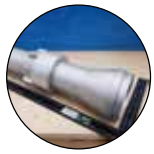
5 (93) 2021
Журнал выходит 6 раз в год.
Издается с мая 2006 г.
Подписной индекс **20994**
в каталоге «Пресса России»
Подписной индекс **E20994**
в каталоге Агентства «Книга-Сервис»
Подписной индекс **K0103** в каталоге
российской прессы «Почта России» —
персональная подписка

Производственно-технический журнал
СВАРЩИК В РОССИИ
№ 5 2021

СОДЕРЖАНИЕ

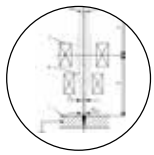
Поздравляем 4



Новости техники и технологий 5

Технологии и тенденции сварки алюминиевых сплавов

Тенденции технологического развития процессов дуговой сварки в защитных газах для соединения современных алюминиевых сплавов.
Т.М. Лабур 6



Процессы сварки и родственных технологий с вакуумной защитой

Роль вакуума в процессах сварки и родственных технологий.
Г.И. Лащенко 18

Оборудование для производства

Полуавтомат для кислородной резки металлических заготовок большой толщины.
В.М. Литвинов, А.Е. Мерзляков, С.Н. Косинов, А.А. Задорожный 25

Выставки и конференции

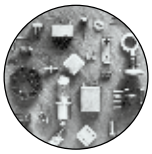
20-я Юбилейная Международная выставка сварочных материалов, оборудования и технологий Weldex 2021 30

Мемуары о Б.Е. Патоне

Стратегия Б.Е. Патона в информационной борьбе за приоритет.
А.Н. Корниенко 33

Вклад ИЭС им. Е.О. Патона в научно-технический прогресс. Памяти Б.Е. Патона

Сварка и родственные технологии - боевому ракетостроению. Часть 6. Боевые ракетные комплексы третьего поколения. Новая стратегия стимулирует развитие электроники.
Л.М. Лобанов, А.Н. Корниенко 38



Congratulations 4

News of engineering and technology 5

Technologies and trends in welding aluminium alloys

- Trends in the technological development of gas-shielded arc welding processes for joining modern aluminium alloys. *T.M. Labour* 6

Vacuum protected welding and related technologies

- The role of vacuum in welding processes and related technologies. *G.I. Laschenko* 18

Equipment for the production

- Semiautomatic machine for oxygen cutting of thick metal workpieces. *V.M. Litvinov, A.E. Merzlyakov, S.N. Kosinov, A.A. Zadorozhny* 25

Exhibitions and conferences

- 20-th Anniversary International exhibition of welding materials, equipment and technologies Weldex 2021 30

Memoirs about B.E. Paton

- B.E. Paton's strategy in the information struggle for priority. *A.N. Kornienko* 33

Contribution of the E.O. Paton EWI in scientific and technological progress. In memory of the B.E. Paton

- Welding and related technologies – for combat rocketry. Part 6. Combat missile systems of the third generation. The new strategy is driving the development of electronics. *L.M. Lobanov, A.N. Kornienko* 38

Производственно-технический журнал

СВАРЩИК В РОССИИ

технологии производство ремонт

5(93) 2021

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

Издатель	ООО «Центр трансфера технологий Института электросварки им. Е. О. Патона», ООО «Специальные сварочные технологии»
Тел. моб.	+7 903 795 18 49
E-mail	ctt94@mail.ru

Главный редактор	В. Д. Позняков
Зам. главного редактора	В. Г. Абрамишвили
Редактор	В. Г. Абрамишвили
Верстка и дизайн	Д. И. Середа

За достоверность информации и содержание рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели.
Мнение авторов статей не всегда совпадает с позицией редакции.
Рукописи не рецензируются и не возвращаются.
Редакция оставляет за собой право редактировать и сокращать статьи. Переписка с читателями — только на страницах журнала.
При использовании материалов в любой форме ссылка на «Сварщик в России» обязательна.

Подписано в печать 12.11.2021. Формат 60×84 1/8.
Печать офсетная. Бумага офсетная. Гарнитура PetersburgC.
Отпечатано в ЗАО «ТДДС-Столица-8».
Заказ № 7589 от 10.11.2021. Тираж 1000 экз.

Издание выходит при содействии производственно-технического журнала **«Сварщик»**

Учредители	Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ, ООО «Технопарк ИЭС им. Е.О. Патона»
Издатель	НТК «ИЭС им. Е.О. Патона» НАНУ
Главный редактор	В. Д. Позняков
Зам. главного редактора	В. Г. Абрамишвили
Редакционная коллегия	В. А. Белинский, Ю. К. Бондаренко, А. В. Вавилов, Ю. В. Демченко, В. М. Илюшенко, Г. И. Лащенко, О. Г. Левченко, В. М. Литвинов, Л. М. Лобанов, А. А. Мазур, В. И. Панов, П. П. Проценко, С. В. Пустовойт, И. А. Рябцев А. А. Сливинский
Адрес редакции	03150, Киев, а/я 337
Тел./факс	+380 44 200 80 14
E-mail	welder.kiev@gmail.com
URL	**http://www.welder.stc-paton.com**

Подписка-2021

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

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

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

Тенденции технологического развития процессов дуговой сварки в защитных газах для соединения современных алюминиевых сплавов.

Т.М. Лабур

Проанализированы особенности современных технологических разработок дуговой сварки алюминиевых сплавов. Отмечено, что качество шва в значительной степени определяется стабильностью выполнения процесса формирования неразъемных соединений, которое в свою очередь зависит от уровня развития цифрового управления сварочными источниками питания и соответствующих сварочных присадочных проволок и защитных газов. Описывается уровень систематизации указанных процессов, рассматриваются достижения в области составляющих технологий в них, а также выделяются приоритетные направления развития сварочных технологий для создания унифицированных конструкций из алюминиевых сплавов.

Роль вакуума в процессах сварки и родственных технологий.

Г.И. Лащенко

Рассмотрены металлургические и технологические особенности способов сварки и родственных процессов с применением вакуумной защиты. Показано, что вакуум не только является защитной средой, предохраняющей металл от действия атмосферы, но он ускоряет и более полноценно завершает термодинамические и кинетические процессы, протекающие в расплавленном и нагретом металле. Вакуум способствует увеличению проплавления при электронно-лучевой и лазерной сварке, радикально улучшает физико-механические и служебные характеристики сварных, паяных соединений и покрытий различных металлов и сплавов. Можно прогнозировать расширение дальнейшего применения и развития вакуумной защиты для решения сложных технических и технологических задач как в земных, так и в космических условиях.

Полуавтомат для кислородной резки металлических заготовок большой толщины.

В.М. Литвинов, А.Е. Мерзляков, С.Н. Косинов, А.А. Задорожный

Разработан полуавтомат ПАКР для кислородной резки металлических заготовок большой толщины. Он состоит из ручного резака, в конструкцию которого внесены следующие изменения: убраны регулировочные вентили и рычажный клапан для включения - выключения режущего кислорода, вместо них на рукоятке резака предусмотрены 2 микропереключателя для управления электромагнитными клапанами, расположенными отдельно в блоке управления полуавтомата. Кроме резака и блока управления, в состав полуавтомата входят: узел подключения полуавтомата к цеховым магистралям рабочих газов и резинотканевые рукава, соединяющие цеховые магистрали и блок управления, а также блок управления и кислородный резак. Приведены технические характеристики резака, описаны его устройство и работа, представлены чертежи основных узлов и деталей, имеющих расчетные каналы. На конкретных примерах показана работа резака. Качество поверхности реза проиллюстрировано фотографиями.

Сварка и родственные технологии - боевому ракетостроению. Часть 6. Боевые ракетные комплексы третьего поколения. Новая стратегия стимулирует развитие электроники.

Л.М. Лобанов, А.Н. Корниенко

Описывается история создания в 1960-х гг. в США и СССР систем противоракетной обороны (ПРО). Показано, как очередной этап гонки ракетно-ядерного вооружения повлиял на развитие электронной техники. Работа велась по всем направлениям, начиная от поиска материалов для полупроводников, технологий получения кристаллов и кончая производством приборов, систем и механизмов управления. Сварку, пайку и родственные технологии для ПРО разрабатывали ИЭС им. Е.О. Патона, Институт кибернетики, КБ «Хартрон», МВТУ им. Н.Э. Баумана, ВНИИЭСО, НИИТМ, ИМЕТ им. А.А. Байкова, МИЭМ и многие др. организации и вузы. МБР третьего поколения, созданные в СССР (Главные конструкторы М.К. Янгель и В.Н. Челомей) обладали быстрым безошибочным функционированием систем автоматического управления на всех этапах применения. Успехи в развитии электронно-вычислительной техники повысили уровень производства и во многих др. отраслях.

Санкт-Петербургскому государственному морскому техническому университету – СПбГМТУ – 90-лет!

Уважаемый Глеб Андреевич!

Рад поздравить преподавателей, ветеранов и воспитанников Санкт-Петербургского государственного морского технического университета с 90-летием прославленного вуза! На протяжении почти вековой истории тысячи талантливых специалистов - инженеров и конструкторов судов, боевых кораблей, руководителей судостроительных предприятий и научно-исследовательских институтов получили здесь путевку в жизнь.

Сегодня вуз активно взаимодействует с городом в повышении качества образовательной и научной деятельности, расширяет практику целевого обучения. Прорывные открытия и разработки СПбГМТУ стали мощным вкладом в развитие научно-технической и инженерной мысли, в укрепление обороноспособности России.

Уверен, высокий уровень преподавания, наличие собственных научных школ и мощного исследовательского потенциала, преданность делу сотрудников и в дальнейшем будет способствовать сохранению и приумножению традиций отечественного кораблестроения.

В знаменательный день желаю всему коллективу и студентам университета новых свершений на благо российской и петербургской науки и высшего образования!

Губернатор Санкт-Петербурга, А.Д. Беглов

www.smtu.ru

#1370

Евгению Павловичу Шелепову – 80 лет!

11 августа 2021 г. исполнилось 80 лет видному специалисту в сфере производства сварочных электродов кандидату технических наук Шелепову Евгению Павловичу. Вся его творческая и практическая деятельность посвящена изучению вопросов термообработки покрытых сварочных электродов для ручной дуговой сварки. Многолетняя целенаправленная работа в избранном направлении позволило ему стать ведущим специалистом Европы. Основательную научную и практическую школу он прошел в институте ВНИПИТеплопроект, тесно сотрудничая с промышленными предприятиями – производителями сварочных электродов, в первую очередь, с Московским опытным сварочным заводом, разработчиком и изготовителем широкой гаммы электродов различного назначения с разнообразными видами покрытий, что обеспечило Евгению Павловичу обширное поле для исследований.

Е.П. Шелеповым были выполнены фундаментальные исследования процессов, происходящих в электродных покрытиях на различных стадиях термообработки в газовых и электрических печах. Им глубоко изучены вопросы кинетики провяливания электродов, получены сорбционные характеристики электродных покрытий, а также величины энергии связи влаги со скелетом покрытий и значения коэффициентов теплопроводности последних. Е.П. Шелеповым было корректно проанализировано действие каждой из движущих сил влагопереноса: градиента влажности, температуры и давления в зависимости от условий термообработки. Специальные исследования были посвящены анализу энергопотребления в печах с раздельным и поточным способами термообработки, что потребовало разработки соответствующей методики.

Результаты проведенных им исследований легли в основу разработки принципиальных схем высокопроизводительных поточных линий, исходных требований на проектирование и тепловых расчетов целого ряда печей, которые были спроектированы, изготовлены и успешно внедрены в производство под авторским надзором Е.П. Шелепова, творчески и скрупулезно осуществившем эту работу. Такими печами были оснащены Лосиноостровский электродный завод, Московский опытный сварочный завод, Спецэлектрод, ЦРМЗ Мосэнерго, Ротекс, Запсиб и др. предприятия.

Результаты выполненных Е.П. Шелеповым работ опубликованы в ведущих сварочных журналах, в т.ч. в последние годы в журнале «Сварщик в России», сборниках трудов профильных организаций, докладов конференций и семинаров. Следует отметить, что они широко представлены в монографии: «Производство электродов для ручной дуговой сварки» (Киев, Экотехнология, 2009 г., 464 с.).

В течение многих лет я имею удовольствие тесно сотрудничать с Евгением Павловичем, постоянно убеждаясь не только в его высочайшем профессионализме, но и глубокой порядочности, доброжелательности, интеллигентности, скромности.

Сердечно поздравляем уважаемого Евгения Павловича Шелепова со славным юбилеем, желаем ему доброго здоровья, долголетия, всяческого благополучия, творческих успехов и всего самого наилучшего!

З.А. Сидлин, д.т.н., академик Контенант,
заслуженный изобретатель России,
Редакция журнала «Сварщик в России»

#1371

Специалисты ИЛИСТ СПбГМТУ и АО «НПО «ЦНИИТМАШ» с помощью аддитивных технологий изготовили первый сепарационный элемент для АЭУ атомных ледоколов

Специалисты ГНЦ РФ АО «НПО «ЦНИИТМАШ» (входит в машиностроительный дивизион «Росатома» – АО «Атомэнергомаш») в рамках совместной работы с АО «ЗиО-Подольск» (также входит в – АО «Атомэнергомаш») впервые в России изготовили, применив аддитивные технологии, опытный образец сепарационного элемента для энергетических установок серийных атомных ледоколов. Разработанная конструкция также может быть применена в проектах плавучих энергетических блоков, в т. ч. модернизированных.

Изделие было изготовлено по технологии прямого лазерного выращивания из коррозионностойкой стали в кооперации с ФГБУ ВО «СПбГМТУ» и ПАО «Русполимет». Применение аддитивных технологий для серийного изготовления сепарационного модуля позволит сократить время производства до 4-х раз.

«Сейчас предстоит произвести независимую всестороннюю оценку надежности изделия и подготовить прототип к стендовым испытаниям. Надеюсь, что результаты работы помогут уменьшить скептицизм в оценке возможности применения аддитивных технологий в атомном машиностроении», - рассказал руководитель работы – замдиректора института сварки ЦНИИТМАШ Павел Алексеенок.

«Использование аддитивных технологий при изготовлении основных элементов оборудования для объектов атомной энергетики открывает новые горизонты для производства, а приобретение абсолютно нового уровня знаний нашими специалистами, уверен, обеспечит возможность изготавливать изделия в разы быстрее, сохранив при этом качество выпускаемой заводом продукции», – отметил замгенерального директора – техдиректор АО «ЗиО-Подольск» Михаил Хижов.

3d модель сепарационного элемента

Демонстратор сепарационного элемента, изготовленный по технологии прямого лазерного выращивания

Помимо непосредственного применения, данное устройство может использоваться не только в новейших плавучих энергетических блоках, но и для модернизации уже произведенных моделей. Основными параметрами изделия являются: масса 18 кг, размеры 156x800 мм со средней толщиной стенок 3-5 мм. Используемый материал 08Х18Н10Т (ПАО «Русполимет»). Сепарационный элемент центробежного типа применяется в энергетических установках серийных атомных ледоколов.

Сфера применения изделия: сепарационный элемент центробежного типа для энергетических установок серийных атомных ледоколов.

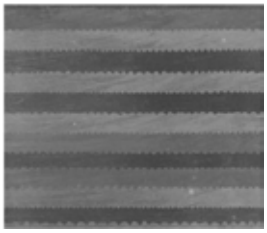
Материал: 08Х18Н10Т (ПАО «Русполимет»)
Габариты: Dmax = 156 мм, H = 800 мм
Средняя толщина стенок: 3 – 5 мм
Масса: 18 кг

#1372

Сварка взрывом. Получение биметаллических и многослойных композиционных материалов

Характеристики метода: Биметаллические и многослойные композиционные материалы, полученные с помощью сварки взрывом сочетают в себе высокую конструкционную прочность, высокую коррозионную стойкость и другие специальные свойства. Сварка взрывом позволяет получать качественные сварные соединения на больших площадях из таких металлов и сплавов, как титан – сталь, алюминий – сталь и др. сочетаний, соединение которых традиционными методами сварки невозможно или вызывает значительные затруднения. В качестве плакирующего слоя применяется титановый сплав ВТ1-0, нержавеющие стали типа 0Х18Н10Т, медь, медноникелевые и алюминиевые сплавы толщиной от 0,5 до 16 мм. Процесс получения биметаллических заготовок с помощью сварки взрывом отличается высокой производительностью – за один подрыв заряда можно соединить между собой листы площадью более 5 кв. м каждый. Прочность сварки определяется прочностью соединяемых материалов и зачастую превышает эти значения в исходном состоянии.

Преимущества: Преимущество метода сварки взрывом от традиционных способов сварки плавлением заключается в том, что свариваемые материалы, не расплавляются, а взаимодействуют в твердой фазе, ввиду чего между ними не образуются нежелательные прослойки интерметаллидов, резко снижающие прочность соединений. Биметалл титан-сталь применялся при изготовлении теплообменного оборудования для финской АЭС «Ловиса», болгарской АЭС «Козлодуй», для Ленинградской АЭС-2. Биметаллы МНЖ5-1-сталь 08Х22Н6Т, 08Х18Н10Т – сталь 15ХН3МФА использованы при изготовлении судовых теплообменников, успешно прошедших ресурсные испытания.



Микроструктура многослойного соединения меди, латуни и нержавеющей стали толщиной 1,5-2 мм, полученного сваркой взрывом

www.crism-primetey.ru

#1373

Тенденции технологического развития процессов дуговой сварки в защитных газах для соединения современных алюминиевых сплавов

Т.М. Лабур, д. т. н., ИЭС им. Е.О. Патона (Киев)

Проанализированы особенности современных технологических разработок дуговой сварки алюминиевых сплавов. Отмечено, что качество шва в значительной степени определяется стабильностью выполнения процесса формирования неразъемных соединений, которое в свою очередь зависит от уровня развития цифрового управления сварочными источниками питания и соответствующих сварочных присадочных проволок и защитных газов. Описывается уровень систематизации указанных процессов, рассматриваются достижения в области составляющих технологий в них, а также выделяются приоритетные направления развития сварочных технологий для создания унифицированных конструкций из алюминиевых сплавов.

Соотношение веса и прочности делают алюминиевые сплавы более приоритетными по сравнению со сталями при изготовлении и эксплуатации ответственных технических систем и машин различного назначения. Появление на рынке новых алюминиевых сплавов и постоянное расширение областей их применения требуют не только широкого использования известных сварочных технологий, но и разработки принципиально новых технологических решений для изготовления качественных сварных конструкций.

Существенной причиной, которую необходимо учитывать при выборе конструкционных материалов, является широкий спектр свариваемости алюминиевых сплавов. Практически большинство из них (за исключением нескольких сплавов серий 2xxx- и 7xxx-) являются свариваемыми при использовании следующих процессов соединения:

- дуговая сварка вольфрамовым электродом в защитных газах (TIG);
- дуговая сварка плавящимся электродом в защитных газах (MIG);
- плазменно-дуговая сварка (ПДС);
- лазерно-дуговая сварка (ЛДС);
- электронно-дуговая сварка (ЭДС);
- сварка трением с перемешиванием (СТП);
- точечная сварка сопротивлением (ТСС);
- все виды пайки;
- склеивание.

Среди многообразия методов соединения, тем не менее, дуговая сварка остается наиболее используемым способом при создании конструкций. Это объясняется ее стоимостью, удобством осуществления процесса в промышленных условиях, а также наличием, степенью проработки и промышленного освоения нормативных документов, необходимых для воспроизводства процессов. Последние 30 лет отмечается активное усовершенствование некоторых сопутствующих дуговой сварке технологических процессов. Оно охватывает современные требования промышленности, среди которых: «повышение производительности выполняемых сварочных работ», «стабильность качества получаемого шва» и «экономия трудозатрат».

Следует отметить, что создать унифицированную установку для выполнения автоматической сварки алюминиевых сплавов не всегда удается, поскольку детали запрашиваемой функции различаются в зависимости от химического состава применяемых материалов, формы и габаритов конструкции, используемого способа сварки, термообработки до и после сварки и т.д. Однако основными требованиями для всех технологических разработок остаются повышение производительности процесса сварки и стабилизация качества шва. А это неразрывно связано с результатами научных поисков и разработкой передовых технологий автоматической сварки.

