии и технику наплавки.

Внепечные методы воздействия на напряженно-деформированное состояние металла массивных сварных конструкций сложной формы.

В.И. Панов

Показано, что применение внепечных методов регулирования напряженно-деформируемого состояния металла, а именно низкочастотной вибрационной обработки (НЧВО) является действенным средством обеспечения технологической и эксплуатационной прочности массивных конструкций сложной формы после их ремонтной сварки, выполняемой без предварительного подогрева и последующей термической обработки. НЧВО резко повышает сопротивление образованию и развитию трещин в металле массивных конструкций сложной формы. Успешным оказалось применение НЧВО для восстановления работоспособности базовых деталей тяжело нагруженного оборудования. Установлено, что НЧВО снижает остаточные напряжения в металле массивных литых и литосварных конструкций на 17-30 %, в кованных сварных – на 20-25 %, в сварных конструкциях из проката на 10-12 %.

Современные высокоэффективные многопостовые системы ручной и механизированной дуговой сварки.

Н.М. Махлин, В.Ю. Буряк, В.Е. Водолазский, В.Е. Попов, Д.С. Олияненко, А.Е. Коротынский, М.И. Скопюк

Представлены результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по усовершенствованию многопостовых сварочных систем (МСС) для дуговой сварки, проводимых в НИЦ СКАЭ совместно с ИЭС им. Е.О. Патона. Рассмотрены преимущества и особенности разработанных современных отечественных МСС и входящих в их состав электронных регуляторов сварочного тока, изготавливаемых в Украине, их технологические и функциональные возможности, а также пути реализации их преимуществ. Описаны технологические возможности повышения энергетической эффективности МСС для дуговой сварки. Приведены структурно-функциональные схемы и технические характеристики таких МСС, а также электронных регуляторов сварочного тока и блока подачи электродной проволоки (для процессов MIG/MAG).

Зварювання металів та сплавів тертям. Технологічні можливості зварювання тертям із перемішуванням.

Г.І. Лашенко

Показано, що завдяки відсутності плавлення металу зварювання тертям із перемішуванням (ЗТП) дозволяє суттєво покращити зварюваність різних матеріалів (алюмінієвих, магнієвих, титанових, мідних сплавів та сталей) порівняно з дуговим зварюванням та іншими способами зварювання плавленням. При цьому покращуються структура, механічні властивості та ряд характеристик з'єднань. Основною перешкодою для широкого використання ЗТП стосовно до з'єднання високоміцних сталей різних класів є недостатня стійкість зварювального інструменту. Але й в цьому напрямку в останні роки спостерігається помітний прогрес. Сьогодні технологія ЗТП ефективна в багатьох наукоемких областях: суднобудування, аерокосмічна промисловість, залізничний транспорт та метро, автомобільна, електротехнічна та харчова промисловість, будівельна індустрія, ядерна енергетика.

Дефекти в наплавленому металі, їх походження і заходи боротьби з ними. Тріщини.

І.А. Рябцев, І.І. Рябцев, А.А. Бабінець, Е.В. Турик

Наведено характеристики різних груп дефектів наплавленого металу, їх походження, заходи боротьби з ними та класифікацію дефектів зварювання (наплавлення) за стандартами ISO 6520-1:2007 та ГОСТ 6520-1:2012. Описано різні види тріщин, що утворюються в наплавленому металі та ЗТВ, які є одним із найбільш небезпечних дефектів та призводять до можливого руйнування наплавлених деталей. Проведено аналіз причин їх утворення, показано, що з тріщинами можливо успішно боротися, застосовуючи оптимальні способи, технології і техніку наплавлення, зокрема відповідні електродні (присадкові) матеріали, попередній підігрів, регулювання термічного циклу та погонної енергії наплавлення.

Позапічні методи дії на напружено-деформований стан металу масивних зварних конструкцій складної форми.

В.І. Панов

Показано, що застосування позапічних методів регулювання напружено-деформованого стану металу, а саме низькочастотної вібраційної обробки (НЧВО) є діючим засобом забезпечення технологічної та експлуатаційної міцності масивних конструкцій складної форми після їх ремонтного зварювання, що виконані без попереднього підігріву та послідувального термічного оброблення. НЧВО різко підвищує опір утворенню та розвитку тріщин в металі масивних конструкцій складної форми. Успішним виявилось застосування НЧВО для відновлення працездатності базових деталей важко навантаженого обладнання. Встановлено, що НЧВО знижує залишкові напруження в металі масивних литих та литосварних конструкцій на 17-30 %, в кувальноварних – на 20-25 %, в зварних конструкціях з прокату на 10-12 %.

Сучасні високоефективні багатопостові системи ручного та механізованого дугового зварювання.

Н.М. Махлін, В.Ю. Буряк, В.Е. Водолазський, В.Е. Попов, Д.С. Олияненко, А.Е. Коротынский, М.И. Скопюк

Представлено результати науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт з удосконалення багатопостових зварювальних систем (БЗС) для дугового зварювання, які проводились в НИЦ ЗКАЕ спільно з ІЕЗ ім. Є.О. Патона. Розглянуто особливості і переваги розроблених сучасних БЗС, виготовлених в Україні та електронних регуляторів зварювального струму, що входять до їх складу, технологічні та функціональні можливості систем, а також шляхи реалізації їх переваг. Описано технологічні можливості підвищення енергетичної ефективності БЗС для дугового зварювання. Наведено структурно-функціональні схеми та технічні характеристики таких БЗС, а також електронних регуляторів зварювального струму та блоку подачі електродного дроту (для MIG / MAG).

Петру Олексійовичу Косенку – 75 років!



19 вересня 2017 року Петру Олексійовичу Косенку, директору Дослідного заводу зварювальних матеріалів (ДЗЗМ) виповнилося 75 років!

Трудова діяльність Петра Олексійовича нерозривно пов'язана з Київським сітково-електродним заводом, куди він прийшов у 1969 р. після закінчення Київського

політехнічного інституту, у 1977 р. його вже було призначено директором ДЗЗМ ІЕЗ ім. Є.О. Патона.

Глибокі професійні знання, великий організаторський талант – все було покладено на вітар розвитку заводу та реалізувалося в створенні і модернізації сучасного виробництва зварювальних матеріалів. За активної участі спеціалістів ІЕЗ на заводі було створено виробничі потужності із виготовлення новітніх марок порошкових дротів, керамічних флюсів та інших матеріалів для зварювання, наплавлення й паяння металів, освоєно випуск 32 марок зварювальних електродів, 40 марок порошкових дротів, 25 марок плавлених та керамічних флюсів. В цехах заводу успішно експлуатують технологічне обладнання, яке розроблено та виготовлено на підприємстві.

В нинішніх важких економічних умовах завод під керівництвом П.О. Косенка став флагманом вітчизняного виробництва зварювальних матеріалів. Продукція підприємства отримує високу оцінку спеціалістів та знаходить застосування в різних галузях: важкому та транспортному машинобудуванні, енергетиці, мостобудуванні, будуванні трубопроводів та інших галузях виробництва.

Діяльність Петра Олексійовича оцінена високими державними нагородами СРСР та незалежної України. Його нагороджено орденами «Знак Пошани» та «За заслуги».

У 2001 р. за розвиток наукоємних технологій та впровадження у виробництво прогресивних зварювальних технологій він удостоєний почесного звання «Заслужений машинобудівник України».

П.О. Косенко веде активну громадську діяльність, будучи членом Ради Асоціації «Електрод» та членом редакційної ради журналу «Сварщик».

Щиро вітаємо Петра Олексійовича Косенка з днем народження!

Бажаємо доброго здоров'я та життєдайної енергії, нових звершень та творчих успіхів, щастя та благополуччя Вам і Вашій родині!

*ІЕЗ ім. Є.О. Патона,
НТК «ІЕЗ ім. Є.О. Патона»,
Рада Товариства зварників України,
редколегія та редакція журналу «Сварщик»*

«Дослідний завод зварювальних матеріалів Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона» НАНУ*

«Дослідний завод зварювальних матеріалів Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона» НАН України був створений 1 січня 1978 р. (01.01.2018 р. він відзначить своє 40-річчя). Завод входить до складу Науково-технічного комплексу «ІЕЗ ім. Є.О. Патона» та є одним з провідних і найбільших підприємств із виробництва зварювальних матеріалів в Україні та країнах СНД.

Підприємство спеціалізується на виготовленні електродів для ручного дугового зварювання вуглецевих і низьколегованих сталей загального та

спеціального призначення, чавунів та кольорових металів, для наплавлення зносостійких поверхонь та різання металів і сплавів, порошкового дроту для зварювання та наплавлення, а також плавлених та керамічних флюсів для автоматичного дугового зварювання та наплавлення. Завод має успішний багаторічний досвід співпраці в Україні та країнах ближнього зарубіжжя з найбільшими підприємствами суднобудування і судноремонту, енергетичного, нафтогазового та металургійного комплексів, машинобудування та будівельно-монтажними організаціями.

В останні роки основна увага приділяється якості продукції та освоєнню нових видів зварювальних матеріалів, ведеться цілеспрямована робота із створення та впровадження системи керування якістю. Численні успіхи та досягнення заводу, досвід і професіоналізм, прагнення високо тримати марку якості продукції дозволяють ДЗЗМ займати гідне місце серед виробників зварювальних матеріалів.



* Детальну інформацію щодо майбутнього 40-річного ювілею, досягнень та продукції ДЗЗМ буде надано у журналі «Сварщик» № 6.

MIG/MAG горелки «MB EVO PRO» с жидкостным охлаждением от компании «Binzel»

Серия MIG/MAG горелок «MB EVO PRO» представляет абсолютно новую концепцию в разработке, дизайне и функциональности сварочных горелок. Уникальная эргономика, являющаяся результатом кропотливых исследований, дает сварщику ощущение более масштабного контроля, позволяя почувствовать себя единым целым со своей горелкой. Положение и конструкция кнопки, шарнирное соединение гарантируют оптимальный баланс и комфортную работу в любой сварочной позиции.

Усовершенствованная система охлаждения и тщательно подобранные материалы фиксируют внимание на горелках «MB EVO PRO» с жидкостным охлаждением. Улучшенное охлаждение передней части увеличивает срок службы расходников и позволяет задействовать резервы мощности, т.е. осуществлять сварку на более высоких токах.

К преимуществам «MB EVO PRO» также относятся:

- высочайшее качество расходников «MB EVO PRO» в сочетании с доработанной системой

охлаждения горелки обеспечивают максимальный срок службы;

- наличие двухступенчатой ручки — точной и эргономичной;
 - оптимальное расположение кнопки и изогнутая форма ручки создают удобство и точность в работе;
 - упрощенная компактная конструкция облегчает ремонт в случае необходимости;
 - высокоэффективные шланги со специальным защитным материалом повышают гибкость и комфорт;
 - центральный разъем оптимизирован и надежен, направляющие для шлангов защищены.
- Горелка работает при токах от 300 до 575 А.

www.binzel-abicor.com

● #1702

Сварочный аппарат FITEL S179

FURUKAWA
ELECTRIC GROUP

Furukawa Electric Co. Ltd (Япония) дополнила свою линейку сварочных аппаратов новой моделью аппарата оптического волокна FITEL S179. Новинка отличается от других моделей меньшими размерами, обладает удобным интерфейсом и выполняет сварку волокон значительно быстрее.

Автоматический сварочный аппарат с выравниванием по сердцевине модели FITEL S179 работает со всеми типами одиночных волокон, а также с оптическими коннекторами типа SC/LC. Высокий ресурс батареи позволяет производить 200 циклов сварки и термоусадки на одной подзарядке. Сенсорный 4.3- дюймовый дисплей обеспечивает простое управление, а вместительная рабочая камера – удобную загрузку волокон. Для обеспечения лучшей видимости места укладки волокон, 3+1 мощные светодиоды подсветки освещают рабочую поверхность. Свободно извлекаемый V-образный паз упрощает чистку и обслуживание аппарата. Новый среди сварочных аппаратов «внедорожник» модели S179 ориентирован на пользователя, который работает в суровых условиях эксплуатации. Усиленный корпус аппарата стоек к ударам и механическим влияниям (IK07),



пыле- и влагозащищен (IP52). Мощные сервомоторы (8N) гарантируют безупречную сварку дрoп-кабеля и кабеля разводки в помещениях. Встроенный NFC чип (Near Field Communication) управление архивами сварок через мобильный телефон и др. функции, доступные в новом сварочном аппарате модели S179, делают его одним из самых передовых аппаратов от компании Furukawa Electric.

www.romsat.ua

● #1703

Сварка металлов и сплавов трением. Технологические возможности сварки трением с перемешиванием*

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

Сварка трением с перемешиванием (СТП) нерасходуемым инструментом развивается и совершенствуется более 25 лет. За это время непрерывно совершенствовался инструмент, были предложены различные способы и приемы сварки, расширилась номенклатура свариваемых материалов и увеличились объемы промышленного применения технологии СТП.

Способы и приемы сварки. С целью интенсификации процесса СТП и предупреждения образования дефектов, предложены различные его способы и технологические приемы.

Представляют интерес предложения воздействовать механическими колебаниями сварочного инструмента на массу разогретого до пластичного состояния материала (Патент Германии 19953260) или силой пульсации посредством инструмента специальной формы (Патент РФ 2277465). В первом случае необходимы сложные исполнительные механизмы и повышенная прочность, особенно усталостная, инструмента (рис. 24). Во втором случае пульсация создается за счет небольшого угла отклонения опорного бурта от оси вращения инструмента.

Предлагается также введение в зону соединения дополнительной тепловой энергии для сварки деталей с большой толщиной соединяемых кромок или из материалов с повышенной температурой перехода в пластическое состояние. В качестве источников дополнительного нагрева предлагаются лазерный луч (Патент WO 02/074479, Европейский

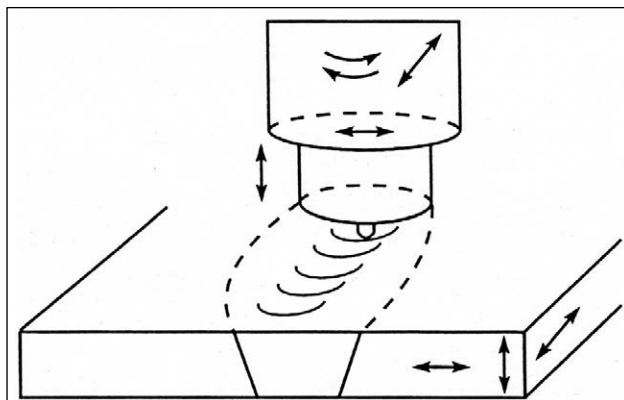


Рис. 24. Направления принудительных колебаний инструмента при СТП

* Продолжение публикации серии статей «Сварка металлов и сплавов трением». Начало в № 1, 2, 3, 4 – 2017.

патент 01/08345), высокочастотный индуктор (Патент Норвегии 99/000421), активное сопротивление (Европейский патент 7716/956, Патент Швеции 98/00613).

Нагрев дает возможность увеличить скорость сварки и уменьшить частоту вращения инструмента, что снижает вероятность перегрева и оплавления металла под опорным буртом. Посредством предварительного подогрева, в частности плазменного, можно также влиять на структуру и прочностные характеристики соединения [27].

Предложен способ сварки трением с перемешиванием (СТП) с одновременным использованием двух и более инструментов (технология Twin-Stir™, Европейский патент 0615480), применяемый в нескольких вариантах технологических схем (рис. 25). Сварка при параллельном перемещении двух инструментов Twin-Stir™; при перемещении друг за другом по линии стыка Tandem Twin-Stir™ или инструментов со смещением относительно друг друга как в поперечном, так и в продольном направлениях Staggered Twin-Stir™.

При сварке с параллельно расположенными инструментами (рис. 25, а) можно повысить скорость сварки при меньшей скорости вращения инструмента, уменьшить асимметрию швов, уменьшить перемещения и крутящий момент на инструменте. При сварке с перемещением инструментов друг за другом (рис. 25, б) происходит дополнительный нагрев первым инструментом, что облегчает работу второго и позволяет увеличить толщину соединяемых деталей, а также измельчить структуру и остаточные оксиды в шве.

При сварке с поперечным смещением двух инструментов относительно друг друга шов первого инструмента частично перекрывают швом второго (рис. 25, в), что позволяет формировать нахлесточное соединение шириной до 4,3 толщины верхнего свариваемого листа. В зоне перекрытия двух швов дополнительно разрушаются остаточные оксиды и измельчается структура. Эффект достигается при встречном вращении инструментов.

Разработана технологическая оснастка сварки Re-Stir™, с помощью которой осуществляется циклическое возвратно-вращательное движение инструмента. Это решает проблему асимметрии швов, присущую традиционной СТП.

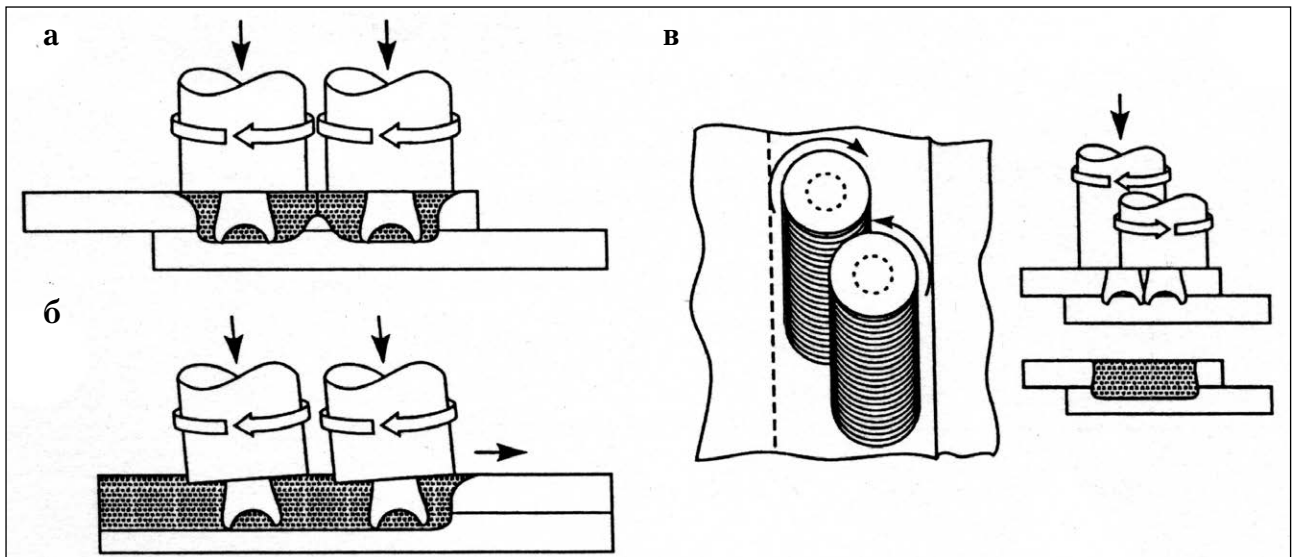


Рис. 25. Варианты технологических схем Twin-Stir™ при перемещении инструмента по стыку: а – параллельном Twin-Stir™; б – последовательном (Tandem Twin-Stir™); в – со смещением (Staggered Twin-Stir™)

Разработан способ СТП разнородных материалов (рис. 26). Согласно этому способу оптимальным является положение инструмента, при котором стержень погружен в менее прочный материал (алюминиевый сплав) и немного углублен (на 0,2 мм) в более прочный материал (сталь).

В последнее время увеличился интерес к СТП точечных соединений. Этот процесс может быть использован и для устранения «кратера» шва, образующегося после подъема инструмента, и др. дефектов. Точечную СТП используют для соединения как стальных, так и алюминиевых заготовок.

Точечные швы выполняют по двум технологическим схемам. Первая предусматривает погруже-

ние вращающегося инструмента в деталь, с доведением до пластического состояния и перемешиванием металла под буртом. После этого инструмент вынимают, оставляя в детали характерное углубление (PFSW). По второй схеме выполняют точечную сварку с заполнением шва (RFSW). В этом случае используют инструмент, у которого бурт и наконечник имеют отдельные системы привода. Вращающийся инструмент опускают в деталь, наконечник выдавливает и перемешивает находящийся под ним металл, а затем его вынимают и металл под буртом заполняет углубление, образуя шов.

Качество швов и свойства сварных соединений.

Установлено, что основным специфическим дефектом соединений, выполненных СТП, является несплавление. Основными причинами возникновения этого дефекта являются локальное увеличение толщины свариваемого металла либо нарушение переноса металла в корневую часть соединения.

Улучшения перемешивания металла в корневой части соединения можно достичь путем выполнения скоса кромок с обратной стороны пластин (рис. 27, а), которое улучшает заполнение этой области при течении металла в пластическом состоянии. Устранению дефектов шва способствует и применение подкладок с канавкой (рис. 27, б), в которую выдавливается металл, формируя небольшой валик. Затем его удаляют механической обработкой, обеспечивая высокое качество корневой части соединения.

Как отмечалось выше, одним из недостатков соединений, выполненных СТП, является незначительное утончение металла в области соединения из-за контакта заплечика инструмента и поверхности заготовки. Обычно эта величина равна 0,1–0,2 мм, однако в некоторых случаях это может оказать влияние на прочность соединений. Для устранения такого недостатка рекомендуют создавать в месте стыка

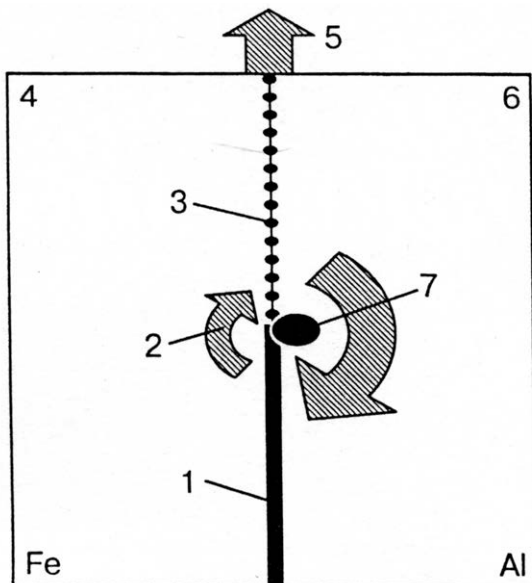


Рис. 26. Технологическая схема СТП алюминиевого сплава со сталью: 1 – активируемая зона; 2 – направление вращения; 3 – неактивированная зона; 4, 6 – сторона сложения и разности векторов скоростей сварки и вращения инструмента; 5 – направление сварки; 7 – инструмент

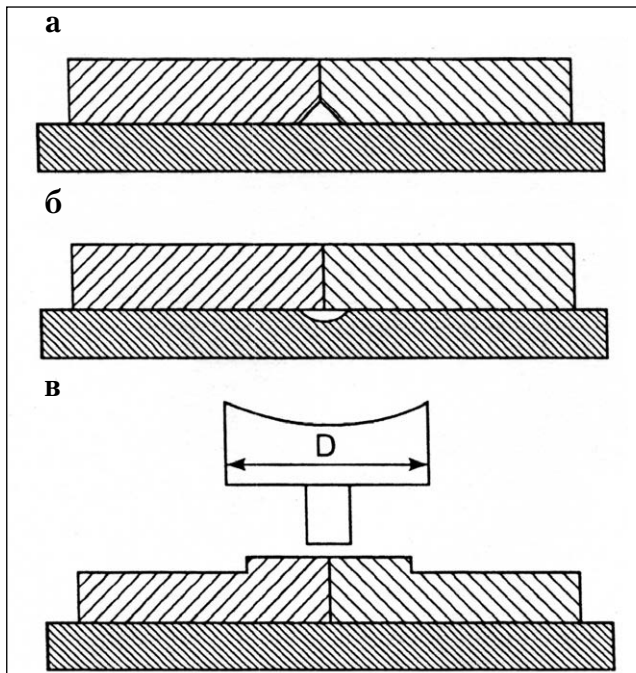


Рис. 27. Подготовка свариваемых кромок: а – со скосом в корневой части; б – выполнение канавки в подкладке; в – создание местного утолщения в зоне сварки

утолщение (рис. 27, в), равное по ширине диаметру заплечика.

При правильно выбранных режимах СТП, как правило, отсутствуют дефекты, превышающие допустимый нормативными документами критический размер.

Процессы обработки, родственные СТП. При СТП в случае нарушения режимов в швах могут возникать специфические «туннельные» дефекты, т.е. продольные каналы. Это явление было использовано для получения в монолитных металлических деталях прямолинейных и криволинейных каналов, в т.ч. имеющих большую длину.

Технология получения каналов подобна технологии СТП. Наконечник инструмента погружают в материал детали в зоне расположения изготавливаемого внутреннего канала и перемещают вдоль его тра-

ектории. В зоне обработки создают давление, обеспечивающее течение пластифицированного металла до разрыва его сплошности и получения внутренней полости, образующей упомянутый канал, который имеет преимущественно форму прямоугольника. При этом давление инструмента на пластифицированный металл равно 0,3–0,7 от величины давления в случае образования сварного шва.

В процессе СТП существенную роль играют термомеханические эффекты, приводящие к уплотнению и измельчению структуры металла. В зарубежной литературе такую обработку называют модифицированием. Технологию модифицирования используют для улучшения структуры и свойств медных и алюминиевых сплавов, в т.ч. и кромок заготовок под последующую сварку плавлением.

Номенклатура свариваемых материалов.

С помощью СТП нерасходуемым инструментом можно получать стыковые, тавровые и нахлесточные соединения (рис. 28).

На первых этапах развития СТП основное внимание разработчиков было сосредоточено на проблеме сварки алюминиевых и магниевых сплавов различных марок, обладающих сравнительно низкой температурой плавления и пластификации. Последнее обстоятельство позволило использовать в качестве материала сварочного инструмента сравнительно дешевые и доступные инструментальные стали. Однако применение таких рабочих инструментов для соединения большинства марок сталей, никелевых, титановых и др. сплавов, которые используют в современных и перспективных изделиях, практически невозможно. В табл. 3 обобщены сведения по основным материалам инструментов, применяемых для соединений конструкционных материалов различных составов и толщин [22]. В большинстве случаев речь идет о соединении материалов малых и средних толщин.