В данной статье описаны последние достижения в области основных процессов дуговой сварки (TIG и MIG) современных алюминиевых сплавов в защитных газах, а также некоторые тенденции их дальнейшего технологического развития. Вследствие большого количества и разнообразия названий сварочных процессов даже опытные пользователи сталкиваются с проблемами при поиске обзора и, в особенности, классификации, а также сопоставления и отнесения новых дуговых технологий к ранее хорошо известным типам дуги и режимам переноса присадочного металла. Это связано с тем, что модифицированные режимы переноса металла еще полностью не были учтены в стандартах и технических бюллетенях до настоящего момента. В настоящей статье дается обзор в независимой и нейтральной форме. Кроме того, проанализированы особенности новых процессов и проведено сравнение их с ранее известными типами дуги, такими,

как короткие, импульсные и струйные дуги [1-5].

Как отмечалось выше, дуговая сварка вольфрамовым электродом и плавящимся электродом в защитных газах, плазменно-дуговая и гибридные способы сварки остаются традиционными методами соединения для алюминиевых сплавов. В некоторых отраслях производства сварных конструкций наиболее распространен метод дуговой сварки плавящимся электродом в защитных газах. Процесс дуговой сварки вольфрамовым электродом реализуется на небольшой скорости, поэтому с точки зрения промышленных требований малоэффективен, в то время, как плазменно-дуговая сварка, хоть и подходит для соединения тонких листов, является весьма дорогостоящей и не обеспечивает должной производственной гибкости процесса в условиях ее заводской реализации, что часто отмечается при использовании технологии сварки плавящимся электродом в защитных газах [6-9].

Это связано, прежде всего, с тем, что дуговая сварка плавящимся электродом в защитных газах является относительно недорогим способом соединения различных материалов с высокой степенью эффективности изготовления легких конструкций, который легко автоматизировать и интегрировать в производственную линию. А самое важное – это то, что данный способ сварки использует относительно небольшую величину тепловложения. Преобразование жидкого материала в твердое состояние при охлаждении может вызвать возникновение некоторых нежелательных явлений – сегрегации и образование дефектов [4, 5]. Среди них могут быть «горячие трещины» или пористость. Повышенная скорость охлаждения, обусловленная скоростью кристаллизации, может вызывать выраженную усадочную деформацию, которую необходимо устранять [10-15]. Чтобы избежать проявления указанных дефектов, а также сократить время на переработку некачественных швов, требуются способы сварки с ограниченной величиной тепловложения, улучшенным контролем и возможностью воспроизводства рекомендуемых параметров сварки в промышленных условиях.

Мировое сварочное сообщество значительное внимание уделяет новым инновационным процессам сварки конструкционных материалов, включая алюминиевые сплавы, исследованиям текущего состояния и проблемам промышленной реализации. Согласно статистическим данным [6-16], полученным на основе анализа опубликованных результатов научных исследований, выполненных различными комиссиями МИС, за последние 30 лет для многих отраслей промышленности имеется значительный дефицит сварочных технологий. Прежде всего, это обусловлено необходимостью обеспечения более высоких скоростей сварки с целью экономии затратных материалов и энергоресурсов. Остаются также не решенными проблемы сварки материалов, которые плохо соединяются. К ним относятся композитные материалы, а также материалы с новыми характеристиками, включая материалы с наноразмерной структурой. Поиск таких решений зависит от ряда технологических проблем, связанных с явлениями в дуге, которые являются определяющим фактором для обеспечения высокой эффективности, скорости наплавки, и важны для повышения точности управления процессом соединения материала.

Анализ использования ранее разработанных технологий сварки плавлением различных полуфабрикатов алюминиевых сплавов показывает, что во всех отраслях промышленности в ходе их освоения выдвигались, в основном, практические требования. Обобщая их, можно выделить следующие условия:

- более высокие скорости сварки для экономии расходов материалов и потребления энергии;
- доступность реализуемых процессов сварки и возможность их роботизации с целью компенсировать отсутствие квалифицированных сварщиков и сварочных операторов;
- решение проблемы соединения плохо свариваю-щихся материалов, таких, как композитные материалы и материалы с новыми структурными характеристиками.

Скорость сварки, как одна из основных характеристик режима сварки, наиболее активно влияет на пористость швов. Ее повышение усиливает склонность металла к образованию пор, что обусловлено сокращением времени нахождения металла в жидком состоянии и ростом скорости охлаждения и кристаллизации [16–20]. В результате ухудшаются условия выделения газов из сварочной ванны. Увеличение напряжения дуги ухудшает газовую защиту ванны и может вызвать образование пор в шве. Малая величина напряжения также вызывает появление пористости при эксцентричном размещении торца сварочной проволоки относительно направления газового потока. Повышение силы сварочного тока приводит к уменьшению пористости вследствие роста мощности дуги и соответствующим увеличением времени пребывания металла в жидком состоянии. Кроме того, на частоту образования пор влияет вид и полярность сварочного тока.

По результатам обобщения ряда исследований можно обнаружить высокий рейтинг первых 2-х пунктов требований. Он связан с необходимостью решить задачи автоматизации и роботизации технологических процессов дуговой сварки, которые в настоящее время рассматривают как ключевые технологии для обеспечения повышенной производительности и стабильного качества, а также как средство для достижения таких целей, как экономия трудозатрат и работа без участия человека [1–4].

Нет сомнений в том, что явления в дуге при дуговой сварке являются определяющим фактором для достижения эффективности технологии, высокой скорости наплавки, а также обеспечения точности управления процессом сварки.

Как известно [5-15], технология сварки неплавящимся электродом (TIG) связана с механизмом подачи проволоки в сварочную ванну. Температура подачи проволоки может быть разной. В зависимости от этого наблюдается хорошее формирование шва или возникают дефекты, которые вызваны термоэмиссионной способностью вольфрама. В этом случае дуга горит стабильно даже при малой плотности электрического тока. Такой способ сварки получил более широкое распространение, когда была воплощена идея интенсификации перемешивания металлического расплава в сварочной ванне с целью измельчения оксидных включений и одновременно его дегазации путем использования пульсирующих режимов сварки. Следует отметить, что данный способ дуговой сварки вольфрамовым электродом выполняется на сравнительно небольшой скорости, что влияет на эффективность процесса. В то время, как плазменно-дуговая сварка, которая является ее модификацией, имеет высокую стоимость, но при этом не обеспечивает требуемую на производстве технологическую гибкость, присущую дуговой сварке плавящимся электродом в защитных газах [17, 18]. Тем не менее, следует отметить также недостатки технологии сварки плавящимся электродом. При этом способе соединения дуга возникает между сварочной проволокой и основным металлом. За счет тепла дуги на кончике электродной части конца присадочной проволоки образуются капли расплавленного металла, которые периодически переходят в сварочную ванну, заполняя зазор между деталями. Поскольку длина дуги и положение пятна дуги попеременно изменяются, это означает, что подобная дуга является недостаточно стабильным источником тепла во времени и пространстве.

Сварочные источники питания

В последние годы тенденцию в развитии систем управления источников питания, использующихся при дуговой сварке алюминиевых сплавов, можно рассматривать в следующей технологической последовательности. Появление источников питания с тиристорным блоком обеспечили возможность синергетического управления процессами сварки, что повысило точность воспроизводства рабочих характеристик. Импульсный источник питания, оснащенный синергетическим преобразователем импульсов, был прототипом теперешнего импульсного источника питания с транзисторным управлением сварочным процессом плавящимся электродом (MIG).

В дальнейшем полномасштабное промышленное признание получил новый тип источников питания с инверторным управлением. Это было вызвано появлением на рынке сварочного оборудования высоко-функциональных источников питания с высокими рабочими характеристиками в сочетании с возможностью их компьютерного управления. В последние годы отмечается широкое внедрение систем ускоренного выходного контроля реализации процесса при использовании скоростных устройств управления. Другими словами, повышение технических требований к сварочным источникам питания сегодня связано с необходимостью управления физическими явлениями, которые возникают в сварочной дуге. Прежде всего, они обусловлены уровнем технических достижений в области быстрой реакции и обработки полученной информации, а также обеспечения высокой стабильности и широкого диапазона применимости использующихся в источниках питания приборных компонентов. При этом возможный диапазон рабочей частоты, имеющий место при каждом явлении, или характерное время для его реализации должен изменяться в широком диапазоне от 1 с до 10 мс. Все известные источники питания различаются не только техническими и технологическими возможностями, но и габаритами (*табл. 1*).

Значительное влияние на механизм формирования шва и его качество оказывает нерегулярность явления переноса жидкого металла. Поэтому приоритетом разработки новых сварочных источников питания является, прежде всего, обеспечение регулярности при выполнении переноса капель жидкого металла в зазор, повышения скорости нагрева и глубины проплавления. До настоящего времени это осуществлялось за счет управления величиной сварочного тока и формой его волны [16-18].

Необходимо отметить, что задачи разработки более совершенных методов управления изменялись в зависимости от уровня развития автоматизированных процессов сварки. Интенсивность разработки различных датчиков, необходимых для слежения вдоль линии соединения свариваемых материалов, а также необходимость адаптивного управления режимами сварки определялись формой разделки свариваемых элементов конструкции и их расположением в пространстве [5, 6, 8-14]. Однако на реализацию этого решения существенное влияние оказывают габариты выполняемого изделия. В настоящее время имеющиеся датчики контроля преимущественно используются для слежения за осью шва по разделке кромок в изделии, определения их формы и адаптивного управления параметрами сварки. К их числу относятся датчики, фиксирующие момент касания электрода, а также оптические датчики [19, 20].

На рынке сварочного оборудования представлено много комбинаций оптических датчиков и камер, которые, как ожидается, могут быть востребованны-

ми на производстве в ближайшем будущем. Сенсорная система датчиков определяет форму разделки заготовок при сварке в узкий зазор между ними, что позволяет выявлять дефекты поверхности после выполнения процесса сварки. Многие сочетания датчиков и др. сварочных устройств, упомянутые выше, развиваются настолько стремительно, что их систематизируют и включают в цепочку сварочного оборудования с целью управления его рабочими характеристиками. Эта тенденция появилась более 10 лет назад для производственных потребностей судостроительной промышленности. Тем не менее, следует подчеркнуть, что процесс отмеченных приборных усовершенствований не всегда имеет стабильно высокие темпы промышленного внедрения. В Японии фирмой «Fanuc» разработана сварочная установка, которая работает без оператора более 3-х лет [21]. Форма разделки стыка и его положение в этой установке определяются еще до начала сварки с помощью лазерного датчика. В случае их изменения в условиях сварки, процесс выполняется с использованием адаптивного управления его режимами сварки при появлении изменений.

Согласно данных анализа [21], использование такой установки открывает возможность выявления дефектов на поверхности стыков с помощью лазерного датчика непосредственно после сварки. При сварке в различных пространственных положениях требуется корректировка режимов процесса при изменении положения соединяемых элементов конструкции, а также больших зазоров между ними и возникающей при сборке их несоосностей.

Основными производителями упомянутого оборудования для плазменно-дуговой сварки были фирмы Liburdi (Канада) и Sciacy Inc. (США). Его высокая стоимость и сложность ведения процесса сдерживали широкое распространение. Интенсивное применение инверторных технологий способствовало появлению нового поколения оборудования для плазменно-дуговой сварки алюминиевых сплавов. В этот период появилась потребность в недорогом оборудовании, что реализовали европейские производители: Fronius и SBI (Австрия), Cloos и EWM (Германия), Castolin (Швейцария), Kemppy (Финляндия). Основой их концептуального решения стала разработка специализированных источников питания, таких, как TETRIX 350 AC/DC PLASMA фирмы EWM, EUTRONIC GAP 3000 AC/DC фирмы Castolin, PMI 380 AC/DC фирмы SBI. Появление приставки к существующему серийному оборудованию, которое использовалось для сварки алюминиевых сплавов неплавящимся электродом фирмы Fronius, оказалось другим направлением технического развития. Созданные этой фирмой плазменные модули FPM и FP 10 легко подсоединялись ко всем известным источникам серии MW, что позволило использовать приставной компонент источника питания дуги как

Таблица 1. Характеристики источников питания ведущих европейских фирм-производителей сварочного оборудования для дуговой сварки алюминия и его сплавов

Основные параметры и технологические возможности процесса	TPS-500 «Fronius»	TPS – 500 MV «Fronius»	Kemppy Pro Evolution 5200	Kemppy Pro Evolution 5200 MVU	TPS -5000 CMT «Fronius»	TPS Time Twin «Fronius»	quinto Profi (topmag tandem) «Cloos»
Напряжение холостого хода, В	70	80	-	-	70	60	-
Диапазон рабочих напряжений, В	14,2 – 39	14,2 – 39	12 – 42	12 – 42	14,2 – 39	2 x 0 – 50	2 x 12 – 47
Диапазон сварочных токов, А	3 – 500	3 – 500	10 – 520	19 – 520	3 – 500	2 x 3 – 450	2 x 4 – 550
Вес, кг	35	35	48	56	35	123	-
Габаритные размеры, мм	625x290x475	625x290x475	530x230x630	530x230x630	625x290x475	915x655x1185	-
MIG /MAG	+	+	+	+	+	-	
ИДС MIG /MAG	+	+	+	+	+	+	+
DC WIG /TIG	-	+	-	+	-	-	-
MMA		+	+	+	-	-	-
CMT	-	-	-	-		-	-
«Time Twin»	-	-	-	-	-	+	+

Примечание: 1) « + » – наличие процесса; « – » – отсутствие процесса; 2) некоторые источники питания могут также сваривать сплавы на основе Mg, Ni, Cu

для ручной, так и механизированной сварки. Стоимость оборудования при таком техническом подходе сократилась и, тем самым, расширились рынки потребления. На *рис. 1* показан один из разработанных комплектов сварочного оборудования PT450-2 WZ фирмы Fronius для плазменно-дуговой сварки разнополярным асимметричным током.

Описанные современные тенденции развития сварочной техники на данный момент тесно связаны с автоматической дуговой сваркой. Использование современных сварочных устройств с электронным тактовым управлением с применением инновационных цифровых методов управления и регулировки процесса, позволяет обеспечить рациональное тепловложение, адаптированное к задаче соединения материалов и оптимальные методы переноса металла при дуговой сварке плавящимся электродом в защитных газах. «CMT», «COLDARK», «COLD WELD», «CTT», «SPIDPALS», «PSIEC», «FORCARK», «REPID WELD», «SPIDARK», «DIP ARK», и т.д. Это названия процессов от различных производителей оборудования, и они обозначают современные дуговые процессы и виды переноса металла при них в случае дуговой сварки плавящимся электродом в защитных газах при различных диапазонах мощности.

С помощью использования таких панелей или блоков управления достигается высокое качество корневого прохода; снижаются требования к подгонке соединяемых кромок; позволяет уменьшить объем шва при сварке толстых заготовок, снижая расход необходимой сварочной проволоки и, соответственно, энерго- и трудозатраты на исправления брака за счет повышения качества шва. Особо следует отметить, что система управления, которая основана на программных продуктах, сокращает трудоемкость регулировки параметров сварки в различных условиях производства сварной конструкции. Среди известных производителей источников питания для сварки плавящимся электродом наиболее востребованными на производственных площадках Украины и РФ оказались образцы TPS 450 фирмы „Fronius" и „Kemppy OY" (*рис. 2*).

Преобразование жидкого материала в твердый при охлаждении может создать условия возникновения явлений сегрегации и образования дефектов – «горячие» трещины или пористость [10, 11, 22]. Появление горелки с двумя проволочными электродами («дуговая сварка „Time Twin"» фирмы „Fronius") позволило предотвратить протекание указанных явлений. Перенос металла и длину дуги можно регулировать отдельно для каждого проволочного электрода (*рис. 3*). Данный процесс используется при механизированных и роботизированных процессах сварки [1, 6, 7].

При сварке металла большой толщины (более 8 мм) в V-образную разделку с целью обеспечения необходимого коэффициента наплавки применяют двухдуговую сварку плавящимся электродом с общей сварочной ванной. Сущность этого способа заключается в том, что плавление изолированных одна от другой проволок питается от независимых, но идентичных импульсных источников питания дуги. Их действие синхронизировано между собой, что обеспечивает периодичное чередование процесса переноса капель электродного металла с концов проволок под влиянием импульсов электрического тока (*рис. 3*). При смещении импульсов, генерирующихся источниками питания дуг, которое равно $\tau/2$ на первом электроде, происходит его интенсивное плавление, формирование и отрыв капли. А на другом электроде – синхронно поддерживается только дежурная дуга и незначительный эффект оплавления конца металли-

а

б

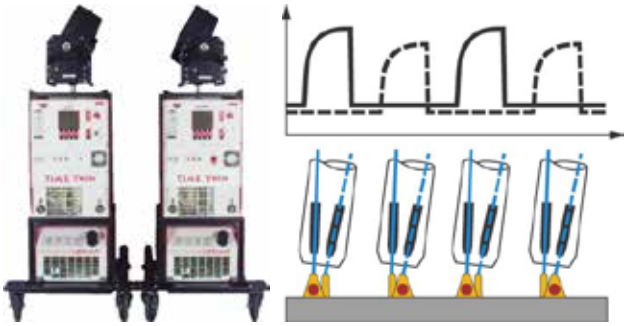
в

Рис. 1. Установка PT450-2 WZ фирмы Fronius (Австрия) для плазменно-дуговой сварки разнополярным асимметричным током (а), механизм подачи присадочной проволоки KD 4000 (б), система управления процессом сварки FRA 2003 (в)

а

б

Рис. 2. Установки для сварки плавящимся электродом TPS 450 фирмы „Fronius" (а) и „Kemppy OY" (б)



а б

Рис. 3. Установка для двухдуговой автоматической сварки «Time Twin» плавящимся электродом (а) и принцип реализации тандемной сварки (б)

ческой проволоки. Через некоторое время, величина которого равна τ/2, сварочные процессы плавления и переноса электродного металла на двух проволоках меняются местами. Вместе с тем следует отметить, что использование импульсно синхронизированных источников питания может вызывать явление хаотичного переноса, увеличение степени разбрызгивания электродного металла.

Для получения стабильного переноса жидкого металла с электродов, «импульс-капля», проволоки разводят на расстояние, при котором тепловая мощность дуги одного электрода не влияет на соседний электрод. Однако такое техническое решение повторяет сварочный процесс с раздельными сварочными ваннами, широко использующееся в производстве сварных конструкций с целью повышения продуктивности [7, 8, 12].

Следует особо отметить, что при всех выбранных для использования технологических вариантах сварки алюминиевых сплавов, всегда имеет место главный вопрос о качестве получаемого шва, которое изначально определяется проектировщиками в зависимости от функций сварной конструкции. Кроме того, как указывалось выше, учитывается экономичность и воспроизведение процесса сварки в цеховых условиях производства сварной конструкции. Обобщенные требования содержаться в нормативных документах «Система управления качеством», относящиеся к европейскому стандарту DIN EN 729 «Требования к качеству в области сварочной техники» и к основному стандарту DIN EN ISO 9000 и DIN EN ISO 9001.

Сварочные горелки

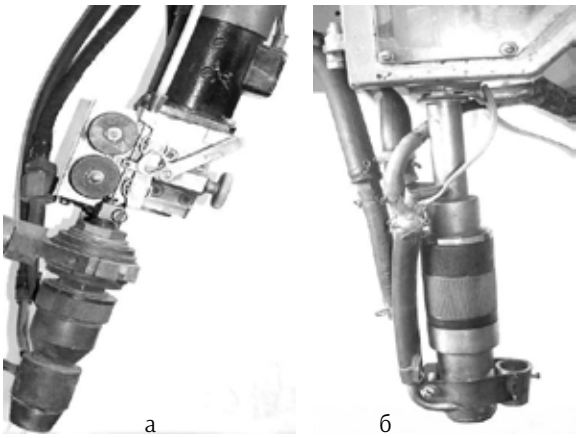
Сварочные горелки для автоматической сварки разных конструкций применяются в зависимости от величины, используемого электрического тока, диаметра сварочной проволоки и состава защитного газа (*табл. 2*). Для сварки толстолистового металла (плит) в среде аргона, гелия или их смесях проволоками диаметром 1,6 – 5,0 мм в ИЭС им. Е.О. Патона разработана конструкция специальной сварочной горелки (*рис. 4, а, б*). Ее использование обеспечивает качественное выполнение процесса на токах до 500 А. К недостаткам данной конструкции горелки можно отнести применение резиновых шлангов, которые соединяют выходные металлические патрубки водяного охлаждения. Находясь вблизи участка действия высокотемпературной дуги, они со временем теряют гибкость, растрескиваются и требуют замены.

Более оригинальная конструкция горелки для автоматической сварки плавящимся электродом на токах до 300А представлена на *рис. 4, а*. Ее конструктивной особенностью является наличие цанги, которая не только зажимает токоведущую трубку с мундштуком, но и служит передающим звеном для ее охлаждения (*рис. 4, а, б*). Прорезы в цанге являются отварами, вдоль которых поток газа подается в зону сварки, а удлиненная водоохлаждаемая трубка способствует получению ламинарного его течения на выходе из сопла. Радиальный изгиб патрубков газа и воды позволяет соединить их в один пакет.

В настоящее время в иностранной сварочной технике находят применение горелки, в которых каналы газа, воды, проволок и сварных кабелей соединены в один пакет и имеют общее изоляционное оплетение. Такие конструкции оправдывают себя при использовании сварочных роботов, на которых установлен корпус с механизмом подачи присадочной проволоки, которая имеет необходимые связи с источником питания дуги, системой охлаждения

Таблица 2. Диапазон допустимых величин электрического тока для работы мундштуков сварочных горелок

Величина сварочного тока, А	Внешний диаметр мундштука, мм	Диаметр присадочной проволоки, мм	Состав защитного газа
до 120	6	0,8 – 1,2	Ar
до 250	8	1,2 – 2,0	Ar
до 350	10 – 12	1,6 – 2,5	Ar, Ar + He
выше 350	14 – 16	3,0 – 4,0	Ar, Ar + He
до 500	10 x 4,0	1,4 – 1,6	He



а б

Рис. 4. Конструкции горелок для выполнения автоматической сварки алюминиевых сплавов плавящимся электродом: а – на токах до 300А; б – на токах до 500 А

водой и газовым баллоном.

Для реализации высокоэффективного способа двухдуговой сварки плавящимися электродами с общей сварочной ванной фирмы «Fronius», «Cloos» и другие создали специальные сварочные горелки (*рис. 5, 6*). Механизм перемещения проволок, которые соединены с горелкой, выполнен по схеме изоплана, а электродвигатель предусмотрен с наличием пустотелых роторов (сквозное отверстие вдоль оси) мощностью 90 Вт и роликами, которые вращаются вокруг его оси и развернуты под определенным углом. При реализации такой системы механизма происходит не только движение проволоки и ее выравнивание, а также снятие остаточной деформации при разматывании с цилиндрической кассеты.

Следует отметить, что подача сварочной проволоки с помощью изоплана применяется при соединении алюминиевых сплавов большой толщины в узкий щелевой зазор в среде гелия, где какая-либо кривизна проволоки на выходе с мундштука может привести к несплавлению торцов. Ограниченное использование данного способа связано с толщиной свариваемого металла ($\delta \geq 40$ мм), что не стимулировало широкого производства изопланов, которые со временем могли бы заменить в сварочной технике электроды с червячным и ступенчатым редуктором. Зарубежные горелки с электроприводом относятся к сложной категории изготовления. Вес комплекта составляет от 6 до 7 кг.

В Украине и, возможно, РФ специального оборудования для двухдуговой сварки в общую ванну не производят. Тем не менее, импульсные источники питания, которые в настоящее время используются, при наличии соответствующих сварочных горелок, позволяют реализовать и такой процесс. Однако они могут применяться с некоторыми ограничениями величины выходной мощности импульсов.

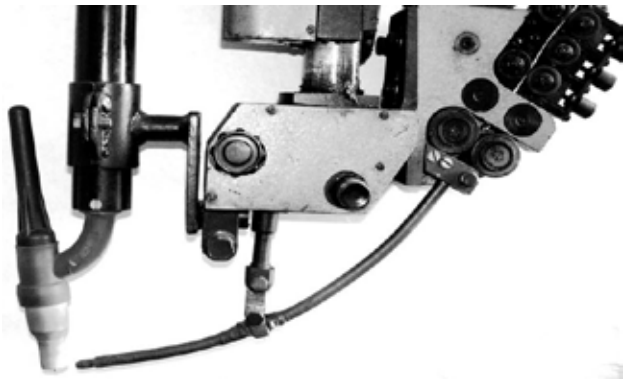
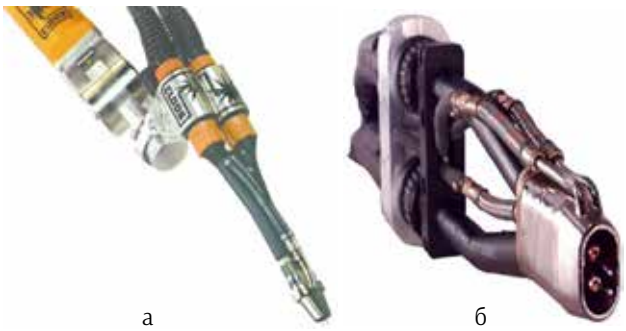


Рис. 5. Внешний вид горелки для сварки неплавящимся электродом фирмы «Fronius»



а б

Рис. 6. Сварочные горелки для двухдуговой сварки: а – фирмы «Cloos»; б – фирмы «Fronius»

Большой объем сварочных работ при изготовлении и ремонте алюминиевых конструкций выполняется полуавтоматической сваркой плавящимся электродом, технология которого использует импульсные источники питания дуги. Это, в свою очередь, позволяет реализовать качественный сварочный процесс во всех пространственных положениях. Для этого используются специальные полуавтоматы, рабочим инструментом которого является сварочная горелка с рукояткой-держателем. В зависимости от расстояния между сварочной горелкой и механизмом подачи проволоки полуавтоматы могут быть толкающими, тянущими, тяни-толкающими и шпулечного типов. Для их четкой работы требуется хорошее согласование механизмов подачи проволоки. Подобная схема широко реализована в оборудовании фирмой «Fronius» (*рис. 7*). Следует также отметить, что сварочные горелки для полуавтоматической сварки плавящимся электродом ведущих европейских фирм «Fronius», «Kempy», «Binzel», которые специализируются на выпуске сварочного оборудования, отличаются компактностью, дизайном, удобством в эксплуатации.

Подавление сварочного разбрызгивания

К серьезной проблеме обеспечения качества выполнения сварки MIG относится явление разбрызгивания жидкого металла во время реализации процесса. Оно происходит достаточно быстро и относится к сложным и малоизученным явлениям, что не позволяет полностью подавить разбрызгивание только за счет управления формой волны тока [5, 6, 11]. Цифровое управление источника питания, который оснащен устройством для подачи проволоки с цифровым управлением, открывает перспективу для высокоточного управления данными явлениями, наблюдаемыми при сварке плавящимся электродом. Кроме того, оно позволит создать новый высококачественный процесс соединения, в котором дуга

Рис. 7. Внешний вид горелки с ручкой фирмы “Fronius”

может быть более устойчивой (подобно сварке TIG), без ухудшения таких важных характеристик, как высокая скорость наплавки и высокая эффективность процесса соединения. Однако для его реализации необходимо усовершенствование некоторых математических подходов, позволяющих оптимизировать технологические переменные характеристики – величину сварочного тока, напряжение, скорость подачи проволоки и т.д. Для этого необходимо глубоко изучить физические явления, происходящие в дуге и в зоне расплавленной ванны, а также связать полученные данные с переменными характеристиками источника питания, используя современные подходы в области цифрового управления.

Пороговые величины изменения режима и регулярность явлений переноса металла очень сильно отличаются в зависимости от свойств материала проволоки, химического состава защитного газа, стабильности сварочного тока и т.д. Характер переноса при этом изменяется в достаточно широком диапазоне: от режима короткого замыкания на форму крупнокапельного переноса, а далее на струйный перенос, который бывает проецируемый, потоковый и перенос с вращением, при повышении тока [8, 10]. Явления переноса жидкого металла, в свою очередь, оказывают сильное воздействие на величину тепловложения и ее пространственно-временный характер распределения в условиях введения в шов. До настоящего времени отсутствует полное понимание того, как механический перенос расплавленного металла может влиять на уровень теплопереноса в сварочной ванне и возможности возникновения процесса разбрызгивания.

Состав сварочных проволок

Необходимо отдельно выделить значение сварочной проволоки, применяемой при всех способах дуговой сварки, поскольку она выполняет несколько различных функций. Так, при сварке неплавящимся электродом (TIG) присадочная проволока непосредственно вводится в сварочную ванну, поэтому выполняет важную роль, являясь фундаментальным фактором управления процессами сварки. Именно она оказывает значительное влияние на форму сварочной ванны и распределение температуры в ее объеме, а также определяет количество расплавленного металла и характеристики конвекции в ванне [18-21]. Изменение химического состава проволоки позволяет корректировать как характеристики прочности, так и пластичности [22].

В условиях сварки плавящимся электродом (MIG) проволока работает как электродный материал. Нагрев торца проволоки дугой превращает ее в капли расплавленного металла и заполняет сварочную ванну, тем самым, образуя технологическое усиление в виде наплавленного металла [13].

Анализ рынка сварочных материалов показывает, что за последние годы активности в разработке новых более эффективных композиций присадочных проволок для соединения алюминиевых сплавов не отмечается. Длительный период используются зарекомендовавшие себя традиционные присадочные материалы разных марок. Тем не менее, следует признать, что они не всегда обеспечивают требуемые механические свойства и имеют низкие показатели свариваемости [1–5, 22].

Химический состав присадочной проволоки является основным фактором для поиска рабочих характеристик сварки с целью улучшения структуры шва. Например, склонность некоторых алюминиевых сплавов к образованию «горячих» трещин может быть уменьшена, если создать в условиях сварки мелкокристаллическую структуру швов [7]. Максимальный эффект отмечается в случае, когда применяются присадочные проволоки с высоким содержанием основных легирующих компонентов (магний, медь, кремний) или модификаторов. К ним относятся скандий, цирконий, титан и др. Положительное влияние оказывает также применение более прогрессивных способов сварки – пульсирующей или сканирующей дугой [15-23].

В настоящее время в промышленности, производящей легкие конструкции различного назначения, стабильно используются проволоки марок СвАМг63 и Св1201, которые обеспечивают необходимое качество шва даже при многопроходной сварке с большим тепловложением с высокими температурами при наложении следующего прохода. Примером эффективного измельчения структуры швов является использование при сварке многих сплавов присадочной проволоки СвАМг63, содержащей кроме титана еще и цирконий в количестве до 0,3 % (*рис. 8*).

Использование таких проволок позволяет получить швы с лучшими механическими свойства-

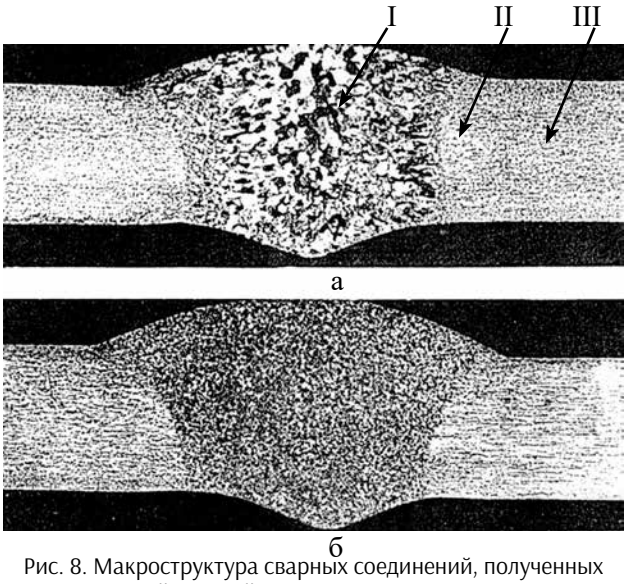


Рис. 8. Макроструктура сварных соединений, полученных аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом листов толщиной 4 мм из сплава 1420 при использовании присадок СвАМг6 без циркония (а) и СвАМг63 с цирконием (б): I – металл шва; II – ЗТВ; III – основной металл (×6)

ми даже во время перегрева свариваемого металла, а также при значительной температуре перед наложением следующего прохода по сравнению с обычной традиционной проволокой СвАМг6 (*табл. 3*). Указанные сварочные проволоки содержат большое количество легирующих элементов с целью получения высоких значений характеристик прочности и вязкости металла шва. Для решения вышеупомянутой проблемы в настоящее время предлагают новый тип сварочной проволоки, имеющей специальный химический состав металлической части, позволяющий обеспечить требуемые эксплуатационные характеристики сварных соединений [24].

Известны факты [10-13], когда с целью повышения производительности процесса используются от 2 до 3 сварочных электродов (проволок). В судостроительной промышленности, например, обычная двухдуговая горизонтальная сварка угловых швов установками для высокоскоростной сварки прямолинейных швов была усовершенствована с помощью использования спаренного трех-электродного процесса, в котором используется третья присадочная проволока между двумя электродами. При этом третья дополнительная проволока подсоединялась к источнику питания постоянного тока с минусом на электроде, что позволило уменьшить интерференцию сварочного тока между дугами на электродах. Металлическая ванна, в этом случае, приобретает стабильное состояние, наличие которого обеспечивает возможность предотвращения условий возникновения пористости в наплавленном металле при высокой скорости дуговой сварки – 120 м/час.

Как отмечалось выше, при сварке алюминиевых сплавов плавящимся электродом импульсные источники питания широко применяются для снижения количества разбрызгивания металла при автоматической сварке, особенно на форсированных режимах. Однако качество швов и их механические свойства при этом оставались неудовлетворительными. В рамках этой тенденции была разработана проволока с использованием специальной химической обработки ее поверхности, что обеспечило возможность осуществления стабильной и плавной подачи проволоки в зону электрического контакта на торце. Это позволило не только реализовать высокую скорость сварки, но и уменьшить уровень разбрызгивания и количество дыма, сопутствующего процессу сварки плавящимся электродом [7, 8]. Другими словами, для улучшения стабильности качества шва и повышения эффективности производства, желательно использовать высокие рабочие характеристики сварочных материалов, чистоту их обработки наряду с функциональностью сварочных источников питания, а также обеспечением качества защитных газов. Отмеченное вызвано тем, что состав защитного газа существенно влияет на механизм переноса расплавленного металла, что определяет качество металла шва.

Таблица 3. Механические свойства сварных соединений сплава АМг6 толщиной 4 мм, полученные при сварке неплавящимся электродом

Марка проволоки	$\sigma_в^{с.с.}$, МПа	$\sigma_в^{ш}$, МПа	$\sigma_{0.2}^{ш}$, МПа	$\delta^{ш}$, %
СвАМг6	312 – 321 315	288 – 296 292	164 – 172 168	21 – 23 22
СвАМг63	319 – 326 322	310 – 324 316	170 – 178 175	26 – 28 27

Сварка TIG известна, как достаточно высококачественный сварочный процесс. С другой стороны, она имеет недостатки, а именно, неглубокое проплавление металла и низкая скорость сварки [6]. В конце XX столетия сварка TIG с покрытием из активного флюса, разработанная ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ, обеспечила глубокое проплавление – в 2-3 раза больше, чем при обычном процессе сварки TIG. Этот инновационный процесс сразу же вызвал интерес многих исследователей относительно механизма повышения проплавления. В результате, они активно проводили исследования для разработки более совершенных процессов. Например, была разработана и применена на практике присадочная проволока из нержавеющей стали, которая содержит специальный флюс для управления конвективным теплопереносом в сварочной ванне, однако, она не получила развития для соединения алюминиевых сплавов.

Состав защитного газа

В условиях выполнения сварки плавящимся электродом (MIG) состав защитного газа оказывает существенное влияние на характер переноса расплавленного металла, что в значительной степени определяет качество металла шва. Причиной этого является взаимодействие процесса переноса металла с электромагнитной силой и потоком плазмы дуги. Оно возникает в результате воздействия электрического тока, давления дуги, поверхностного натяжения расплавленных капель и сварочной ванны [21-25]. Обширные исследования указанных физических явлений, происходящих в дуге, позволили достичь более высокой концентрации тепловой энергии при гелиево-дуговой сварке вольфрамовым электродом постоянным током по сравнению со сваркой переменным током в аргоне.

Использование гелий-аргоновых смесей в сравнении с одним гелием обеспечивает надежное возбуждение дуги и стабильность ее горения, качественную «катодную» очистку поверхности шва и прилегающей к ней зоны, уменьшение объемов разбрызгивания электродного металла и снижение общих затрат на выполнение сварки. Влияние гелия в защитном газе на тепловое состояние металла ванны определяется следующими факторами [23]. Гелий имеет высокий потенциал ионизации и большую теплопроводность, что является главной

Таблица 4. Теплофизические процессы, которые возникают в дуге, в каплях электродного металла и в сварочной ванне при замене аргона на гелий

Теплофизические процессы в сварочной дуге:

- увеличивается потенциал ионизации и теплопроводность дуги;
- уменьшается длина и диаметр столба дуги;
- возрастает концентрация энергии и повышается эффективное КПД дуги;
- изменяются электрические параметры сварки – $I_{СВ}$, $U_Д$, $L_Д$;
- уменьшается количество H_2, H_2O, C_nH_{2n+2} в дуге.

Процессы в электродных каплях:

- уменьшается падение напряжения на аноде (+);
- снижается температура капли на 200 – 220 °С;
- увеличивается диаметр капель;
- снижается растворение водорода в каплях и попадание его в шов;
- уменьшается испарение легкоплавких легирующих элементов.

Процессы в сварочной ванне:

- повышается падение напряжения на катоде (-);
- увеличивается теплосодержание и масса ванны;
- повышается температура ванны на 30 – 50 °С;
- снижается вязкость метала и повышается его жидкотекучесть;
- увеличивается поверхность ванны и усиливается выделение водорода;
- снижается пористость в швах.

причиной «сжимающего» действия гелия на электрический разряд (более концентрированное введение тепла в основной металл), что вызывает рост коэффициента полезного действия (КПД) дуги. Увеличение содержания гелия в гелий-аргоновой смеси вызывает повышение уровня средней температуры ванны [25]. Это, в свою очередь, приводит к росту геометрических параметров ванны – ширины шва, длины кратера и глубины проплавления свариваемого металла. В *табл. 4* приведена общая схема некоторых теплофизических процессов, которые возникают в дуге, в каплях электродного металла и сварочной ванне при замене аргона на гелий.

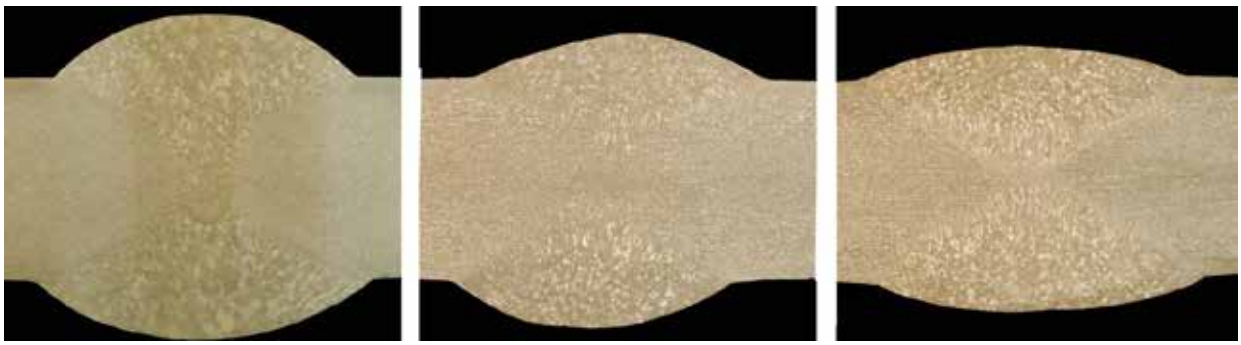
Такая замена защитного газа способствовала повышению проплавляющей способности дуги и снижению в 1,5-2,0 раза погонной энергии [26]. Вот почему были разработаны и находят применение в качестве рабочих газов различные композиции его состава с использованием в разных соотношениях аргона и гелия, которые позволяют активизировать условия переноса, обеспечивая при этом высокую степень газовой защиты. Такие смеси выполняются в разном процентном соотношении используемых компонентов: 50%Ar + 50%He, 25%Ar + 75%He, 75%Ar + 25%He и т.д.