Наиболее широко особенности СТП изучены применительно к соединениям алюминиевых сплавов. Показано, что тепловложение при СТП меньше, чем при аргонодуговой сварке примерно в 2 раза и для алюминиевого сплава 6N01-T5 толщиной 4 мм

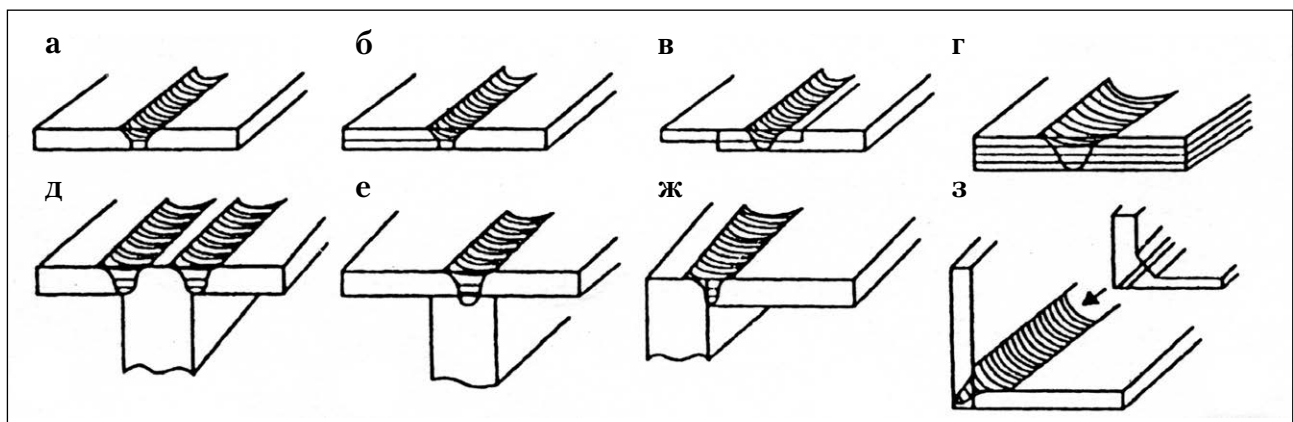


Рис. 28. Типы выполняемых СТП соединений: а – стыковое; б – нахлесточно-стыковое; в – нахлесточное; г – многослойное нахлесточное; д – двухпроходное тавровое; е – тавровое прорезное; ж, з – угловое

Таблица 3. Номенклатура соединяемых СТП материалов

Соединяемые материалы	Марка	Толщина, мм	Материал инструмента
Al	6061-T6 6111-T4 6082-T6 5754	9,5; 12,7 0,9 1,5 1,3	Сталь H13
	7075-T7351	6,3; 16	MP-159; MP-159/H13 (стержень/бурт)
	7020-T6	1,5; 4	Углеродистая сталь
	A-319; A413	6	Инструментальная сталь
Mg	AZ31Mg AZ31B-H24	1,5 2	Сталь H13
	AZ31B	6	Быстрорежущая и углеродистая сталь
Ti	Ti	3 2 5,6	pcBN; WC/W (стержень/бурт) WC-Co TiC, спеченый
	Ti-6Al-4V	3-12 2	W-La W-wt-% Re
	Ti-15V-3Cr-3Al-3Sn Ti-5111 плита	3 12,7	Сплав Mo Сплав W
Fe	Fe-1,02C-0,24Si-0,37Mn-1,4Cr Аустенитная сталь 270 SAF 2507 Duplex 5S Углеродистая сталь DP-780 Ферритная сталь 430, 329J4L Duplex, 304, 316L, 310 Сталь легированная бором	2,3 6 4 1,5 6 1,4	pcBN
	304L-SS	3,2	Сплав W
	15-5PH DP 600	2,6 1,2	W-25%Re
	Низкоуглеродистая сталь	0,6	WC-13%Co; WC-13%Co + 6% Ni, 1,5% Cr ₃ C ₂ WC Сплавы Mo и W Si ₃ N ₄ с покрытием (TiC, TiN) и без него
	Углеродистая сталь AlSi 1018 DP 590	1,6 6,3 1,2	
Разнородные	AA6061-T651+ сталь SS400 AA6061-T6 + Cu AA2024-T3 + Ti-6Al-4V	6 1,5 2	AlSi 4140 Сталь H13 Инструментальная сталь WC с покрытием AlCrN
	AA1050 + сталь 22MnB5	1,8	
	Az31 + углеродистая сталь Az31 + AA5083 Az31B, Az61A, Az91D + Ti	0,8 1,2 2	Инструментальная сталь SKD61
	Ti + сталь 304L	4	WC
Металломатричные композитные	AA6061 + 20% Al ₂ O ₃ Al359 + 20% SiC	3-6 4	AlSi – каленая инструментальная сталь, 62 HRC
	AA6061 + (3-7)% TiC Al-10wt-% TiB ₂	3-6 6	Углеродистая сталь, легированная Cr
	Al-15wt-% Mg ₂ Si	6	Сталь H13

составляет 190 и 390 Дж/мм соответственно (скорость сварки 500 мм/мин) [15].

Анализ данных усталостных испытаний соединений алюминиевых сплавов показал, что их работоспособность во многих случаях выше, чем у соединений полученных сваркой плавлением, и при этом меньше разброс значений [15]. Результаты испытаний на усталостную прочность однопроходных сварных соединений листов толщиной 6 мм сплавов 5083-0 и 2014Т6 (рис. 29) были выше и с меньшим разбросом значений, чем у двухпроходных соединений, выполненных ТИГ или МИГ способами сварки, которые регламентированы нормами BS8118 класс 35 и Европейскими рекомендациями В3 для соединений, выполненных сваркой плавлением. Показатели усталостной прочности соединений сплавов 6082Т5 и 6005Т4, выполненных СТП, при коэффициенте асимметрии цикла $R = 1$, близки к показателям усталостной прочности основного металла и значительно выше, чем у соединений, выполненных др. способами сварки, в частности МИГ и плазменной сваркой со сквозным проплавлением.

В работе [28] определяли оптимальные параметры режимов одно- и двухпроходной СТП стыковых соединений листов сплава 15651М толщиной 7 мм. Установлено, что при двухпроходной СТП средняя прочность соединений составляет 355 МПа и превосходит значения для однопроходной сварки (334 МПа). Металл шва в обоих случаях существенно превосходит прочность соединения. Предел выносливости соединения при двухпроходной СТП составляет 135 МПа, а при однопроходной СТП – 115 МПа. Причина снижения выносливости соединений, выполненных однопроходной СТП, кроется в наличии оксидных включений, сконцентрированных в корневой части соединений.

Анализ сварных образцов алюминиевых сплавов АМг6, 1201, 1460 толщиной 1,8–2,5 мм показал, что соединения, выполненные СТП, отличаются высоким уровнем механических свойств (коэффициент

прочности сварных соединений составляет 0,7–0,9 уровня прочности основного металла) [29].

В работе [30] определяли стойкость швов против зарождения и распространения трещин при растяжении образцов низколегированных и высокопрочных сложнелегированных алюминиевых сплавов с концентратором, полученных СТП и аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом. При этом швы, полученные СТП имели заметно более высокую стойкость к зарождению и распространению трещин.

СТП позволяет сваривать практически все деформируемые и литейные алюминиевые сплавы как в одноименном, так и в разноименном сочетаниях, многие композитные и разноименные материалы, обеспечивая высокое качество швов и необходимые свойства сварных соединений. Поэтому такой способ сварки можно применять для соединения трудносвариваемых, а иногда и не свариваемых способами плавления сочетаний алюминиевых сплавов. Например, при сварке плавлением сплавов 1201 и АМг6 в некоторых зонах шва образуется композиция легирования с таким соотношением содержания меди и магния (и примесей др. химических элементов), при котором в процессе кристаллизации металла шва по границам кристаллитов образуются эвтектики. Они содержат $CuAl_2$ с низкой температурой затвердевания (549 °С) и, локализуя термомеханическую сварочную деформацию, служат очагом кристаллизационного растрескивания. Поскольку при СТП нагревания зоны соединения до температуры солидуса не происходит, то кристаллизационные трещины в шве не образуются. Прочность такого соединения находится на уровне 0,75 от прочности сплава АМг6.

Как видно из рис. 30 [29], качество соединений, выполненных СТП, лучше по сравнению с качествами соединений, выполненных аргонодуговой и лазерной сваркой.

При СТП алюминий-литиевых высокопрочных сплавов 1420, 1460 и др. образуются ультрадисперсные структуры, способствующие повышению твердости, но одновременно происходит частичное выделение из пересыщенного твердого раствора избыточных фаз, что приводит к некоторому снижению твердости соединения [31]. Однако степень разупрочнения металла при СТП упомянутых сплавов намного меньше, чем при сварке плавлением. Поэтому предел прочности соединений этих сплавов, выполненных СТП, выше соединений без усиления шва, полученных при дуговой сварке неплавящимся электродом в аргоне. В то же время максимальный уровень остаточных напряжений в соединениях сплава 1420, полученных СТП, на 35% ниже, чем при дуговой сварке.

Установлено также, что характеристики сопротивления усталости стыковых соединений сплавов 1420 и 1460 в случае сварки трением, превышают соответствующие показатели варианта дуговой свар-

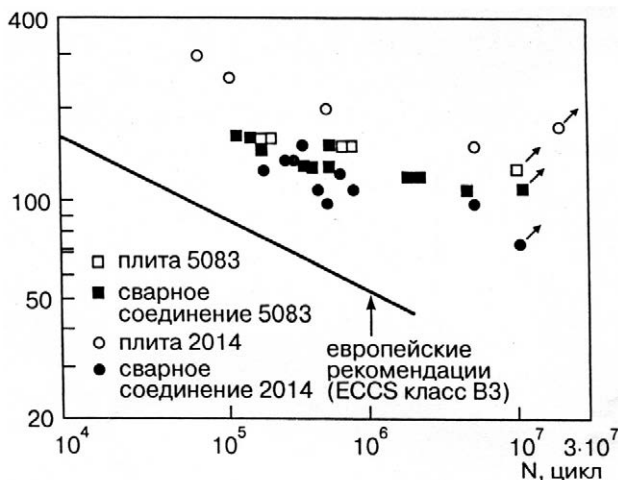


Рис. 29. Усталостная прочность стыковых СТП соединений сплавов 5083-0 и 2014 Т6

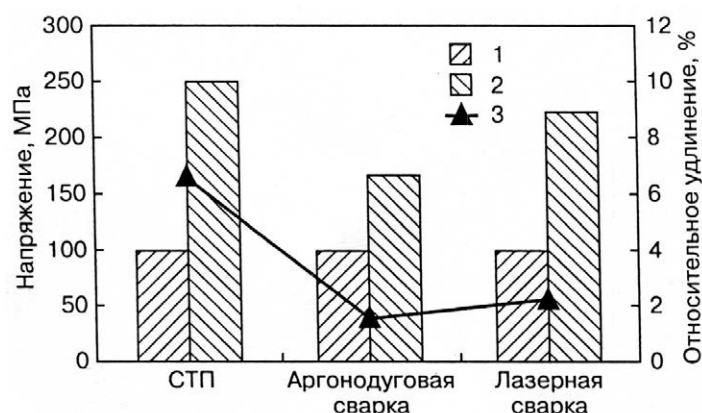


Рис. 30. Механические свойства сварного соединения, выполненного различными способами сварки: 1 – предел текучести; 2 – предел прочности; 3 – относительное удлинение

ки. Значения предельных размахов напряжений на базе $2 \cdot 10^6$ циклов перемен напряжений для соединений, выполненных СТП, только на 10–12% ниже показателей основного металла.

Следует обратить внимание на то, что повторные проходы СТП, применяемые для устранения дефектов, снижают прочностные характеристики сварного соединения высокопрочностных алюминиево-литиевых сплавов на 10–15% и пластичность в 2–3 раза [32]. Применение в качестве ремонтного варианта ручной аргоно-дуговой сварки приводит к значительному снижению механических свойств. Авторы отмечают, что основными дефектами при СТП алюминиевых сплавов являются непровары, связанные с недостаточным перемешиванием металла особенно в корневой части соединений, и рыхлости, возникающие при перегреве свариваемого металла.

Исправление дефектов СТП с использованием ручной аргоно-дуговой сварки приводит к значительному порообразованию и хрупкому, межзеренному разрушению, связанному с выделением большого количества интерметаллидных частиц по границам зерен.

Опыты по СТП литых заготовок из термически неупрочняемых сплавов системы Al-Mg-Sc показали, что в этом случае качество и уровень прочности соединения не ниже основного металла. В результате пластичной деформации происходит формирование наноструктуры и достигается высокий для сплавов системы Al-Mg-Sc уровень твердости – HB = 1900 МПа [33].

В настоящее время имеются все основания утверждать, что СТП позволяет соединять все деформируемые и литейные алюминиевые сплавы как в одноименном, так и в разноименном сочетаниях, многие композитные и разноименные материалы, обеспечивая высокое качество швов и необходимые свойства сварных соединений. Такой способ сварки можно применять для соединения трудносвариваемых, а иногда и не свариваемых способами плавления сочетаний алюминиевых сплавов.

В последние годы заметно расширился интерес к применению в промышленности магниевых сплавов. Обладая уникальными весовыми характеристиками, магниевые сплавы постоянно находятся в поле зрения разработчиков авиационной и космической техники, автомобилестроения и изделий др. отраслей промышленности. Учитывая повышенную возгораемость магния, для соединения магниевых сплавов предпочтительна сварка давлением.

Ряд исследователей выделяют особенности СТП магниевых сплавов: диапазон параметров режима сварки уже, чем у алюминиевых сплавов; сплавы серии АМ имеют тенденцию повышенного налипания на инструмент с ухудшением качества поверхности шва и др.

В [34] рекомендуют область оптимальных режимов сварки магниевого сплава AZ91 толщиной 2 мм, обеспечивающих получение соединения прочностью 330–360 МПа, что превышает прочность основного материала.

Получены положительные результаты и по СТП титановых сплавов различного назначения. Этот способ считается наиболее перспективным для соединения упомянутых материалов [35]. Но особый интерес у разработчиков и исследователей вызывает СТП различных марок сталей [36].

Основным «тормозом» для СТП сталей, особенно средних толщин, является низкая стойкость сварочного инструмента.

Благодаря использованию СТП удается успешно соединять различные комбинации разнородных материалов. В [37] сообщается о СТП нахлесточных соединений из высокопрочного чугуна FCD450 с коррозионностойкой сталью 304, причем сталь расположена сверху.

В ряде работ перспективными считаются исследования по СТП разнородных материалов: сталь + алюминий, медь + алюминий, сталь + титан и др.

Авторы [38] рассматривали различные варианты оксиднодисперсно-упрочненных сталей для современных ядерных реакторов с учетом высокотемпературной прочности, коррозионной стойкости и стойкости к радиационным разрушениям. Они пришли к выводу, что преимущественным способом соединения этих сталей является СТП.

Промышленное применение. Преимущества СТП по сравнению с другими способами сварки обуславливают все возрастающие объемы ее применения в различных отраслях промышленности, в первую очередь для соединения алюминиевых сплавов толщиной от 0,2 до 75 мм за один проход. Интенсивная работа зарубежных ученых и специалистов, направленная на совершенствование технологии и установок, позволила использовать этот способ сварки в ряде наукоемких отраслей промышленности: авиакосмической, транспортной, судостроительной, автомобильной, электротехнической и др. (табл. 4).

Таблица 4. Области применения СТП алюминия и алюминиевых сплавов

Область применения	Характеристика изделия	Фирма-производитель
Авиакосмическая техника	Топливные баки ракет семейства «Delta»: диаметр от 2 до 6 м; длина швов 15 м; сплав 2014Т6	Boeing (США)
	Внешний бак ракеты «Shuttle»: восемь продольных швов на резервуаре из сплава 2195 для жидкого водорода и четыре продольных шва на резервуаре для жидкого кислорода	NASA (США)
	Элементы крыльев нового поколения самолетов Airbus	British Aerospace (Великобритания)
Подвижной состав	Укрупнение прессованных панелей: заготовки толщиной 1,6–15 мм при максимальных размерах 16х6 м	Marin Aluminium (Норвегия)
	Железнодорожные вагоны	Hitachi (Япония)
Автомобилестроение	Рамы двигателя, кузов, двери, автомобильные цистерны	AOS/APS (Швеция), Automotive (США), Mazda Motor Corp. (Япония)

Благодаря использованию СТП решают задачи повышения качества сварных конструкций, производительности и улучшения условий труда.

В настоящее время основными областями применения СТП являются:

- судостроение (палубные надстройки, переборки, элементы корпуса);
- аэрокосмическая промышленность (элементы фюзеляжа, крыльев, топливные и баки для криогенных жидкостей, корпуса ракет);
- железнодорожный транспорт и метро (корпуса вагонов, рамы и основания поездов метро);
- автомобильная промышленность (узлы крепления двигателя, диски колес, рамы автомобилей);
- электротехническая промышленность (корпуса электромоторов, токоподводы, параболические антенны, шины);
- строительная индустрия (алюминиевые мосты и трубопроводы, теплообменники и кондиционеры);
- пищевая промышленность (емкости для пива, упаковка);
- ядерная энергетика (сварка медных контейнеров для ядерных отходов);
- добыча нефти и газа (сварка и модифицирование стальных буровых труб).

В случае разработки удачных решений по конструкции и материалу инструмента для СТП сталей различного класса, особенно высокопрочных с особыми свойствами, можно ожидать существенной активизации технологических работ на этом направлении.

Литература

27. Yaduwanshi D.K., Bag S., Pal S. Effect of Preheating in Hybrid Friction Stir welding of Aluminum Alloy // J. Mater. Eng. and Perform.— 2014.— № 10.— С. 3794–3803.

28. Овчинников В.В., Малов Д.В., Дриц А.М. Двухпроходная сварка трением с перемешиванием стыковых соединений листов сплава 15652М // Научные технологии в машиностроении.— 2014.— № 6.— С. 7–13.

29. Покляцкий А.Г., Гринюк А.А., Подъяльников А.Г. Сварка трением с перемешиванием тонколистовых материалов // Сварщик.— 2007.— № 5— С. 11–13.

30. Покляцкий А.Г. Стойкость швов тонколистовых алюминиевых сплавов против зарождения и распространения эксплуатационных трещин // Автомат. сварка.— 2011.— № 9.— С. 7–11.

31. Покляцкий А.Г., Кныш В.В., Клочков И.Н. и др. Особенности и преимущества процесса сварки трением с перемешиванием стыковых соединений тонколистовых алюминиево-литиевых сплавов // Автомат. сварка.— 2016.— № 5–6.— С. 93–98.

32. Лукин В.И., Иода Е.Н., Безескин А.В. и др. Сварка трением с перемешиванием высокопрочного алюминиево-литиевого сплава В-1469 // Свар. пр-во.— 2012.— № 4.— С. 45–48.

33. Предко П.Ю. Микро- и наноструктура соединений при аргонодуговой и СТП сплавов системы Al-Mg-Sc // 8 Рос. ежегод. конф. мол. науч. сотруд. и аспирантов. «Физико-химия и технология неорганических материалов», М., 15–18.11.2011; Сборник материалов.— М.: 2011.— С. 95–96.

34. Nakata K., Jnoki S., Nagano Y. et all. Friction stir welding of AZ 91D thixomlded sheet // 3rd International Friction Stir Welding Symposium. 2001. Kobe, Japan.

35. Винокуров Н.В. Проблемы сварки титановых сплавов и современные способы их решения // Науч. диск.: вопросы технических наук: Матер. Междунар. заочной научно-практич. конфер., М., 12 ноября 2012.— С. 45–51.

36. Hidetoshi F. Friction stir welding of steels // Weld. Int.— 2011.— № 4.— P. 260–273.

37. Sawada Yu-ki, Naka Mitsuru. Lapped friction stir welding between ductile cast irons stainless steels // Weld. Int.— 2013.— № 2.— S. 121–128.

38. Baker B.W., Brewer L.N. Joining of Oxide Dispersion Strengthened Steels for Advanced Reactors // Metals and Mater. Soc.— 2013.— № 12.— S. 2442–2457.

• #1704

Дефекты в наплавленном металле, их происхождение и меры борьбы с ними. Трещины

И.А. Рябцев, д.т.н., **И.И. Рябцев**, к.т.н., **А.А. Бабинец**, к.т.н., «ИЭС им. Е.О. Патона» НАНУ (Киев),
Э.В. Турык, д.т.н., Instytut Spawalnictwa (Гливице, Польша)

Надежность, работоспособность, экономичность изготовления и безопасность последующей эксплуатации наплавленных деталей во многом зависят от качества наплавленного металла, наличия или отсутствия в нем различных дефектов.

Целью публикаций настоящей серии статей о дефектах наплавленного металла является характеристика различных групп этих дефектов, их происхождения и мер борьбы с ними. Дефекты классифицированы в соответствии с международным стандартом ISO 6520-1:2007 [1] и его аналогом ГОСТ Р ИСО 6520-1:2012 [2].

В сварочной (наплавочной) практике распространено понятие дефекта как несплошности или другого порока — допустимого, если его параметры не превышают предельного значения по соответствующему стандарту или ТУ, или недопустимого.

Дефекты в наплавленном металле различают:

- по месту их расположения — наружные или внутренние;
- по величине — макроскопические, которые можно обнаружить невооруженным глазом или с помощью методов неразрушающего контроля, и микроскопические, их обнаружение требует методов с высокой разрешающей способностью;
- по форме — плоскостные, например, трещины и несплавления, создающие острый надрез, и объемные, трехмерные, например, газовые полости и твердые включения, которые не создают надреза, а уменьшают эффективное сечение сварного шва или наплавленного валика;
- по массовости — единичные и групповые (цепочки, скопления).

По причинам возникновения различают следующие дефекты:

- связанные с металлургическими, термическими и гидродинамическими явлениями, происходящими в процессе образования, формирования и кристаллизации сварочной ванны и остывания наплавленной детали (трещины, поры, шлаковые включения, отклонения от необходимых

свойств наплавленного металла и зоны термического влияния (ЗТВ));

- вызванные неправильным ведением процесса наплавки или несоблюдением режимов наплавки (непровары, несплавления, отклонения от заданных размеров и формы наплавленного валика (слоя), деформация отдельных элементов или всей наплавленной детали, изделия в целом);
- вызванные ошибками при разработке технологии наплавки или конструкции детали под наплавку (неправильный выбор электродных (присадочных) материалов, неправильная форма и размеры поверхности, предназначенной для наплавки).

По стандартам [1, 2] сварочные (наплавочные) дефекты разделены на шесть основных групп, имеющих соответствующий трехзначный номер, приведенный в скобках: трещины (100–106), полости (200–203), твердые включения (300–304), несплавления и непровары (400–403), отклонение формы и размеров (500–521) и прочие дефекты (600–618), т.е. дефекты, не входящие в первые пять групп. Внутри каждой группы дефекты разделены на подгруппы. Например, номером 101 обозначаются продольные трещины, номером 102 — поперечные трещины, номером 103 — радиальные трещины, 104 — трещины в кратере сварного шва и т.д. В свою очередь, в подгруппах дефекты разделяют на отдельные виды с четырехзначными номерами.

В данной статье основное внимание уделено классификации, причинам образования и методам борьбы с различными трещинами, характерными для наплавки.

Трещины это макро- или микроскопические несплошности в наплавленном металле или ЗТВ, имеющие характер надреза. В стандартах [1, 2] трещины характеризуются, в основном, с геометрической точки зрения. В качестве примера на *рис. 1* приведены четырехзначные числовые индексы, характеризующие продольные трещины, располагающиеся в различных зонах сварного шва [1, 2].

Трещины, как и другие дефекты, могут быть

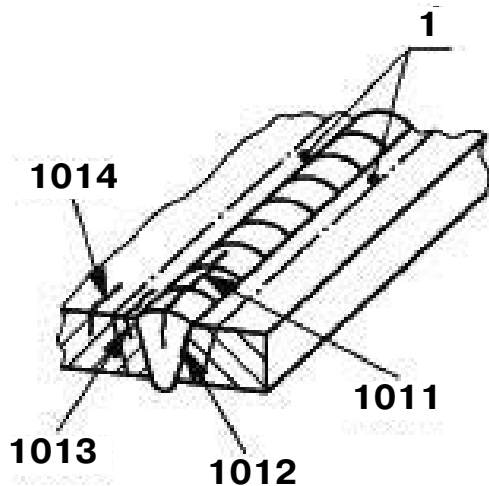


Рис. 1. Сварной шов с продольными трещинами: 1 – ЗТВ; продольные трещины: 1011 - в металле шва; 1012 – в зоне сплавления; 1013 - в ЗТВ; 1014 - в основном металле [1, 2]

допустимыми или недопустимыми. В случае наплавки, допустимость трещин в наплавленном металле определяется в первую очередь условиями службы наплавленных деталей.

Трещины недопустимы в том случае, если они могут вызвать поломку детали или невозможность ее дальнейшей эксплуатации. К числу таких деталей относятся детали запорной арматуры, прокатные валки чистовых клетей, плунжеры гидропрессов, клапаны двигателей внутреннего сгорания и др. детали.

Примером недопустимых дефектов являются трещины в кратере (104) замыкающего валика наплавленного слоя уплотняющей поверхности штока запорной арматуры (рис. 2). Недопустимыми также являются поперечные трещины в ЗТВ (1023) в случае наплавки прошивки из закалывающейся стали 38Х2МЮА. Эти трещины имеют характер надрыва в ЗТВ (рис. 3, а) или откола наплавленного слоя (рис. 3, б). Причиной их появления могут быть нарушения технологии наплавки [3].

Для некоторых деталей трещины не имеют существенного значения, особенно, если они не

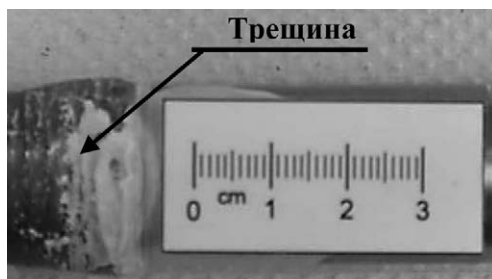


Рис. 2. Трещина в кратере (104) замыкающего валика наплавленного слоя, выполненного дуговой наплавкой порошковой проволокой в инертном газе [3]

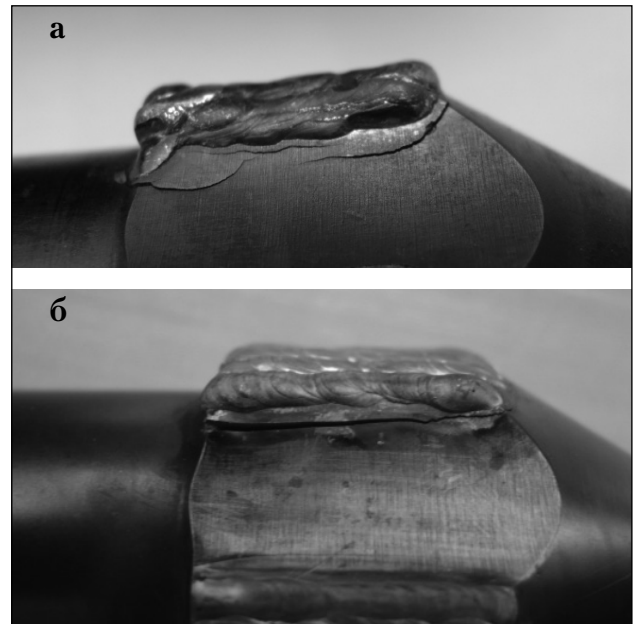


Рис. 3. Холодные трещины (1023) в ЗТВ: а - наплавленного слоя, б - откол (1023) наплавленного слоя прошивки из стали 38Х2МЮА [3]

переходят в основной металл или не ведут к отколам наплавленного металла. К ним относятся конусы и чаши засыпных аппаратов доменных печей, различные течки для транспорта абразивных материалов, бункеры и др. детали, эксплуатируемые в условиях различных видов абразивного изнашивания и изготавливаемые из износостойких биметаллических листов (рис. 4, а-в).