Их применение в ходе выполнения сварки в 2-8 раз уменьшает объем пустот в швах, повышает механические свойства (*табл. 5*) и коррозионную стойкость сварных соединений, способствует увеличению на 40-60% сварочной производительности [2, 13, 18]. На *рис. 9* представлена макроструктура сварных соединений сплава АМг5 толщиной 14 мм, выполненных плавящимся электродом в защитных газах различного состава. Особенно хорошо зарекомендовали себя упомянутые смеси при соединении толстостенных (50–150 мм) заготовок. Для промышленной реализации процесса были разработаны специальное оборудование и технология «узкощелевой» сварки импульсной и стационарной дугой плавящимся электродом [23].

Технико-экономические расчеты показывают, что применение в качестве защитного газа одного неона нецелесообразно вследствие его дефицита и высокой стоимости. В тоже время стоимость 1 м^3

Таблица 5. Механические свойства стыковых соединений сплава АМг6 в зависимости от состава защитного газа при импульсно-дуговой сварке плавящимся электродом

Толщина, мм	Показатель	Состав защитного газа			
		Ar	Ar+50%He	Ar+60%He	Ar+70%He
3,0	$\sigma_в^{з.з.}$, МПа	298-306 300	318-326 320	318-324 320	310-322 317
	$a_н$, Дж/см	20-22 21	26-30 27	24-32 28	22-32 28
4,0	$\sigma_в^{з.з.}$, МПа	294-308 302	316-326 318	312-326 318	314-320 315
	$a_н$, Дж/см	17-21 18	22-24 23	22-26 24	22-28 23
	α, град	50-56 51	56-60 56	56-60 55	56-62 56



Ar+50%He $V_{св}$=40 м/г | Ar+70%He $V_{св}$=44 м/г | 100%He $V_{св}$=50 м/г

Рис. 9. Макроструктура сварных соединений сплава АМг5 толщиной 14 мм, полученных сваркой плавящимся электродом ($I_{св}$ = 430 А; $V_{п.др}$ = 260 м/г; $Ø_{др}$ = 3,15 мм) в среде защитных газов различного состава

готовых гелий-неоновых смесей (Ne = 3-25%) практически не зависит от количества неона и в среднем на 25% ниже стоимости одного гелия. Использование тройных смесей инертных газов, приготовленных на поставляемых в баллонах гелий-неоновых смесях и аргоне (50-70%He + 3-23%Ne + 7-47%Ar), позволяет дополнительно уменьшить затраты на защитный газ и соответственно снизить себестоимость сварочных работ. Следует отметить, что замена гелий-аргоновых смесей на готовые гелий-неоновые смеси при сварке алюминиевых сплавов приводит к повышению напряжения в дуге, росту глубины проплавления металла, увеличению ширины шва, уменьшению его технологической выпуклости и снижению пористости в наплавленном металле [8]. Известны примеры применения неона в количестве до 2% в составе защитного газа.

Исходя из изложенного выше можно сделать следующее заключение

Рассматриваемые выше проблемы дуговых способов соединения алюминиевых сплавов не охватывают весь комплекс известных технических и технологических разработок, поскольку объем анализа ограничен. Тем не менее, приведенные примеры широко используются на практике при промышленном изготовлении легких сварных конструкций. Современные варианты отмеченных процессов и дуговые технологии их воспроизводства остаются и сегодня полезными инструментами для повышения качества выполнения сварки и ее производительности.

Дальнейшая активизация технического развития дуговых процессов соединения алюминиевых сплавов в будущем будет определяться результатами решения некоторых весьма сложных технологических задач, неразрывно связанных с устоявшимися понятиями и явлениями, сопутствующими указанным видам соединения материалов с использованием дуги. Они, прежде всего, связаны с тем, что невозможно изменить концепцию дуговой сварки, а именно, физические принципы и законы подачи проволоки в условиях реализации способа сварке TIG или отделения капли дуги при сварке MIG. При этом отсутствуют какие-либо возможности полностью устранить внешние возмущающие факторы, снижающие качество соединения. К таковым можно отнести: наличие поверхностных дефектов соединяемых заготовок или деталей конструкции, а также проволочных электродов, что требует улучшить производственную культуру подготовки элементов конструкции перед выполнением сварки. Кроме того, отмечается широкое использование больших допусков при подготовке кромок соединяемых деталей и узлов. В связи с этим промышленные пользователи дуговых технологий, по-прежнему, находятся «в поле напряжения» между выбором низкой величины тепловой энергии, необходимой для сварки (например, по причинам, связанным с материалом или короблением) и процессом обеспечения качественного формирования сварного соединения без внутренних дефектов. Поэтому дальнейшее развитие технологии дуговой сварки, на наш взгляд, зависит от уровня решения ряда технически сложных, но взаимосвязанных между собой, задач – повышения рабочих характеристик сварочного оборудования, качества сварочных материалов и защитных газов. В настоящее время имеются многочисленные предпосылки для достижения поставленной цели, поскольку способы дуговой сварки остаются наиболее востребованной технологией для создания изделий различных отраслей машиностроения, где такие процессы применяют.

К базовым требованиям следует также отнести высокую производительность и надежность выпускаемой сварочной продукции. В связи с этим необходимость обеспечения реальных потребностей производства легких конструкций постоянно стимулирует процесс развития техники и технологии передовой автоматической дуговой сварки. Отмеченное может быть достигнуто вследствие разработки новых проектных концепций при создании новых видов легких изделий из алюминиевых сплавов, а также появлением на рынке конструкционных материалов эффективных сплавов, присадочных проволок и высокотехнологичных сварочных процессов.

И последнее, но не менее важное, это наличие специалистов-сварщиков для интенсификации развития и внедрения инновационных технологий. Именно они разрабатывают и применяют автома-

тизированные процессы соединения материалов с необходимыми эксплуатационными характеристиками. В связи с этим следует подчеркнуть, что наиболее важным и актуальным остается глубокое понимание инженерами физической сущности явлений, происходящих в процессе дуговой сварки, поскольку оно является основой не только самой идеи научной разработки, но и успешной реализации созданных учеными и специалистами высокотехнологичных процессов в условиях производства легких сварных конструкций.

Литература

1. Albert D. Aluminium alloys in arc welded constructions. // Weld. World. – 1993. – v. 32. – № 3. – P. 97-114.

2. Wemah K. Equipment for Aluminium Welding. // Svetsaren. – 2000. – № 2. – P.11-13.

3. Norlin A. A century of aluminium – a product of the future. // Svetsaren. – 2000. – № 2. – P. 31-33.

4. Araya M. Spesial Constitution and Expression in the Aluminium Structure – The Future and the Past of the Aluminium Structure. // Journal of Light Metal Welding and Construction. – 2003. – Vol. 41. – № 10. – P. 460-471.

5. TWI team is match for aerospace challenge. // TWI Connect. – 1995. – № 73. – P. 12.

6. Hibben M., Stemmiel F. Tailored Blanks aus Aluminium. // Blech Rohre Profile. – 1999. – Vol. 42. – № 6. – P. 394-397.

7. Сварка в самолетостроении. / Под ред. академика Б.Е. Патона. / – К.: МИИВЦ, 1998. – 695 с.

8. Colchen D. Application des calculs aux elements finis pour definir et valider des modeles analytiques de calcul de contrainte sur un assemblage bout a bout en alliage d'aluminium. // Soudage et techniques connexes. – 2000. – Vol. 54. – N. 3/4. – P. 3-16.

9. Ищенко А.Я., Лабур Т.М. Сварка современных конструкций из алюминиевых сплавов. – Киев: Наукова думка, 2013. – 415 с.

10. Yasuda K., Isizawa Y., Kitaura I. Study on Hybrid Joining Method Using TIG Arc Welding (Rep. 1) // Welding of light metals. – 1996. – Vol. 34. – № 11. – P. 537-543.

11. Tempus Gerhard. New Aluminium Alloys and Fuselage Structures in Aircraft Desing. 18-th Materials Day "Werkstoffe für Transport und Verkehr". May 2001, ETH Zürich, Switzerland.

12. Wada J. Application of Pre-Ribbed Aluminium Alloy Plate to Architectural Structure. // Journal of Light Metal Welding and Construction. – 2003. – Vol. 41. – № 10. – P. 472-476.

13. Innovative Welding Strategies for the Manufacture of Large Aircraft / Vollertsen F., Schumacher J., Schneider K., Seefeld T./ – Osaka, Japan: Osaka University. IIW International Conference, July 15-16. 2004. – P. 237-253.

14. Teh N.J. Small joints make a big difference. // TWI Connect. – 2006. – v. 143. – № 4. – P. 1-7.

15. Окубо М., Егути Н., Томии Е. Зависимость между режимом дуговой сварки в инертном газе и образованием газовых пор при выполнении швов в нижнем положении на алюминиевых сплавах. // Journal of Light Metal Welding and Construction. – 2011. – Vol. 49. – № 7. – P. 238-243.

16. Mueler S., Volpone L. Current status of joining processes of Aluminium Structure: a critical review./ Proc. of the International «Joining of Aluminium Structure», Moscow, 03-05 December, 2007, P. 1-15 – 15-15.

17. Doc.XII-2052. TIG Welding torch with magnetic oscillation and optima ed shielding gas flow. By Haessler M., Rose S., Fussel U., Schnick M. / Proc. 65-rd Annual Assembly and Internat. Confer. of the Institute of Welding, Denwer, 08-13 July 2012.

18. Doc.XII-2053-12 1/7. Methods and result referring the shielding gas floow in GMAW. Part I – Methods. By Dreher M., Schnick M., Fullel U., Rose S., Hertel M. Proc. 65-rd Annual Assembly and Intern. Confer. of the Institute of Welding, Denwer, 08-13 July 2012.

19. Doc.XII-2054-12 1/9. Methods and result referring the shielding gas flow in GMAW. Part II – Result. By Dreher M., Schnick M., Fussel U. Proc. 65-rd Annual Assembly and Intern. Confer. of the Institute of Welding, Denwer, 08-13 July 2012.

20. WII Doc.XII-2101-12. Study for TIG-MIG Hybrid Welding Processes. By Kanemaru S., Sasaki T., Sato T., Mishima H., Tashiro S., Tanaka M. Proc. 65-rd Annual Assembly and Intern. Confer. of the Institute of Welding, Denwer, 08-13 July 2012.

21. Doc.XII-2089. Distion effects in MIG Welding of Automotiwe Aluminium Structure. By Thomy C., Zeiller M., Seefeld T., Vollersen F. Proc. 65-rd Annual Assembly and Intern. Confer. of the Institute of Welding, Denwer, 08-13 July 2012.

22. Воздействие детерминированной испарением модели дуго-катодной связи на формирование ванны сварного шва при моделировании процесса. / By Mokrov O., Simon M., Sarma R., Reisgen U. / Welding in the World. – 2020. – № 5. – P. 847-856.

23. Высокопроизводительный процесс GMAW для применения с глубоким проплавлением. / By J. Dutra, R. Gonçalves e Silva, K. Reffel, C. Margues. / Welding in the World. – 2020. – № 6. – P. 999-1009.

24. Бабич О.А., Коржик В.М., Гринюк А.А., Хаскин В.Ю., Chunlin Dong, Shanguo Hun. Гибридная сварка алюминиевых сплавов 1561 и 5083 с использованием плазменной дуги и дуги плавящегося электрода (Plasma-MIG). / Автоматическая сварка. – 2020. – № 7. – С. 13-24.

25. Портальный стенд со сварочным роботом производит алюминиевые вагоны для железнодорожного транспорта (по материалам www: waggonbau-niesky.com). // Автоматическая сварка. – 2021. – № 4. – С. 53-54.

#1374

Роль вакуума в процессах сварки и родственных технологий *

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

С философской точки зрения вакуум – это особый вид материи, обладающий свойствами вещества, энергии и являющийся своеобразным хранилищем информации о Вселенной.

Земному вакууму, т.е. вакууму, получаемому искусственным путем, также присущи свойства вещества и энергии. В зависимости от глубины вакуумирования эти свойства проявляются в большей или меньшой степени.

Различают низкий (P > 1,33 Па), средний ($1{,}33 \times 10^{-3} < P < 1{,}33$ Па) и высокий ($1{,}33 \times 10^{-3} > P > 1{,}33\ 10^{-8}$ Па) вакуум. Давление $P < 1{,}33\ 10^{-8}$ Па соответствует сверхвысокому вакууму.

Хотя в переводе с латинского “vacuum” означает «пустота», он таковым не является. В вакуумных камерах всегда присутствует определенное количество остаточного кислорода и азота (*табл. 1*) [1].

Из данных *табл. 1* видно, что по составу газов – примесей (кислороду и азоту) уже при давлении $1{,}33 \times 10^{-2}$ Па среда в вакуумной камере превосходит лучший сорт чистого аргона (марки А), содержащий 0,003 об. % O_2 и 0,01 об. % N_2. Таким образом технологические процессы с применением вакуума могут протекать в значительно более чистой среде по отношению к кислороду и азоту.

Влияние примесей на физико-механические свойства металлов и сплавов общеизвестно. Многие из примесей (не только O_2 и N_2) относятся к вредным, резко ухудшающим свойства металлических материалов. Практически все металлы в процессе очистки от примесей проявляют целый ряд новых свойств.

Разработка эффективных методов защиты от проникновения вредных примесей и удаление их в процессе получения и дальнейшей обработки металлов или сплавов продолжает оставаться одной из основных проблем современной металлургии, сварки, наплавки и нанесения покрытий.

В этом плане особый интерес представляют технологии, использующие вакуум как защитную среду при решении различных задач. В металлургии вакуумная обработка жидкого металла осуществляется внепечными способами или в специальных вакуумных агрегатах [2]. Внепечная обработка получила широкое распространение для улучшения качества сталей. К ней относятся: вакуумирование в ковше; вакуумирование струи металла при переливании из ковша в ковш или при заливке в изложницу; вакуумирование порциями из открытого ковша; вакуумирование циркуляционным способом и комбинированные способы вакуумирование. Вакуумирование в печах осуществляется в процессе вакуумно-индукционной, вакуумно-дуговой и электронно-лучевой плавки (ВИП, ВДП и ЭЛП соответственно).

1. Металлургические процессы при вакуумной плавке

Согласно законам термодинамики, понижение давления для реакции, протекающей с увеличением числа газовых молекул, приводит к снижению свободной энергии в данной системе, поэтому большинство реакций, очень медленных или вообще неосуществимых при атмосферном давлении, протекают достаточно полно в вакууме, при прочих равных условиях. Это дополнительное снижение свободной энергии, создаваемое в современных вакуумных агрегатах, может быть реализовано при плавке металлов в процессах дегазации, диссоциаций и испарения компонентов металлических растворов.

Одной из причин ухудшения многих физических свойств стали является наличие в ней неметаллических включений. Они снижают пластичность, ударную вязкость, износоустойчивость, магнитную проницаемость в электротехнических и др. сталях. Присутствие же их в стали обусловлено в значительной степени процессами раскисления, конечными продуктами которых могут быть жидкие или твердые компоненты.

Среди элементов – раскислителей особое место занимает углерод, образующий при взаимодействии с окислами газообразные продукты реакции,

Таблица 1. Содержание газов в единице объема камеры при различных степенях вакуумирования

Давление, Па	Относительное содержание газов в единице объема, %	Содержание O_2 объем., %	Содержание N_2 объем., %
1,33x760 (атм.дав.)	100	20,1	79,9
$1{,}33 \times 1$	0,13	0,03	0,1
$1{,}33 \times 10^{-1}$	0,013	0,003	0,01
$1{,}33 \times 10^{-2}$	0,0013	0,0003	0,001
$1{,}33 \times 10^{-3}$	0,00013	0,00003	0,0001
$1{,}33 \times 10^{-4}$	0,000013	0,000003	0,00001

* *Часть 1. Продолжение в след. номере журнала*

которые удаляются из расплава и не загрязняют сталь. Это основное его преимущество как раскислителя. С понижением давления раскислительная способность углерода возрастает. Наиболее полно преимущество углерода как раскислителя выявляется в условиях вакуума, особенно при ЭЛП.

Присутствие в металлах и сплавах вредных примесей, в частности растворимых газов, значительно ухудшает их свойства. К числу таких газов относятся водород и азот.

Растворимость газов в металлах зависит от температуры и давления. Температурная зависимость выражается законом Аррениуса. Растворимость двухатомных газов в металлах в зависимости от давления описывается законом Сивертса:

$$[Г] = K \times \sqrt{P_{Г2}} \ ,$$

где [Г] – содержание водорода или азота в металле; $P_{Г2}$ – давление водорода или азота, K – константа реакции растворения.

Процесс взаимодействия водорода с жидкими металлами имеет такие особенности:

- с медью, серебром, железом, никелем, кобальтом, вольфрамом, молибденом, хромом, алюминием и платиной водород образует растворы, причем растворимость увеличивается с повышением температуры и пропорциональна корню квадратному из величины давления;
- с редкоземельными элементами, а также с титаном, цирконием, торием, гафнием, ванадием, ниобием, танталом и палладием водород образует псевдогидриды типа MH_4, MH_2. Количество водорода, поглощаемого этими металлами, на 3-4 порядка выше, чем количество водорода, поглощаемого металлами предыдущей группы. Растворимость пропорциональна давлению и с повышением температуры уменьшается.

Азот заметно растворяется лишь в металлах, образующих нитриды (железо, марганец, алюминий, магний, бериллий, вольфрам, молибден, цирконий, тантал, хром, щелочные и щелочноземельные элементы). В никеле и меди азот практически не растворяется.

Низкое парциальное давление газов и регулируемый перегрев металла в установках ЭЛП способствует глубокой очистке металлов и сплавов от водорода. Например, при ЭЛП тантала содержание водорода уменьшается с 130×10^{-4} до 4×10^{-4} %, а ЭЛП циркония по сравнению с ВДП снижает содержание водорода в 8 раз [2].

Азот удаляется менее интенсивно и считается, что удаление азота при вакуумной обработке сплавов, не содержащих стойких нитридов, происходит путем испарения его с поверхности расплава и значительно ускоряется при кипении жидкого металла в результате всплывания пузырьков окиси углерода или продувки расплава инертными газами.

При ЭЛП металл с газами взаимодействует не только в расплаве, но и в газопаровой фазе. Взаимодействие металлов и газов в паровой фазе существенно повышает вакуум в плавильной камере и способствует удалению азота.

В условиях вакуумной плавки осуществляется также частичное или полное удаление примесей с высокой упругостью пара, т.е. протекают дистиляционные процессы. Упругость пара растворенного компонента определяется уравнением:

$$P_i = P^0 \times a_i \ ,$$

где P_i – упругость пара компонента i в растворе; P^0 – упругость пара этого компонента в чистом виде; a_i – активность компонента в растворе.

В сочетании с другими металлургическими приемами вакуумирование, особенно при ЭЛП, способствует удалению серы, фосфора, которые обладают высокой упругостью паров.

Выше были рассмотрены основные термодинамические условия, определяющие направления протекания процессов рафинирования и возможные конечные состояния. Скорость этих процессов и время, необходимое для достижения равновесия, рассматривается в кинетике металлургических процессов. Эти вопросы применительно к вакуумному рафинированию подробно рассмотрены в монографии [2]. Там же проанализированы различные технологические схемы вакуумной обработки.

Характерный пример внепечных способов рафинирования – вакуумирования струи металла при разливке в изложницу. В вакуумную камеру помещают изложницу для слитка, создают вакуум порядка 1,33 Па и через промежуточный ковш заливают жидкий металл. При указанном способе обработки содержание водорода уменьшается на 60–70 %.

Содержание азота снижается на 20–40 %. В результате всплывания неметаллических включений и протекания реакции с углеродом уменьшается количество оксидных включений. Разливку в вакууме применяют при отливке слитков для крупных поковок: роторы турбин, валы турбогенераторов и др. С уменьшением содержания водорода, азота и неметаллических включений повышается пластичность литого металла, уменьшается склонность к образованию трещин и, как следствие, увеличивается выход годных поковок на 25–30 %. Уменьшение содержания водорода позволяет сократить на 30 % продолжительность последующей термообработки.

Более глубокое рафинирование жидкого металла, но с меньшей производительностью, получают при вакуумных индукционных и дуговых плавках. Увеличение перегрева жидкого металла и, особенно, времени выдержки способствует более полному удалению газов, серы, неметаллических включений, а также примесей с высокой упругостью пара (свинец, висмут, цинк, олово, мышьяк и др.).

Вакуумно-индукционную плавку выполняют в специальном тигле из огнеупорных материалов, помещенном в вакуумной камере. На внешней цилиндрической поверхности тигля расположен индуктор для нагрева. Плавку осуществляют в вакууме $6{,}65 \times 10^{-3} – 1{,}33 \times 10^{-2}$ Па.

Источником тепла при ВДП служит дуговой разряд между расходуемым электродом (катодом) и жидкой ванной в водоохлаждаемой изложнице (кристаллизаторе). Под воздействием тепла, выделяющегося в результате дугового разряда, расплавляется конец электрода и металл в виде отдельных капель стекает в кристаллизатор. Вакуум в камере составляет примерно $1{,}33 \times 10^{-3}$ Па, а в зоне плавления металла – около $1{,}33 \times 10^{-1}$ Па.

В *табл. 2* на примере подшипниковой стали ШХ 15 показана степень рафинирования при ВИП, ВДП и ЭЛП [2].

При ВИП и ВДП общее содержание неметаллических включений уменьшается в 2–3 раза, а металлических примесей с высокой упругостью пара – в 1,5 – 2 раза. Снижение металлических примесей с высокой упругостью пара повышает жаропрочность, контактную и циклическую прочность металла как в литом состоянии, так и после соответствующих термопластических обработок.

Рафинирование жаропрочных сплавов при вакуумно-дуговой плавке сопровождается повышением пластичности и обрабатываемости металла. Вакуумно-дуговая плавка применяется также для получения достаточно чистых тугоплавких металлов и сплавов на их основе. При этом следует отметить, что вакуумные индукционные и дуговые плавки имеют ряд особенностей, ограничивающих возможность широкого регулирования процессов рафинирования и достижения минимального количества вредных примесей. Так, при ВИП футеровка тигля ограничивает возможность большого перегрева металла и длительность его выдержки, иногда служит источником загрязнений неметаллическими включениями. Кроме того, многие химически активные металлы и их сплавы весьма активно взаимодействуют с материалом тигля, для них полностью исключается применение ВИП.

При ВДП металл затвердевает в медном водоохлаждаемом кристаллизаторе, не взаимодействующим с жидким металлом. Однако в дуговых вакуумных установках остаточное давление в зоне горения дуги должно быть не ниже десятых долей Па. Дальнейшее понижение давления приводит к нарушению стабильности горения дуги и самой плавки. Ограничена также длительность пребывания металла в жидком состоянии, т.е. нет возможности значительно перегреть ванну.

Указанных выше недостатков лишен способ вакуумной плавки с электронно-лучевым источником нагрева. В современных установках ЭЛП формирование слитка производится по методу непрерывной разливки в медный водоохлаждаемый кристаллизатор. Поверхность жидкой ванны расположена на верхнем уровне кристаллизатора, что создает наиболее выгодные условия для рафинирования. Нижний предел вакуума над кристаллизатором лимитируется лишь давлением паров самого металла или летучих примесей. Изменением интенсивности электронного потока можно гибко регулировать скорость плавки. Время выдержки жидкого металла в вакууме и степень его перегрева не ограничены. В качестве переплавляемого материала могут быть использованы брикеты из порошка, стружка, стержни и др. При этом можно получать с одинаковой трудоемкостью слитки круглого, квадратного и прямоугольного сечений.

Таблица 2. Содержание примесей в стали ШХ 15 при различных способах плавки

Способ плавки	Содержание примесей, %		
	S	[O]	[N]
ВИП	0,014/0,004	0,002/0,0014	0,0088/0,004
ВДП	0,015/0,010	0,004/0,0019	0,0170/0,008
ЭЛП	0,015/0,003	0,004/0,0007	0,007/0,0011

Примечание. В числителе приведено содержание элементов до плавки, а в знаменателе – после плавки

ЭЛП является наиболее эффективным и экономически оправданным процессом получения особо чистых ниобия, тантала и многих сплавов на основе меди, железа, никеля, ванадия, платины, урана и др. металлов. Особенно большие возможности ЭЛП в повышении качества сталей и сплавов на основе никеля и железа. При переплаве указанных материалов одновременно с резким уменьшением содержания кислорода, азота и водорода, происходит практически полное удаление многих легкоплавких примесей (свинца, цинка, висмута, олова и др.). В 2-5 раз снижается содержание серы (*табл. 2*). В 3-10 раз, в зависимости от класса сталей, уменьшается общее количество неметаллических включений. Существенно улучшаются физико-механические и химические свойства, в т. ч. технологическая пластичность. При ЭЛП наиболее полно реализуется процессы рафинирования.

2. Электронно-лучевая сварка и смежные процессы

При электронно-лучевой обработке материалов используют тепловую энергию, выделяющуюся при столкновении быстродвижущихся электронов с веществом [3, 4]. При столкновении ускоренного электронного потока с твердым телом более 90% кинетической энергии электронов переходит в тепловую, нагревающую твердое тело.

Повышая скорость движения электронов и их кинетическую энергию, а также увеличивая число электронов, движущихся в данном объеме (плотность пучка), можно создавать чрезвычайно высокую концентрацию тепловой энергии во времени и пространстве, приводящую к нагреву, плавлению, испарению, тепловому взрыву вещества в зоне торможения им электронного пучка (луча).

Для обработки материалов электронным лучом требуются специальные устройства, излучающие свободные электроны в достаточном количестве и с требуемой скоростью. Основой таких устройств является электронная пушка, принципиальная схема которой показана на *рис. 1*. Катод 2, выполненный в виде таблетки из лантан-борида, разогревается бомбардировкой электронами, извлекаемыми из накаливаемой током вольфрамовой спирали 1, и ускоряе-

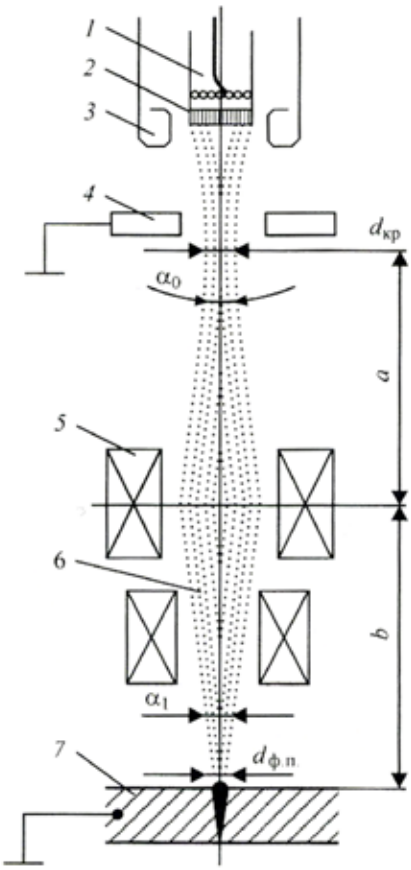


Рис. 1. Схема электронной пушки с термоэмиссионным катодом: 1 – накаливаемая спираль, 2 – катод, 3 – управляющий электрод, 4 – анод, 5 – магнитная линза, 6 – пучок электронов, 7 – свариваемое или обрабатываемое изделие

мыми полем специального источника бомбардирующего напряжения. Испускаемые катодом электроны ускоряются в электрическом поле высокой напряженности, создаваемом между катодом 2 и анодом 4. Форму катода, управляющего электрода 3 и анода 4 согласуют с ускоряющим напряжением и выбирают такой, чтобы получить минимальный диаметр пучка – кроссовер. Расходящийся за кроссовером пучок фокусируется с помощью магнитной линзы 5 в плоскости свариваемого изделия 7, или близкой к нему. Диаметр фокального пятна определяет максимальную концентрацию (плотность) мощности пучка и его технологические возможности. Величина пятна определяется диаметром кроссовера и расстоянием a и b плоскостей их расположения от оптического центра магнитной линзы:

$$d_п = d_{кр} \cdot (b/a)$$

Электроны характеризуются максимальным отношением заряда к массе e/m, поэтому траектория их движения существенно меняется даже в слабых магнитных полях. Это обстоятельство широко используют для управления электронными пучками при сварке. При выходе из пушки пучок проходит через отклоняющую систему (*рис. 1*) из двух взаимно перпендикулярных магнитных полей, каждое из которых в свою очередь перпендикулярно к оси пучка. Меняя величину и закон изменения тока в отклоняющих катушках, можно добиться изменения положения пучка в пространстве и его движения практически по любому закону.

Современные пушки формируют пучки с углом схождения α_1 = 0,02 рад. Максимальный технологический эффект достигают в наиболее узкой части пучка, а именно в его фокальной плоскости.

Плотность энергии электронного пучка может изменяться в достаточно широких пределах от 10^2 до 5×10^8 Вт/см^2.

Использование вакуумной защиты при ЭЛС позволяет существенно влиять на качественные характеристики процесса. Вакуум не только является защитной средой, предохраняющей металл от действия атмосферы, но и ускоряет, и более полно завершает термодинамические процессы, протекающие в расплавленном и нагретом металле. Кинетическая роль вакуума наиболее ярко проявляется в резком ускорении выхода газов из металла, а термодинамическая – в значительно более полном удалении примесей. Установлено, что вакуумная среда активно воздействует на нагретый и расплавленный металл, обеспечивая его дегазацию, повышение плотности, удаление оксидов, примесей и загрязнений как с поверхности, так и из внутренних слоев металла.

Вакуум сильно влияет на проплавление металла особенно при соединении элементов большой толщины. В начальный период сварки из-за высокой концентрации энергии в пятне нагрева и высокого температурного градиента происходит преимущественно испарение металла. В дальнейшем по мере нагрева металл плавится и образуется сварочная ванна. Под воздействием реактивного давления паров, которое усиливается под влиянием вакуума, жидкий металл оттесняется из зоны нагрева и образуется сварочная ванна. При этом оголяемые глубинные слои металла, воспринимая энергию электронов, плавятся, испаряются, вытесняются, образуется парогазовый канал и наступает динамическое равновесии всех сил, действующих на сварочную ванну (давление электронного пучка, давление силы тяжести, давление отдачи при испарении, давление паров в канале, поверхностное натяжение и др.).

В электронно-лучевой пушке обычно создают вакуум 10^{-3} Па, а в рабочей камере в процессе работы – менее 5 х 10^{-2} Па. Такой вакуум обеспечивает надежную работу электронно-лучевой пушки при высоких напряжениях и позволяет остро фокусировать пучок при отсутствии соударения электронов с молекулами остаточного газа. Современное состояние вакуумной техники (рабочие камеры объемом 400 м^3 с высокопроизводительными системами вакуумирования) позволяет использовать это преимущество и при сварке относительно больших деталей.

Электронно-лучевую сварку в нижнем положении осуществляют как без подкладки, так и на подкладке. Эту технологию сварки применяют для соединения сталей толщиной до 40 мм, титановых и алюминиевых сплавов толщиной до 80 мм. Наиболее пред-

почтительна сварка с горизонтальным и вертикальным расположением стыка. Сварку в потолочном положении применяют только в исключительных случаях при соединении элементов толщиной до 20 мм.

Электронно-лучевая сварка имеет ряд существенных достоинств, к которым относят:

- высокую концентрацию энергии в электронном пучке и локальность нагрева, позволяющих получать швы с отношением глубины к ширине до 50 и малое время пребывания металла в расплавленном состоянии;
- минимальные деформации свариваемого изделия;
- надежную защиту расплава сварочной ванны от окисления и насыщения азотом за счет вакуума;
- возможность регулирования с высокой точностью энергетических и геометрических параметров электронных пучков, и на этой основе точного дозирования энергии, вводимой в свариваемое изделие;
- возможность сварки сложных конструкций в углублениях и труднодоступных местах за счет того, что расстояние от пушки до зоны сварки обычно составляет 50–200 мм, а при применении мощных пучков может быть увеличено до 1 500 мм.

Использование вакуумной защиты при сварке, наплавке, переплавке и других видах электронно-лучевой обработки является одним из наиболее совершенных способов предупреждения образования пор. Использование вакуума, при этом, полностью устраняет причины, вызывающие образование пор. Кроме того, вакуум активно способствует устранению пористости за счет удаления газов из основного металла. Создание вакуума над ванной расплавленного или нагретого твердого металла сопровождается повышением скорости выделения газов за счет увеличения скорости диффузии в твердом металле.

При сварке и других технологиях обработки химически активных металлов наличие окислов и загрязнений является одним из факторов, препятствующих получению качественного результата. Установлено, что активное воздействие вакуумной защиты на процесс металлообработки дает возможность освободиться от поверхностных загрязнений, газов и жидких пленок. Обычно после нагрева в вакууме поверхность металла становится блестящей.

Необходимо отметить, что перечень электронно-лучевых технологий (ЭЛТ) обработки продолжает расширяться [3, 4]. Электронно-лучевой нагрев в вакууме используют для наплавки, поверхностного переплава слитков и полуфабрикатов, поверхностной закалки и локальной термообработки, резки, пробивки отверстий, нанесения покрытий, в т. ч. для создания новых биметаллических композитных наноструктурных покрытий материалов осаждением паров.

3. Лазерная сварка в вакууме

В настоящее время при выполнении многих технологических операций используется лазер. Для сварочного производства наибольший интерес представляет сварка, наплавка, резка и различные технологии поверхностной обработки с использованием лазерного луча.

Что касается лазерной сварки, то ее осуществляют в широком диапазоне режимов, обеспечивающих высокопроизводительный процесс соединения различных металлов толщиной от нескольких микрон до десятков миллиметров.

На современном этапе, для промышленности наибольший интерес представляет лазерная сварка с глубиной провара более 1 мм. Сварка с такой глубиной проплавления может быть выполнена как в непрерывном, так и в импульсно – периодическом режимах излучения.

Схема формирования сварного соединения при лазерной сварке представлена на *рис. 2* [5]. В головной части расположен канал 3, заполненный парами. В процессе лазерной сварки над поверхностью сварочной ванны наблюдается плазменный факел 2, размеры и яркость которого периодически изменяются с частотой от нескольких герц до сотен герц. При значительных скоростях лазерной сварки факел отклоняется в сторону, противоположную направлению сварки, на 20-60° [5].

В [6] исследовали поведение плазмы при различной мощности излучения, различных скоростях сварки, толщинах свариваемых изделий, защитных газах и т.п. Исследования проводились на углеродистых, низколегированных и высоколегированных сталях толщиной 0,15 – 10 мм. Установлено, что при лазерной сварке в He, Ar, CO_2 образуется плазма двух видов: поверхностная плазма и плазма канала. Хотя приповерхностная плазма и не обладает стабильностью в процессе сварки, она не оказывает энергетического воздействия на лазерное излучение при небольшей его мощности (до 2 кВт). Однако, при повышении мощности излучения с 2 до 8 кВт растет интенсивность плазмообразования, что сопровождается увеличением концентрации электронов в плазме и ее расширение, а также увеличением яркостной темпе-

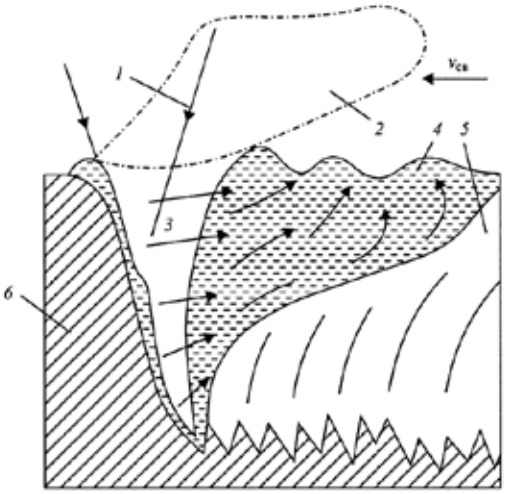


Рис. 2. Схема продольного сечения сварочной ванны: 1 – лазерное излучение, 2 – плазменный факел, 3 – парогазовый канал, 4 – хвостовая часть сварочной ванны, 5 – закристаллизовавшийся металл, 6 – свариваемый материал

ратуры. В свою очередь это приводит к повышению коэффициента поглощения плазмой лазерного излучения и увеличению угла отклонения лучей из-за рефракции, уменьшению глубины проплавления и ухудшению стабильности процесса сварки.

При сварке металлов малых толщин плазма канала не играет существенной роли, и ее доля в снижении эффективности сварки не имеет большого значения в отличие от приповерхностной плазмы.

При сварке металлов больших толщин (свыше 1 мм) плазма канала начинает оказывать самостоятельное влияние на лазерное излучение. Установлено, что при интенсивности излучения (2–5) × 10^6 Вт/см^2 плазма канала не стационарна, тем не менее сварка протекает стабильно с образованием качественного сварного шва.

Наиболее распространенным приемом борьбы с отрицательным влиянием приповерхностной плазмы является сдувание ее потоком защитного газа, но это не всегда дает эффект. Поэтому прибегают к использованию вакуума.

В [7] отмечается, что даже небольшая степень вакуумирования позволяет увеличить проплавление в 3-5 раз.

Авторы другой работы [8] подчеркивают, что лазерная сварка в вакууме в последнее время находит все большее распространение и приводят ряд примеров. В собственных исследованиях им удалось увеличить глубины проплавления при лазерной сварке в динамическом вакууме в 2 раза (мощность излучения волоконного лазера 400 Вт).

4. Конденсаторная приварка шпилек в вакууме

Дугоконтактная сварка, в т. ч. конденсаторная, представляет способ, при котором дуга горит между соединяемыми поверхностями металлических деталей. После их нагрева осуществляется приложение усилия и производится осадка.

Дугоконтактная конденсаторная сварка по характеру соединения может выполняться в двух вариантах: в твердом состоянии и с наличием закристаллизовавшегося металла в стыке [9].

В твердом состоянии выполняются соединения сечением до 1,2 мм^2, при этом осадке подвергается элемент меньшего сечения, имеющий меньшую твердость чем металл ответной пары. Поэтому для сечений свыше 1,5 мм^2, как правило, применяют разновидности дугоконтактной сварки, при которых уменьшают усилие осадки, что приводит к неполному удалению закристаллизовавшегося металла в стыке.

В [10] приведены результаты экспериментов по оценке возможности применения конденсаторной приварки шпилек в вакууме применительно к условиям космического пространства. Именно шпильки наиболее широко используют в качестве крепежных элементов в условиях монтажа на объектах космической техники.

Эксперименты проводились со шпильками РТ диаметром М4 и М6 из сплава АМг6 и стали 10Х18Н9Т, соответствующими ISO 13918. Сварку производили в форвакууме (10^{-2} торр) и высоком вакууме (10^{-5} торр) на режимах, обеспечивающих получение прочного соединения при атмосферных условиях. Все полученные соединения соответствовали стандарту. Главное отличие между соединениями, полученными при атмосферном давлении и в вакууме, заключалось в увеличении в вакууме площади выплеска расплавленного металла из зоны сварки. Авторы объясняют это уменьшением в условиях вакуума противодействия паров металла, демпфирующих удар шпильки по ванне расплавленного металла на поверхности листа под действием пружины сварочной головки.

Показано, что толщина металла, закристаллизовавшегося в стыке, уменьшается при переходе от атмосферного давления к высокому вакууму, несмотря на увеличенную в большинстве случаев продолжительность разряда при почти неизменном токе.

Проведенные эксперименты позволили установить возможность приварки шпилек диаметром до М6 из алюминиевого сплава АМг6 и стали 10Х18Н9Т в вакууме дуговым разрядом конденсатора. Полученные соединения равнопрочные с материалом шпильки.

5. Пайка в вакууме

Пайка – физико-химический процесс получения соединения в результате взаимодействия твердого паяемого (основного) металла и жидкого присадочного металла (припоя). Образующиеся в результате этого взаимодействия переходные слои на границах шва и соединяемых поверхностях деталей называют спаями.

Для получения спая, необходимо удалить с соединяемых поверхностей оксидную пленку и создать условия взаимодействия твердого и жидкого металлов. При кристаллизации вступившего во взаимодействие с материалом паяемых деталей более легкоплавкого связующего металла образуется паяное соединение.

Пайка имеет сходство со сваркой плавлением, но между ними есть принципиальные различия. Если при сварке основной и присадочный материалы находятся в сварочной ванне в расплавленном состоянии, то при пайке паяемый металл не плавится. Формирование шва при пайке происходит путем заполнения припоем зазора между соединяемыми деталями, т.е. процесс пайки связан с капиллярным течением, что не имеет места при сварке плавлением. Пайка, в отличие от сварки плавлением, осуществляется при температурах, лежащих ниже температуры плавления паяемого металла, и может происходить в широком интервале температур. Одним из преимуществ пайки является возможность соединения за один прием в единое целое множество элементов, составляющих изделие. Она позволяет соединять разнородные металлы, а также металлы со стеклом, керамикой, графитом и другими неметаллическими материалами.