Дефекты типа макро- и микротрещин, образующиеся при наплавке (сварке) сталей и сплавов на основе железа или в некоторое время после ее окончания, без приложения внешнего нагружения (так называемые технологические трещины), можно разделить на следующие группы:

- горячие кристаллизационные трещины, возникающие в процессе охлаждения при температурах первичной кристаллизации наплавленного металла в твердо-жидком состоянии;
- горячие подсолидусные трещины, образующие-

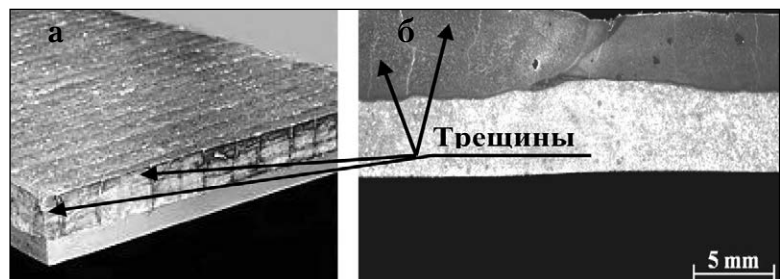


Рис. 4. Допустимые продольные (1011) и поперечные (1021) трещины в износостойком слое биметаллических листов, наплавленных высокохромистым чугуном: а - биметаллический лист с трещинами; б - трещины в отдельных наплавленных валиках [3]

ся в области подсолидусных температур (выше $0,5 T_{пл}$, но ниже $T_{пл}$, где $T_{пл}$ — температура плавления);

- холодные трещины, образующиеся при температуре превращения аустенита в мартенсит, и появляющиеся, прежде всего, в сталях с повышенной закалываемостью, а также в сталях с высоким содержанием водорода;
- ламелярные трещины, возникающие в ЗТВ или основном металле при действии сварочных напряжений, перпендикулярных к толщине наплавляемой детали в результате низкой пластичности металла в направлении оси Z.

Необходимо отметить, что в стандартах [1, 2] в качестве справочного приложения приведена буквенная (из двух букв) классификация по видам сварочных трещин. Все трещины обозначаются латинскими буквами, начиная с заглавной «Е»: горячие — «Еа»; горячие кристаллизационные — «Еb»; горячие подсолидусные — «Ес»; холодные — «Еf»; ламелярные — «Еj» и т.д.

Горячие кристаллизационные трещины в наплавленном металле — это макро- и/или микроскопические несплошности, имеющие характер надреза и зарождающиеся в процессе первичной кристаллизации наплавленного металла. Кристаллизационные трещины могут выходить или не выходить на поверхность наплавленного металла. Трещины, выходящие на поверхность наплавленного металла, легко обнаруживаются при визуальном контроле, методами капиллярной или магнитной дефектоскопии. Трещины, расположенные внутри наплавленного металла, можно выявить с помощью рентгеновских или гамма-лучей, ультразвуком, а при разрушении детали — по излому или на макро- и микрошлифах.

По общепринятой схеме процесс образования кристаллизационных трещин в наплавленном металле может быть описан следующим образом [4]. При затвердевании металл наплавленного валика проходит через так называемый эффективный интервал кристаллизации, во время которого он находится в твердо-жидком состоянии. Поскольку твердо-жидкое состояние металла характеризуется повышенной хрупкостью, то эффективный интервал кристаллизации называют также температурным интервалом хрупкости (ТИХ). ТИХ начинается с переплетения и срастания дендритов в жесткий каркас и заканчивается полным затвердеванием металла. Величина ТИХ определяется химическим составом металла шва и условиями процесса кристаллизации.

Металл наплавленного валика затвердевает под воздействием растягивающих напряжений, возникающих в результате неравномерного нагрева и охлаждения наплавляемой детали, а также усадки самого валика. Если в период пребывания наплавленного металла в ТИХ величина деформации превысит пластичность металла, произойдет разделение кристаллитов и образование трещин (рис. 5). В противном случае кристаллизационные трещины не образуются.

Стойкость наплавленного металла против кристаллизационных трещин зависит от следующих факторов: химического состава наплавленного металла, определяющего его свойства в период кристаллизации и длительность пребывания в состоянии пониженной пластичности; величины и скорости нарастания растягивающих напряжений, действующих в процессе кристаллизации; формы сварочной ванны, от которой зависит направление роста столбчатых кристаллитов, характер их смыкания между собой; величины первичных кристаллитов.

Химический состав наплавленного металла оказывает первостепенное влияние на его склонность к образованию кристаллизационных трещин. Легирующие элементы по возможности их влиянию на склонность наплавленного металла к кристаллизационным трещинам можно разделить на три группы [6]:

- элементы, повышающие склонность наплавленного металла к трещинам;

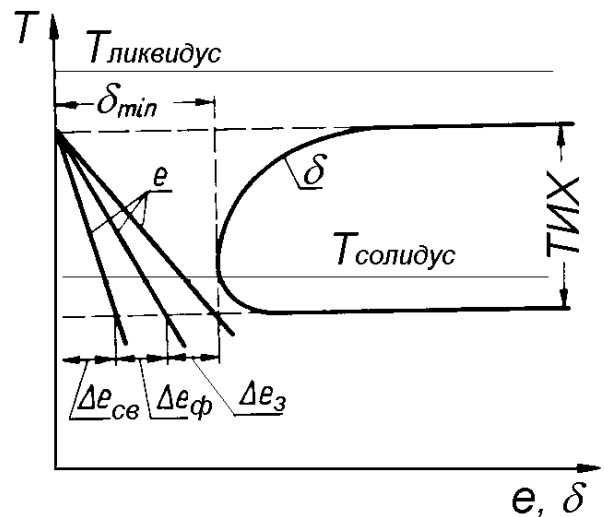


Рис. 5. Схема изменения пластичности δ металла шва и нарастания деформации e в области температур кристаллизации: $\Delta e_{ф}$ — деформация формоизменения, накопленная в шве за период нахождения в ТИХ; $\Delta e_{св}$ — накопленная свободная температурная деформация; $\Delta e_{з}$ — запас технологической прочности; δ_{min} — минимальная пластичность металла в ТИХ [5]

- элементы, которые в зависимости от их концентрации и сочетания оказывают положительное или отрицательное действие на склонность к кристаллизационным трещинам;
- элементы, практически не влияющие на склонность металла к кристаллизационным трещинам.

Сера относится к числу элементов, в наибольшей степени снижающих стойкость наплавленного металла против образования кристаллизационных трещин. Причиной образования трещин являются легкоплавкие прослойки сульфидной эвтектики, выделяющиеся по границам кристаллитов. При наплавке необходимо ограничивать содержание серы в основном, электродном (присадочном) материалах и во флюсе.

Фосфор, аналогично сере, образует легкоплавкие фосфидные эвтектики по границам зерен, служащие причиной образования кристаллизационных трещин. При наплавке необходимо ограничивать содержание фосфора в основном, электродном (присадочном) материалах и во флюсе.

Углерод – важнейший легирующий элемент, определяющий структуру, прочностные и эксплуатационные свойства наплавленного металла. Вместе с тем углерод резко отрицательно влияет на стойкость наплавленного металла против образования горячих и холодных трещин.

Кремний способствует образованию кристаллизационных трещин в наплавленном металле. Особенно опасен кремний в чисто аустенитном хромоникелевом наплавленном металле, что обусловлено выделением по границам кристаллитов пленок силицидов и др. легкоплавких соединений. Появление в наплавленном металле этого типа некоторого количества феррита повышает его стойкость против образования кристаллизационных трещин.

Марганец уменьшает вредное влияние серы, повышая стойкость наплавленного металла типа углеродистых низколегированных и хромоникелевых аустенитных сталей против образования горячих трещин. При достаточной концентрации марганец связывает серу в тугоплавкий сульфид марганца, включения которого менее опасны для возникновения трещин, чем включения сульфида железа.

Хром также уменьшает вредное влияние серы и повышает стойкость против образования кристаллизационных трещин наплавленного металла типа углеродистых низколегированных и малоуглеродистых высокохромистых сталей. Имея более высокое, чем железо, химическое сродство к сере, хром связывает ее в тугоплавкий сульфид хрома.

Никель относится к числу элементов двойного действия. При небольших концентрациях (до 2%) он не оказывает влияния на стойкость наплавленного металла против образования горячих трещин. При более высоком содержании никель усиливает вредное влияние серы, способствуя образованию кристаллизационных трещин.

Регулируя химический состав наплавленного металла, уменьшая в нем содержание вредных и увеличивая содержание полезных элементов, можно повысить стойкость наплавленного металла против образования кристаллизационных трещин. Однако следует отметить, что при наплавке состав наплавляемого металла выбирают, исходя из условий эксплуатации детали, поэтому исключить или понизить содержание углерода и других легирующих добавок зачастую нельзя. Вследствие этого при наплавке, в отличие от сварки, набор мер борьбы с трещинами более ограничен.

Эффективным средством повышения стойкости наплавленного металла против образования горячих кристаллизационных трещин является предварительный подогрев. Положительное влияние подогрева обусловлено отдалением момента возникновения растягивающих напряжений и снижением скорости их нарастания в период, когда металл шва имеет пониженную пластичность. Температура предварительного подогрева зависит от химического состава наплавленного металла, конструкции детали, др. факторов и обычно составляет 150–500 °С.

Для борьбы с кристаллизационными трещинами используется также эффект «залечивания» трещин легкоплавкими эвтектиками. Такие эвтектики образуются, например, при определенном содержании углерода и карбидообразующих элементов в сплавах на основе железа. Они выделяются по границам зерен и при их малых концентрациях возможно образование кристаллизационных трещин, при больших, напротив, трещины не образуются вследствие проявления эффекта «залечивания».

Форма сварочной ванны также влияет на склонность наплавленного металла к кристаллизационным трещинам. Форму сварочной ванны и сечение наплавленного валика можно откорректировать, изменив параметры режима или применив иной способ наплавки. При этом изменяются ориентация и характер срастания столбчатых кристаллитов.

Подсолидусные (полигонизационные) трещины образуются в низкотемпературном интервале хрупкости при 600–1000 °С при кристаллизации металлов, не претерпевающих полиморфных превра-

щений [7]. Они образуются на участках, в которых сосредоточены несовершенства кристаллической решетки — по полигонизационным границам. Возникновение зародышей трещин при высоких температурах является следствием выделения вакансий на границах, перпендикулярных действию растягивающих напряжений и межзеренного проскальзывания, приводящего к раскрытию ступенек на границах микрополостей [8]. Помимо межзеренного проскальзывания важную роль в образовании полигонизационных трещин играет процесс миграции границ зерен.

Полигонизационные трещины характерны для чистых металлов и их однофазных сплавов. Основные пути предотвращения образования этих трещин следующие [8]:

- увеличение скорости охлаждения наплавленного металла для сокращения продолжительности пребывания металла при температуре высокой диффузионной подвижности атомов легирующих элементов;
- легирование сплавов элементами, снижающими диффузионную подвижность атомов или способствующими созданию фрагментарной литой структуры, а также повышение чистоты основного металла по примесям внедрения.

Холодные трещины. В отличие от горячих трещин, холодные трещины образуются при температуре превращения аустенита в мартенсит и появляются, прежде всего, в сталях с повышенной закаливаемостью.

Холодные трещины, которые образуются по окончании наплавки при температурах ниже 250 °С. Отличительной особенностью холодных трещин этого вида является их замедленное зарождение и развитие. Они могут возникать по истечении некоторого времени после окончания наплавки и затем медленно, на протяжении нескольких часов и даже суток, распространяться в металле. Наиболее часто при наплавке наблюдаются околошовные холодные трещины (рис. 3, а, б). Продольные трещины, расположенные в ЗТВ, называют отколами. Если они возникают в зоне сплавления со стороны шва, то их называют отрывами.

Холодные трещины образуются при наплавке сталей и чугунов, отличающихся по характеру и уровню легирования, относящихся к разным структурным классам и различающихся по прочности и назначению [9]:

- углеродистых конструкционных сталей, содержащих более 0,4% углерода;
- низколегированных и легированных конструк-

ционных сталей перлитного, бейнитного и мартенситного классов (15ХСНД, 30ХГСА, 38ХГН, 38ХНЗМА и др.);

- высоколегированных сталей ферритного, мартенситно-ферритного и мартенситного классов (10Х17Т, 15Х25Т, 20Х13, 12Х13Н2МАФ, 15Х13Н2Г2БТ, 35В9Х3СФ и др.);
- сталей ледебуритного класса и высоколегированных чугунов (200Х12М, 200Х6Т4, 300Х25НЗСЗ и др.).

Основными факторами, определяющими образование и развитие холодных трещин, являются: закалочные явления, суммарные сварочные напряжения, напряжения внешних нагрузок, а также водород [9].

Механизм образования холодных трещин при наплавке склонных к закалке сталей и чугунов можно представить следующим образом. В процессе охлаждения в околошовной зоне образуется мартенситная структура и сложное напряженное состояние, обусловленное суммированием сварочных и структурных напряжений. Для большинства сталей, при сварке и наплавке которых образуются холодные трещины, структурные превращения в сварном соединении и ЗТВ заканчиваются при охлаждении до ≈ 150 °С.

Распределение напряжений в наплавленной детали зависит от природы основного и наплавленного металлов. Например, характерной особенностью напряженного состояния сварных соединений закаливающихся сталей с ферритным или аустенитным наплавленным металлом является сложное распределение продольных сварочных напряжений (рис. 6).

Наблюдаются относительно высокие напряжения сжатия в участке ЗТВ на границе со швом, высокие напряжения растяжения в соседнем участке этой зоны и непосредственно в сварном шве. В результате на границе раздела шов—основной металл появляются большие скалывающие напряжения, способствующие замедленному разрушению закаленной стали и образованию холодных трещин типа отколов.

Это сложно-напряженное состояние может быть отражено следующей схемой (рис. 7): в околошовной зоне у границы сплавления действуют продольные напряжения сжатия σ_1 и поперечные напряжения растяжения σ_2 . В примыкающем участке шва у этой границы действуют продольные — σ_1 и поперечные — σ_2 напряжения растяжения. В результате на границе раздела возникают значительный перепад продольных напряжений ($-\sigma_1$) — ($+\sigma_1$) и боль-

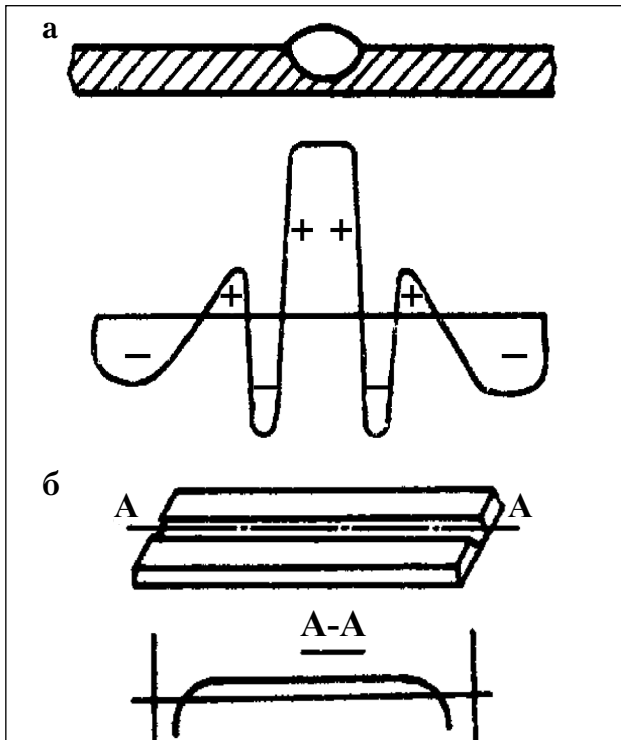


Рис. 6. Распределение напряжений в сварном соединении закаливающихся сталей [6]: а - продольные, б - поперечные

щие напряжения сдвига. По границам зерен околошовной зоны, направленным под углом 45° к оси шва, появляются значительные касательные напряжения τ . Такое напряженное состояние способствует зарождению трещины на стыке трех зерен.

Наиболее эффективный метод борьбы с холодными трещинами заключается в регулировании термического цикла наплавки путем выбора соответствующих методов наплавки, регулирования ее режимов и погонной энергии, а также в использовании при необходимости предварительного подогрева и замедленного охлаждения после наплавки. Идеальный термический цикл, обеспечивающий наивысшую стойкость против образования холодных трещин, должен обеспечить быстрый нагрев и охлаждение металла при температурах выше точки A_{c1} и медленное охлаждение при температурах ниже этой точки [3, 10, 11].

Быстрый нагрев и охлаждение при температурах выше точки A_{c1} должны исключить перегрев металла, а медленное охлаждение при температурах ниже нее устраняет мартенситное превращение или смещает его в область высоких температур. При этом наблюдается самоотпуск мартенсита, повышается пластичность металла, затрудняется возникновение и развитие холодных трещин.

Водород влияет на образование холодных трещин следующим образом. Известно, что водород

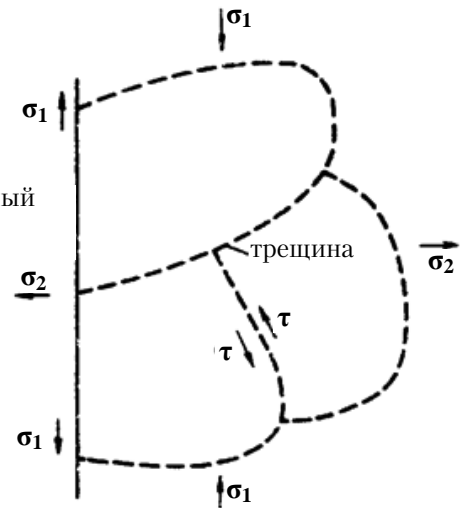


Рис. 7. Схема зарождения холодной трещины в ЗТВ на стыке зерен [6]

в атомарном виде обладает высокой диффузионной подвижностью. Скапливаясь в микропустотах и несовершенствах атомной решетки, превращаясь из атомного в молекулярный, водород создает в этих микропустотах большое давление, под действием которого происходит образование трещин. Влияние водорода необходимо рассматривать совместно с действием других факторов, обусловленных преимущественно закалочными явлениями и структурными изменениями в околошовной зоне, а также сварочными напряжениями и напряжениями от внешних нагрузок.

Учитывая вредное влияние водорода, необходимо всеми мерами снижать его содержание в наплавленном металле и в ЗТВ. Этого можно добиться, прежде всего, за счет применения наплавочных материалов с максимально низким содержанием водорода.

Для борьбы с холодными трещинами часто используют наплавку пластичного подслоя. При выборе материала подслоя можно руководствоваться рекомендациями таблицы 1 [3].

Ламеллярные (слоистые) трещины возникают в ЗТВ или основном металле в результате воздействия сварочных напряжений, перпендикулярных к толщине наплавляемой детали, из-за низкой пластичности листовой стали, вследствие большого количества неметаллических включений (сульфиды, силикаты, оксиды). Ламеллярные трещины имеют ступенчатую (каскадную) форму. Они образуются, как правило, в угловых и тавровых соединениях низколегированных сталей, параллельно поверхности листа, и очень редко — при многослойной наплавке.

Таблица 1. Рекомендации по выбору материала подслоя при наплавке различных сталей

Основной металл	Наплавленный металл	Подслой	Причина, по которой необходим подслоя
Высокомарганцевая сталь	Г13Н4	08Х20Н10Г6	Трещины в переходной зоне
Низкоуглеродистые и низколегированные стали	-	-	-
-//-	Хромоникелевые, хромоникельмарганцевые нержавеющие аустенитные стали	Стали 03Х24Н13Г2Б, 07Х25Н13	Появление трещин в первом слое из-за разбавления основным металлом
-//-	Высокохромистые чугуны	Не нужен при однослойной наплавке. Для многослойной: 08Х20Н10Г6, Inconel	Дефекты сплавления, трещины
Высокоуглеродистые легированные стали (0,8 С + Cr, V, Mo)	Хромовольфрамовые, хромомолибденовые и др. теплостойкие инструментальные стали	Нелегированные или низколегированные стали с содержанием С ≤ 0,4%. Inconel	Предотвращение диффузии углерода в переходной зоне
Стали и сплавы различных классов	Стали и сплавы различных классов	Нелегированные или низколегированные стали с содержанием С ≤ 0,4%.	Восстановление размеров под износостойкую наплавку

Исходя из изложенного выше можно сделать следующие выводы:

1. Приведена классификация дефектов сварки (наплавки) по стандартам ISO 6520–1:2007 [1] и ГОСТ Р ИСО 6520–1:2012 [2].

2. Различные виды трещин, образующиеся в наплавленном металле и ЗТВ, являются одним из наиболее опасных дефектов, которые могут привести к разрушению наплавленных деталей. Анализ причин образования этих трещин показывает, что с ними можно успешно бороться, применяя соответствующие электродные (присадочные) материалы, а также используя предварительный подогрев, регулирование термического цикла и погонной энергии наплавки с помощью применения оптимальных способов, технологии и техники наплавки.

Литература.

1. ISO 6520–1:2007. Welding and allied processes. Classification of geometric imperfections in metallic materials. Part 1: Fusion welding.

2. ГОСТ Р ИСО 6520–1 –2012. Сварка и родственные процессы. Классификация дефектов геометрии и сплошности в металлических материалах. Часть 1. Сварка плавлением.

3. Riabcew I. A., Rosert R., Senchenkow I. K., Turyk E. Niezgodności spawalnicze warstw napawanych // Biuletyn Instytutu Spawalnictwa. – 2017. – № 3. – S. 26–36.

4. Рябцев И. А., Сенченков И. К., Турык Э. В. Наплавка. Материалы, технологии, математическое моделирование. – Гливице, Польша: Издат. Силезского политехнического института (Wydawnictwo Politechniki Śląskiej), 2015. – 590 с.

5. Прохоров Н. Н. Горячие трещины при сварке. – М.: Машгиз, 1952. – 219 с.

6. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением. / Под ред. Б. Е. Патона – М.: Машиностроение, 1974. – 768 с.

7. Технология сварки, пайки и резки. Энциклопедия. Т. III-4. / Под ред. Б. Е. Патона. – М.: Машиностроение, 2006. – 768 с.

8. Шоршоров М. Х., Ерохин А. А., Чернышова Т. А. и др. Горячие трещины при сварке жаропрочных сплавов – М.: Машиностроение, 1973. – 224 с.

9. Макаров Э. Л. Холодные трещины при сварке. – М.: Машиностроение, 1981. – 247 с.

10. Бурский Г. В., Савицкий М. М., Новикова Д. П. Сопrotивляемость ЗТВ сварных соединений закаляющихся высокопрочных сталей замедленному разрушению при двухдуговой сварке // Автомат. сварка. – 1998. – № 2. – С. 12–15.

11. Каленский В. К., Черняк Я. П., Васильев В. Г., Соломийчук Т. Г. Влияние погонной энергии на образование отколов в ЗТВ высокоуглеродистой стали М76 при наплавке аустенитными проволоками // Автомат. сварка. – 2001. – № 11. – С. 11–15.

● #1705

Внепечные методы воздействия на напряженно-деформированное состояние металла массивных сварных конструкций сложной формы

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

Многолетний опыт применения внепечных методов регулирования напряженно-деформируемого состояния металла массивных конструкций сложной формы в процессе их изготовления и при ремонтной сварке показывает, что их обоснованное применение позволяет отказаться от предварительного (сопутствующего и послесварочного) подогрева и последующей термической обработки и является действенным средством обеспечения технологической и эксплуатационной прочности.

В практике изготовления массивных конструкций сложной формы по целому ряду причин не всегда возможно использование таких традиционных приемов, обеспечивающих технологическую и эксплуатационную прочность, как общие предварительный подогрев и термическая обработка. В подобных случаях требуемая прочность сварных соединений обеспечивается внепечными методами воздействия на напряженно-деформируемое состояние изготавливаемых деталей (конструкций). Рассмотрим некоторые из них [1].

В металле крупногабаритных конструкций в течение их длительного жизненного цикла постоянно происходит изменение напряженно-деформируемого состояния, в частности, из-за съема большого количества металла в процессе механической обработки. Для предупреждения значительного формообразования механически обработанных деталей и стабилизации размеров колонны тяжело нагруженных прессов, корпуса стальных подпятников дробилок, клапаны засыпных аппаратов доменных печей и многие другие детали подвергались низкочастотной вибрационной обработке (НЧВО) [2].

Встречались случаи, когда перераспределения напряженно-деформируемого состояния рабочих прокатных валков производили с помощью энергии взрыва. Окончательно обработанные изделия (бочка диаметром более 1000 мм) из специальных сталей обматывали специальным шнуром, который потом подрывался. С целью устранения трещин в металле шва после ремонтной сварки массивных

изделий сложной формы при низких температурах применяли точечный нагрев основного металла до 200–300 °С, разгружая тем самым наплавленный металл в процессе ускоренного охлаждения ремонтируемого изделия до температуры окружающего воздуха –46...–49 °С в условиях сильнейшего снегопада и ветра. По рекомендации специалистов ИЭС им. Е. О. Патона (Л. И. Миходуй и др.) усталостную прочность сварных тавровых соединений высокопрочных термически упрочненных сталей бейни-то-мартенситного класса (14Х2ГМР и др.) повышали за счет выполнения канавок аргоновой дугой по линии сплавления металла шва с основным металлом.

Особенно сложную проблему выполнения общих подогрева и термической обработки представляет ремонтная сварка массивных базовых деталей тяжело нагруженного прессового (колонны, архитравы, станины), экскаваторного, дробильно-размольного и др. оборудования, прежде всего, если эти детали были в эксплуатации длительное время. К тому же общепринятые приемы (общие предварительный, сопутствующий и послесварочный подогревы, термическая обработка) могут вызывать негативные последствия (неравномерное распределение температуры по высоте и длине в металле объемных крупногабаритных конструкций и др.) [3–4].

Проковка наплавленного металла. Традиционно считается, что проковка швов вызывает напряжение сжатия в металле швов и его наклеп. Однако измерения остаточных напряжений методом канавки в швах большой толщины (сталей 09Г2С и 10ХСНД, толщина 80 мм), выполненных многопроходной сваркой (корень шва – вручную, электроды марки УОНИ 13/55 диаметром 5 мм; заполняющие швы получены автоматической сваркой проволокой марки Св08А диаметром 5 мм, флюс марки АН-348А) в крупногабаритных конструкциях (опорная рама шагающего экскаватора ЭШ-100.100), показали, что этот технологический прием не оказывает влияния на уровень оста-

точных напряжений и их знак. Они одинаковы (на уровне предела текучести или выше его) как в швах, подвергнутых проковке, так и в тех, что не прошли ее, и имеют растягивающий характер.

В нижнем лафете (толщина 320 мм) литосварной станины (масса 130 т) гидравлического пресса усилием 100 МН после семилетней эксплуатации образовалась сквозная трещина длиной 3200 мм. Причиной ее возникновения явились внутренние дефекты. Для измерения деформаций, имеющих место в процессе восстановительных работ, были разработаны соответствующие методики. При удалении трещин в металле массивных конструкций влияние газокислородного пламени на величину временных деформаций металла конструкции сказывается на расстоянии до 3000 мм от источника теплоты, а влияние тепла при ручной дуговой сварке — на расстоянии до 1000 мм.