Поскольку при пайке не происходит расплавления кромок паяемых деталей, то проще сохранить в процессе нагрева требуемую форму и размеры изделия. Низкотемпературная пайка позволяет со-

хранить неизменными структуру и свойства металла соединяемых деталей.

Сегодня пайка находит широкое применение в разных отраслях промышленности: авиационной, космической, в приборостроении, автомобилестроении и др. [11]. В качестве источников нагрева используют газовое пламя, индукционный нагрев, инфракрасное излучение, электронный и лазерный луч, световой луч и др. [12]. Для защиты металла от окисления используют различные флюсы и газовые среды.

Пайка в газовой среде по сравнению с пайкой с применением флюсов имеет значительные преимущества, к которым относятся: высокое качество соединения; высокая производительность процесса; незначительное коробление изделия вследствие равномерного нагрева детали; возможность строгого контролирования температуры и времени выдержки в печи; высокая чистота поверхности, не требующая очистки после пайки.

Для пайки в печах или контейнерах используются восстановительные, инертные и различные активированные среды, а также вакуум. Вакуум используют при пайке особо активных металлов и сплавов (титан и сплавы на его основе, алюминий и сплавы на его основе, жаростойкие никелевые сплавы, гафний, индий и др.). При пайке в вакууме (10^{-4} – 10^{-3} Па) удаление посторонних слоев, главным образом окислов, происходит в результате действия следующих факторов [13]:

- диффузия в основной металл, если окисел не стабилен;
- подтекания припоя под разрушившиеся слои окисла. В связи с разными коэффициентами термического расширения основного металла и окисла слой последнего растрескивается, а припой проникает в образующиеся микротрещины, подтекает под пленку окисла и отрывает ее от поверхности;
- связывания окислов с геттерными металлами, образующими пары с высокой химической активностью и большим давлением, например, с литием, магнием, кальцием. Геттерные металлы можно вводить в припой или камеру. Они могут связывать кислород и водород, содержащиеся в остаточной атмосфере, и восстанавливать металл.

На растекание припоев в вакууме большое влияние оказывает разрежение в камере пайки. С повышением степени разрежения при постоянной температуре парциальное давление кислорода в камере пайки снижается, что способствует диссоциации окислов и улучшению смачивания паяемого металла расплавленным припоем. Однако, для некоторых металлов наименьшая температура смачивания соответствует разрежению 1,33 Па.

Для пайки в вакууме применяются вакуумные печи непрерывного и периодического действия (колпаковые, элеваторные, муфельные), а также специальные установки, оснащенные концентрированными источниками нагрева [12]. В зависимости от конструкции в этих установках создается разрежение от 1,33 до 1,33 х 10^{-4} Па.

Опыты по вакуумной пайке в условиях космического пространства показали, что микрогравитация улучшает регулируемое силами поверхностного натяжения формирование паяного соединения. При этом влияние космической обстановки на микроструктуру соединения не обнаружено [14]. Пайку рассматривают как одну из наиболее перспективных технологий применительно к выполнению ремонтно-монтажных работ в условиях орбитального космического полета.

Продолжение в следующем номере журнала

Литература

1. Сварка в машиностроении. Т. 1 / под ред. Н.А. Ольшанского / – М.: Машиностроение, 1978. – 504 с.

2. Мовчан Б.А., Тихоновский А.Л., Курапов Ю.А. Электронно-лучевая плавка и рафинирование металлов и сплавов. / под. Ред. Б.Е. Патона / – К.: Наукова думка, 1973. – 240 с.

3. Патон Б.Е. Современные электронно-лучевые технологии ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ. // Автомат. сварка. – 2001. – № 2. – С. 3-8.

4. Кайдалов А.А. Электронно-лучевая сварка и смежные технологии. – Киев: Экотехнология, 2004. – 260 с.

5. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. - М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.

6. Грезев А.Н. Плазмообразование при лазерной сварке. // Сварочное производство. – 2005. – № 5. – С. 20-25.

7. Назаренко О.К., Морочко В.П. Применение мощных CO_2 – лазеров в зарубежном сварочном производстве (обзор). // Автомат. сварка. – 1989. – № 4. – С. 43-49.

8. Хаскин В.Ю., Шелягин В.Д., Шулым В.Ф. и др. Влияние давления защитного газа в зоне сварочной ванны при лазерной сварке сталей. // Сварщик. – 2013. – № 4. – С. 10-15.

9. Калеко Д.М. Дугоконтактная конденсаторная сварка разнородных металлов. // Сварщик. – 2015. – № 5. – С. 10-12.

10. Патон Б.Е., Калеко Д.М., Булацев А.Р., Шулым В.Ф. Конденсаторная приварка шпилек в вакууме. // Автомат. сварка. – 2012. - № 4. – С. 42-46.

11. Максимова С.В. Пайка – перспективный метод получения неразъемных соединений. // Автоматическая сварка. – 2020. –№ 3. – С. 45-52.

12. Петрунин И.Е., Маркова И.Ю., Гржимальский Л.Л. и др. Краткий справочник паяльщика. / Под. общ ред. И.Е. Петрунина / – М.: Машиностроение, 1991. – 224 с.

13. Руге Ю. Техника сварки. Справочник, изд. в 2 ч. - М.: Металлургия, Машиностроение, 1984. – 552 с.

14. Хорунов В.Ф. Особенности формирования паяных соединений тонкостенных конструкций в космосе. // Автоматич. сварка. –1999. – № 10. – С. 31-38.

#1375

Полуавтомат для кислородной резки металлических заготовок большой толщины

В.М. Литвинов, ООО «НИИПТмаш - Опытный завод», **А.Е. Мерзляков, С.Н. Косинов, А.А. Задорожный,** ЧАО «НКМЗ» (Краматорск)

В статье [1] был рассмотрен процесс удаления трещины и подготовки кромок под электрошлаковую сварку (ЭШС) корпуса бойка пресса усилием 5000 тс с помощью кислородной резки металлов больших толщин. При ЭШС затравка и наведение шлаковой ванны в начале сварки, и вывод шлаковой ванны за пределы детали по окончании сварки осуществляется с помощью выводных планок. Таким образом в теле заготовки формируют здоровый сварочный шов, а все дефекты выводятся за пределы свариваемой детали и затем удаляются вместе с технологическими планками с помощью ручной кислородной резки как наиболее дешевого способа.

Считают, что участок ЭШС целесообразно оборудовать стационарным постом ручной кислородной резки для удаления выводных планок и других вспомогательных операций. Если суммарная толщина выводных планок и сварного шва не превышает 300 мм, то выбирают ручной удлиненный резак Р3у или Р3Шу [2].

Детали, которые изготавливают на ЧАО «НКМЗ» с применением электрошлаковой сварки зачастую имеют технологические планки толщиной 300 - 520 мм. Специальные резаки Р3-ФЛЦ [3] и ТОРН-Р [4], рассчитанные на такие толщины, могут использоваться для удаления выводных планок, но они имеют ряд недостатков. Эти резаки предназначены для кислородной резки прибылей литья и крупного металлолома. При выполнении этих операций были определены несколько направлений, позволяющих улучшить конструкцию резака, повысить его работоспособность, мощность и производительность:

- большая масса резака приводит к быстрой усталости газорезчика во время работы;
- значительные габариты головки с мундштуками не позволяют полностью удалять выводные планки и на теле заготовки остается значительный пенек, который во многих случаях препятствует нормальной эксплуатации сваренной детали или увеличивают трудоемкость последующей механической обработки;
- органы управления (вентили и рычажные клапаны), расположенные на резаке, утяжеляют его конструкцию, приводят к увеличению габаритов и главное, являются источником потерь давления рабочих газов, что приводит к уменьшению мощности резака;
- рассматриваемые резаки при резке выводных планок толщиной до 520 мм не обладают запасом мощности, необходимым для получения качественной поверхности реза и во многих случаях требуют последующей механической обработки;
- низкая скорость резки приводит к повышенным расходам газов – энергоносителей в расчете на выполнение одного реза, что снижает экономичность процесса удаления выводных планок с помощью рассматриваемых резаков.

Если убрать из конструкции резака регулировочные вентили и рычажный клапан, то можно минимизировать или вовсе убрать перечисленные выше недостатки. Резак облегчается, его габариты уменьшаются, габариты головки тоже можно уменьшить, при этом уменьшается или исчезает остаток выводных планок на заготовке. Снижение потерь давления в вентилях, рычажном клапане и других конструктивных элементах приводит к повышению мощности резака, а увеличение запаса мощности резака способствует повышению качества поверхности реза. По сути, ручной резак состоит из головки с мундштуками и газоподводящих трубок, поэтому легко увеличить производительность резака, увеличив поперечное сечение газоподводящих трубок и пересчитав рабочие каналы головки и мундштуков на большие расходы рабочих газов.

По аналогии с полуавтоматической сваркой в среде защитных газов, где механизирована подача сварочной проволоки, а горелку перемещают вручную, кислородную резку, при которой механизирована подача рабочих газов, а резак перемещают вручную, можно назвать полуавтоматической кислородной резкой (ПАКР).

Полуавтомат для кислородной резки, разработанный для удаления выводных планок при ЭШС крупных деталей, состоит из резака, блока управления рабочими газами и их регулировки, резинотканевых рукавов и узла подсоединения рукавов с рабочими газами к цеховым магистралям. На рукоятке резака предусмотрены два микропереключателя: один для включения и выключения электромагнитного клапана режущего кислорода на блоке управления, второй – служит для включения и выключения клапанов горючего газа и подогревающего кислорода на блоке управления. Клапаны горючего газа и подогревающего кислорода включают-

ся – выключаются одним микропереключателем, но предусмотрена задержка включения подогревающего кислорода по отношению к включению горючего газа на 3-4 секунды.

Принципиальная схема полуавтомата для кислородной резки (ПАКР) приведена на *рис. 1*.

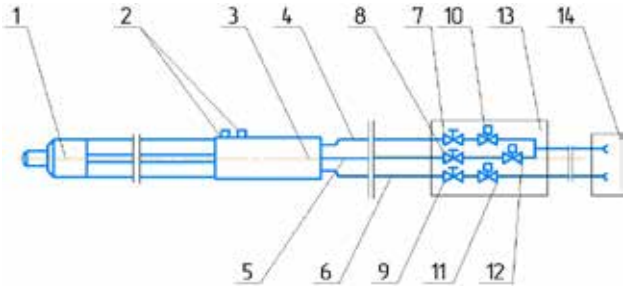


Рис. 1. Принципиальная схема полуавтомата для кислородной резки ПАКР

Полуавтомат ПАКР состоит из резака 1, на рукоятке 3 которого имеется два микропереключателя 2. Один для включения режущего кислорода, второй микропереключатель сначала включает горючий газ, затем с задержкой в 3-4 сек включает подогревающий кислород. В блоке управления 13 предусмотрены: по линии режущего кислорода - регулировочный вентиль 7 и электромагнитный клапан 10, по линии подогревающего кислорода - регулировочный вентиль 8 и электромагнитный клапан 12, по линии горючего газа - регулировочный вентиль 9 и электромагнитный клапан 11. Узел подсоединения рукавов с рабочими газами к цеховым магистралям 14 связан с блоком управления 13 кислородным рукавом Ду12 и рукавом горючего газа Ду9. Блок управления 13 связан с резаком 1 по линии режущего кислорода 4 рукавом Ду12, по линии подогревающего кислорода 5 - рукавом Ду9 и по линии горючего газа 6 - рукавом Ду9. Все рукава от резака 1 до блока управления 13 имеют длину 4 м. Рукава от блока управления 13 до узла подсоединения рукавов с рабочими газами к цеховым магистралям 14 имеют длину от 20 до 30 м в зависимости от условий цеха.

Представление о резаке полуавтомата ПАКР дает *рис. 2*. Резак лежит на выводных планках бойка пресса усилием 10 000 тс. Эти планки подлежат удалению с помощью полуавтомата ПАКР.

Рис. 2. Резак полуавтомата ПАКР перед работой на выводных планках бойка пресса усилием 10000 тс после ЭШС

Рис. 3. Блок управления полуавтомата ПАКР

Блок управления полуавтомата ПАКР показан на *рис. 3*. Корпус блока управления выполнен с предохранительными ручками, расположенными вокруг корпуса с двух сторон и предохраняющими его от механических повреждений. Для удобства эксплуатации корпус блока управления рассчитан на то, чтобы при необходимости на нем можно было сидеть.

Чертежи деталей полуавтомата с расчетными каналами представлены на *рис. 4 – 8*. При необходимости все детали полуавтомата можно изготовить самостоятельно. Для этого достаточно иметь один токарный станок типа 1К62 и один настольно-сверлильный станок.

Технические характеристики полуавтомата ПАКР приведены в *табл. 1*.

При эксплуатации полуавтомата ПАКР сначала надо адаптировать его к конкретным условиям цеха. На участке необходимо обустроить газораздаточный пост (ГРП) с вентилями на цеховых магистралях кислорода и природного газа не менее

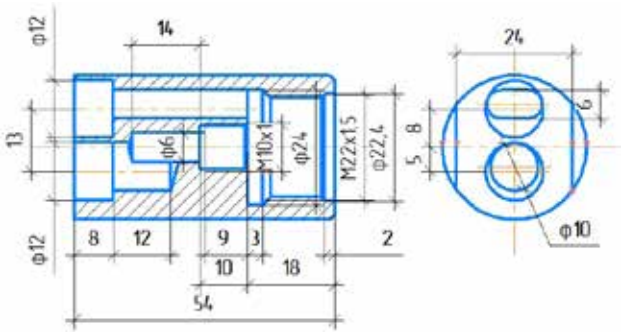


Рис. 4. Головка резака полуавтомата ПАКР

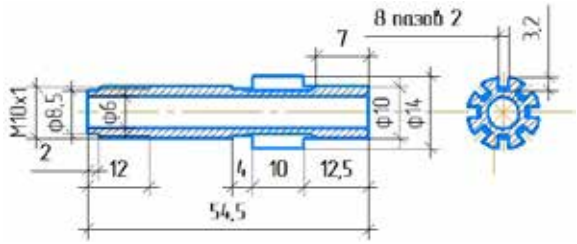


Рис. 5. Мундштук внутренний полуавтомата ПАКР

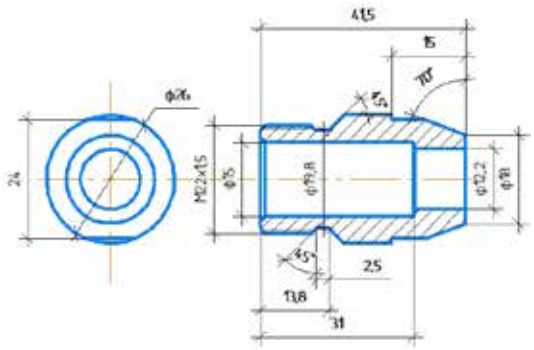


Рис. 6. Мундштук наружный полуавтомата ПАКР

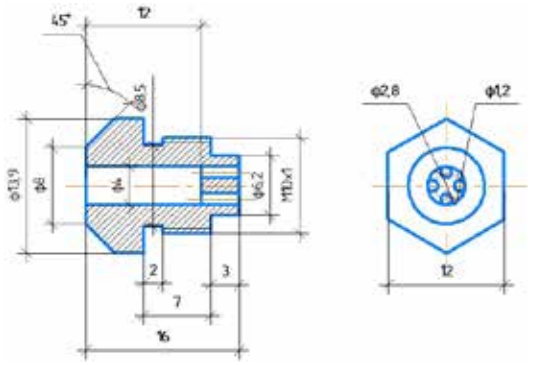


Рис. 7. Инжектор полуавтомата ПАКР

Ду15. В непосредственной близости от ГРП необходимо предусмотреть запирающийся на замок шкаф для хранения резака, блока управления и резинотканевых рукавов в собранном состоянии. Причем отключать полуавтомат ПАКР от цеховых магистралей кислорода и природного газа при его хранении нет необходимости.

При первом использовании полуавтомата ПАКР на новом рабочем месте необходимо включить все электромагнитные клапаны по линиям кислорода режущего, подогревающего и природного газа, и вентилями на ГРП и на блоке управления полуавтомата ПАКР установить параметры рабочих газов в соответствии с *табл. 1*. Затем выключить все электромагнитные клапаны.

Включить электромагнитный клапан природного газа и вентилем на блоке управления отрегулировать расход природного газа таким образом, чтобы фронт пламени при его горении в атмосфере находился от мундштуков резака на расстоянии от 300 до 400 мм.

Затем необходимо включить электромагнитный клапан подогревающего кислорода и, плавно регулируя вентилем на блоке управления, привязать пламя к торцам мундштуков. После привязки пламени резак будет работать стабильно при колебаниях давлений рабочих газов в сетях в широких пределах.

При стабильном горении факела резака необходимо полностью открыть вентиль режущего кислорода на блоке управления и несколько раз включить – выключить режущий кислород. Если пламя отрываться от резака не будет, то полуавтомат ПАКР

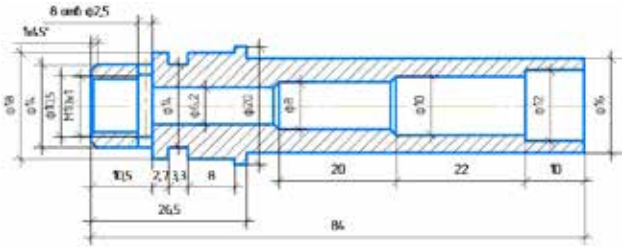


Рис. 8. Смесительная камера полуавтомата ПАКР

Таблица 1. Технические характеристики полуавтомата ПАКР

Толщина разрезаемого металла, мм		300-500
Давление в цеховой магистрали, МПа	кислорода	1,3
	природного газа	1,0
Давление на входе в резак, МПа	режущего кислорода	0,45 – 0,6
	подогревающего кислорода	0,3 – 0,4
	природного газа	0,04 - 0,06
Расход, м^3/час	кислорода	80
	природного газа	8,5
Присоединительная резьба на штуцерах	кислорода	М20х1,5
	горючего газа	М16х1,5 LH

готов к работе. Если пламя проявит склонность к отрыву, то необходимо увеличить расход подогревающего кислорода вентилем на блоке управления.

После настройки режимов резки необходимо выключить все электромагнитные клапаны блока управления. Оборудование готово к работе.

Осмотрев выводные планки и зачистив место врезания кислородной струи в заготовку, если это необходимо, нужно включить резак. Для этого необходимо предусмотреть любой источник открытого огня, направить на него резак и включить микропереключатель на ручке резака, соединенный с электромагнитными клапанами природного газа и подогревающего кислорода. Сначала воспламенится природный газ и будет гореть на расстоянии 300 – 400 мм от мундшту-

Рис. 9. Кислородная резка выводных планок при ЭШС бойка пресса усилием 10 000 тс с помощью полуавтомата ПАКР

Рис. 10. Процесс кислородной резки выводных планок сварно-литого «Архитрава»

ков, а через 3-4 секунды пламя привяжется к резаку.

Нагрев предполагаемое место врезания в заготовку, включают режущий кислород. Давление режущего кислорода будет нарастать плавно, так как сначала будут заполняться резинотканевые рукава. Воспламенив металл заготовки, нужно перемещать резак в нужном направлении или вручную, как показано на *рис. 9*, *10*, или используя малую механизацию (винт с гайкой), как показано на *рис. 11*.

Резка с помощью полуавтомата ПАКР начальных и выводных планок суммарной толщиной 320 мм и длиной 3 000 мм с каждой стороны бойка пресса усилием 10 000 тс из стали 5ХНМ показана на *рис. 9*.

Выводные планки при ЭШС архитрава имеют суммарную толщину также 320 мм. Материал архитрава – сталь 30Л. На *рис. 10*, слева показана резка выводных планок на стадии завершения процесса; справа представлена поверхность реза на детали и на отрезанном куске. Процесс удаления выводных планок не вызвал затруднений, качество поверхности реза удовлетворительное.