Положительная роль проковки наплавленных валиков в обеспечении технологической и эксплуатационной прочности многопроходного шва заключается в уменьшении суммарной величины растягивающих деформаций (рис. 1), тем самым снижается общий внутренний запас энергии всей системы.

Проковка наплавленного металла является обязательным атрибутом технологии ремонтной сварки, ее выполняют, как правило, пневматическими молотками, зубила имеют специальную (затупленную) форму. Эта операция является наиболее необходимой при ремонтной сварке деталей из серого чугуна, выполняемой медными электродами или электродами на основе меди. В силу теплофизических свойств меди и ее сплавов шов получается пористым, а тщательная проковка наплавленного металла придает шву необходимую плотность и товарный вид.

Низкочастотная вибрационная обработка сварных соединений. Обычно в сварочной практике этой операции подвергаются плоскостные кон-

струкции (панели железнодорожных вагонов), тонкостенные объемные изделия (корпуса редукторов) и т.п.

Идея использовать НЧВО для ремонтной сварки крупногабаритных конструкций индивидуального тяжелого машиностроения первоначально вызывала сомнение, в т.ч. и у виднейших ученых, занимающихся прочностью сварных конструкций. Были опасения, что резонансные частоты вибрационной обработки могут совпасть с собственной резонансной частотой массивного изделия с последующим его разрушением. Первым опытом в этом направлении было проведение НЧВО диффузора (масса 80 т) аэродинамической трубы ЦАГИ, на внутреннюю поверхность которого для обеспечения требуемой геометрии было наплавлено в разных местах около 700 кг электродов. По требованиям перевозки крупногабаритных грузов железнодорожным транспортом диффузор подлежал разборке, что вызвало бы в нем необратимое формоизменение и сложности его последующей сборки у заказчика. Выполнить термообработку для стабилизации размеров диффузора в сборе (он состоял из четырех литых заготовок) не позволяла ширина пода заводских термических печей. Опыт применения НЧВО оказался удачным. Разборка диффузора на составные части на заводе и последующая сборка у заказчика никаких затруднений не вызвала.

Масштабный фактор, характерный для массивных конструкций, может проявиться на всех этапах их жизненного цикла. Ремонтные работы на архитраве (основной металл – сталь 35Л, масса 130 т) гидравлического пресса усилием 5 тыс. тонно-сил (тс) заключались в приварке вставки (1200x1100x230 мм) в жесткий верхний настил (рис. 2).

В процессе ремонтной сварки было затрачено ~ 3000 кг электродов марки УОНИ 13/55, при этом базовая деталь неоднократно подвергалась про-



Рис. 1. Влияние проковки металла многослойного шва в процессе ремонтной сварки на временные деформации металла станины пресса усилием 100 МН



Рис. 2. Внешний вид вставки 1200x1100x230 мм (сталь 10ХСНД), приваренной в жесткий верхний настил отливки заготовки архитрава пресса усилием 5 тыс. тс

жучочному отпуску. Однако после черновой механической обработки в основном металле образовались сквозные трещины. После их устранения при последующей чистовой обработке образовались новые трещины. Замена термической обработки на НЧВО (рис. 3) позволила избежать образования новых трещин.

Вал барабана моталки титанового листа (сталь марки 15X14Н14С4Л, масса 15 т) работает при температуре 1200 °С. После отливки толстостенную заготовку сложной формы подвергают аустенизации путем закалки в воде, что вызывает образование развитых трещин. Их устранение было возможно лишь при сварке электродами аустенитного класса с предварительным подогревом до температуры ~ 300 °С. Как следствие, наплавленный металл отслаивался от основного в течение 2–3 месяцев после начала эксплуатации. Продление срока работы этой детали было решено следующим образом. После аустенизации металла отливки при наличии трещин провели НЧВО (в процессе этой операции упомянутые дефекты не получили дальнейшего развития), а затем выполнили ремонтную сварку, но уже без предварительного подогрева.

Сварные изделия (толстостенные цилиндры, колонны прессов и др.) из низколегированных сталей типа 20Х2М, выполненные электрошлаковой сваркой, подвергают нормализации с последующим отпуском, причем термическую обработку выполняют, не допуская разрыва между окончанием сварки детали и ее помещения в печь. При выполнении кольцевых швов цилиндрических изделий местом высокой вероятности образования трещин является участок замыкания. Выполнение НЧВО после устранения трещин по специально разработанной технологии электродуговой сварки покры-

тыми электродами позволяет отказаться от проведения дополнительной термической обработки.

Как известно, мировая практика не знает примеров НЧВО массивных сварных конструкций сложной формы при низких температурах. Ковши шагающего экскаватора ЭШ-100.100 (рис. 4) представляют собой сложную конструкцию из литых, кованных и прокатных заготовок (стали марок 14Х2ГМРЛ, 14Х2ГМР и 10ХСНД, толщины от 20 до 240 мм). По ряду причин в некоторых их литых частях металл был поражен надрывами горячего происхождения, которые в процессе эксплуатации переходили в развитые холодные трещины, делавшие невозможным эксплуатацию ковшей вместимостью 90–120 м³ грунта (масса ковша с упряжью колебалась от 128 до 135 т).

После НЧВО, выполненной в условиях угольного разреза на открытом воздухе при температуре –17...–21 °С, образование новых трещин в процессе последующей эксплуатации экскаватора не наблюдали.

Согласно патенту фирмы «Мартин инжиниринг» уменьшение уровня внутренних напряжений определяется по снижению величины тока, потребляемого мотором вибрационной установки. По нашим наблюдениям уровень этого показателя зависит от расположения мотора вибрационной установки (таблица).

Проведенные автором измерения показали, что НЧВО снижает остаточные напряжения в металле массивных литых и литосварных конструкций на 17–30%, в кованосварных – на 20–25%, в сварных конструкциях из проката – на 10–12%.

Наиболее удачным оказалось применение НЧВО для восстановления работоспособности базовых деталей тяжело нагруженного оборудования.



Рис. 3. НЧВО литого архитрава пресса усилием 5 тыс. тс



Рис. 4. Контрольная сборка ковша вместимостью 100 м³ грунта шагающего экскаватора ЭШ-100.100

Таблица. Изменение силы тока, потребляемого мотором вибратора, в процессе НЧВО станины прессы усилием 50 МН после ремонтной сварки

Положение вибратора	Частота, Гц/мин	Сила тока, А		Снижение силы тока, %	
		До НЧВО	После НЧВО	Фактическое	Среднее значение
№ 1	900	2.2	1.6	27	21
	1700	2.6	2.0	23	
	2300	3.0	2.5	17	
	3600	4.0	3.4	15	
	4300	4.6	4.6	22	
№ 2 (взаимно перпендикулярное)	900	1.8	1.6	11	17
	1700	2.3	1.8	22	
	2200	2.5	2.2	12	
	2800	2.8	2.4	14	
	4300	4.0	3.0	25	

Сложность обеспечения требуемой технологической и эксплуатационной прочности заключается в том, что металл конструкций «набирает» поврежденность в процессе эксплуатации. Как правило, НЧВО в таких случаях выполняют трижды: перед началом сварки (для уменьшения уровня напряжений, накопленных в процессе эксплуатации), после выполнения ~ 50% общего объема сварки и после завершения сварочных работ. Достоверные механизмы процессов, происходящих в ходе этой операции в металле массивных конструкций сложной формы, нами не установлены. Одна из существующих гипотез предполагает, что микропластические деформации на уровне дислокаций, вызванные НЧВО, сглаживают пики напряжений. Попытки зафиксировать наличие подобных микродеформаций с помощью приборов, использующих принцип акустической эмиссии, закончились неудачей.

Литература

1. Лашенко Г.И., Демченко Ю.В. Энергосберегающие технологии послесварочной обработки металлоконструкций. // «Экотехнология». 2008. — 168 с.
2. Шпеер Ф.З., Панов В.И. Вибрационная обработка сварных крупногабаритных конструкций с целью уменьшения деформаций и склонности к образованию трещины // Сварочное производство. — 1993 — № 5. — С. 13–15.
3. Панов В.И. Предварительный подогрев сварных конструкций тяжелого машиностроения // Тяжелое машиностроение. — 1992. — № 12. — С. 11–14.
4. Панов В.И. Проблемные вопросы термической обработки сварных конструкций тяжелого машиностроения. // Тяжелое машиностроение. — 1993. — № 4. — С. 14–19.

● #1706

В апреле 2017 г. издана книга В. М. Литвинова, Ю. Н. Лысенко: «КИСЛОРОДНАЯ РЕЗКА И ВНЕПЕЧНОЙ НАГРЕВ В ТЯЖЕЛОМ МАШИНОСТРОЕНИИ»



Произведен анализ состояния в прошлом, развития в настоящем и перспектив развития в будущем кислородной резки металлов больших толщин, (прибылей литья, слитков, поковок, крупного лома). Рассмотрены примеры внедрения оборудования и технологии по этому направлению. Расширены представления о роли подогревающего пламени на процесс кислородной резки и увеличены границы разрезаемой толщины с 1 200 до 1 800 мм. Создан способ кислородной резки нержавеющей сталей и чугуна, отличающийся от аналога (кислородно – флюсовая резка) стабильностью процесса и тем, что не требует использования железного порошка. Разработаны критерии оценки эффективности оборудования и предложена методика расчета газокислородных резаков специального назначения. Рассмотрены конструкция и принцип действия этих резаков, приведены примеры их внедрения. Представлены оборудование и технология для прецизионной резки листа и для фигурной вырезки заготовок из плит. Приведено описание и внедрение газокислородных и газоздушных горелок различного назначения. Рассмотрены разные устройства для внепечного нагрева крупных заготовок.

Книгу можно заказать в редакции:

03150, Киев, а/я 337, тел. +380 44 200 53 61, 200 80 18, факс +380 44 200 80 14
E-mail: welder.kiev@gmail.com, trofimet.s.welder@gmail.com

Современные высокоэффективные многопостовые системы ручной и механизированной дуговой сварки

Н.М. Махлин, В.Ю. Буряк, В.Е. Водолазский, В.Е. Попов, Д.С. Олияненко, ГП «НИЦ СКАЭ Украины ИЭС им. Е.О. Патона», **А.Е. Коротынский**, д.т.н., **М.И. Скопюк**, «ИЭС им. Е.О. Патона» НАНУ (Киев)

На крупных машиностроительных предприятиях, в судостроении, при монтаже и ремонте объектов энергетики (в частности энергоблоков АЭС), в металлургии, др. отраслях индустрии и транспорта во всех случаях, когда на ограниченной производственной площадке сосредоточено значительное число сварочных постов, что характерно при изготовлении крупногабаритных конструкций, широко используются многопостовые сварочные системы (МСС), предназначенные для ручной дуговой сварки покрытыми электродами (ММА), ручной сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов (TIG) и механизированной сварки электродной проволокой в среде защитных газов (MIG/MAG) [1–3]. К МСС предъявляется ряд технологических и функциональных требований [3], но основными из них являются независимость работы сварочных постов друг от друга и нечувствительность каждого из постов к внешним возмущающим факторам. Однако получившие наибольшее распространение МСС постоянного тока, построенные на базе балластных реостатов, принципиально не способны удовлетворить эти требования и имеют крайне низкий КПД, что обусловлено большими потерями активной мощности в балластных реостатах.

Одной из целей настоящей статьи является: показать перспективы расширения технологических возможностей и повышения энергетической эффективности МСС для дуговой сварки, что представляет собой актуальную научно-техническую задачу. В статье представлены результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по усовершенствованию МСС для дуговой сварки, проводимых в течение ряда лет в НИЦ СКАЭ совместно с ИЭС им. Е. О. Патона.

Рассмотрены преимущества и особенности разработанных современных отечественных МСС и входящих в их состав электронных регуляторов сварочного тока, изготавливаемых в Украине, их технологические и функциональные возможности, а также пути реализации их преимуществ. Приведены структурно-функциональные схемы таких МСС, а также электронных регуляторов сварочного тока и блока подачи электродной проволоки (для процессов MIG/MAG).

В отечественном сварочном производстве наибольшее распространение получили МСС постоянного тока, в состав которых входят: централизованный источник питания — мощный нерегулируемый многопостовый выпрямитель с жесткой внешней вольтамперной характеристикой (ВАХ); индивидуальные сварочные посты (ИСП) и соединяющие их электрические сети (магистральные шинопроводы или «разводки»). Каждый ИСП подключен к многопостовому выпрямителю или к магистральным шинопроводам через балластный реостат, с помощью которого осуществляется ступенчатое регулирование параметров режима сварки. Однако такие МСС характеризуются ограниченными технологическими возможностями и энергетической неэффективностью.

Технологические ограничения, присущие построенным на базе балластных реостатов МСС, обусловлены тем, что в них проявляются ярко выраженная зависимость сварочного тока от колебаний напряжения питания (следовательно, и выходного выпрямленного напряжения) многопостового выпрямителя и от флуктуаций длины дугового промежутка, взаимное влияние ИСП друг на друга при их одновременной работе, отсутствие возможности автоматически поддерживать с необходимой точностью заданные технологические режимы, программировать и осуществлять цикл сварки, а также — режимы сварки модулированным током. Серьезные технические и экономические затруднения возникают и при попытках создания устройств дистанционного управления оборудованием ИСП [1–3].

Энергетическая неэффективность МСС, построенных на базе балластных реостатов, объясняется тем, что в таких системах [3] $I_{\Pi} = I_{\text{д}}$, где I_{Π} — ток ИСП (потребляемый постом от многопостового выпрямителя или магистрального шинопровода); $I_{\text{д}}$ — ток сварочной дуги. При заданном напряжении сварочной дуги $U_{\text{д}}$ ток сварочной дуги $I_{\text{д}}$ будет соответствовать выражению:

$$I_{\text{д}} = (U_{2\text{ВЫХ}} - U_{\text{д}}) / R_{\text{Б}} \quad (1)$$

где $U_{2\text{ВЫХ}}$ — вторичное выходное напряжение постоянного тока многопостового выпрямителя

(напряжение на магистральном шинопроводе); R_B — активное включенное сопротивление балластного реостата. КПД ИСП k_{Π} с балластным реостатом определяется как:

$$k_{\Pi} = P_d / P_{\text{ПИТ}} = U_d / U_{2\text{ВЫХ}} \quad (2)$$

где P_d — мощность, используемая в сварочной дуге; $P_{\text{ПИТ}}$ — мощность, подводимая к посту (потребляемая постом). Общий КПД МСС $k_{\text{МСС}}$ с учетом КПД многопостового выпрямителя k составляет:

$$k_{\text{МСС}} = k_{\Pi} \times k \quad (3)$$

Для типичного случая, когда $U_{2\text{ВЫХ}} = 60$ В в диапазоне сварочных токов до 200 А, $k_{\text{МСС}} \leq 0,42$ — при ММА, $k_{\text{МСС}} \leq 0,36$ — при MIG/MAG, $k_{\text{МСС}} \leq 0,27$ — при TIG. Приведенные значения $k_{\text{МСС}}$ — расчетные, в действительности же КПД МСС, созданных на базе балластных реостатов, еще меньше, если учитывать неизбежные потери мощности в магистральных шинопроводах и проводах сварочного контура.

Отмеченные недостатки находящихся в эксплуатации МСС, дают все основания полагать, что расширение технологических возможностей и повышение энергетической эффективности МСС возможны только при условии совершенствования постового оборудования путем использования современных достижений силовой электроники и средств управления ею.

Необходимо отметить, что одновременно с началом широкого применения МСС на базе балластных реостатов предпринимались попытки создания более экономичных МСС путем использования в качестве постового оборудования электронных преобразователей постоянного тока [4–6]. Однако широкому практическому применению таких преобразователей препятствовала их недостаточная надежность из-за отсутствия силовых полупроводниковых приборов, способных коммутировать значительные мощности (5 кВт и более) в диапазоне сверхзвуковых частот (свыше 18 кГц).

Создание надежных электронных преобразователей для дуговой сварки стало возможным только с освоением промышленного производства (с середины 1990-х гг.) современных силовых полупроводниковых приборов, в частности, мощных MOSFET- и IGBT-транзисторов, быстродействующих диодов и силовых модулей на основе этих приборов. В импульсных электронных преобразователях (конверторах DC-DC) для дуговой сварки наиболее широкое применение получили мощные MOSFET- и IGBT-транзисторы, силовые модули на их основе третьего и четвертого поколений, а также силовые модули, в которых мощные транзисторы и быстродействующие силовые обратные диоды объединены в единую конструкцию.

Среди многообразия импульсных полупроводниковых преобразователей постоянного тока в дуговой сварке наибольшее распространение получил однотактный конвертор DC-DC понижающего типа. К его преимуществам следует отнести простоту схемы силовой части, способность функционировать при изменениях в широких пределах напряжения питания (входного напряжения) и сопротивления нагрузки, высокое значение КПД и коэффициента мощности (значение около единицы).

В 2002–2004 гг. в НИЦ СКАЭ совместно с ИЭС выполнены работы по улучшению методик расчета и проектирования МСС на базе электронных регуляторов сварочного тока, выполненных на основе однотактных конверторов DC-DC, проведены всесторонние испытания, в т.ч. технологические, экспериментальных образцов регуляторов сварочного тока для ММА, TIG и MIG/MAG, разработан ряд моделей таких регуляторов, структурно-функциональные схемы которых приведены на рис. 1 [7–9].

Основной частью системы управления (СУ) электронных регуляторов сварочного тока (рис. 1) является тракт управления, включающий широкополосный широтно-импульсный модулятор (ШИМ), контроллер цикла сварки, датчики сварочного тока (ДТ) и напряжения на дуге (ДН), причем последний входит в состав тракта управления при ММА и MIG / MAG. По конфигурации, функциональному назначению, быстродействию и во многом по схемотехнике тракт управления электронных регуляторов сварочного тока аналогичен основной части СУ современных сварочных инверторных источников питания, в которых как способ импульсного регулирования сварочного тока и/или напряжения на дуге используется ШИМ. Предпочтительность ШИМ в электронных регуляторах сварочного тока обусловлена тем, что в однотактных конверторах DC — DC понижающего типа с ШИМ частота переключений силового ключа (VT), а, следовательно, и частота пульсаций тока нагрузки в процессе регулирования неизменна, при этом размах пульсаций, определяемый индуктивностью дросселя ($L_{\text{ДР}}$), может быть сколь угодно мал. Это позволяет не только оптимизировать параметры дросселя ($L_{\text{ДР}}$) и буферного конденсатора (С), но и обеспечить предпосылки для эффективного возбуждения дуги в начальной стадии процесса сварки и поддержания устойчивого дугового разряда в межэлектродном промежутке при низких значениях сварочного тока, что особенно важно для осуществления процесса TIG.

Контроллер цикла сварки формирует все необходимые временные интервалы и сигналы задания параметров внешней ВАХ регулятора, соответствующие каждой стадии процесса сварки, а также сигналы управления приводом подачи электродной проволоки и подачей защитного газа при MIG / MAG или подачей инертного газа при TIG.

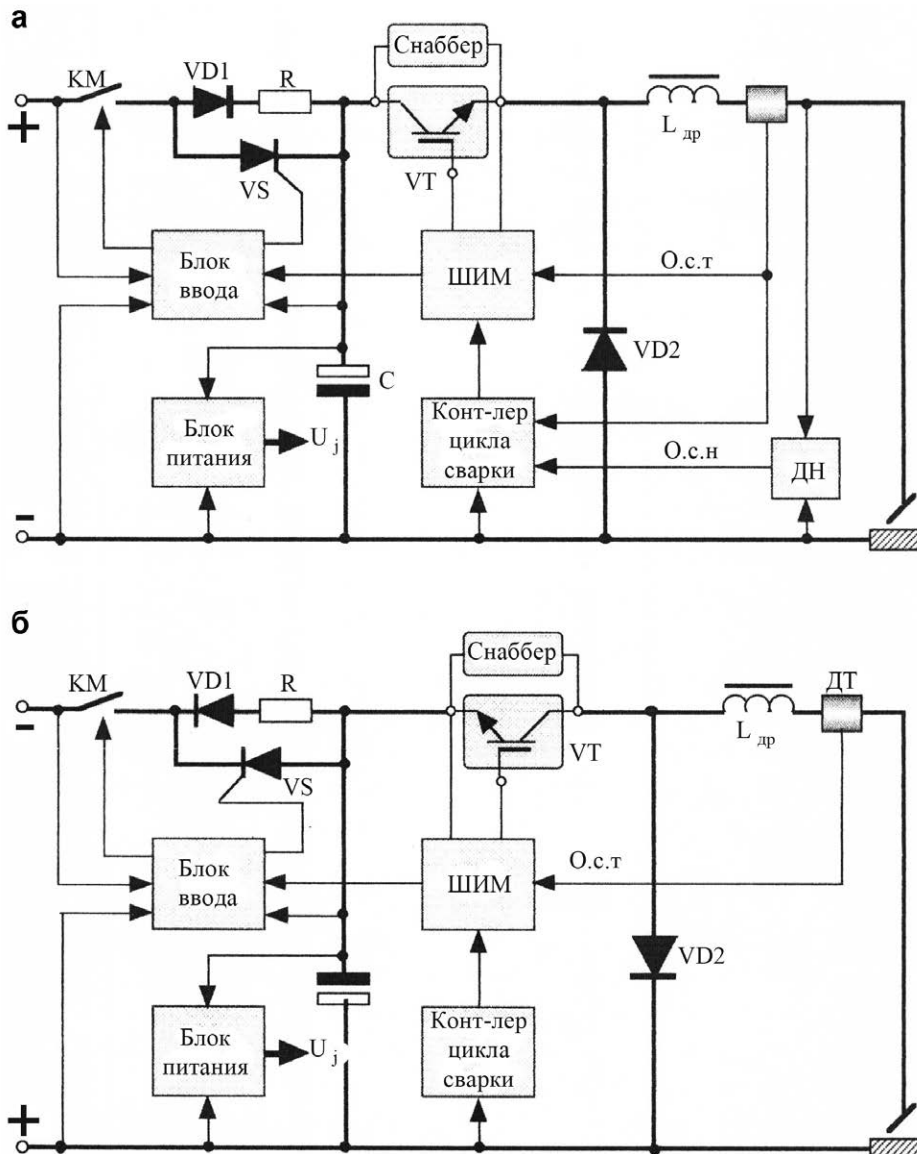


Рис. 1. Структурно-функциональные схемы регуляторов сварочного тока: а – для ММА и MIG / MAG, б – TIG

При ММА и/или MIG / MAG с датчиков ДТ и ДН на информационные входы контроллера цикла сварки поступают сигналы, пропорциональные сварочному току и напряжению на дуге. В результате обработки и преобразования этих сигналов, и сигнала установки сварочного тока или напряжения на дуге, в контроллере цикла сварки вырабатывается сигнал задания сварочного тока или напряжения на дуге, соответствующий текущей стадии плавления или переноса электродного металла и который в окончательно сформированном виде с выхода контроллера цикла сварки подается на управляющий вход ШИМ – контроллера, информационный вход которого соединен с информационным выходом датчика ДТ.

В регуляторах сварочного тока для TIG с выхода контроллера цикла сварки на управляющий

вход ШИМ – контроллера поступает сигнал, пропорциональный сигналу установки сварочного тока, а на информационный вход ШИМ – контроллера подается сигнал обратной связи по сварочному току с информационного выхода датчика ДТ.

Помимо узлов тракта регулирования, в состав СУ регуляторов входят блоки ввода и питания. Блок ввода контролирует процесс мягкого заряда буферного конденсатора С, формирует импульсное управление тиристором VS и обеспечивает развязку от влияния других ИСП в МСС, а также обеспечивает защиту регулятора от перегрузок по току нагрузки, от недопустимых значений напряжения питания и перегрева силовых полупроводниковых приборов, а при ММА и/или MIG / MAG – и от коротких замыканий в нагрузке, длительность которых превышает регламентированные значения. При срабатывании исполнительных элементов защиты силовая часть регулятора обесточивается с помощью входного коммутирующего устройства КМ.

Регуляторы сварочного тока с приведенными на рис. 1 структурами обеспечивают: высокое быстродействие тракта регулирования; формирование оптимизированных статических и динамических ВАХ во всем диапазоне плавного регулирования сварочного тока или напряжения на дуге; надежное возбуждение дуги касанием и устойчивое ее горение во всем технологически обоснованном диапазоне длины дуги; благоприятный перенос электродного металла при ММА и MIG / MAG; реализацию заданного цикла сварки и его элементов; стабильность заданных параметров режима сварки при внесении внешних возмущений; возможность при ММА и MIG / MAG коррекции ВАХ в зависимости от длины проводов сварочной цепи; возможность осуществления процессов сварки модулированным током.

КПД электронных регуляторов сварочного тока k_{PCT} определяется в основном активными потерями в элементах их силовой части и может быть рассчитан по формуле [8]:

$$k_{PCT} = I_D \times U_D / (f(0,5C_{SN}U_{II}^2 + E_{SW(ON)} + E_{SW(OFF)}) + I_D(U_D + \sqrt{1-d} \times U_{CE(SAT)} + \sqrt{1-d} \times U_F + d \times U_{VS}) + I_D \times U_D / I_D^2 \{R_0 + d(1-d)^2 \times R_{ESR}\} + P_{CY}) \quad (4)$$

где f — частота преобразования (переключений); C_{SN} — емкость конденсатора снабберной цепочки; U_{II} — напряжение питания регулятора; $E_{SW(ON)}$ и $E_{SW(OFF)}$ — энергия потерь на включение и выключение силового полупроводникового ключа, отнесенная на единичный импульс; d — относительная длительность открытого состояния силового полупроводникового ключа, равная U_D / U_{II} ; $U_{CE(SAT)}$ — прямое падение напряжения на силовом полупроводниковом ключе в его открытом состоянии; U_F и U_{VS} — прямое падение напряжения на открытых обратном диоде и тиристоре в их открытом состоянии; R_0 — активное сопротивление обмотки дросселя L_{DR} ; R_{ESR} — эквивалентное активное сопротивление буферного конденсатора C ; P_{CY} — мощность, потребляемая СУ регулятора (не более 30 Вт).

Как видим из (4) основными факторами, влияющими на КПД электронных регуляторов сварочного тока, являются частота преобразования f и относительная длительность открытого состояния силового полупроводникового ключа d . На связанные с f динамические потери приходится 25–40% общих потерь в электронном регуляторе сварочного тока, поэтому в таких регуляторах, выполненных с использованием мощных IGBT — транзисторов или силовых IGBT — модулей, частота преобразования f обычно составляет 18–25 кГц, а при использовании мощных MOSFET — транзисторов или силовых MOSFET — модулей — 25–35 кГц. Выражение (4) позволяет сделать вывод о том, что чем меньше d , тем меньше КПД и наоборот.

Реально достижимые значения КПД электронных регуляторов сварочного тока при использовании IGBT — транзисторов или силовых IGBT — модулей составляют 84–91% при MMA и/или MIG/MAG и 79–85% при TIG. Появление в последние годы на рынке мощных MOSFET — транзисторов с низким сопротивлением канала «исток-сток» и положительным температурным коэффициентом этого сопротивления позволяет выполнить построение электронных регуляторов сварочного тока с несколько более высокими значениями КПД (на 2–4%) по сравнению с достигнутыми, что осуществляется путем выполнения силового полупроводникового ключа в виде параллельно включенных мощных MOSFET — транзисторов.

Реализация преимуществ МСС с электронными

регуляторами сварочного тока может быть осуществлена двумя путями: повышением эффективности использования находящихся в эксплуатации многопостовых выпрямителей; оптимизацией мощности и рабочего напряжения стационарных и мобильных многопостовых выпрямителей, и сечения магистральных или радиальных шинопроводов [7].

Возможность повышения эффективности использования находящихся в эксплуатации многопостовых выпрямителей заключается в том, что нагрузочная способность каждого из таких выпрямителей при использовании электронных регуляторов сварочного тока определяется по выражению [7]:

$$N = k_{PCT} \times I_{2НОМ} \times U_{2НОМ} / k_0 \times I_{ДНОМ} \times U_{ДНОМ} \times \sqrt{\frac{ПН}{100}} \quad (5)$$

где N — наибольшее число сварочных постов (регуляторов), которые могут быть подключены к многопостовому выпрямителю; $I_{2НОМ}$ и $U_{2НОМ}$ — номинальный ток нагрузки (А) и номинальное вторичное рабочее напряжение (В) многопостового выпрямителя; k_0 — коэффициент одновременной работы сварочных постов; $I_{ДНОМ}$ и $U_{ДНОМ}$ — номинальные сварочный ток поста и напряжение на дуге; ПН — продолжительность нагрузки поста (в %). Например, если номинальный сварочный ток одного поста $I_{ДНОМ} = 200$ А, $k_0 = 0,65$, а ПН = 60%, то для одного из наиболее популярных многопостовых выпрямителей ВДМ-1001 его нагрузочная способность в варианте балластных реостатов составит 10 постов MMA или 10 постов TIG, а в варианте электронных регуляторов сварочного тока — 18 постов MMA или 27 постов TIG.

Оснащение действующих МСС электронными регуляторами сварочного тока позволяет не только увеличить число одновременно работающих сварочных постов и при этом исключить их влияние друг на друга, но и в 1,8–2,7 раза уменьшить необходимое сечение проводов, соединяющих каждый сварочный пост с магистральными шинопроводами или непосредственно с многопостовым выпрямителем. Наибольший выигрыш в массе соединительных проводов может быть получен при радиальной схеме МСС.

Второй путь реализации преимуществ МСС с электронными регуляторами сварочного тока наиболее целесообразен для мобильных МСС, отличающихся фиксированным числом сварочных постов и характеризующихся мощностью электростанции, входящей в состав сварочного комплекса. Значение мощности $P_{МС}$, потребляемой МСС в случае использования электронных регуляторов сварочного тока, можно определить из выражения [7]:

$$P_{МС} = k_0 \times N \times I_{ДНОМ} \times U_{ДНОМ} \times \sqrt{\frac{ПН}{100}} / k_{PCT} \times k \quad (6)$$

Энергетическую эффективность мобильных МСС с электронными регуляторами сварочного тока можно продемонстрировать на следующем примере. При монтаже и ремонте магистральных и промышленных трубопроводов и резервуаров широко применяются четырех и восьми-постовые сварочные комплексы (например, АЭП-52 и АС-81 соответственно). Для энергоснабжения многопостового выпрямителя в этих комплексах используется электростанция (генератор переменного тока) мощностью 100 кВт [10], при этом обеспечивается работа восьми сварочных постов с балластными реостатами при $I_{\text{дном}} = 200 \text{ А}$, $k_0 = 0,8$ и ПН = 60%. В варианте электронных регуляторов сварочного тока для энергоснабжения такого же числа сварочных постов (8-ми) при $k_0 = 0,8$ и ПН = 100% мощность, потребляемая МСС, составит 48,6 кВт, а при ПН = 60% — 37,4 кВт, т.е. для энергоснабжения восьми-постовой МСС может быть использована электростанция мощностью до 50 кВт.

В настоящее время в Украине и в др. странах разработан ряд моделей электронных регуляторов сварочного тока для применения в МСС [11]. Однако зарубежным сварочным конверторам DC-DC понижающего типа присущи существенные недостатки — они не адаптированы к условиям и требованиям отечественного сварочного производства, не имеют ряда необходимых опций, требуют значительных эксплуатационных затрат, характеризуются низкой ремонтпригодностью и высокой стоимостью. Среди предлагаемых рынком сварочных конверторов DC-DC, разработанных и изготовленных зарубежными фирмами, преобладают регуляторы (сварочные конверторы чопперного типа) для ММА и MIG / MAG [11], но в них не предусмотрена возможность осуществления режимов сварки модулированным током. На рынке зарубежного сварочного оборудования практически полностью отсутствуют модели сварочных конверторов DC-DC для TIG, что резко сужает технологические возможности МСС, используемых в энергетике, особенно в ядерной.

В НИЦ СКАЭ совместно с ИЭС в течение 2002–2006 гг. разработаны, спроектированы и запущены в промышленное производство различные модели электронных регуляторов сварочного тока (сварочных конверторов чопперного типа), в частности, РДЭ-256 УЗ.1 для ММА с диапазоном плавного регулирования сварочного тока от 20 до 265 А и РДГ — 201 УЗ.1 для TIG с диапазоном плавного регулирования сварочного тока от 8 до 260 А [12]. Опыт их эксплуатации, в т.ч. на АЭС и др. предприятиях отрасли атомной энергетики Украины, подтверждает высокую технологическую и энергетическую эффективность МСС с такими регуляторами.

При ММА с применением регуляторов РДЭ-256 УЗ.1 обеспечиваются мелкокапельный перенос

электродного металла; качественное формирование шва при сварке короткой и предельно короткой дугой электродами с любым типом покрытия; значительно облегчается сварка электродами разнородных и аустенитных сталей. Установлено, что при сварке модулированным током на 25–40% повышается производительность сварки в пространственных положениях, отличных от нижнего; измельчается первичное зерно металла шва; улучшаются механические свойства сварных соединений; заметно облегчается выполнение корня шва, в т.ч. при сварке с увеличенным зазором, при этом достигается качественное формирование обратного валика; упрощается техника сварки; становится возможным использование аустенитных электродов без их перегрева и расплавления до обычного огарка; обеспечивается возможность сварки «сверху-вниз» в вертикальном положении электродами с любым типом покрытия. По данным А.К. Царюка и Л.С. Захарова (ИЭС) применение модулированного тока при ММА жаропрочных сталей оказывает положительное влияние на формирование наплавленного металла, его структуру и размеры зоны термического влияния; позволяет избежать образования β -феррита при повышенном содержании хрома в наплавленном металле или минимизировать это образование в необходимых пределах, что также положительно влияет на служебные свойства сварных соединений.

В регуляторах РДЭ-256 УЗ.1 предусмотрены все опции, свойственные современным инверторным источникам сварочного тока для ММА: «горячий старт» («hotstart»), «форсирование дуги» («forcearc»), «антипримерзание электрода» («antistick»). В комплект поставки РДЭ-256 УЗ.1 входит портативный пульт дистанционного управления, позволяющий сварщику оперативно, непосредственно в процессе сварки плавно изменять рабочее значение сварочного тока в пределах до $\pm 10\%$ от предварительно заданного значения.

Применение регуляторов сварочного тока РДГ — 201 УЗ.1 при TIG позволяет реализовать все технологически обоснованные циклы TIG в режимах управления 2Т и 4Т; значительно повысить качество формирования швов, особенно корневых, при сварке с подачей присадочной проволоки и без нее (преимущественно с использованием режимов модуляции сварочного тока) неповоротных стыков трубопроводов и др. металлоконструкций; практически устранить образование «утяжин» при сварке стыков трубопроводов из аустенитных сталей; уменьшить тепловложение в основной металл; упростить технику сварки и сократить продолжительность подготовки квалифицированных сварщиков.

Регуляторы РДГ — 201 УЗ.1 для TIG обеспечивают по команде сварщика «Пуск»: продувку зоны сварки инертным газом («pregas») перед на-

чалом процесса сварки, эффективное возбуждение дуги на минимальном сварочном токе (до 8 А), автоматическое плавное нарастание сварочного тока от минимального до рабочего значения в начальной стадии сварки, стабилизацию заданных значений сварочного тока при воздействии внешних возмущений; по команде — «Стоп»: автоматический плавный спад сварочного тока до нуля или минимального значения в завершающей стадии сварки («заварку кратера») и обдув зоны сварки инертным газом непосредственно после этого в течение заданного интервала времени («postgas»).

Помимо отмеченных особенностей, в регуляторах сварочного тока РДЭ-256 УЗ.1 и РДГ-201 УЗ.1 предусмотрены возможности программирования параметров цикла и режима сварки, их контроля с помощью стрелочного индикатора, а также возможность осуществления низкочастотной модуляции сварочного тока с раздельным и независимым ступенчатым регулированием длительностей импульсов и пауз сварочного тока, что существенно расширяет технологические возможности этих регуляторов. Следует заметить, что практически у всех аналогов регулятора РДЭ-256 УЗ.1 для ММА подобная опция отсутствует.

Ввиду того, что ММА и MIG/MAG, как правило, осуществляются сварочным током «обратной» полярности («плюс» на электроде), а TIG — сварочным током «прямой» полярности («минус» на электроде), в сложившейся отечественной практике на объектах энергетики и на др. предприятиях индустрии предусмотрено существование двух независимых друг от друга МСС — каждая со своим централизованным источником питания (многопостовым выпрямителем) и шинопроводом полярности, к которому подключаются соответствующие сварочные посты. При этом общим для обеих МСС является непосредственно сам объект сварки (в большинстве случаев глухо за-

земленный) — например, все металлоконструкции энергоблока АЭС. Структурная схема такой организации двуполярных МСС приведена на рис. 2.

Общий вид регулятора сварочного тока РДГ-201 УЗ.1 (РДЭ-256 УЗ.1 имеет незначительные отличия) показан на рис. 3, а основные технические характеристики регуляторов сварочного тока РДЭ-256 УЗ.1 и РДГ-201 УЗ.1 приведены в табл. 1.

К настоящему времени в НИЦ СКАЭ завершаются работы по модернизации существующих отечественных электронных регуляторов сварочного тока в направлении улучшения их потребительских свойств за счет сокращения числа органов управления и введения цифровых дисплеев, а также расширения технологических возможностей, в частности, регулятора РДЭ-256 УЗ.1.

В НИЦ СКАЭ разработан и спроектирован автономный блок подачи электродной проволоки

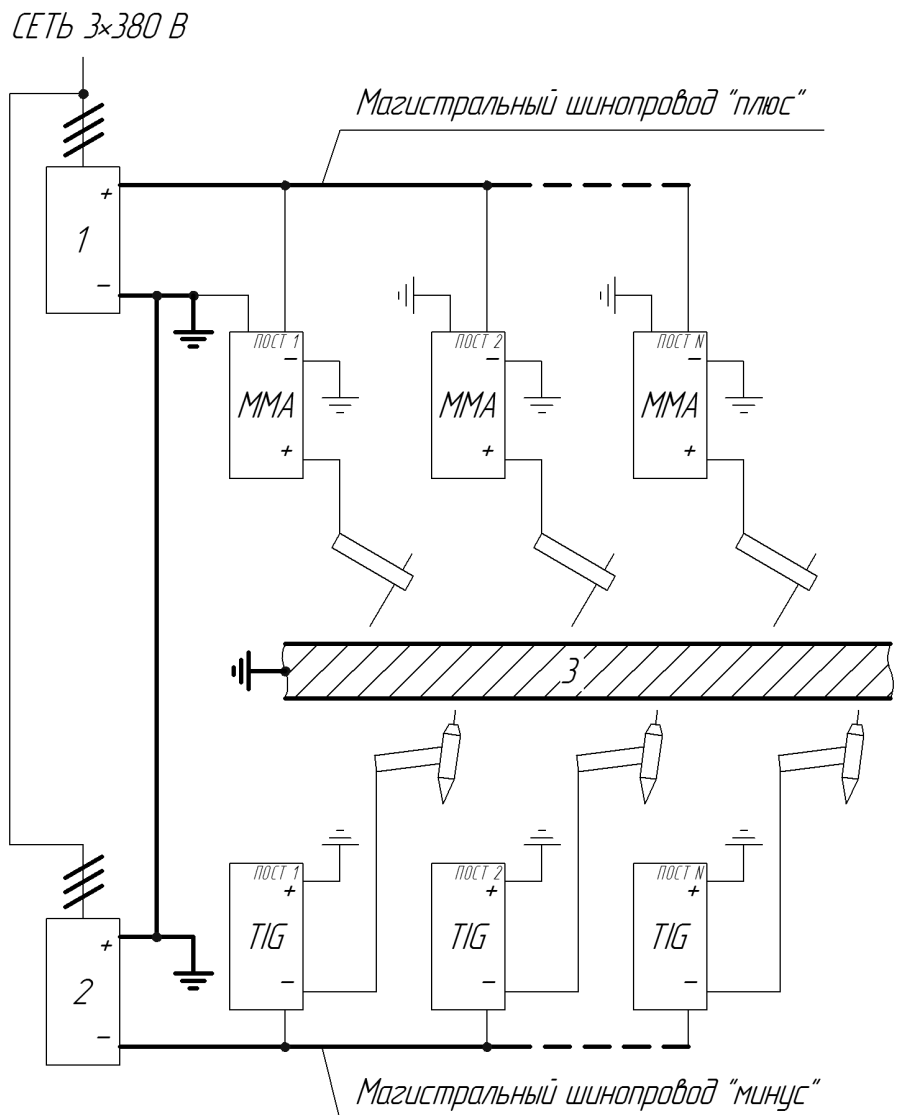


Рис. 2. Структурно-функциональная схема комплекса двух независимых МСС для ММА и TIG (характерная для объектов энергетики): 1, 2 — многопостовые сварочные выпрямители; 3 — свариваемое изделие



Рис. 3. Общий вид регулятора сварочного тока РДГ – 201 УЗ.1

ПДГЦ-256 УЗ.1 для процессов MIG/MAG, проведено опробование экспериментального образца этого блока и подготовка его к промышленному изготовлению. Особенностью разработанного блока ПДГЦ-256УЗ.1 является его питание выходным напряжением многопостового выпрямителя (напряжением на магистральных шинопроводах МСС). Структурно-функциональная схема ПДГЦ-256 УЗ.1 представлена на *рис. 4*, а его основные технические характеристики – в *табл. 2*.

В состав блока ПДГЦ-256 УЗ.1 входят модули питания, управления, контроллера привода подачи электродной проволоки; тяговый низковольтный электродвигатель постоянного тока, датчик частоты вращения вала электродвигателя (энкодер); механизмы подачи электродной проволоки толкающего типа и фиксации, и вращения кассеты с электродной проволокой.

Модуль питания ПДГЦ-256 УЗ.1 выполнен в виде высокочастотного преобразователя DC-DC с гальванической развязкой входа и выхода и со стабилизацией выходного низковольтного напряжения постоянного тока, которое предназначено для питания модулей управления, контроллера привода подачи электродной проволоки и тягового низковольтного электродвигателя.

Модуль управления обеспечивает автоматическое включение/отключение привода подачи электродной проволоки в зависимости от стадии процесса сварки и управление направлением вращения вала электродвигателя привода подачи, а также работу «отсекателя» газа (газового клапана) системы газоснабжения сварочного поста.

В качестве модуля контроллера привода подачи электродной проволоки используется одна из модификаций модуля контроллера привода

Таблица 1. Основные технические характеристики регуляторов сварочного тока РДЭ – 256 УЗ.1 и РДГ – 201 УЗ.1

Наименование показателя	Значение	
	Тип регулятора сварочного тока	
	РДЭ-256 УЗ.1	РДГ-201 УЗ.1
Номинальный сварочный ток, А	250	
Диапазон плавного регулирования сварочного тока: нижнее значение, не более, А верхнее значение, не менее, А	20 265	8 260
Продолжительность нагрузки (ПН): при наибольшем сварочном токе, не менее, % при сварочном токе, не превышающим номинальный, %	60 100	
Диапазон плавного регулирования длительности стартового импульса (интервала времени «hotstart»), в пределах, с	0,5–1,5	-
Диапазон плавного регулирования длительности продувки зоны сварки инертным газом (интервала времени «pregas»), в пределах, с	-	5–25
Диапазон плавного регулирования длительности нарастания сварочного тока от минимального до рабочего значения в начальной стадии процесса сварки, в пределах, с	-	0,5–5,0
Диапазон ступенчатого раздельного и независимого регулирования длительностей импульсов и пауз сварочного тока в режиме его модуляции, с	0,10; 0,12; 0,14; 0,16; 0,18; 0,20; 0,25; 0,30; 0,35; 0,40; 0,45	
Множитель длительности импульсов и пауз сварочного тока в режиме его модуляции	×2	×5
Диапазон плавного регулирования длительности спада сварочного тока (длительности «заварки кратера») в завершающей стадии процесса сварки, в пределах, с	-	0,5–5,0
Диапазон плавного регулирования длительности обдува зоны сварки инертным газом (интервала времени «postgas»), в пределах, с		15–25
Коэффициент полезного действия (КПД), не менее, %	87	80
Габаритные размеры (Д×Ш×В), не более, мм	515 × 281 × 353	
Масса, не более, кг	24	

Таблица 2. Основные технические характеристики блока подачи электродной проволоки ПДГЦ-256 УЗ.1

Наименование показателя	Значение
Номинальная мощность тягового электродвигателя, Вт	90–130
Номинальное напряжение питания электропривода, постоянного тока, В	24
Напряжение питания (входное напряжение) постоянного тока блока подачи электродной проволоки, в пределах, В	55–85
Диаметр электродной проволоки сплошного сечения, в пределах, мм	0,8–1,6
*Диапазон плавного регулирования скорости подачи электродной проволоки: нижнее значение, не более, м/ч верхнее значение, не менее, м/ч	90 260
Уровень автоматического ограничения тока (защиты по потребляемому току) электропривода, в пределах, А	6–8
Масса (без электродной проволоки), не более, кг	12

Примечание. *Диапазон плавного регулирования скорости подачи электродной проволоки может быть расширен за счет сменных роликов.

ИЦ616.20.11.000, имеющего высокие показатели функциональной и эксплуатационной надежности, способным обеспечивать требуемую стабильность заданной скорости вращения вала электродвигателя постоянного тока, необходимый диапазон регулирования скорости, и являющимся унифицированным узлом сварочного оборудования, разработанного в НИЦ СКАЭ.

СЕТЬ 3×380 В

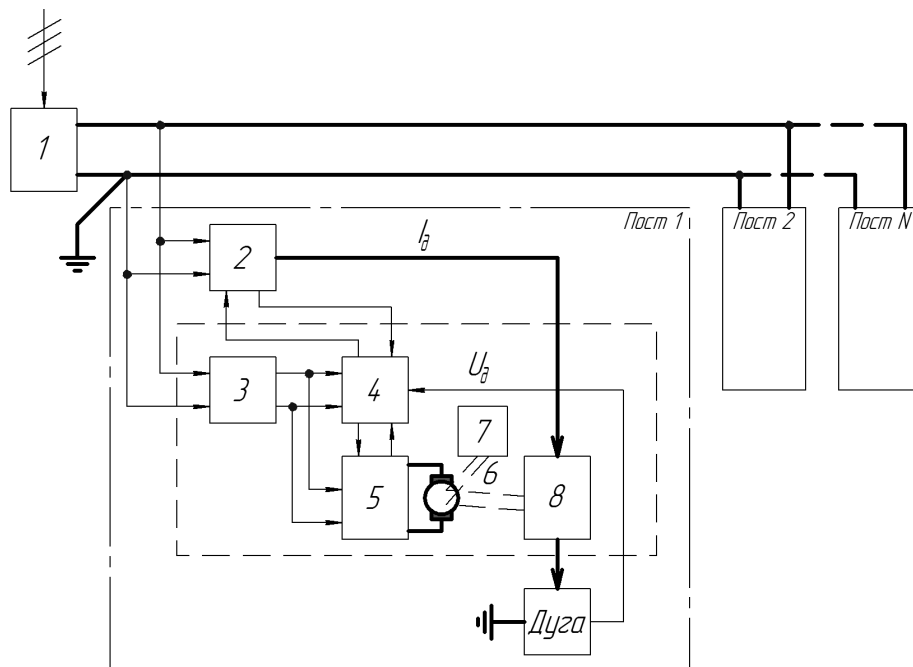


Рис. 4. Структурно-функциональная схема блока подачи электродной проволоки ПДГЦ - 256 УЗ.1: 1 – многопостовый сварочный выпрямитель; 2 – электронный регулятор сварочного тока; модули: 3 – питания; 4 – управления; 5 – контроллера привода подачи электродной проволоки; 6 – тяговый низковольтный электродвигатель постоянного тока; 7 – энкодер, связанный со вторым выходом вала тягового электродвигателя; 8 – механизм подачи электродной проволоки

Тяговый электродвигатель блока ПДГЦ-256 УЗ.1 представляет собой низковольтный коллекторный электродвигатель с постоянными магнитами, выполненный с двумя выходами вала. Один из выходов кинематически связан с входом понижающего редуктора механизма подачи электродной проволоки, а второй – с оптоэлектрическим энкодером, с помощью которого осуществляется обратная связь по скорости вращения вала электродвигателя. Тяговый электродвигатель управляется модулем контроллера привода подачи электродной проволоки. Выходные импульсные сигналы энкодера поступают на вход интегрирующей цепочки модуля контроллера привода ИЦ616.20.11.000. Образующееся вследствие интегрирования напряжение постоянного тока, среднее значение которого пропорционально частоте вращения вала тягового электродвигателя, поступает в качестве сигнала обратной связи на информационный вход специализированного ШИМ – контроллера модуля контроллера привода ИЦ616.20.11.000.

Механизм подачи электродной проволоки толкающего типа блока ПДГЦ-256 УЗ.1 содержит кинематически связанный с выходным валом тягового электродвигателя понижающий шестеренчатый редуктор, две пары роликов, один из которых в каждой паре ведущий, а другой – ведомый, и механизм прижима ведомых роликов к электродной проволоке.

Разработаны и спроектированы два варианта исполнения регулятора сварочного тока для ММА и MIG/MAG. Один из вариантов (РДЭ-256МП УЗ.1) предполагает совместную работу с автономным мобильным блоком подачи электродной проволоки ПДГЦ-256 УЗ.1, в другом (РДЭ-256УПУЗ.1) – собственно регулятор сварочного тока и блок подачи электродной проволоки объединены в единую конструкцию. Поставка той или иной модели регулятора сварочного тока для ММА и/или MIG/MAG определяется требованиями Заказчика.

В качестве централизованного источника питания постоянного тока МСС с электронными регуляторами сварочного тока могут использоваться находящиеся в эксплуатации многопостовые выпрямители серий ВДМ, ВКСМ, ВМГ и их аналоги, имеющие жесткую внешнюю ВАХ, номинальное напряжение холостого хода в пределах от 60 до 90 В, вторичное рабочее напряжение при полной нагрузке в пределах от 55 до 85 В, коэффициент пульсаций выходного напряжения не более 12% и номинальную частоту этих пульсаций 300 Гц. При сравнительно небольшом числе сварочных постов в качестве многопостовых могут быть применены выпрямители сварочные ВС-300Б или ВС-400 либо им аналогичные.

Исходя из изложенного выше можно сделать следующие выводы:

1. По своим технологическим возможностям, функциональным, энергетическим характеристикам и показателям отечественные МСС, построенные на базе электронных регуляторов сварочного тока, значительно превосходят МСС с балластными реостатами, имеют ряд ощутимых преимуществ по сравнению с МСС зарубежного производства. Могут обеспечить существенное повышение производительности сварочных работ и качества сварных соединений при монтаже и ремонте трубопроводов, иных металлоконструкций объектов энергетики (в т.ч. ядерной) и др. отраслей экономики, при этом динамические свойства каждого сварочного поста не отличаются от свойств индивидуальных сварочных инверторных источников питания.

2. Разработанные, спроектированные и изготавливаемые в НИЦ СКАЭ МСС с электронными регуляторами сварочного тока (или регуляторы сварочного тока) полностью исключают влияние сварочных постов друг на друга при их совместной работе и обеспечивают выполнение самых жестких требований, предъявляемых к оборудованию для ММА, TIG и MIG/MAG. Указанные МСС позволяют сварщикам производить сварочные работы на значительном удалении от централизованного многопостового выпрямителя и от других сварочных постов, осуществлять управление процессом сварки непосредственно на своем рабочем месте. Возможно также реализация режимов, упрощающих технику сварки и сокращающих продолжительность подготовки квалифицированных сварщиков.

3. В качестве централизованных источников питания разработанных МСС с электронными регуляторами сварочного тока могут применяться любые из находящихся в эксплуатации стационарных и мобильных многопостовых выпрямителей, а при создании и комплектации новых МСС — современные многопостовые выпрямители отечественного производства (например, ВДМ-6303П, ВДМ-1202П разработки и производства ОЗСО ИЭС им. Е. О. Патона или их аналоги).

4. При необходимости осуществления сварки или родственных процессов, требующих сварочного тока, превышающего номинальный ток одного поста, возможно использование параллельного подключения двух или более сварочных постов на общую нагрузку.

Литература

1. Лебедев В.К., Заруба И.И., Андреев В.В. Централизованное питание постов током при сварке в углекислом газе // Автомат. сварка.— 1973.— № 3.— С. 62–64.
2. Бункин П.Я., Донской А.В. Многопостовые сварочные системы — Л.: Судостроение, 1985.— 228 с.
3. Оборудование для дуговой сварки: Справ. пособие / Под ред. В.В. Смирнова.— Л.: Энергоатомиздат.— 1986.— 656 с.
4. Дравович Ю.И., Лебедев А.В., Кравченко В.В. и др. Регулирование режимов механизированной сварки в СО₂ при использовании многопостовых источников тока // Автомат. сварка.— 1987.— № 10.— С. 70–71.
5. Патон Б.Е., Лебедев А.В. Управление плавлением и переносом электродного металла при сварке в углекислом газе // Там же.— 1988.— № 11.— С. 1–5.
6. Гладков Э.А., Фетисов Г.П., Синельников Н.Г. Совершенствование управления процессами дуговой сварки на базе высокочастотных преобразователей энергии // Свароч. пр-во.— 1984.— № 3.— С. 13–16.
7. Махлин Н.М., Коротынский А.Е., Богдановский В.А. и др. Электронные регуляторы сварочного тока для многопостовых сварочных систем // Там же.— 2004.— № 5.— С. 13–18.
8. Коротынский А.Е., Махлин Н.М., Богдановский В.А. К расчету электронных регуляторов сварочного тока для многопостовых сварочных систем // Автомат. сварка.— 2002.— № 12.— С. 19–27.
9. Богдановский В.А., Махлин Н.М., Полосков С.И. Высокоэкономичные многопостовые сварочные системы с расширенными технологическими возможностями // Труды междунар. научно-практ. конф. 07–11.10.2008 г. «Экология окружающей среды — 2008. Энерго- и ресурсосбереж. в промышл. энергетике и на транспорте». — К.: ИЭС им. Е. О. Патона.— 2008.— С. 53–59.
10. Зайцев К.И., Шмелева И.А. Сварка магистральных и промышленных трубопроводов и резервуаров: Учебник для техникумов — М.: Недра, 1985.— 231 с.
11. <http://www.lincolnelectric.com>.
12. Коротынский А.Е., Махлин Н.М., Полосков С.И. Высокоэффективные многопостовые сварочные системы с расширенными технологическими возможностями // Сварка и диагностика.— 2009.— № 1.— С. 5–8.