Наибольший интерес вызвала кислородная резка выводных планок после ЭШС «Траверсы», толщина которых составила 520 мм. Для перемещения резака была привлечена малая механизация (винтовая пара, приводимая в движение вручную). На *рис. 11*, слева показан процесс резки; справа представлена поверхность реза на детали. На *рис. 11* видна рама ручного привода, к каретке которого прикреплен резак полуавтомата ПАКР. Некоторая размытость поверхности реза в определенных местах вызвана тем, что ход винтовой пары ручного привода был в несколько раз короче, чем

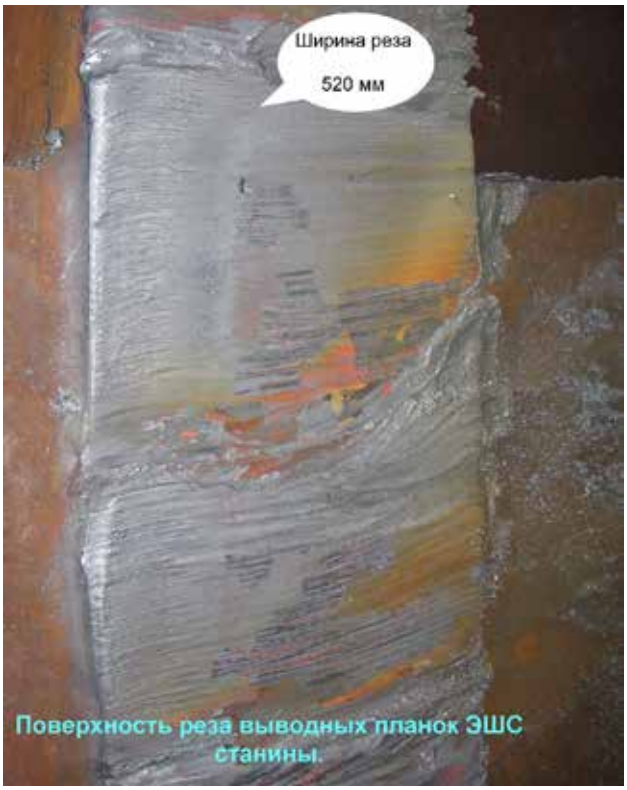


Рис. 11. Процесс кислородной резки выводных планок после ЭШС «Траверсы». Суммарная толщина выводных планок и сварного шва составляет 520 мм. Справа – поверхкость реза на детали

длина выводных планок и в процесе резки привод перемещения резака приходилось несколько раз переустанавливать с прерыванием процесса резки. Процесс резки также не вызвал затруднений. Качество поверхности реза хорошее.

Полуавтомат ПАКР для кислородной резки металлов больших толщин был спроектирован для обслуживания участков электрошлаковой сварки НКМЗ, но в процессе его испытаний стало очевидным, что он хорошо себя покажет и при разделке крупного лома, и при выплавке дефектов на поковках.

Конструктивное исполнение резака без запорно-регулирующей арматуры позволяет при сохранении массы и размеров резака, т. е. без каких-либо усложнений условий его эксплуатации значительно увеличить мощность резака. На *рис. 12* показаны испытания полуавтомата ПАКР, резак которого рассчитан на разрезаемую толщину заготовки до 1 м. В этом диапазоне толщин используют или сложные и дорогие машины газовой резки, или испытанный веками способ кислородно-копьевой резки. Но внедрение машин газовой резки металлов больших толщин не всегда экономически целесообразно, так как загрузить их работой не всегда удается, поэтому продолжают использовать затратный (большие расходы газов - энергоносителей и металлической трубки, рассчитанные на единицу изделия), но единственный способ кислородно-копьевой резки.

Кнопочное включение и выключение режущего кислорода и газов подогревающего пламени повышает комфорт работы газорезчика, он меньше устает, меньше делает ошибок, и это повышает безопасность работы и производительность труда.

О ручном резаке для резки заготовок толщиной до 1 000 мм РЗ-ФЛЦ-ВС, используемом в комплекте полуавтомата ПАКР более подробно, можно узнать в книге [5].

Кнопочный резак для выплавки дефектов на поковках в составе полуавтомата ПАКР имеет такие же преимущества, что и резак для разделки крупного лома. Сохраняя массу и размеры резака-аналога, т.е. не усложняя его эксплуатацию, можно значительно увеличить расходы рабочих газов и, значит, увеличить мощность и производительность

Рис. 12. Кислородная резка крупных кусков металлического лома с помощью полуавтомата ПАКР

Рис. 13. Подготовка полуавтомата ПАКР к использованию при выплавке дефектов на поковках

резака. В полуавтомате ПАКР происходит плавное нарастание давления режущего кислорода. Это способствует плавному переходу от лунки выплавляемого металла к здоровому металлу поковки без выхватов и рванин, т.е. повышается качество работ по удалению дефектов на поковке, что приводит к снижению себестоимости изготовления поковки в целом.

Подготовка полуавтомата ПАКР к использованию при выплавке дефектов на поковках показана на *рис. 13*. В конструкции полуавтомата использован наконечник резака для выплавки дефектов, описанный в [6].

Литература.

1. Литвинов В.М., Мерзляков А.Е., Косинов С.Н., Задорожный А.А. Ремонт корпуса бойка ковочного пресса усилием 5000 тс. Часть 1. Вырезка трещины и подготовка поверхности кусков корпуса под электрошлаковую сварку. // Сварщик в России. – 2021. – № 3. – С. 6-8.

2. Литвинов В.М., Лысенко Ю.Н. Резак РЗШ для газокислородной резки прибылей литья и лома толщиной до 300 мм. // Сварщик в России. – 2020. – № 6. – С. 18-21.

3. Литвинов В.М., Лысенко Ю.Н. Резак РЗ-ФЛЦ для ручной кислородной резки прибылей крупного литья. // Сварщик в России. – 2021. – № 1. – С. 29-35.

4. Литвинов В.М., Лысенко Ю.Н. Газокислородные резаки ТОРН-Ш, ТОРН-РК и ТОРН-РКФ для резки крупного лома на габаритные куски. // Сварщик в России. – 2021. – № 3. – С. 12-14.

5. Литвинов В.М., Лысенко Ю.Н. Кислородная резка и внепечной нагрев в тяжелом машиностроении. – Киев: НТК «ИЭС им. Е. О. Патона» НАНУ, 2017. – 368 с.

6. Литвинов В.М., Лысенко Ю.Н. Газокислородный резак РКВД для выплавки дефектов на поковках в процессе их изготовления. // Сварщик в России. – 2021. – № 4. – С. 14-17.

#1376

20-я Юбилейная Международная выставка сварочных материалов, оборудования и технологий Weldex 2021

С 12 по 15 октября 2021 г. в МВЦ «Крокус Экспо» состоялась 20-я юбилейная международная выставка сварочных материалов, оборудования и технологий Weldex 2021 – главная выставка сварочного сообщества России и стран СНГ. Выставка прошла в офлайн-формате и стала центром притяжения для специалистов сварочного сообщества России и стран СНГ. Организатор выставки – группа компаний Nuve.

Weldex – самая крупная международная выставка сварочных материалов, оборудований и технологий по количеству участников и посетителей в России и странах СНГ. На выставке комплексно представлены решения для эффективных сварочных производств в различных отраслях: машиностроении, судостроении, производстве транспортных средств, нефтегазовом комплексе, строительстве и др. Выставка Weldex объединяет профессиональное сварочное сообщество и предоставляет специалистам постоянные возможности для обучения, получения новой информации об актуальных трендах, обмена опытом, нетворкинга, укрепления существующих и налаживания новых партнерств, а также решения задач по подбору оборудования для сварки, пайки, наплавки и резки металла, модернизации и автоматизации сварочных производств.

В 2021 г. экспозиция выставки заняла более 7000 кв.м., в ней приняли участие свыше 100 компаний, заинтересованных в долгосрочной стратегии развития и продвижения на российском рынке. Экспозиция получилась масштабной и представительной. В Weldex 2021 приняли участие производители сварочной техники, роботов, материалов для сварки, металлообрабатывающего оборудования, средств защиты, приборов для неразрушающего контроля из 11 стран мира. Интерес зарубежных компаний к российскому рынку остается стабильно высоким. Кроме новинок российских производителей, посетители смогли ознакомиться с инновационными разработками из Австрии, Республики Беларусь, Германии, Индии, Италии, Китая, Турции, Украины, Франции и Японии. Среди участников выставки признанные отечественные и зарубежные лидеры рынка: Abicor Binzel, Cloos Vostok, Deloro Wear Solutions, ESAB, EWM, Foxweld, Kawasaki Robotics, Kemppi, Messer Cutting Systems, «Магнитогорский электродный завод», «Абинский ЭлектроМеталлургический завод», «Прогресс НИТИ», «ТЭТА», «Череповецкий завод сварочных материалов» и др. В рамках выставки Weldex 2021 традиционно организован национальный павильон Германии, где 10 немецких компаний продемонстрировали свои достижения.

Деловая программа. В 2021 г. мероприятия деловой программы выставки Weldex были объединены в Международный Форум Сварочного Производства и проходили в течение 3 дней выставки. В рамках Форума состоялись 8 конференций, и выступили 53 спикера. Эксперты обсудили технологические тренды развития индустрии, аналитику рынка и проблемы отрасли. Особое внимание посетителей привлекли обсуждения вопросов автоматизации сварочного производства, нюансов регулирования и гармонизации стандартов в области сварочного производства. Узнать актуальную аналитику рынка и послушать кейсы топ-менеджеров крупных компаний пришли 653 делегата.

В 1-й день выставки ключевым мероприятием деловой программы стала Тренд-сессия «Сварочное производство будущего. Передовые технологии и опыт их применения», где участники рассмотрели ключевые технологические тренды в сварке и родственных процессах – использование лазерной сварки, аддитивных технологий, цифровизацию и роботизацию. Почетный гость мероприятия – Президент «Европейской ассоциации производителей сварочного оборудования и материалов (EWA)» Эмиль Шуберт - представил тренды развития сварочной отрасли в Европе. Опытом применения технологий и организации современного сварочного производства поделился Главный сварщик-начальник отдела главного сварщика АО «Метровагонмаш» Александр Сергеевич Мак-Мак.

12 октября впервые прошла сессия блиц-аналитики «Рынок сварочных материалов и оборудования в РФ. Современное состояние и пути развития». Специальный гость мероприятия - Вице-президент Международного аналитического агентства MarketsandMarkets Лакшми Нараянан. Партнером сессии выступила компания WeldPerfect. Прогнозами развития рынка в рамках дискуссии поделились поставщики и заказчики сварочных материалов и оборудования – представители КАМАЗ-Мастер, ЭСАБ, Вектор Групп и др.

Впервые в рамках Общероссийского совещания специалистов-сварщиков «Проблемы сварочной отрасли в РФ и пути их решения» состоялось выступление гендиректора Международного института сварки (IIW) г-на Луки Косты.

13 октября были организованы семинары для технических специалистов. Впервые прошло узкоотраслевое мероприятие, посвященное прогрессивным технологиям изготовления стальных конструкций.

Продолжило мероприятия семинар по вопросам стандартизации, аттестации и сертификации в России и ЕАЭС, где российские и зарубежные эксперты обсудили действующие национальные, межгосударственные и новые версии международных стандартов в области сварочного производства. Среди участников представители ФГБУ «РСТ», РНТСО, АО «НПО ЦНИИТМАШ», АО «ЗиО-Подольск», Казахстанского института сварки и др.

В 3-й день, 14 октября прошел «День автоматизации», на котором были затронуты проблемы и решения по применению полуавтоматов и автоматов, роботов, цифровых решений и построению индустрии 4.0 на сварочном производстве. Традиционным партнером блока по роботизации выступила Национальная Ассоциация участников рынка робототехники.

Деловую программу четверга открыла сессия «Использование полуавтоматов и автоматов на сварочном производстве. Проблемы и опыт решения». Эксперты обсудили опыт автоматизации сварочного производства и выявленные в ходе эксплуатации технологические ограничения подобных решений.

В течение всей выставки работала VR Зона, где каждый посетитель выставки мог лично протестировать сварочный симулятор и опробовать свои навыки в цифровой системе, имитирующей сварочный процесс при помощи технологии дополненной реальности. Партнеры – компании ABICOR BINZEL и Soldamatic.

Профессиональные конкурсы. 12 и 13 октября 2021 г. на территории выставки прошли ежегодные профессиональные конкурсы «Лучший сварщик», «Лучший молодой сварщик», «Лучший Инженер/Ученый в сварочной отрасли» и «Мисс Сварка Мира». Итоги конкурса были объявлены на торжественной церемонии награждения 14 октября 2021 г. Конкурс прошел при поддержке компаний Esab, ГК Сварог и Air Liquide.

Впервые на выставке прошла тренировка национальной сборной WorldSkills Russia по компетенции «Сварочные технологии» под руководством Международного эксперта Михаила Павленко. На Weldex 2021 Национальная сборная начала подготовку к Чемпионату мира в Китае в г. Шанхай.

Спонсоры и партнеры Weldex 2021: Unifos; Air Liquide; Bansal Wire; Кедр.

Weldex 2021 прошла при официальной поддержке Минпромторга РФ, Департамента инвестиционной и промышленной политики Москвы, Министерства инвестиций, промышленности и науки МО, Московского межотраслевого альянса главных сварщиков и РСПП.

Информационную поддержку оказали: Отраслевое информационное агентство «Новости энергетики»; ИТЦ «Альянс сварщиков», журналы: «Ритм машиностроения», «Рынок Электротехники», «Сварщик в России», «Вебсварка», «Аддитивные технологии» и др.

В последний день выставки на торжественной церемонии награждения Юбилейной премии Weldex 2021 были отмечены выдающиеся стенды 2021 г. и многолетние участники Weldex. В финале выставки директор Weldex Татьяна Нагаслаева поздравила участников и посетителей выставки, которая прошла с большим успехом, на 4 дня объединив производителей и специалистов отрасли для живого делового общения, которого так не хватало бизнесу в последнее время.

Команда выставки решила отметить вклад участников в подготовку выставки и пригласила экспертное жюри в составе Николая Карасева, гендиректора АВК «ЭкспоЭффект», и Евгении Мануковской, основателя и руководителя ведущей в России и СНГ агрегатора выставок и конференций Expomap.ru. Перед жюри стояла задача изучить стенды компаний-экспонентов и оценить их в нескольких номинациях. Эксперты выделили следующих победителей:

В номинации «Креативный подход к оформлению стенда» жюри отметило компании KAWASAKI Robotics / Робовизард и ESAB.

Награду за эффективную демонстрацию оборудования на стенде жюри присудило компаниям Клоос Восток и Сварог. За победу в номинации «Эффективная демонстрация продукта на стенде» награждена компания Стартвэлд. В номинации «Эффективная демонстрация материалов на стенде» победила компания Альфа АРС.

За продуманное расположение экспонатов на стенде премию получила компания Абикор Бинцель Сварочная Техника.

Выставка Weldex уже много лет является главным мероприятием в календаре компаний и специалистов сварочной индустрии. В 2021 г. команда выставки решила отметить и поблагодарить коллег, которые принимают участие в выставке уже на протяжении 11 лет. В их число вошли: ЭСАБ; Вектор Групп; ВЭЛД-ДМС Белер Вэлдинг; ГРПЗ, Рязань; Мессер Каттинг Системс; Металлстройснаб; МЭИ, НИУ; Прогресс НИТИ; Рутектор; Сварог; Техносвар КС.

Поздравляем победителей и благодарим всех участников выставки за проделанную работу. До встречи в следующем 2022 году!

#1377

Локальная продукция ESAB на выставке Weldex: сделано в России

С 12 по 15 октября 2021 г. состоялась 20-я юбилейная выставка Weldex, где компания ESAB представила свои новинки оборудования для сварки и резки, расходных и сварочных материалов, а также средства индивидуальной защиты.

В 1-й день на стенде компании прошло мероприятие, посвященное локальному производству и сотрудничеству с российскими поставщиками сырья, в т.ч. Группой НЛМК. Уральские предприятия компании поставляют на заводы ESAB в Санкт-Петербурге и Тюмени сырье в виде катанки и проволоки для производства сварочных электродов и сварочной проволоки. Для демонстрации оборудования ESAB на выставке Weldex 2021 Группа НЛМК предоставила образцы износостойких марок стали Quard 400 и 450. Эта сталь выпускается на NLMK Clabecq (Бельгия). Механические свойства стальных листов облегчают процессы резки, сгиба и сварки. К марке Quard применимы все методы традиционной сварки благодаря низкому углеродному эквиваленту.

«Наша локальная продукция более конкурентная и доступна для заказчиков, т.к. время и издержки на транспортировку минимальны. Кроме этого, производство в России даёт возможность быстро реагировать на новые потребности рынка, вести исследования, дорабатывая продукцию под конкретные проекты. Сотрудничество с Группой НЛМК даёт нам широкие возможности совершенствования как своих технологий и подходов, так и развития локальных поставщиков сырья», – рассказал директор направления сварочных материалов ESAB Алексей Беликов.

Компания ESAB является мировым производителем сварочного оборудования и материалов, что накладывает особую ответственность на поставщика сырья. Группа НЛМК обеспечивает ESAB не только качественной продукцией, но и предоставляет высокий уровень сервиса; благодаря чему ESAB минимизирует свои складские остатки и получает сырье точно в срок.

«Наша компания представлена в Европе, Америке, Индии и, конечно, России. На сегодня наши российские производства выпускают продукцию, которая сделана из локального сырья. Мы относимся к выбору поставщика с особой ответственностью, т.к. от этого зависит наша репутация и право на статус лидера отрасли. С НЛМК мы работаем уже 10 лет, и за это время совместно отработали ряд технологий, которые позволяют нашей продукции обеспечивать высокий уровень сварочных работ в ключевых отраслях промышленности», – подчеркнул гендиректор ESAB в России и СНГ Алексей Нужный.

#1378

X юбилейная международная конференция «Лучевые технологии и применение лазеров»

С 20 по 22 сентября 2021 г. в Санкт-Петербурге прошла юбилейная X международная конференция «Лучевые технологии и применение лазеров». В числе организаторов конференции Министерство науки и образования РФ, СПбГМТУ, СПбПУ Петра Великого, НЦМУ «Передовые цифровые технологии, ИЛИСТ, АО «ОСК», АО «ОДК», ООО «Центр лазерных технологий».

Участников конференции приветствовали ректор Санкт-Петербургского ГМТУ Глеб Андреевич Туричин и вице-президент по техническому развитию АО «Объединенной судостроительной корпорации» Василий Борисович Бойцов. Василий Борисович поблагодарив Г.А. Туричина за организацию мероприятия, отметил большое значение конференции для отрасли судостроения.

Программа конференции отражала основные тенденции и мировые тренды развития лазерных, электронно-лучевых и родственных технологий: от фундаментальных исследований и прикладных разработок до внедрения передовых производственных технологий в промышленность и цифровизации производственных процессов.

Тематика конференции была сфокусирована на современных разработках в областях: 1. Физические основы и математическое моделирование лучевых технологий. CAD-CAM-CAE системы; 2. Оборудование и технологии сварки, наплавки и термообработки; 3. Оборудование и технологии аддитивного производства; 4. Оборудование и технологии резки, прошивки отверстий и обработки поверхности; 5. Метрология, системы измерений и дефектоскопия; 6. Лучевые технологии индустрии 4.0.

Интересные результаты были представлены в области аддитивного материаловедения и разработки новых материалов, цифровизации производственных процессов и при рассмотрении примеров внедрения передовых производственных технологий в промышленность.

Ученые обсудили широкий круг вопросов, связанных с практическим применением лучевых технологий и механизмами их внедрения в современное производство.

Среди участников конференции специалисты из Австрии, Беларуси, Германии, России, Украины, Финляндии – представители 40 организаций.

На конференции состоялись пленарные заседания, тематические секции и мастер-классы. За 3 дня работы конференции прозвучали 100 докладов.

#1379

Стратегия Б.Е. Патона в информационной борьбе за приоритет

А.Н. Корниенко, д.и.н., к.т.н., ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ (Киев)

За две недели я выполнил первое протокольное поручение директора - представил анализ основных публикаций о жизни и деятельности Николая Николаевича Бенардоса. Информацию свёл в таблицу, в которой в хронологическом порядке отмечалось, как разные авторы описывали жизнь и деятельность изобретателя. Сразу же стали видны противоречия и пробелы. И, самое важное, - где же был изобретатель в конце 1870-х годов? Именно в эти годы он «должен был» создать дуговую сварку.