● #1707

Новая система документирования и анализа данных – Weld Cube от Fronius

Документирование и анализ данных сварочных процессов приобретают все большее значение. Ведь только при наличии полных и понятных данных становится возможной целевая оптимизация. Поэтому, международный лидер в области сварочных технологий, компания Fronius разработала Weld Cube – систему документирования и анализа данных сварочных процессов.

Система Weld Cube, построенная на базе промышленного компьютера (IPC) с интегрированным программным обеспечением, позволяет объединять в сеть до 50 источников питания, при этом непрерывно и точно отслеживать качество, а также выполнять оценку множества параметров. Благодаря этому пользователи могут значительно улучшить результаты сварочных процессов и повысить надежность производственных операций, имея в любое время доступ ко всей информации по сварочным технологиям.

выполнять документирование и оценку множества параметров, включая ток, напряжение, скорость подачи проволоки, коррекцию времени, дуги и динамики, а также номера заданий. Точность анализа обеспечивается за счет визуализации данных. Результаты анализа отображаются посредством веб-браузера, что позволяет удобно просматривать их с любого компьютера или мобильного устройства.

Благодаря принципу Plug&Play установка Weld Cube чрезвычайно проста. После начального запуска и настройки система практически не требует обслуживания для поддержки своей работы. По мере развития и совершенствования технологии компания Fronius будет выпускать обновления, которые пользователи смогут устанавливать самостоятельно. Индивидуальная настройка и программирование легко реализуются посредством набора пакетов, добавляемых к стандартным функциям. В результате можно создавать индивидуализированные решения, точно соответствующие требованиям заказчика.



Рис 1. Weld Cube, система документирования и анализа данных от Fronius, позволяет непрерывно и точно отслеживать качество работы для 50 источников питания

Система Weld Cube совместима со всеми сериями цифровых устройств Fronius, системой точечной сварки сопротивлением Delta Spot и интеллектуальной платформой сварочных систем TPS/i. Она позволяет пользователям, использующим полуавтоматические и ручные процессы сварки,

Многообразие функциональности Weld Cube обеспечивает системе широкий спектр возможностей ее применения. Фактические значения параметров каждого источника питания можно документировать как по отдельности, так и в целом; возможно документирование в режиме реального



Рис 2. Сбор, анализ и оценка сварочных данных в любое время позволяет предотвратить простои производственных мощностей и повысить надежность



Рис 3. Компания Fronius предлагает различные сервисные пакеты, которые пользователи смогут устанавливать самостоятельно по мере обновления и совершенствования

времени. К примеру, пользователь может непрерывно отслеживать и оценивать количество потребляемого газа, проволоки и электроэнергии. Система способна отслеживать и регистрировать заданные значения, например, данные сварочных заданий, на протяжении всего срока службы сварочной системы. В сочетании с новой сварочной платформой

Fronius TPS/i можно также изменять задания и сравнивать работу различных источников питания. Все значения можно экспортировать в файлы различных форматов или распечатать непосредственно с промышленного компьютера.

Для быстрой и надежной диагностики неполадок доступен широкий набор средств анализа, которые позволяют заказчикам Fronius выполнять мониторинг и, при необходимости, оптимизацию качества и результатов процессов сварки. Непрерывный анализ данных позволяет также предотвратить простои производственных мощностей и повысить надежность. Компания Fronius предлагает различные сервисные пакеты системы Weld Cube, воспользовавшись которыми, заказчики могут быть уверены, что она правильно установлена, в точности соответствует предъявляемым требованиям, имеет высочайший уровень надежности и будет эксплуатироваться без каких-либо сложностей.

Fronius International – австрийское предприятие с главным офисом в Петтенбахе и отделениями в Вельсе, Тальхайме, Штайнхаусе и Заттледте. Предприятие специализируется на системах для зарядки батарей, сварочном оборудовании и солнечной электронике. Всего штат компании насчитывает 3 817 сотрудников. Доля экспорта составляет 89 %, что достигается благодаря 24 дочерним компаниям, а также международным партнерам по сбыту и представителям Fronius более чем в 60 странах. Благодаря первоклассным товарам и услугам, а также 1 242 действующим патентам, Fronius является лидером в области технологий на мировом рынке.

● #1708

Публикуется на правах рекламы



ООО «Фрониус Украина»
07455, Киевская обл., Броварской р-н,
с. Княжичи, ул. Славы, 24

тел. +38 0 44 277 21 41
факс +38 0 44 277 21 44

sales.ukraine@fronius.com
www.fronius.ua

Высокие технологии мирового уровня от RFA Robotics

Внедрение роботизированных комплексов на украинских предприятиях стало привычным делом, можно с уверенностью сказать, что модель современного производства за последние десятилетия видоизменилась, стала другой. Сегодня Украина переживает момент определения своего места в мировом распределении труда и прибыли. Одним из наиболее важных факторов в этом процессе является скорость — насколько быстро промышленные предприятия смогут освоить современные технологии и влиться в новый технологичный мир глобальной информации, интернета, продукции, роботов, от этого зависит будущее страны. Поэтому многие предприятия уделяют повышенное внимание высокотехнологичному инжинирингу, внедрению хай-тек технологий 4.0, капиталу знаний.

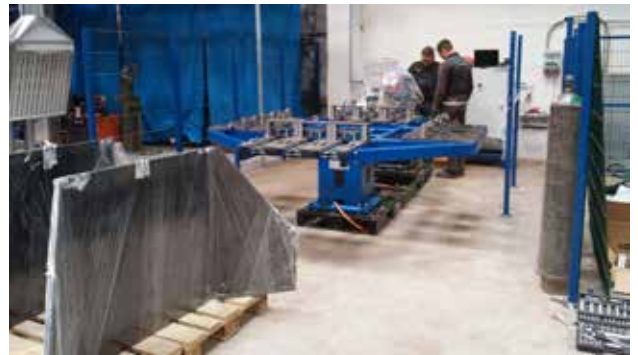
Компания RFA Robotics (отдел роботизации предприятия ООО «Триада-Сварка») — интегратор роботизированных технологических сварочных комплексов (РТК), официальный представитель компании Yaskawa Motoman, одной из ведущих в мире компаний-производителей промышленных роботов, систем управления, серводвигателей, контроллеров.

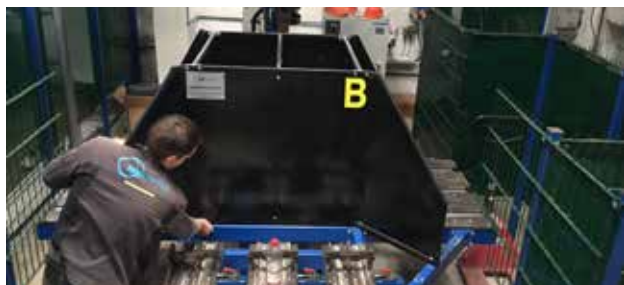
Yaskawa Motoman входит в группу компаний Yaskawa Electric, которая была основана в 1915 г. со штаб-квартирой в г. Китакою, Япония. Европейская история Yaskawa Motoman насчитывает более 40 лет. Компания Yaskawa самостоятельно производит все основные компоненты и разрабатывает технологии для своих роботов, использует новейшие технологии для их изготовления — роботы производят роботов, сегодня компанией произведено, запущено в эксплуатацию и внедрено более 360 000 роботов по всему миру.

Трансформация производства неизбежна для компаний, которые хотят выжить в условиях резко меняющейся конкурентной среды. Поэтому сегодня многие заводы активно включаются в процесс мо-

дернизации существующего производства, инвестируя средства в высокотехнологичное оборудование.

Руководитель компании RFA Robotics Красносельский К.В. рассказал об особенностях внедрения РТК в украинское производство на примере последнего реализованного проекта: «Мы разработали и реализовали еще один сложный, уникальный проект по внедрению РТК в уже существующее производство. Перед нами стояла непростая задача: на определенном участке работающего производства нужно было заменить ручную дуговую сварку определенных элементов свариваемых деталей со сложной конфигурацией (подкладки с прямолинейными, криволинейными и кольцевыми швами) роботизированным процессом сварки.





Проект включал в себя следующие этапы:

- анализ номенклатуры свариваемых деталей;
- разработку технологии сварки с применением промышленных роботов для автоматизации сварочных процессов;
- проектирование, разработку и запуск РТК;
- изготовление оснастки: механических сборочных и сварочных кондукторов; полный комплект услуг по их дальнейшему обслуживанию и технической поддержке;
- обучение персонала предприятия-заказчика программированию робота.

При комплектации роботизированного комплекса мы использовали оборудование передовых мировых производителей: Yaskawa (Япония), Fronius (Австрия), Abicor Binzel (Германия), сварочные материалы Askaynak (Турция). ООО «Триада-Сварка» является официальным представителем всех этих компаний в Украине.

Компания *Fronius* – мировой лидер в области разработки и производства сварочного оборудования, интеллектуальных сварочных систем.

Компания *Abicor Binzel* – мировой лидер по производству сварочных горелок и роботопериферии.

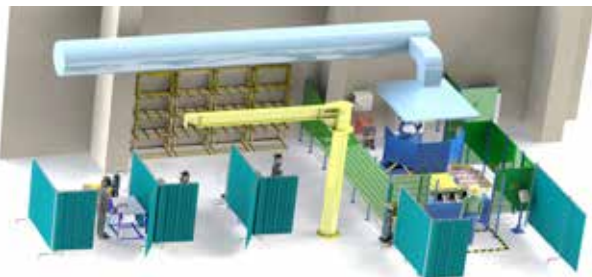
Компания *Askaynak* – мировой лидер по производству сварочных материалов.

Украинские заводы серьезно подходят к вопросу выбора интегратора. Обычно всем кандидатам предлагают самостоятельно определить формат и механизм внедрения новой технологии свар-

ки конкретных изделий, создать структуру взаимодействия с уже существующим производством. Предприятие *RFA Robotics* разрабатывает в установленные сроки и предлагает уникальную технологию сварки, в соответствии с которой разрабатывается проект участка для роботизированной сварки и проект РТК для изготовления необходимых деталей. Как правило, проект полностью решает все поставленные задачи и открывает возможности для дальнейшего развития и роста производства».

Помимо общих технических решений *RFA Robotics* самостоятельно проектирует и изготавливает инструментальную оснастку и кондуктора, уникальные вспомогательные элементы, зажимные устройства; защитные сварочные системы *Weld-Zakhyst*.

Компания *Weld-Zakhyst* – подразделение предприятия ООО «Триада-Сварка», занимается проектированием, разработкой, изготовлением и монтажом защитных сварочных систем, современных мобильных конструкций, предназначенных для защиты людей и окружающего пространства в процессе сварки от брызг, опасного излучения и высоких температур. Производство базируется на производственных мощностях ООО «Триада-Сварка», вся техническая документация разработана конструкторским отделом предприятия на базе многолетнего опыта изучения подобных систем. Все сварные узлы металлоконструкций сварочных ограждений *Weld-Zakhyst* выполняются на РТК, что обеспечивает их высокую надежность и длительный срок эксплуатации. Защитные ПВХ материалы, используемые для изготовления защитного полотна, отвечают всем европейским стандартам и требованиям EN-1598. Сервисный центр ООО «Триада-Сварка» обеспечивает гарантийное обслуживание всех систем защиты *Weld-Zakhyst*.





Установка и запуск нового РТК позволяют заводам производить изделия в соответствии с установленными стандартами и требованиями европейского образца, полностью устранять брак в производстве и получить 100%-ное качество свариваемых деталей. При этом значительно увеличивается производительность труда. Немаловажны экономия ресурсов, расходных и сварочных материалов, повышение уровня культуры производства.

В состав РТК последнего реализованного проекта *RFA Robotics* входят:

- робот Yaskawa Motoman MA 1440;
- многоцелевой контроллер DX 200 производства Yaskawa, с возможностями последующего управления 8-ю роботами одновременно и создания до 16-ти инструментов на работе;
- позиционер VMS1500 SD производства Yaskawa, который может использоваться в качестве базового модульного привода для множества станций;
- система поиска шва Seam Finding (Yaskawa);
- система корректировки положения горелки во время сварки ComArc (Yaskawa);
- программный пульт управления PHG с сенсорным экраном (Yaskawa);
- интеллектуальный сварочный аппарат TPS500i производства FRONIUS;
- устройство подачи проволоки WF 25i R (FRONIUS);
- сварочная горелка Abirob 500W производства BINZEL;
- станция очистки горелки BRS для автоматического обслуживания сопел горелок (BINZEL);
- поворотный стол, имеющий четыре станции для крепления деталей (спроектировано и произведено RFA Robotics);
- система крепежей и кондукторов с гибкой системой закрепления и возможностью установки и закрепления всей номенклатуры деталей заказчика (спроектировано и произведено RFA Robotics);
- защитные сварочные системы ограждения (спроектировано и произведено Weld-Zakhyst).

Уникальная система корректировки положения горелки ComArc, которая отслеживает изменения напряжения на дуге во время сварки, впервые применена

в Украине. Специалисты предприятия RFA Robotics прошли специальное обучение у европейских специалистов Yaskawa по работе с системой ComArc.

Благодаря новаторским решениям руководителей заводов, происходят изменения и в принципах управления и функционирования отдельных элементов производства: от организации рабочих мест, внимания к каждому человеку, его защите от неблагоприятных условий труда, до связи в единую систему всей технологической цепочки, включая взаимодействие с компанией-интегратором и в дальнейшем. Желание интегрироваться в глобальный мир неизменно ведет к стабильности, а значит дает предприятиям уверенность в будущем.

В этом году предприятию ООО «Триада-Сварка» исполняется 25 лет (основано в 1992 г.) Все это время компания стремится интегрироваться в глобальный мир технологий, развивает в Украине тему роботизации промышленных процессов, используя опыт и наивысшие достижения мировой промышленности — специалисты *RFA Robotics* проходят стажировку и обучение на передовых предприятиях, робо-лабораториях Европы.

ООО «Триада-Сварка» первая в мире и единственная в Украине получила сертификат CFD Fronius, что означает полное соответствие европейским стандартам уровня подготовки и наличия собственной технической базы в области сварочного оборудования и технологий.

Директор ООО «Триада-Сварка» Красносельский К.В.: «Это не первый наш проект по роботизации. Стремление вывести Украину на высший уровень мировой экономики, быть лидерами в своей отрасли, нести культуру инноваций, приводит к смене бизнес-модели и способов ведения бизнеса в стране, побуждает к переменам во всем, начиная с собственного предприятия. И эти перемены формируют новый этап хай-тек развития общества в целом. Формирование единой платформы 4.0. — горизонтальная и вертикальная интеграция IT, объединение различных технологий в разных сферах, взаимодействие всех со всеми — даст украинским предприятиям преимущества в эффективности, продуктивности, сокращении затрат; предоставит основу для роста на уровне отрасли, страны, нации. Нам нужно объединять усилия, ООО «Триада-Сварка» — активный участник национального движения «Индустрия 4.0 в Украине». Объединяясь, мы сможем многое и тогда будущее станет реальностью уже через каких-то десять лет».

Красносельская Е.Г.

ООО «Триада-Сварка» (Запорожье)

● #1709

Публикуется на правах рекламы



г. Запорожье, ул. Независимой Украины 82, оф. 79

тел.: +38 (061) 220-00-79, (050) 322-95-53

www.triada-welding.com, www.rfa-robotics.com





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

После незначительного срока эксплуатации в осенне-зимний период нового узла машины, представляющего неподвижное сопряжение с натягом стальных деталей, столкнулись с явлением подобному холодной сварке. Повторное использование узла под вопросом, он требует ремонта. В чем кроется причина и каковы методы недопущения этого явления?

С.В. Петров, Киев

Самые разнообразные машины, механизмы и их узлы в своем составе имеют неподвижные сопряжения. К классу неподвижных относятся сопряжения деталей, относительное перемещение которых в процессе эксплуатации не предусмотрено. Такие сопряжения имеются в конструкциях железнодорожного подвижного состава, автомобилей, авиационной техники, узлах и деталях различных станков, строительных машин и др. техники. Несмотря на то, что относительное перемещение деталей неподвижных сопряжений в процессе эксплуатации не предусматривается, оно может возникать в незначительных пределах под воздействием вибраций, периодического изгиба или скручивания сопрягаемых деталей, действия др. знакопеременных нагрузок. Результатом этого является разрушение контактирующих поверхностей, что ограничивает ресурс работы машин. В рассматриваемых случаях условия эксплуатации обуславливают наличие только микроперемещений. Малая величина амплитуды относительного перемещения создает особые, уникальные, по сравнению с другими видами изнашивания, условия трения и называется фреттинг-коррозией. Вследствие развития фреттинг-коррозии изменяется шероховатость поверхности, образуются каверны и поверхностные микротрещины.

Для возбуждения фреттинг-коррозии достаточны перемещения поверхностей с амплитудой 0,025 мкм. Фреттинг-коррозия является распространенным видом изнашивания узлов, собранных с использованием пресовых посадок, контактных поверхностей подшипников качения, в шлицевых, шпоночных, за-

клепочных, болтовых, винтовых соединениях и т.п. Этому виду изнашивания подвержены как углеродистые, так и коррозионно-стойкие стали в парах трения сталь – сталь, сталь – олово или алюминий, сурьма, чугун и др. пары трения. Более склонными к проявлению фреттинг-коррозии являются одноименные материалы, но и разноименные также часто подвергаются этому виду изнашивания. Наиболее часто такое изнашивание возникает при работе сопряжений в среде, содержащей кислород, но проявление фреттинг-коррозии может происходить и в др. средах: азоте, гелии и даже в вакууме.

На развитие процессов фреттинг-коррозии оказывают влияние более 50-ти факторов, наиболее значимыми из которых являются: амплитуда относительных перемещений, частота колебаний, условия нагружения, температура окружающей среды и ее коррозионная активность, влажность, твердость, микрогеометрия контактирующих поверхностей и др. Большинство исследователей наиболее значимыми считают такие факторы, как строение и структура материала деталей, зависящие от технологии получения заготовки; параметры операций изготовления и испытания, влияющие на шероховатость; остаточные напряжения; погрешности геометрии детали; жесткость узла; изменения параметров внешней среды; электрохимические процессы; недетерминированный характер изменения фактической площади контакта; свойства продуктов изнашивания и т.д. Колебания при фреттинг-коррозии влияют на формирование деформационного рельефа контактируемых поверхностей, образование которого обусловлено, кроме величины давления, видом сопряжения, твердостью поверхности материалов и покрытий, условиями эксплуатации. Коллапсные процессы в условиях фреттинга происходят также и в микрообъемах материала.

Для других видов изнашивания одним из наиболее значимых факторов, определяющих интенсивность изнашивания, является скорость трения. Однако, несмотря на то, что частота и амплитуда колебаний оказывают влияние на величину скорости

относительного перемещения поверхностей деталей неподвижных соединений, она всегда остается небольшой. Например: в случае колебаний с амплитудой 0,025 мм и частотой 50 с^{-1} максимальная скорость 7,5, а средняя 2,5 мм/с.

С величиной амплитуды относительного перемещения контактирующих поверхностей при фреттинг-коррозии скорость изнашивания связана почти линейно. Однако это происходит до определенных пределов. Так, например, при сухом трении, амплитуда 2,5 мм является верхним пределом для возбуждения фреттинг-коррозии, а при амплитудах более 0,25-0,30 мм скорость изнашивания падает, что связано с переходом к другому виду изнашивания. Даже очень малая амплитуда изнашивания ($8 \cdot 10^{-7}$ мм) считается достаточной для инициирования фреттинг-коррозии. В целом увеличение амплитуды относительного проскальзывания способствует росту скорости изнашивания, что объясняется увеличением общей площади контакта сопрягаемых деталей, подвергающихся в процессе изнашивания окислению. Обычно величина износа при фреттинг-коррозии прямо пропорциональна амплитуде скольжения, однако в ряде случаев наблюдается и параболическая зависимость (наибольшее увеличение скорости изнашивания происходит при амплитуде более 0,10-0,15 мм, когда начинают проявляться процессы схватывания). Динамические характеристики колебательного процесса, определяющие воздействие на структуру металла, пропорциональны среднеквадратической скорости колебаний, которая зависит от квадрата амплитуды (a) и частоты (f) (т. е. $\sim a^2 \cdot f^2$). Изменение этих параметров оказывает существенное влияние на глубину деформации поверхностных слоев детали. Увеличение частоты обычно также ускоряет изнашивание, но при достижении определенного значения частоты происходит снижение активности отдельных факторов (окислительные процессы, наклеп и др.), что приводит к уменьшению скорости изнашивания. Максимальная амплитуда перемещения в сопряжении неподвижных соединений, подвергающихся фреттинг-коррозии, зависит от совпадения частоты колебания машины и собственной частоты колебания узла. Конечное значение амплитуды перемещения влияет на интенсивность развития фреттинг-коррозии как за счет изменения скорости образования окисных пленок, так и за счет изменения количества локальных объемов материала, подвергаемых деформации и глубины развития максимальных касательных напряжений.

Величина температуры, коррозионная актив-

ность среды и химическая активность материалов деталей трибосопряжения в значительной степени определяют как свойства, так и скорость образования окисных пленок в зоне трения и, следовательно, также оказывают влияние на процесс изнашивания. Неоднократно отмечалось, что зимой повреждение фреттинг-коррозией обычно значительнее, чем летом. Установлено, что износ низкоуглеродистой стали со снижением температуры до $-140 \text{ }^\circ\text{C}$ неуклонно возрастает. Это объясняется большей адсорбцией газа при низкой температуре и охрупчиванием стали. Однако температура оказывает неоднозначное влияние на процесс изнашивания. Результаты исследований изнашивания материалов при фреттинг-коррозии в условиях повышенных температур показывают, что повышение температур до определенных критических значений приводит к снижению линейного износа материала, а при дальнейшем ее увеличении для сплавов на основе железа скорость изнашивания обычно возрастает. В ряде случаев увеличение температуры приводит к увеличению глубины повреждений, что обусловлено увеличением адгезионного взаимодействия в зоне фактического контакта. При этом образование защитной окисной пленки, препятствующей схватыванию на фактических пятнах контакта, является основной причиной снижения износа.

Значительное влияние на развитие процессов фреттинг-коррозии, а следовательно, и износостойкость материалов, оказывает коррозионная активность среды. Причем степень зависимости интенсивности фреттинг-коррозии от коррозионной активности среды связана с химической активностью металла. Например, в газообразном азоте или гелии удельный массовый износ снижается по сравнению с воздушной средой, но одновременно увеличивается шероховатость в результате схватывания и переноса материала с одной поверхности на другую.

В связи с тем, что выход из зоны трения продуктов изнашивания в условиях работы неподвижных трибосопряжений затруднен, существенное влияние на интенсивность изнашивания оказывает абразивная стойкость продуктов износа.

Нет однозначного мнения по поводу влияния влажности на интенсивность изнашивания при фреттинг-коррозии. С одной стороны, повышение влажности воздуха может способствовать увеличению скорости коррозионных процессов, а с другой - может приводить к снижению скорости изнашивания. Уменьшение интенсивности изнашивания при увеличении влажности может быть связано с гидратацией окислов и вымыванием продуктов изнаши-

вания из зоны сопряжения деталей. В то же время адсорбирующаяся на поверхности вода оказывает смазывающее воздействие.

Известно, что на износостойкость деталей большинства узлов трения практически всегда существенное влияние оказывает твердость материала деталей. И в случае, когда разрушение происходит в результате фреттинг-коррозии, большая твердость является благоприятным фактором, но между твердостью металлов и их фреттингостойкостью нет определенной связи. Сопротивляемость разрушению при этом виде изнашивания в значительной степени зависит от таких свойств материалов, как циклическая прочность, коррозионная активность, упруговязких свойств. При низкой твердости металла с повышением шероховатости контактирующих поверхностей износ возрастает, а в условиях смазки с понижением класса шероховатости поверхности ее фреттингостойкость повышается, т.к. микровпадины являются естественными микромасленками, кроме того, в них собираются продукты износа.

Повреждения от фреттинг-коррозии проявляются в виде натиров, налипаний металла, вырывов или раковин, часто заполненных порошкообразным продуктом коррозии, полос или канавок локального износа, а также поверхностных микротрещин. Основным признаком разрушения в результате фреттинг-коррозии является образование на сопрягающихся поверхностях мелких язвин и продуктов коррозии в виде налета, пятен и порошка.

Следует помнить, что интенсивность изнашивания при фреттинг-коррозии увеличивается с ростом нагрузки, амплитуды и частоты колебаний, с возрастанием относительного проскальзывания, изменением объемной температуры.

Для повышения долговечности неподвижных соединений могут использоваться различные конструктивно-технологические методы и методы, подавляющие физико-химические процессы, протекающие при фреттинг-коррозии. К конструктивно-технологическим относятся выбор рациональной конструкции, способствующий снижению уровня и концентрации напряжений в контакте; создание промежуточной среды; использование демпфирующих материалов; увеличение натяжения для пресовых соединений. Конструктивными способами можно создавать условия, при которых вероятность проявления фреттинг-коррозии может снижаться или подавляться полностью. Другая группа предполагает использование средств защиты от коррозии, предотвращающих схватывание путем использования разнородных материалов при изготовлении де-

талей сопряжений, повышение твердости поверхностей трения, упрочнение контактирующих поверхностей, уменьшение термодинамической неустойчивости системы, снижение трения, защиту от электрохимической коррозии.

Для борьбы с фреттинг-коррозией следует уменьшать микроперемещения, понижать силы трения, сосредоточивать скольжение в промежуточной среде. Добиться уменьшения амплитуды проскальзывания можно, например, увеличением силы трения. Это, в свою очередь, может быть достигнуто как в результате уменьшения площади сопряжения деталей, повышения коэффициента трения за счет увеличения шероховатости, так и при нанесении на поверхность трения электролитических покрытий, что увеличивает фактическую площадь контакта сопрягаемых деталей. Однако при значительных микросмещениях эти покрытия сами обычно подвергаются фреттинг-коррозии и быстро изнашиваются.

Эффективным способом снижения износа часто является улучшение подвода смазки. Известно, что смазка на масляной или жировой основе способствует снижению износа при фреттинг-коррозии вследствие подавления коррозионных процессов на сопрягаемых поверхностях. Более эффективны смазки, в которых кислород имеет низкую растворимость и коэффициент диффузии. Наиболее рационально использовать консистентные смазки. Твердые смазки (свинец, индий, графит и др.) иногда могут способствовать подавлению фреттинг-коррозии или существенно затормозить момент ее появления, однако их добавление в консистентные смазки может давать и отрицательный эффект. Неметаллические пленки типа фосфатных и анодных способствуют удержанию смазочного материала и, как следствие, снижению износа. Наиболее эффективными являются те смазочные материалы, которые обладают высокой адгезией к поверхности, выдерживают высокие давления, обладают высоким сопротивлением окислению, стабильностью свойств, низкие коэффициент диффузии и способность к растворению кислорода.

Одним из наиболее эффективных технологических способов борьбы с фреттинг-коррозией является нанесение на поверхность деталей различных многослойных мягких покрытий, имеющих низкое сопротивление текучести (медь, свинец, олово), которые выполняют роль разделяющего слоя и гасят возникающие в результате вибраций колебания. Часто полное гашение колебаний невозможно, но добиться уменьшения амплитуды обычно удается. Перемещение контактирующих поверхностей можно

исключить путем нанесения покрытий с малым модулем упругости, но при условии, если при данной амплитуде скольжения тангенциальная сила не достигнет предельной величины силы трения. Определенный эффект может быть достигнут увеличением твердости стали (например, закалкой или азотированием), что уменьшает взаимное внедрение неровностей деталей друг в друга и размер абразивных частиц, способствуя снижению интенсивности изнашивания.

Способствовать исключению коррозионной компоненты механизма фреттинг-изнашивания можно и нанесением таких защитных покрытий, как латунирование, нанесение фторуглеродного покрытия «Аспект-модификатор», твердосмазочного покрытия ВФП-5, вибронакаткой. Дисперсная структура поверхностных слоев таких покрытий препятствует реализации дислокационного механизма деформационного упрочнения, а в дальнейшем и разупрочнения поверхностных слоев материала детали с последующим разрушением, приводящим к появлению износа. Это происходит потому, что размер дисперсных частиц соизмерим с длиной свободного пробега дислокаций, поэтому они, выходя на границы поверхности, не образуют скопления дислокаций.

В качестве эффективного способа повышения фреттинг-коррозионной стойкости предлагают также нанесение тонких покрытий методом ионного осаждения из плазмы дугового разряда в парах материала эрозии катода (метод конденсации с ионной бомбардировкой).

Целесообразно избегать применения однородных сплавов, алюминия, титана и коррозионно-стойких сталей без покрытий. Эффективными являются методы механической, термической и химико-термической обработки, гальванические покрытия и химическая обработка поверхностей, нанесение пластмассовых пленок и полимерных покрытий; наиболее эффективны дробеструйная обработка, лужение, композиционное борирование. Можно использовать нанесение гальванических покрытий в качестве протекторной защиты, что тоже препятствует развитию коррозионных процессов при условии работы сопряжения в электролитической среде.

Заполнение зазора между деталями неподвижно соединенными (в т.ч. и резьбовых соединений) пластичными и упругими материалами может способствовать как подавлению фреттинг-коррозии так и их герметизации.

● #1710

Золотой кубок Бенардоса – 2017

К 25-летию Общества сварщиков Украины (ОСУ) и 175-летию со дня рождения Н.Н. Бенардоса – изобретателя дуговой сварки, ОСУ проводит XII открытый конкурс сварщиков Украины «Золотой кубок Бенардоса – 2017».

Конкурс будет проводиться 21-24 ноября 2017 г. в Киеве в рамках XVI международного промышленного форума на территории МВЦ (Броварской пр., 15) по следующим номинациям:

- ручная дуговая сварка покрытым электродом (метод 111/СМАW);
- дуговая сварка плавящимся электродом в активных газах (метод 135/СМАW);
- дуговая сварка вольфрамовым электродом в инертных газах (метод 141/СТАW).

К участию в конкурсе допускаются дипломированные сварщики в возрасте старше 18 лет, обладающие знаниями и опытом работы по сварке.

В период проведения конкурса 22–23 ноября 2017 г. ОСУ проводит конференцию на тему: «Современные проблемы сварочного производства» с участием фирм-спонсоров, экспертов УАКС и ведущих специалистов в области сварки.

Приглашаем профессиональных сварщиков предприятий Украины и зарубежья принять уча-

стие в XII открытом конкурсе сварщиков Украины «Золотой кубок Бенардоса – 2017». Для участия, организации и проведения конкурса приглашаются все заинтересованные лица, предприятия и фирмы.

Просим рассмотреть возможность спонсорской поддержки этого важного профессионального мероприятия.

Заявки на участие в конкурсе принимаются Оргкомитетом конкурса до 10 ноября 2017 г. по факсу: **+380-48-758-61-41**, e-mail: **osu-odessa@ukr.net**.

Председатель оргкомитета – Илюшенко Валентин Михайлович, академик УАН, к.т.н., исполнительный директор ОСУ (Киев)

тел.: **+380-44-200-24-66**, моб.: **+380-97-379-80-43**, e-mail: **pwi-37@ukr.net**;

Зам. председателя – Воробьев Александр Николаевич, председатель правления Одесского областного ОСУ (Одесса)

тел.: **+380-48-758-62-12**, ф.: **+380-48-758-61-41**, моб.: **+380-97-972-36-03**

e-mail: **osu-odessa@ukr.net**

● #1711



Создание ответственных конструкций из специальных сплавов. К 100-летию А.А. Россошинского и 80-летию В.Ф. Хорунова

А.Н. Корниенко, док. ист. наук, ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ (Киев)



Россошинский А.А.

Во второй половине XX века возникла сложная проблема производства техники нового поколения из новых материалов. В ИЭС им. Е. О. Патона были найдены инновационные решения изготовления изделий от элементов электроники до ракетно-космической техники. Значительный вклад внесли сотрудники отдела, руководимого А.А. Россошинским и В.Ф. Хоруновым.

Алексей Анатольевич Россошинский родился в г. Хорол Полтавской губернии 09.01.1917 г. В 1941 г. Алексей Анатольевич окончил Киевский индустриальный институт (ныне НТУУ «КПИ») по специальности инженер-теплотехник и был призван в армию. В 1944 г. он окончил Военную академию бронетанковых и механизированных войск по специальности — военный инженер-механик, его подвиги в войне с фашистской Германией отмечены орденами Отечественной войны II и I степени, Красной Звезды, медалями.

С 1951 г. А.А. Россошинский работал в ИЭС им. Е.О. Патона. В это время техника выходила на новый виток развития; повышались технические и эксплуатационные характеристики энергетического, химического оборудования, транспорта, средств вооружения. Для научно-технического прогресса требовались новые материалы, в т.ч. специальные стали. В 1945 г. Е.О. Патон поставил задачу разработать технологии производства и сварки сталей для конструкций ответственного назначения. В конце 1940-х — начале 1950-х гг. были предложены подробно разработанные модели процессов при сварке плавящимся электродом, определены причины возникновения пор в шве и трещин в соединениях. И первое прорывное решение — сталь Ст.М была применена для строительства моста через р. Днепр в Киеве (мост им. Е.О. Патона) и кораблей в Николаеве.

Из научных основ металлургии сварки в самостоятельное научное направление выделилось ме-

талловедение сварки — исследование структуры металла шва и зоны термического влияния (ЗТВ), необходимое для создания и обработки комплексно легированных сталей. Был организован отдел, который возглавил А.М. Макара. В отделе создавались специальные сварочные материалы, разрабатывались инновационные технологии, в первую очередь, для применения в танко-, ракетно- и судостроении, в химическом машиностроении. Для исследований структуры металла требовались подготовленные шлифы. Возникла серьезная проблема, вызванная именно хорошими качествами специальных сталей. Теплоустойчивые, жаропрочные и жаростойкие легированные сплавы невозможно было протравить реактивами по известным технологиям. Решить эту проблему Е.О. Патон поручил А.А. Россошинскому.

Техника и рецепты металлографических исследований А.А. Россошинского ускорили создание специальных материалов, технологий сварки и термообработки. В частности, он разработал методику определения первичной структуры и δ -фазы. Работа А.А. Россошинского пополнила арсенал металлографии [1] и стала достоянием НИИ и заводов во многих странах. Методика, разработанная в ИЭС, используется для выбора оптимальной структуры



Рис. 1. Сувенир «Рюмка» емкостью 30 мл, изготовленный В.И. Дятловым из сварного шва корабельной броневой стали, протравленный А.А. Россошинским

металла, она гарантирует служебные свойства ответственных изделий.

В 1971 г. в ИЭС создан отдел физико-химических процессов пайки. Его руководителем был назначен доктор технических наук А. А. Россошинский.

Под научным руководством и при участии А. А. Россошинского разрабатывались: технология сварки-пайки самых дешевых в мире полупроводниковых диодов средней мощности. Положено начало исследованиям по разработке присадочных материалов для пайки алюминия, успешно проводилась работа по созданию паяльных паст и технологии их изготовления. В 1970-х гг. в отделе было создано несколько типов электролизно-водных газогенераторов горючей водородно-кислородной смеси (гремучего газа) для сварки и пайки микроизделий. Созданы (В. И. Балакиным, В. М. Кислицыным, А. Г. Мусиным, И. М. Мельниченко, В. П. Шевченко, В. Д. Щегловым и др.) и выпущены несколько моделей газогенераторов биполярного типа. В то же время

разработано несколько моделей газогенераторов водородно-кислородной смеси с монополярным электролизером [2], в частности, продуктивностью до $1,8 \text{ м}^3/\text{ч}$.

В 1970-е гг., в связи с интенсивным развитием электроники, работа для нужд электронной промышленности оставалась основным направлением деятельности ИЭС, в числе прочего соединение миниатюрных элементов из редких металлов, полупроводников. В 1981 г. А. А. Россошинский за работу по технологии сборки полупроводниковых приборов с применением ультразвука [3] был удостоен Государственной премии СССР. В том же году была завершена разработка конструкции и технологии сварки-пайки бескорпусного выпрямительного диода средней мощности, отмеченная в 1982 г. Госпремией УССР (А. А. Россошинский, В. А. Лебига, В. М. Кислицын, А. Г. Мусин, В. П. Шевченко).

Долгие годы в электронной промышленности, как и ювелирной, основные припои были на базе серебра. В связи с возрастающим объемом производства приборов и др. изделий с электронными деталями возникла проблема экономии драгоценных металлов при пайке и, одновременно с этим, повышение надежности соединений.

Под руководством А. А. Россошинского были разработаны медно-фосфорные и оловянные [4] припои взамен содержащих серебро, процесс экструзии непластичных материалов с получением пластичных прутков различных диаметров (1–3 мм). В 1990 г. эта работа удостоена Премии Совета Министров СССР (А. А. Россошинский, О. П. Бондарчук, Л. П. Левадный). Все упомянутые инновационные разработки внедрены на многих предприятиях страны. Успешно развивались работы и в других направлениях. А. А. Россошинский является одним из разработчиков прессовой сварки шпангоутов большого сечения и первого в СССР плазмотрона с независимым горением дуги, внедренных на «Южмаше».

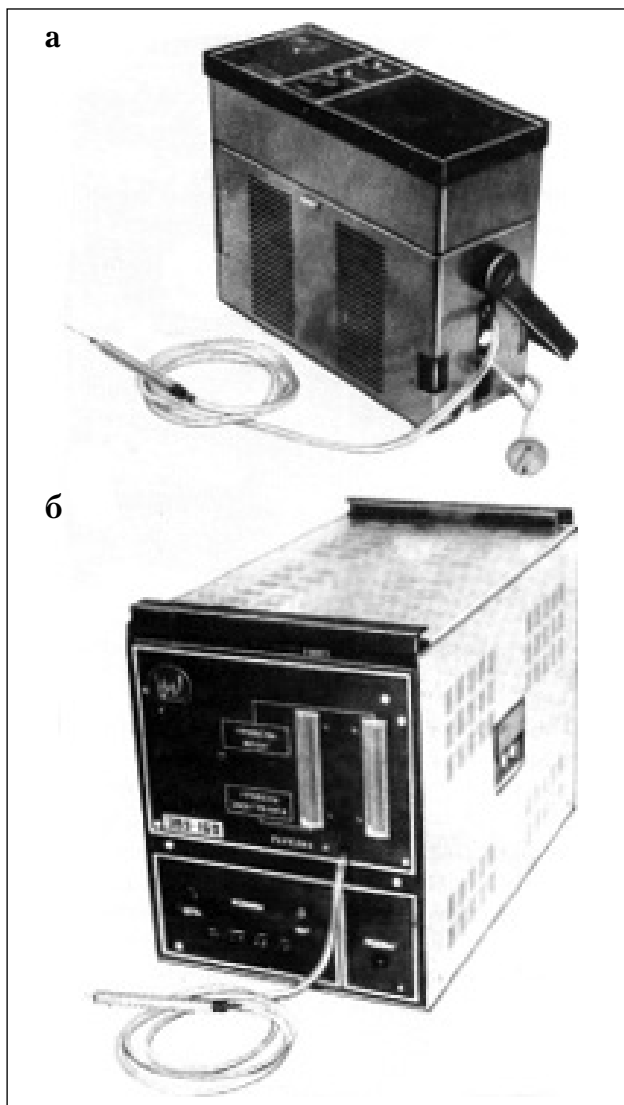


Рис. 2. Газогенераторы водородно-кислородной смеси с электролизером биполярного типа: а – ЭВУ-40; б – ЭВУ-160

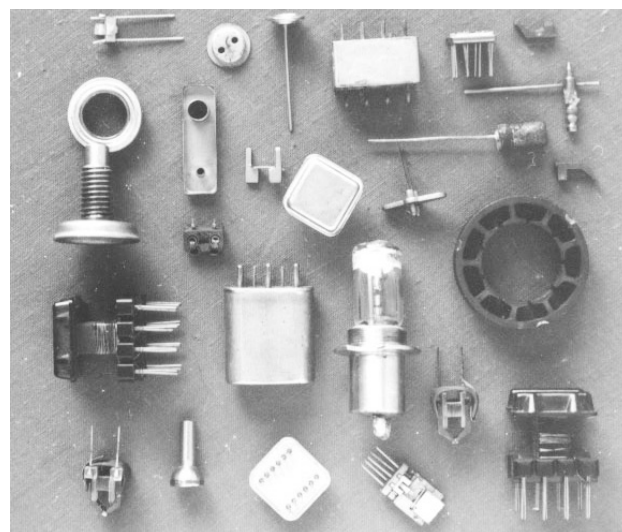


Рис. 3. Элементы электроники и паяные детали, изготовленные с применением бессеребряных припоев.

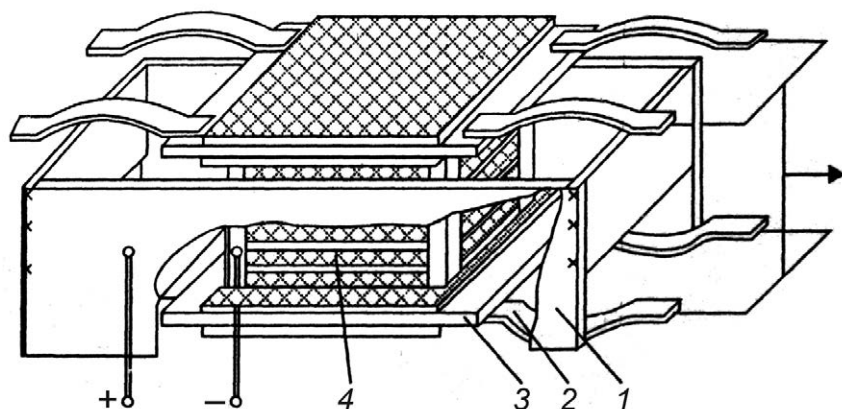


Рис. 4. Схема нагрева многослойных конструкций с пропусканием тока через графитовые пластины с использованием тлеющего разряда: 1 – рамка, подключаемая к положительному полюсу второго источника питания для создания тлеющего разряда; 2 – токоподвод к графитовой пластине и первого источника питания; 3 – графитовая пластина с электроизоляционными слоями; 4 – паяемое изделие

Были исследованы физико-химические процессы и разработана технология пайки припоями, содержащими легко испаряющиеся компоненты, которая заключается в введении в камеру электропечи паров этих элементов и доказана возможность легирования из паровой фазы. Исследования проводили при нагреве в аргоне, азоте, углекислом газе и закрытом воздушном пространстве. Особенно точное регулирование параметров режима нагрева и металлургии процессов достигнуто при контактно-реактивной пайке, к примеру при изготовлении приборов с деталями из молибдена, вольфрама и меди, покрытыми золотом или серебром (В.Ф. Хорунов, Ю.Б. Малевский, В.С. Несмих, Б.М. Перевезенцев и др.). Технология пайки в вакуумных электропечах разработана в 1970-х гг. при изготовлении приборов для соединения корундной керамики с железо-никелевыми сплавами, производстве авиационных конструкций из титановых сплавов и деталей газотурбинных двигателей из жаростойких сплавов. Для улучшения качества пайки процесс проводится в парах активных металлов и защитно-восстановительной среде в контейнерах, которые помещают в печь. Пайку узлов сопел и камер сгорания, лопаток турбин и компрессоров, а также др. де-

талей композиционными припоями предложили выполнять в контейнерах в активной газовой среде из смеси аргона и продуктов разложения галогенидов. Такая технология позволила не только изготавливать крупногабаритные узлы, но и уменьшать затраты на подготовку к пайке и последующую термическую обработку.

К дуговому нагреву при пайке периодически возвращались в тех случаях, когда использовали припои с тугоплавкими компонентами и требовался локальный нагрев. Так, в конце 1990-х гг. в ИЭС им. Е.О. Патона (В.Ф. Хорунов, С.В. Максимова и др.) и НПО «Машпроект» разработана техно-

логия ремонтной пайки лопаток газотурбинных двигателей из высоколегированных никелевых сплавов с использованием дугового нагрева вольфрамовым электродом в аргоне и композиционных никелевых припоев с цирконием и гафнием.

Нагрев электронным лучом начал использоваться для пайки высокоточных изделий, собранных из тонкостенных и разнотолщинных элементов (В.Ф. Хорунов, Ю.Б. Малевский и др.). При пайке кольцевым электронным лучом в вакуумной установке удалось с достаточно высокой точностью осуществить циклический нагрев в различных температурных и временных интервалах. При достигнутой удельной мощности $5 \cdot 10^8$ Вт/см² можно обрабатывать практически все существующие материалы.

А.А. Россошинский возглавлял отдел физико-химических процессов пайки до 1987 г., затем перешел на должность главного научного сотрудника. А.А. Россошинский опубликовал 4 монографии, более 220 статей, получил около 80 авторских свидетельств на изобретения.

В 1987 г. отдел возглавил д.т.н., профессор В.Ф. Хорунов.



Хорунов В.Ф.

Виктор Федорович Хорунов родился 12.08.1937 г. в городе Кемерово (РФ). В 1959 г., после окончания металлургического факультета КПИ, получил направление на работу в ИЭС.

Основная научная деятельность В.Ф. Хорунова была посвящена исследованию процессов высоко- и низ-

котемпературной пайки, охватывающей практически все конструкционные материалы, используемые в промышленности. С его участием были

созданы новые припойные материалы, значительным преимуществом которых является возможность получения металла шва, близкого по свойствам к основному металлу [5]. В 1985 г. В.Ф. Хорунов защитил докторскую диссертацию (профессор с 1993 г.).

В конце 1980-х гг. в ИЭС им. Е.О. Патона разработана технология пайки массивных деталей сложной конфигурации. Среди прочего технология применена при изготовлении конструкций космических изделий из алюминиевых сплавов с никель-медным и никель-оловянным покрытием. Нагрев, продолжительность которого ограничивалась временем заполнения зазора припоем, осуществлялся расфоку-

сированным пучком электронов при давлении в камере $1 \cdot 10^{-2}$ МПа. Высокая проплавающая способность электронного луча использована при разработке технологии изготовления колес центробежных компрессоров, состоящих из двух дисков и расположенных между ними лопаток.

Важным аспектом научной деятельности В. Ф. Хорунова являлась разработка научных основ технологических процессов и припоев для пайки перспективных материалов: интерметаллидных и дисперсионно-упрочненных сплавов, углеродистых материалов, сплавов на основе титана и алюминия.

На основе фундаментальных исследований системы $KF-AlF_3-K_3SiF_7$ разработан реактивный флюс для пайки алюминия, который не имеет аналогов в мировой практике и позволяет проводить процесс пайки без введения припоя: последний образуется в процессе смачивания флюсом поверхности алюминия. Разработаны технологические процессы пайки разных изделий, в т.ч., криогенной техники, авиации, автомобилестроения и др. отраслей промышленности. Технология пайки алюминия с нержавеющей сталью была впервые внедрена на предприятии «Кислородмаш» (Одесса).

Для низкотемпературной флюсовой пайки алюминия впервые в мире синтезирован новый класс комплексных тетрафторборатов (В. Ф. Хорунов, О. М. Сабадаш). За цикл работ в области пайки сплавов на основе никеля, титана и алюминия сотрудникам отдела Хорунову В. Ф., Максимовой С. В., Сабадашу О. М. была присуждена премия НАНУ им. Е. О. Патона.

Разработаны припои и технологии изготовления и ремонта долот с алмазно-твёрдосплавными резами, позволившие в несколько раз увеличить скорость проходки скважин (В. Ф. Хорунов, Б. В. Стефанив, С. В. Максимова, О. М. Сабадаш, В. В. Воронов, П. В. Ковальчук).

Большой объем исследований проведен в области разработки припоев и технологии пайки высоколегированных никелевых сплавов. Под руководством В. Ф. Хорунова впервые детально исследованы тройные системы сплавов (Ni-Cr-Zr, Ni-Cr-Hf), построены проекции поверхностей солидуса и ликвидуса частичной диаграммы состояния Ni-Cr-Zr₂Ni₇ и диаграммы плавкости участков политемпературных разрезов тройных и четверных систем. На основе полученных результатов созданы новые, не известные в мировой практике припойные материалы для пайки изделий из жаропрочных никелевых сплавов (В. Ф. Хорунов, С. В. Максимова). Они позволяют значительно расширить объем применения конструкционной и ремонтной пайки в современном двигателестроении. Соединения, выполненные этими припоями, близки к прочности основного металла при комнатной и высокой (700 °С) температуре. В ИЭС создан уникальный комплекс для изготовления изде-

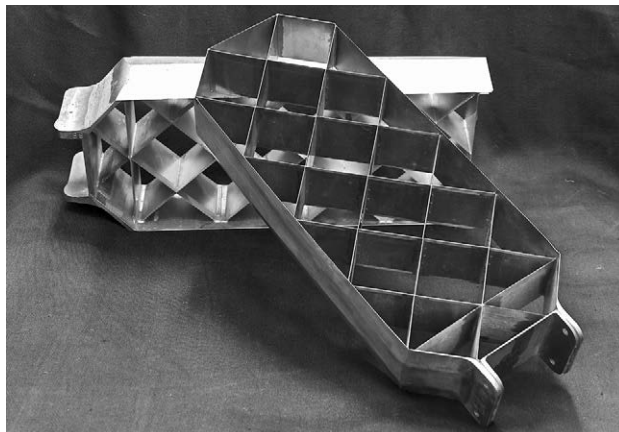


Рис. 5. Узел решетчатого руля (крыла)

лий ответственного назначения (сотовые панели, антенны и т.д.), изделий с аэродинамической нагрузкой (решетчатые рули ракет и др.), в т.ч. при производстве ракет воздух-воздух на предприятии «Вымпел» (Москва) и др. Карусельные вакуумные печи, входящие в этот комплекс, обеспечивают высокую производительность вакуумной пайки и не имеют аналогов в мире [6]. Эта работа в 1982 г. отмечена Государственной премией УССР в области науки и техники (В. Ф. Хорунов, И. А. Владимирская).

Для решения проблемы пайки титановых сплавов, в частности интерметаллидных, изучены фазовый состав и интервалы плавления систем Ti-Zr-Mn, Ti-Zr-Fe, Ti-Zr-Co в широких пределах концентраций, впервые построены поверхности ликвидуса этих систем. Созданные припои позволили получить соединения по структуре и свойствам близкие к основному металлу (В. Ф. Хорунов, С. В. Максимова, В. В. Воронов) [7].

Отделом выполнен и ряд «космических» проектов. Так, был подготовлен и успешно осуществлен эксперимент (станция «Салют-7», космонавты Л. Кизим и В. Соловьев) по пайке на околоземной орбите (В. Ф. Хорунов, В. И. Швец). В рамках международного проекта «Токомак» разработаны припои и технологии пайки разнородных соединений установки термоядерного синтеза и исследованы работоспособность разнородных паяных соединений в условиях жесткой термической нагрузки и нейтронного облучения (В. Ф. Хорунов, С. В. Максимова).

В. Ф. Хорунов был руководителем (с украинской стороны) нескольких международных проектов: «Коперникус» (ЕС) — в области электроники, по разработке припоя с повышенной теплостойкостью; двух проектов под эгидой Министерства энергетики США: совместно с Ливерморской национальной лабораторией (исследование пайки интерметаллидных сплавов Y-TiAl) и Национальной лабораторией «Сандия» (совершенствование технологии пайки авиационных трубопроводов из нержавеющей сталей). Работы отдела отмечены премией Совета Министров СССР (1990).

В 1990-х гг. в ИЭС им. Е. О. Патона продолжалась разработка техники пайки лазером — созданы припои, специальный стенд на базе двухкоординатного манипулятора и лазер ЛТ-104 (В. Ф. Хорунов, В. Д. Шелягин, В. Ю. Хаскин, И. В. Зволинский, С. В. Максимова, А. В. Бернацкий, А. В. Сиора). Так, при соединении оцинкованных деталей на скорости до 2 м/мин. получено хорошее формирование валиков усиления, плавный переход металла припою к цинковому покрытию без нарушения последнего

С 2004 г. В. Ф. Хорунов заслуженный деятель науки и техники Украины, в 2006 г. избран членом-корреспондентом НАН Украины.

В отделе подготовлено четыре доктора наук, 21 кандидат наук из разных регионов СССР и Украины.

В 2017 г. отдел физико-химических процессов пайки возглавила д.т.н. С. В. Максимова. В отделе продолжают фундаментальные и прикладные исследования в области пайки соединений перспективных трудно свариваемых материалов (интерметаллидных, дисперсно-упрочненных, жаропрочных никелевых сплавов), работы по созданию технологических процессов вакуумной пайки и припоев перспективных жаропрочных интерметаллидных, дисперсно-упрочненных сплавов, углеродных материалов, сплавов на основе титана и алюминия [8]. Отдел сотрудничает с КНР, с организациями и предприятиями Украины и ряда др. стран. В ИЭС им. Е. О. Патона ученики А. А. Россошинского и В. Ф. Хорунова успешно проводят научные исследования и создают новые инновационные технологии пайки.

В 2005 г. в одном из выступлений Б. Е. Патон отмечал: «Традиционно большое внимание в институте уделяется фундаментальным и прикладным исследованиям в области пайки, в частности, соединению перспективных трудно свариваемых материалов (интерметаллидных, дисперсно-упрочненных, жаропрочных никелевых сплавов), созданию тонкостенных, в т.ч. многослойных конструкций. Разработаны новые припои для высоколегированных никелевых



Рис. 6. Рабочие будни: у вакуумной установки д. т. н. Максимова С. В. и в.к.р. Кузнецов В. М.

сплавов (например, на основе системы Ni-Cr-Zr). Созданы припои и технология пайки сплавов на основе интерметаллидов, например, γ -TiAl. Разработаны припои, технология и оборудование пайки в вакууме решетчатых конструкций, например, рулей ракет. Создание карусельной установки позволило решить важнейший вопрос — значительное повышение производительности вакуумной пайки.

Большие перспективы для производства тонкостенных конструкций открывает дуговая пайка. Значительное снижение погонной энергии, отсутствие разбрызгивания, подрезов, хорошая поверхность швов — далеко не полный перечень ее преимуществ. В частности, она позволяет соединить оцинкованное железо без потери защитного слоя.

Весьма перспективны для промышленного применения результаты исследований в области пайки алюминия и его сплавов. Так, реактивный флюс для пайки алюминия позволяет паять без припоя, который образуется вследствие реакций компонентов флюса с алюминием. Новый флюс — хорошая основа для создания высокоэффективных технологий в серийном производстве автомобильных радиаторов, излучающих антенн и др. изделий» [9].

Литература

1. Россошинский А. А. Металлография сварных швов. — М.: Машгиз, 1961. — 207 с.
2. А. с. СССР № 507668. Электролизер для получения гремучего газа из воды и водных растворов / В. К. Лебедев, А. А. Россошинский, В. М. Кислицын и др. — Опул. Б. И. — 1976. — № 11.
3. Россошинский А. А. Ультразвуковая микро-сварка. — М.: Энергия, 1977. — 185 с.
4. Россошинский А. А. Олово в процессах пайки / Под. ред. В. В. Подгаецкого. — Киев: Наук. думка, 1985. — 197 с.
5. Хорунов В. Ф. Основы пайки тонкостенных конструкций из высоколегированных сталей. — Киев: Наук. думка, 2008. — 240 с.
6. Хорунов В. Ф. и др. Решетчатые крылья в ракетостроении, космонавтике, авиации. — М.: Новый Центр, 2007. — 407 с.
7. Хорунов В. Ф., Кучук-Яценко В. С., Швец В. И., Сабадаш О. И. Пайка дисперсноупрочненных (частицами SiC) композиционных материалов // С. «Пайка: опыт, искусство, наука. — Т. 1. — М.: Общество «Знание», С. 146–147.
8. В. Ф. Хорунов. Проблемы пайки металлических материалов // Актуальные проблемы современного материаловедения. — Киев: ИД «Академ-периодика», 2008. — Т. 1. — С. 260–284.
9. Патон Б. Е. Современные достижения ИЭС им. Е. О. Патона в области сварки и родственных технологий // Автомат. сварка. — 2005. — № 8. — С. 3–19.

Все для сварки 5-2017

ТОРГОВЫЙ РЯД

Рекламно-информационное приложение к журналу «Сварщик»

ПРАЙС-ОБОЗРЕНИЕ

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

I. СВАРОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

I.0100. Оборудование для дуговой сварки и родственных процессов

I.0110. Генераторы, агрегаты и преобразователи сварочные

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

I.0120. Выпрямители сварочные

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

I.0121. Установки аргонодуговой сварки и напыления

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

I.0130. Трансформаторы сварочные

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

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

П/м А25-001 с ВДГ или ВДУ, БУ встроены в ИП, Ø0,8-3,0 мм, плав. регул.	шт.	договорная	(0512) 581-208, 230-108	Амити НПФ
Проф. инверт. комплекс для MIG/MAG сварки DIGITAL MIG 500	шт.	договорная	(0512) 581-208, 230-108	Амити НПФ
Инверт. свар. комплексы HC 500D, HC350 для MIG/MAG, MMA, TIG сварки	шт.	договорная	(0512) 581-208, 230-108	Амити НПФ
Инвер. п/а MIG 188P, Ø0,6-1,2 мм	шт.	договорная	(0512) 581-208, 230-108	Амити НПФ
Сварочн. механиз. аппараты (полуавтом. для дуговой сварки) Кеттпрі ОУ	шт.	договорная	(056) 767-1577, (094) 910-8577	Саммит 000
ТР-1100, 1500 малогаб. моб. ап-ты двойн. действ., 4,2 кг, 220 В, 10-150 А	шт.	от 2700	(044) 277-2141, 277-2144	Фрониус-Украина 000
П/а промышл. «Варио Стар» (160-400 А) «FRONIUS»	шт.	от 4500	(044) 277-2141, 277-2144	Фрониус-Украина 000
Инверторные п/а, 160-350 А, горелки к п/а и расходные материалы	шт.	договорная	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона
КП 006 с КИГ 401, ПДГ-215, 216	к/шт.	от 10 800	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона
П/автомат FAN MIG 404 GP (Synergy) 400 А, сварка всех сталей и Al	шт.	27 000	(044) 287-2716, 200-8042	Технопарк ИЭС им. Е.О.Патона

I.0150. Автоматы для дуговой сварки

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

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

PLASMA

Взаимозаменяемые части совместимые с более чем 100 системами плазменной резки мировых производителей таких как HYPERTHERM®, ESAB®, KJELLBERG®, SEBORA®, TRAFIMET®, THERMAL DYNAMICS®, SAF®, DAIHEN®, KOMATSU®, MILLER®, MIGATRONIC®, AJAN®, LINCOLN ELECTRIC® и т. д.

LASER

Взаимозаменяемые части и аксессуары совместимые с TRUMPF®, BISTRONIC®, PRECITEC®, AMADA®, MAZAK®, PRIMA POWER®, LVD®, MITSUBISHI® и т. д.

ООО «Термакат Украина ГмбХ»
08130, Киевская обл., с. Петропавловская Борщаговка,
ул. Петропавловская, 24
тел./факс: (044) 403-16-99
e-mail: info@thermacut.ua



www.thermacut.com

OXY-FUEL

Взаимозаменяемые части совместимые с системами газовой резки ведущих мировых производителей MESSER®, HARRIS®, ESAB®

РЕЗАКИ

160 различных ручных и механизированных моделей плазматронов для автоматической и ручной резки. Шланговые пакеты для систем плазменной резки. Плазматроны FHT-EX® разработки THERMACUT

г. Киев: (050) 336-33-91,
(050) 444-22-45
г. Николаев: (050) 333-81-61
г. Харьков: (050) 417-60-68
г. Львов: (050) 382-46-68

HYPERTHERM®, ESAB®, KJELLBERG®, SEBORA®, TRAFIMET®, THERMAL DYNAMICS®, SAF®, DAIHEN®, KOMATSU®, MILLER®, MIGATRONIC®, AJAN®, LINCOLN ELECTRIC®, TRUMPF®, BISTRONIC®, PRECITEC®, AMADA®, MAZAK®, PRIMA POWER®, LVD®, MITSUBISHI®, MESSER®, HARRIS® являются зарегистрированными торговыми марками. Thermacut® никоим образом не связан с данными производителями.

1.0160. Аппараты для воздушно-плазменной резки металлов и сплавов, запасные части

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

1.0170. Сварочные роботы и системы автоматизации сварки

Сварочные роботы Fanuc	шт.	договорная	(056) 767-1577, (094) 910-8577	Саммит 000
Системы автоматизации сварки Кеттпі ОУ	шт.	договорная	(056) 767-1577, (094) 910-8577	Саммит 000

1.0180. Аппаратура управления к сварочному оборудованию

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

1.0200. Машины контактной сварки и комплектующие

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

1.0300. Машины, оборудование, комплектующие для газопламенной сварки, резки и металлизации

1.0310. Машины для термической резки металлов

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

1.0320. Горелки и резаки газокислородные

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

1.0330. Генераторы ацетиленовые

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

1.0340. Редукторы, вентили, смесители, затворы, клапаны

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

1.0350. Карбид кальция

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

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

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

ПИИ ООО
«Бинцель Украина ГмБХ»

Тел./факс:
(044) 403-12-99, 403-13-99
(044) 403-14-99, 403-15-99



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

ABICOR BINZEL

www.binzel-abicor.com

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

I.0360. Рукава и шланги

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

I.0370. Баллоны газовые

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

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

I.0400. Оборудование сварочное механическое и приспособления

I.0500. Комплектующие изделия к сварочному оборудованию

I.0510. Электрододержатели для ручной дуговой сварки

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

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

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

I.0530. Реостаты балластные

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

I.0540. Инструменты

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

I.0550. Электроинструменты

I.0560. Кабельно-проводниковая продукция

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

I.0570 Прочие комплектующие

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

I.0600. Оборудование для термической обработки

I.0700. Средства для защиты металла и оборудования

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

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

II. СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

II.0100. Электроды покрытые металлические

II.0110. Для сварки углеродистых и легированных сталей

Сварочные электроды Buehler, HYUNDAI WELDING	кг	договорная	(056) 767-1577, (094) 910-8577	Саммит 000
АНО-4 (З46), МР-3 (З46), АНО-21 (З46), УОНИ-13/55 (З50А), УОНИ 13/45 (З42А), повыш. кач.	кг	договорная	(044) 200-8056, 248-7336	Экотехнология ДП 000
ЦЛ-39 (З-09Х1МФ), ЦУ-5 (З-50А), ТМЛ-3У (З-09Х1МФ), ТМЛ-1У (З-09Х1М), ТМУ-21У (З50А)	кг	договорная	(044) 200-8056, 248-7336	Экотехнология ДП 000

II.0120. Для сварки нержавеющей сталей

Сварочные электроды Buehler, HYUNDAI WELDING	кг	договорная	(056) 767-1577, (094) 910-8577	Саммит 000
ОЗЛ-6, ЦЛ-11, ОЗЛ-8, ОЗЛ-17У, ЗИО-8, НИИ-48Г, НЖ-13	кг	договорная	(044) 200-8056, 248-7336	Экотехнология ДП 000
ЭА-395/9 (З-11Х15Н25М6АГ2), ЭА-400/10У (З-07Х19Н11М3Г2Ф)	кг	договорная	(044) 200-8056, 248-7336	Экотехнология ДП 000

II.0130. Для сварки цветных металлов и сплавов

II.0140. Для сварки чугуна

МНЧ-2, ЦЧ-4	кг	от 102	(044) 200-8056, 248-7336	Экотехнология ДП 000
-------------	----	--------	--------------------------	----------------------

II.0150. Для наплавки

Т-590, Т-620, ЭН-60М; ОЗН-6, ОЗН-300, ОЗН-400, НР-70, ЦН-6Л, ЦН-12М	кг	договорная	(044) 200-8056, 248-7336	Экотехнология ДП 000
---	----	------------	--------------------------	----------------------

II.0160. Для резки

АНР-2М, АНР-3 Ø 4; 5 мм	кг	договорная	(044) 200-8056, 248-7336	Экотехнология ДП 000
-------------------------	----	------------	--------------------------	----------------------

II.0200. Электроды неплавящиеся

Электроды вольфрамовые (Германия, Китай)	шт.	от 10,0	(044) 200-8056, 248-7336	Экотехнология ДП 000
--	-----	---------	--------------------------	----------------------

II.0300. Проволока сварочная сплошная и прутки

II.0310. Для сварки углеродистых и легированных сталей

Сварочная проволока Buehler, HYUNDAI WELDING	кг	договорная	(056) 767-1577, (094) 910-8577	Саммит 000
Проволока Св-08Г2С омед., в бухтах, на касс. 5,15 кг (Китай)	кг	от 15,0	(044) 200-8056, 248-7336	Экотехнология ДП 000
Проволока Св-08А	кг	9,30	(044) 200-8056, 200-8049	Экотехнология ДП 000

II.0320. Для сварки нержавеющей сталей

Сварочная проволока Buehler, HYUNDAI WELDING	кг	договорная	(056) 767-1577, (094) 910-8577	Саммит 000
Св-07Х25Н13 Ø 1,2, 1,6, 3,0 мм, Св-08Х14Н8СЗБ (ЭП-305) Ø 2,0 мм, Св-08Х20Н9Г7Т Ø 1,6, 3,0, 4,0 мм	кг	69-75	(044) 200-8056, 248-7336	Экотехнология ДП 000

II.0330. Для сварки цветных металлов и сплавов

Проволоки для сварки алюминия на кат., в бухтах, прутках, Ø 0,8-4,0 мм	кг	от 87	(044) 200-8056, 248-7336	Экотехнология ДП 000
--	----	-------	--------------------------	----------------------

II.0340. Для сварки чугуна

ПАНЧ-11, МНЖКТ Ø 1,2-3,0 мм	кг	договорная	(044) 200-8056, 248-7336	Экотехнология ДП 000
-----------------------------	----	------------	--------------------------	----------------------



Сварочные электроды ET-02 с рутил-целлюлозным покрытием

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

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

ВАШ ЛУЧШИЙ ВЫБОР!

ФЛЮС СВАРОЧНЫЙ АН-348А

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



ДП «Экотехнология»

тел. (044) 200-80-42

м. (050) 311-34-41

II.0400. Проволока порошковая

II.0410. Для сварки углеродистых и легированных сталей

Сварочная проволока Voehler, HYUNDAI WELDING	кг	договорная	(056) 767-1577, (094) 910-8577	Саммит 000
ПП-АН1 Ø 2,8 мм, ППР-ЭК1 (для подводной сварки)	кг	договорная	(044) 200-8088, 200-8056	Экотехнология ДП 000

II.0420. Для наплавки

ПП-Нп-30ХГСА	кг	договорная	(044) 200-8056, 248-7336	Экотехнология ДП 000
--------------	----	------------	--------------------------	----------------------

II.0430. Для резки

ППР-ЭК4	кг	договорная	(044) 200-8056, 248-7336	Экотехнология ДП 000
---------	----	------------	--------------------------	----------------------

II.0500. Флюсы плавные и керамические

II.0510. Для сварки углеродистых и легированных сталей

АН-47, АН-348А, АН-26	кг	договорная	(044) 200-8056, 248-7336	Экотехнология ДП 000
-----------------------	----	------------	--------------------------	----------------------

III. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ГАЗЫ

III.0100. Инертные газы (аргон, гелий)

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

Кислород, углекислота, азот	балл.	договорная	(044) 200-8056	Экотехнология ДП 000
-----------------------------	-------	------------	----------------	----------------------

III.0300. Газовые смеси

Аргон, азот, ацетилен, спец. свар. смеси	балл.	договорная	(044) 200-8056, 200-8051	Экотехнология ДП 000
--	-------	------------	--------------------------	----------------------

IV. СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ СВАРЩИКОВ

IV.0100. Щитки маски и очки защитные, комплектующие

Маски сварщика в ассорт., АСФ маска («Speedglass»), щитки свар. и очки защитные в ассорт., шлем пескоструйщика «Кивер», дробеструйщика	шт.	от 18	(044) 200-8056, 200-8051	Экотехнология ДП 000
--	-----	-------	--------------------------	----------------------

IV.0200. Специальная одежда и обувь

Щитки защитные НБТ, костюм, перчатки, краги и рукавицы сварщика, обувь раб. в ассорт.	шт.	от 18	(044) 200-8056, 200-8051	Экотехнология ДП 000
---	-----	-------	--------------------------	----------------------

IV.0300. Средства индивидуальной защиты

Фильтры сменные, респираторные маски (с/без клапана) и полумаски	шт.	договорная	(044) 200-8056, 200-8051	Экотехнология ДП 000
--	-----	------------	--------------------------	----------------------

V. ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИБОРЫ, МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ

V.0100. Приборы и материалы неразрушающего контроля

Термоиндикаторные карандаши на 50-1200 °С «LA-CO» (США)	шт.	договорная	(044) 200-8056	Экотехнология ДП 000
Любые приборы контроля и диагностики под заказ	шт.	договорная	(044) 248-7336, 200-8056	Экотехнология ДП 000

VI. УСЛУГИ

VI.0100. Услуги

Разработка и внедр. технологии ремонта сваркой и наплавкой деталей, узлов и металлоконструкций из стали и чугуна	шт.	договорная	(044) 287-2716, 200-8056	Экотехнология ДП 000
--	-----	------------	--------------------------	----------------------

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

Амити ООО т. (0512) 23 01 08, ф. 58 12 08
 Бинцель Украина ГмбХ ПИИ ООО т./ф. (044) 403 12 99,
 403 13 99, 403 14 99, 403 15 99
 Велдотерм-Україна ТОВ т./ф. (03472) 60 330, weldotherm@ukr.net
 Велтек ТМ ООО т./ф. (044) 200 86 97, 200 84 85,
 200 82 09, 200 87 27
 Витаполис ООО т./ф. (044) 401 64 06, м. (096) 003 03 03
 Запорожстеклофлюс ЧАО т./ф. (061) 239 70 61, 239 70 71,
 239 70 77, 239 70 79
 ЗОНТ ОДО т. (048) 717 00 50, 715 69 40, ф. 715 69 50
 Интерхим-БТВ ООО т. (044) 527 98 52, 527 98 53, ф. 527 98 62
 Линде Газ Украина ЧАО т./ф. (0562) 35 12 25, 35 12 28,
 (056) 790 03 33, (0 800) 30 51 51
 Мигатехиндустрия ООО т. (044) 360 25 21, 500 58 59
 МВЦ ООО т. (044) 201 11 65, 201 11 56, 201 11 58
 НАВКО – ТЕХ НПФ ООО т. (044) 456 40 20, ф. 456 83 53
 ОЗСО ИЭС им. Е.О. Патона ООО... т./ф. (044) 259 40 00, office@paton.ua
 Промавтосварка НТЦ ЧП..... т./ф. (0629) 37 97 31, м. (067) 627 41 51
 Рентстор ООО..... т. (044) 383 18 12, м. (095) 899 18 22
 Саммит ООО т./ф. (056) 767 15 77,
 м. (094) 910 85 77, (067) 561 32 24
 Сварка-Трейдінг ЛТД ООО..... т. (044) 289 40 47, 338 94 38,
 ф. 289 40 37, м. (050) 404 94 38
 СЕВИД ЧП КП..... т. (0552) 37 34 58, ф. 37 35 96, м. (067) 550 11 87
 Сумы-Электрод ООО т. (0542) 22 54 37, ф. 22 54 38, 22 13 42
 Термакат Украина Гмбх ООО... т./ф. (044) 403 16 99, м. (050) 336 33 91
 Технолазер-Сварка ООО т. (0512) 36 91 20, ф. 50 10 01, 57 21 27
 Технопарк ИЭС им. Е.О. Патона ООО т. (044) 287 27 16, 200 80 42
 Триада-Сварка ООО т. (061) 220 00 79, ф. 233 10 58,
 м. (050) 322 95 53, 322 50 03
 Фрониус Украина ООО т. (044) 277 21 41, 277 21 40, ф. 277 21 44
 Зкотехнология ДП ООО т./ф. (0-44) 200 80 56 (многокан.),
 287 26 17, 287 27 16, 200 80 42, 248 73 36

Подписка-2017 на журнал «Сварщик»
 подписной индекс 22405. Подписку на журнал
 можно оформить у региональных представителей:

Город	Название подписного агентства	Телефон
Винница	ЗАО «Блиц-Информ»	(0432) 27-66-58
Днепропетровск	ЗАО «Блиц-Информ»	(056) 370-10-50
	ООО «Меркурий»	(056) 778-52-86
Житомир	ЗАО «Блиц-Информ»	(0412) 36-04-00
Запорожье	ЗАО «Блиц-Информ»	(0612) 63-91-82
Ивано-Франковск	ЗАО «Блиц-Информ»	(03422) 52-28-70
	ООО «Бизнес Пресса»	(044) 248-74-60
	ЗАО «Блиц-Информ»	(044) 205-51-10
Киев	ООО «Периодика»	(044) 449-05-50
	ООО «Пресс-Центр»	(044) 252-94-77
	ЗАО «Блиц-Информ»	(0522) 32-03-00
Кировоград	ЗАО «Блиц-Информ»	(05366) 79-90-19
Кременчуг	ЗАО «Блиц-Информ»	(05366) 79-90-19
Кривой Рог	ЗАО «Блиц-Информ»	(0564) 66-24-36
Луцк	ЗАО «Блиц-Информ»	(0332) 72-05-48
	ЗАО «Блиц-Информ»	(0322) 39-28-69
Львов	«Фактор»	(0322) 41-83-91
	ЗАО «Блиц-Информ»	(0629) 33-54-98
Мариуполь	ЗАО «Блиц-Информ»	(0512) 47-10-82
Николаев	ООО «Ню Хау»	(0512) 47-20-03
	ЗАО «Блиц-Информ»	(048) 711-70-79
Одесса	ЗАО «Блиц-Информ»	(05322) 7-31-41
Полтава	ЗАО «Блиц-Информ»	(0362) 62-56-26
Ровно	ЗАО «Блиц-Информ»	(03122) 2-38-16
	ЗАО «Блиц-Информ»	(0572) 17-13-27
Харьков	ДП «Фактор-Пресса»	(0572) 26-43-33
	«Форт» Издательство	(0572) 14-09-08
	ДПЗАО «Блиц-Информ»	(0552) 26-36-49
Хмельницкий	ЗАО «Блиц-Информ»	(0382) 79-24-23
Черкассы	ЗАО «Блиц-Информ»	(0472) 47-05-51
Черновцы	ЗАО «Блиц-Информ»	(03722) 2-00-72
Чернигов	ЗАО «Блиц-Информ»	(04622) 4-41-61

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА

Название книги	Цена (грн.)*
В. М. Литвинов, Ю. Н. Лысенко. Кислородная резка и внепечной нагрев в тяжелом машиностроении. 2017. — 368 с.	120
В. И. Лакомский, М. А. Фридман. Плазменно-дуговая сварка углеродных материалов с металлами. 2004. — 196 с.	60
А. А. Кайдалов. Электронно-лучевая сварка и смежные технологии. Издание 2-е, переработанное и дополненное. 2004. — 260 с.	60
О. С. Осика та ін. Англо-український та українсько- англійський словник зварювальної термінології. 2005. — 256 с.	60
В. М. Корж. Газотермічна обробка матеріалів: Навчальний посібник. 2005. — 196 с.	60
В. Я. Кононенко. Газовая сварка и резка. 2005. — 208 с.	60
С. Н. Жизняков, Э. А. Сидлин. Ручная дуговая сварка. Материалы. Оборудование. Технология. 2006. — 368 с.	100
А. Я. Ищенко и др. Алюминий и его сплавы в совре- менных сварных конструкциях. 2006. — 112 с. с илл. 60	60
П. М. Корольков. Термическая обработка сварных соединений. 3-е изд., перераб. и доп. 2006. — 176 с.	60
А. Е. Анохов, П. М. Корольков. Сварка и термическая обработка в энергетике. 2006. — 320 с.	60
Г. И. Лащенко. Способы дуговой сварки стали плавящимся электродом. 2006. — 384 с.	60
А. А. Кайдалов. Современные технологии термической и дистанционной резки конструкционных материалов. 2007. — 456 с.	60
П. В. Гладкий, Е. Ф. Переплетчиков, И. А. Рябцев. Плазменная наплавка. 2007. — 292 с.	60
А. Г. Потапьевский. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Часть 1. Сварка в активных газах. 2007. — 192 с.	60
Г. И. Лащенко, Ю. В. Демченко. Энергосберегающие технологии послесварочной обработки металлоконструкций. 2008. — 168 с.	60
Б. Е. Патон, И. И. Заруба и др. Сварочные источники питания с импульсной стабилизацией горения дуги. 2008. — 248 с.	60
Э. А. Сидлин. Производство электродов для ручной дуговой сварки. 2009. — 464 с.	120
В. Н. Радзиевский, Г. Г. Ткаченко. Высокотемпературная вакуумная пайка в компрессоростроении. 2009. — 400 с.	90
В. Н. Корж, Ю. С. Попиль. Обработка металлов водородно-кислородным пламенем. 2010 — 194 с.	60
**Г. И. Лащенко. Современные технологии сварочного производства. 2012. — 720 с.	80

* Цены на книги указаны без учета стоимости доставки
 ** Продается только в электронной версии.
 Электронные версии книг стоят в два раза дешевле.

**Подписка-2017
на журнал «Сварщик»
в каталоге «Укрпочта»
Подписной индекс
22405**

Сервисная карточка читателя

Без заполненного
формуляра
недействительна

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

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

1701	1702	1703	1704	1705	1706	1707
1708	1709	1710	1711	1712	1713	1714
1715	1716	1717	1718	1719	1720	1721
1722	1723	1724	1725	1726	1727	1728
1729	1730	1731	1732	1733	1734	1735
1736	1737	1738	1739	1740	1741	1742
1743	1744	1745	1746	1747	1748	1749

Заполняется печатными буквами

Ф. И. О. _____

Должность _____

Тел. (_____) _____

Предприятие _____

Подробный почтовый адрес: _____

« _____ » _____ 2017 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 2017 г.

На внутренних страницах					
Площадь	Размер, мм	Грн.*			
1 полоса	210×295	4500			
1/2 полосы	180×125	2400			
1/4 полосы	88×125	1200			
На страницах основной обложки					
Страница	Размер, мм	Грн.*			
1 (первая)	215×175	10000			
8 (последняя)	210×295 (после обрезки 205×285)	7000			
2 и 7		6000			
На страницах внутренней обложки					
Стр. (площадь)	Размер, мм	Грн.*			
3-4 (1 полоса)	210×295	5500			
5-6 (1 полоса)	210×295	5000			
5-6 (1/2 полосы)	180×125	2600			
Визитка или микромодульная реклама					
Площадь	Размер, мм	Грн.*			
1/16	90×26	360			
* (все цены в грн. с НДС): Рекламно-техническая статья: 1 полоса (стр.) — 1800 грн.					
Блочная ч-б реклама и строчные позиции на страницах рекламного приложения «Все для сварки. Торговый ряд»					
Часть площади стр.	Размер, мм (гор. или верт.)	Цена, грн. с НДС			
1/2	180×125	700			
1/3	180×80 или 88×160	600			
1/4	180×60 или 88×120	500			
1/6	180×40 или 88×80	400			
1/8	180×30 или 88×60	300			
1/16	180×15 или 88×30	200			
Строчные ч-б позиции					
Кол-во позиций	Обычные позиции, грн.	Выделенные позиции, грн.			
10	400	500			
15	600	750			
20	800	1000			
Прогрессивная система скидок					
Количество подач	2	3	4	5	6
● Скидка	5%	10%	13%	17%	20%
Требования к оригинал-макетам					
Для макетов «под обрез»: формат издания после обрезки 205×285 мм; до обрезки 210×295 мм; внутренние поля для текста и информативных изображений не менее 15 мм.					
Файлы принимаются в форматах: PDF, AI, INDD, TIF, JPG, PNG, WMF PSD, EPS, CDR, QXD с прилинкованными изображениями и шрифтами. Изображения должны быть качественными, не менее 300 dpi, цветовая модель CMYK, текст в кривых, если нет шрифтов. Размеры макета должны точно соответствовать указанным редакцией.					
Подача материалов в очередной номер — до 15-го числа нечетного месяца (например, в № 6 — до 15.11)					
Зам. гл. ред., рук. ред., В.Г. Абрамишвили , к.ф.-м.н.: тел./факс: (044) 200-80-14 , моб. (050) 413-98-86 e-mail: welder.kiev@gmail.com					
Ред., зам. рук. ред., О.А. Трофимец : тел.: (044) 200-80-18 e-mail: trofimits.welder@gmail.com					
www.welder.stc-paton.com					