Несколько вполне авторитетных историков писали, что Н.Н. Бенардос «вынужден был после разорения выехать со своей семьей в г. Лух Костромской губернии»; другие - что «Н.Н. Бенардос начал свою самостоятельную жизнь в поселке Лух, там обзавелся семьей и уехал оттуда в молодом возрасте в 25 лет». Некоторые поздние биографические данные о Бенардосе, подтвержденные ссылкой на документы, опровергали высказывания предыдущих биографов. Многочисленные отечественные и зарубежные прижизненные публикации сведений о биографии не содержали. Они касались только изобретений Бенардоса. И как это обычно бывает, современники - коллеги мало интересовались подробностями личной жизни окружающих, во всяком случае, записей не оставили.

Долгое время противоречивыми оставались и сведения о месте и дате рождения изобретателя. По утверждениям К.К. Хренова и М.А. Шателена, изобретатель сварки последние годы жил в Петербурге, где и умер. В 1950 г. историк электротехники Б.Н. Ржонсницкий нашел документы о том, что Н.Н. Бенардос в 1900 г. отправил заявку на патент на конструкцию стальной бороны именно из Киева. Тогда Борис Николаевич приехал в наш город и нашел в областном архиве запись о смерти Бенардоса в г. Фастов (Киевской губернии) в 1905 г.

Ближе всех к ответу на вопрос о технических возможностях Бенардоса подошел В.Е. Бочков, который обратил внимание на то, что в г. Кинешме неподалеку от г. Лух в 1870-х годах был создан один из первых российских заводов, где делали электрические угли и дуговые светильники. С 1878 г. владельцем завода стал приятель Бенардоса электротехник А.И. Бюксенмейстер. Интересы Бенардоса к электричеству подтверждаются найденными в архивах документами о его работе с П.Н. Яблочковым в период не позднее 1880 г. Именно тогда в обществе «Яблочков- изобретатель и К°» в Петербурге работали почти все известные российские электротехники.

Все это были вторичные документы, хотя некоторые из них и содержали цитаты и выписки. Предстояло выполнить не простую работу - собрать и изучить оригиналы. Могло казаться, что это что-то подобное обзору литературы. Вот только «литературе» этой 100 лет и рассеяна она по разным архивам, библиотекам и неизвестно где ещё. Для того, чтобы решить проблему авторства с учетом патентного права, экономической заинтересованности, технических возможностей и др. факторов, необходимо быть ответить на вопрос: где находился Бенардос при создании дуговой сварки, чем занимался, какими материальными средствами располагает, была ли у него личная потребность в новом способе соединения; был ли он готов к выдвижению новых идей и имел ли возможность реализовать их? К сожалению, именно период жизни и деятельности изобретателя сварки в 1870-1880 гг. оставался самым не известным, не документированным. Описания этого периода различными исследователями во многом расходились. Что касается Луха, то биографы и не упоминали о возможности создания там электросварки.

Борис Евгеньевич взял таблицу домой, а на следующее утро вызвал на совещание, точнее, собеседование. Разговор начал издалека и, как мне сначала показалось, вовсе не о наших текущих проблемах, и что он напрасно тратит время. Директор поинтересовался подробностями работы на заводах, как я «связался» с американцем. Он внимательно слушал мой рассказ о том, как главный сварщик завода, и однажды на совещании сам Главный конструктор, сообщали, что в НАСА применяют плазменную сварку на постоянном токе. Даже есть агентурные данные, с которыми могут познакомить. Я не уставал объяснять, что моя диссертация - это плазменно-дуговая сварка алюминиевых сплавов на переменном токе. Но внедряю процесс сварки на переменном токе не только из-за этого субъективного фактора. Главное – это природные, физико-химические особенности металла – оксидная пленка алюминия не плавится в обычной сварочной ванне и на кромках, может остаться в сварочном шве в виде протяженной плёнки. А это – дефект, катастрофа. Пленку можно разрушить только механически или катодным распылением. При плазменной сварке на переменном токе действуют

оба фактора. В общем, пришлось бороться и с американским коллегой, и с нашими заказчиками-ракетостроителями. Проблема решилась неожиданно благодаря катастрофе местного значения. В надежности наших технологий убедились в Днепропетровске. Я надеялся на этом закончить не относящийся к проблеме рассказ и вопросительно посмотрел на Патона.

– Ведь мы специально создали мощный отдел контроля, - сказал Борис Евгеньевич - Цечаль создал уникальное оборудование и методики. Хорошо, эффективно работает с москвичами и ленинградцами. Помню, Валентин Александрович демонстрировал рентгеновские снимки внутренней структуры основного металла и сварных соединений на полупроводниковых слоях, они и разработали портативную ксерокс - радиографическую аппаратуру для контроля качества сварных соединений.

– Толщина пленки составляет несколько молекул, рентген её не выявляет, да и гелиевый течеискатель надежный только для сквозных дефектов. А Янгель для ампулизации ракет требовал сверхнадежные швы. Топливные баки должны были держаться без дозаправки 5 лет. А надо отметить, что гептил может просачиваться через мелкие поры. А тут еще и подсунули какой-то новый алюминиевый сплав. Повозились мы с местными сварщиками прилично. Образцы показывали хорошее качество. Но Янгель требовал полной гарантии качества не только швов и соединений, но и самих баков. Военные приемщики, боясь ответственности, усложняли методы контроля, не решались подписывать документы. А договор уже нужно было закрывать. И однажды, когда мы только заходили в помещение, к нам подбежал испуганный начальник цеха: «Срочно к Главному. На совещание. ЧП». «А вы пока прекратите! - крикнул он двум своим сварщикам, которые подготовились вваривать кольцо люка». В кабинете Янгеля было человек десять. Обеспокоенные, хмурые лица. Но не у всех. Директор завода Александр Максимович Макаров и главный сварщик Виктор Владимирович Бородин казались довольными. Главный конструктор курил, в пепельнице было уже несколько окурков. Мы не успели прикрыть дверь, как он сказал: «Вот они, главные виновники. Садитесь. Думаю можно акты подписывать».

Борис Евгеньевич нетерпеливо перебил: «А что случилось? Когда? Мне ничего не сообщали. За что собрались вас посадить? Впрочем, если при Янгеле, то где-то в 1960-х. Михаил Кузьмич умер в 1971, в тот момент, когда отмечали его шестидесятилетие. Сердце».

– А произошло то, что после пропаривания готового бака, поспешили закрыть люки, а бак не успел остыть. А утром обнаружили, что бак начисто был смят. В соответствии с законом Торричелли. Толщина стенок 12 мм. Представляете, соединения выдержали давление, и ни малейшей трещинки? Швы не пропустили воздух. Если бы хоть маленький дефект, зашел бы воздух и бак остался целым. Такой проверки качества оказалось более чем достаточно.

– А мне Черток рассказывал ... – начал Борис Евгеньевич, но вдруг остановился и неожиданно спросил: - Вы знаете кто это?

Потом я заметил, что у директора есть привычка задавать вопросы «на засыпку». Иногда на совещаниях он говорил, например: «А вот Борода решил эту проблему ...». И вопросительно обводил взглядом присутствующих. А так как я был самым молодым по рангу и садился с краю длинного стола, взгляд достигал меня последним, иногда приходилось отвечать за всех. Услышав ответ: «Борода - это Игорь Васильевич Курчатов», Борис Евгеньевич продолжал развивать мысль (*рис. 1*).

На этот раз я ответил: «Заместитель Королева. Не знаю, чем он занимается. Однажды видел на заводе «Прогресс», подходил, смотрел на нашу работу, задал несколько вопросов».

Удовлетворившись ответом, Борис Евгеньевич продолжал.

– Так вот, Борис Евсеевич рассказывал, как прямо при запуске ракеты ликвидировали аварию. Это был дефект в каком-то разъемном уплотнении. За 15 минут до старта, когда все были уже в бункере, вдруг командующий запуском увидел, что из бака вырывается струйка жидкого кислорода. Он скомандовал «Стоп», вместе с заместителем подбежал к ракете, снял берет, помочился, за ним - заместитель, и придавил кислородную струю. Мокрый головной убор мгновенно примерз и течь прекратилась. Вернулись, продолжили работу. Пуск задержался всего на 7 минут. А исторический берет нашли в степи, постирали и сохранили. Впрочем, что-то мы увлеклись прошлым и отвлеклись от настоящих проблем. Я так понимаю – Вы закрыли очередной договор. Сколько людей в лаборатории, как освоили работу, разбираются в ноу-хау? - вдруг заинтересовался Борис Евгеньевич.

Я подумал, что он хочет премировать за успеш-

Рис. 1. Совещание у Б.Е. Патона, 1980 г.
Крайний справа – А.Н. Корниенко

ное освоение техники и радостно сообщил: «Конечно, мы месяцами корректировали технику, сдавали военным, учили заводских коллег. Все отшлифовали и передали. Совсем недавно наши трое ребят заварили кольца люков в Куйбышеве. Остальные трое в Оренбурге работали самостоятельно вместе с отделом Стебловского».

Но оказалось, что этот ответ понравился Борису Евгеньевичу совсем по другой причине. Он задумал перевести меня, точнее - перебросить на исторические исследования. И использовал педагогический прием, который применял Евгений Оскарович. В «Воспоминаниях» Е.О. Патон писал: «Внутренняя убежденность и вера всегда значат больше, чем формальная расписка в том, что с приказом начальства ознакомился». И Игорь Малишевский в «Рассказах о Патоне» описал эпизод, как во время войны Батя (так за глаза прозвали Евгения Оскаровича) пригласил Бориса Израилевича Медовара обсудить ситуацию и вроде бы советуясь, убедил его отправиться во внеочередную сложную командировку на один из сибирских заводов. Сейчас же Борис Евгеньевич напомнил, что зачинщик вражеской пропаганды (по нынешнему - информационной войны) мешал лично мне внедрять плазменную сварку, портил нервы: «Теперь Вы имеете шанс отыграться. Займитесь вплотную историей сварки».

– А плазменная сварка? Возможности еще не исчерпаны.

– По мнению Бориса Стебловского, Ваша группа отлично овладела техникой и может справиться с внедрением. Если вдруг возникнут проблемы – подключитесь. Командировку в Оренбург отменяем. Что касается плазменной сварки, мы обсуждали этот вопрос с Дудко. Он принимает аспиранта из Грузии. Есть сложный заказ оборонки, который можно выполнить только плазменной дугой. Вы будете консультировать. И должен сказать по секрету, что ракетчиков давно интересует электронно-лучевая сварка. И в Москве, и у нас работают над локальным вакуумированием накидными камерами и соответствующей пушкой. Анатолий Андреевич Бондарев уже разработал технику сварки высокопрочных алюминиевых сплавов. А Вы раскрутите проблему приоритета и тогда продолжите заниматься своими плазменными проблемами.

На очередном совещании, после моего отчета о начале поиска материалов в архивах, Борис Евгеньевич сказал, что о планах по Бенардосу нужно рассказать на Национальном комитете СССР Международного института сварки (МИС). Чтобы не сказали, что мы все берем себе. Возможно захотят подключиться. Ведь Бенардос жил и работал в Москве, Петербурге. Ваш доклад включу в повестку дня ближайшего заседания.

– Нужно принять решение о внесении даты в «Календарь юбилейных памятных дат ЮНЕСКО», провести конгресс МИС-а. Так вы еще предлагаете почтовые марки. Все это в союзном ведении, зависит от Москвы, нужно поручать москвичам. Опять же, могут захотеть поставить памятные доски на местах, где Бенардос работал. Правда, сваливать исследовательскую работу на них нельзя. Николаев предложил написать большую монографию или сборник по истории сварки в СССР. В 1930-х гг. под его руководством вышла огромная книга «Сварочное дело в СССР». Посмотрите внимательно, там, правда, в основном текущее состояние сварочного производства, но очень ценная информация. Помню Евгений Оскарович часто обращался к этой книге, по ней ориентировался. Сейчас Георгий Александрович, его МВТУ и другие вузы выясняют, как будут делать новую книгу. Так что ни он ни другие не смогут нам помогать, а наоборот – мы должны будем участвовать. Но это позже, когда появятся конкретные задачи.

Следует отметить, что в то время в СССР научными проблемами сварки и развитием сварочного производства занимались более 200 научных сотрудников в отраслевых НИИ и профессоров на 32 кафедрах ВУЗов. А ИЭС им. Е.О. Патона был самой мощной в мире специализированной научно-исследовательской и проектной организацией в области сварки, специальной электрометаллургии и родственных технологий. Поэтому СССР не покупал ни одной лицензии, не имел потребностей в иностранных инвестициях и оборудовании. Наоборот, Киев называли «Меккой сварочного дела», потому что сюда ехали за новыми технологиями и оборудованием покупатели из ведущих фирм и компаний развитых капиталистических стран. Здесь на курсах ЮНИДО учились специалисты из многих стран.

Члены национального комитета понимали, что признание соотечественника первым изобретателем способствует не только имиджу страны, но и в некотором смысле, поднимает в глазах зарубежных коллег их личный статус. Как председатель комитета Борис Евгеньевич уважал мнение коллег, придавал большое значение их решениям. И не очень веря в то, что я смогу достаточно разумно рассказать о наших планах, решил познакомить с обстановкой, попросту говоря – поднатаскать.

– Напишите небольшой доклад, я посмотрю.

– Но я не умею выступать по бумажке. Если заглядываю в написанное, то сбиваюсь.

– Ладно, обойдемся без писанины. Я и сам не люблю читать, но организаторы часто требуют соблюдать правила, докладывать утвержденный текст. Обойдемся без репетиции. Материал Вы знаете. Нужно доложить коротко, без подробностей. Так же отвечать на вопросы. Все занимаются техническими науками, имеют дело с реальными вещами, точными понятиями, большинство известные ученые, основатели отдельных разделов свар-

ки. Так что привыкли к конкретике, схватывают мысли и оценивают идеи мгновенно.

Я постарался успокоить директора: «Да Вы не волнуйтесь. Я их знаю по учебникам, встречался на конференциях. Ректор МВТУ им. Н.Э. Баумана Георгий Александрович Николаев - это сварные конструкции, Николай Николаевич Рыкалин - тепловые основы сварки. Красовский - сварочное производство, планирование цехов. Качановский – контактная сварка».

– И все же коллеги иногда заводят разговор на политические темы. Нам лучше не участвовать, не вмешиваться. Я всегда стараюсь корректно вернуть обсуждение на запланированную тему. А посторонние разговоры, воспоминания и оценки переносим на обед и ужин. Здесь проявляются не научные точки зрения, иногда очень интересные и неожиданные. Так, Николаев не любит Хрущева. Он был академиком архитектуры, а Хрущев ее ликвидировал, вместе исчезло звание академика. А Рыкалин, наоборот, любит Хрущева. Тот установил хорошие отношения с Югославией, а у Рыкалина родительница сербка, и его самого избрали сербским академиком. Учтите, все люди занятые. Москвичи, ленинградцы и другие приезжают обычно на один день, вечером у них поезд. Вопросов бывает много, все серьезные, на международном уровне. Вы должны уложиться за 10 минут. Докладывать нужно конкретно, только основное, остальное, если не понятно, спросят. Первый абзац - суть проблемы, то есть покушение на отечественный приоритет. Затем – анализ известного материала. Расскажите по таблице. Это наглядно. Третий абзац о том, что мы уже организовали, что сделали. Четвертый о планах, призыв к соучастию.

Через две недели Борис Евгеньевич представил меня членам Национального комитета: «Приближается столетие со дня изобретения первого способа дуговой сварки. Предлагаю заняться подготовкой к этому событию. Мы сейчас решаем проблему с датой изобретения. Предлагаем рассмотреть проект программы увековечения и пропаганды деятельности выдающегося изобретателя. Об этом расскажет наш историк Александр Николаевич Корниенко».

И пока я прикреплял плакат, услышал вопрос. Николаев обратился к Патону: «Не рано ли этим заниматься? В тридцать пятом году мы встречались с сыном изобретателя. Хренов первый написал биографию, а документы мы сдали в архив академии. А Корниенко вроде бы занимается плазменной сваркой, недавно докладывал на конференции. А что же делает наш Чеканов, профессионал?

Думаю, что ответ Бориса Евгеньевича восприняли как шутку: «Хренов с Чекановым обижаться не будут. Обстоятельства требует не профессионального подхода к истории. Дело в том, что эту задачу поставил не профессионал, а американец, который тоже занимается плазменной сваркой, и тоже – ракет».

Я, как и советовал Борис Евгеньевич, коротко

Рис. 2. Военная галерея Эрмитажа. Зал Героев Отечественной войны 1812 г. с портретом П.Е. Бенардоса

Рис. 3. Подпись на раме: П.Е. Бенардосъ, Генералъ Маіоръ. На обороте холста надпись: Benardos. На правой стороне груди звезда ордена Святой Анны 1-й степени, а на левой – золотой крест за взятие Очакова, серебряная медаль участника Отечественной войны 1812 г. и звезда ордена Св. Владимира 2-й степени. На шее крест ордена Св. Георгия 3-го класса, из-под борта выступает крест ордена Св. Владимира 2-й степени

объяснил сложность проблемы, рассказал о планах. Полностью уложился в 9 минут. Несколько человек подошли рассматривать таблицу.

Профессор Ф.Ф. Бенуа покачал головой: «Это же детективная работа. А плазменная сварка?».

С заведующим кафедрой Ленинградского института водного транспорта я познакомился в прошлом году. Он привозил в ИЭС свою аспирантку Ванду Болеславовну Хмелевскую, и она в нашей группе изучала плазменные процессы. Поэтому я пошутил: «Эстафету передаю Вам, Федор Францевич. Придется Вам кроме кораблей, заняться и ракетами».

Однако Бенуа ответил серьезно: «Столетие пройдет, а ракеты и корабли останутся. Мы должны и будем делать историю, а другие пусть описывают». Тогда я не мог и предположить, что история Бенардоса превратится в занятия историей техники и я стану именно тем самым другим, назначенным описывать.

Рис. 4. В честь победы России в Отечественной войне 1812 г. над Наполеоном в Москве был построен храм Христа Спасителя, освященный 26 мая 1883 г. В описаниях битв на колоннах внутри храма 4 раза упоминаются подвиги Бенардоса

Но, как и предполагал Борис Евгеньевич, начались разговоры не по существу. Бенуа спросил Николаева, почему они не сделали памятник и музей Бенардоса еще до войны, когда обнаружили, что он отечественный изобретатель. Ответ, как и говорил Борис Евгеньевич, был с «политическим уклоном»: «В то время прославляли и запечатлевали изобретателей только с хорошим, рабоче-крестьянским происхождением: крепостные Черепановы, помор Ломоносов. А Бенардос из дворян и к тому же грек. Мы не решились предлагать даже Славянова, хотя у него фамилия вне подозрений.

Бенуа, кажется, был не рад, что задал этот вопрос: «А причем здесь фамилия и национальность. Я француз из рода известных художников и архитекторов, в т. ч. и российских. Кстати, при царях в анкетах и других документах в пятой графе писали не национальность, а вероисповедание. А сейчас у меня в паспорте запись «француз». Внука я назвал Денисом, в честь знаменитого Давыдова, борца с Наполеоном. А откуда Вы взяли, что он грек и потомок генералов? Но Славянову все же поставили памятник».

Николаев пояснил: «Увековечили только после речи Сталина на Красной площади, когда он призвал чтить память великих предков. И в 1949 г. сыновья Славянова занялись этим вопросом. Да и то, только перезахоронили и поставили бюст около техникума. Что касается Бенардоса, то о нем рассказал Хренов. Константин Константинович учился и работал в Ленинграде, бывал в Эрмитаже, в Военной галерее он видел портрет, запомнил эту фамилию (*рис. 2*). А уже после встречи с сыном изобретателя, он обнаружил в каких-то энциклопедиях родословную, даже герб. Бенардосы - архонты, то есть правители Спарты, прибыли в Россию при Екатерине Второй, или раньше. Правда, сын за предков не отвечает. И наш изобретатель прославил уже новую родину.

Борис Евгеньевич корректно, спокойно вернул этот диалог в нужное направление: «Хренов получил разрешение поставить памятный знак – бюст Бенардосу еще в 1955 г., к 50-летию со дня смерти в Фастове, где он жил последние годы. Теперь нужно реализовать это и другие мероприятия. Хорошо бы получить в качестве основы положительные решения ЮНЕСКО и МИС. Давайте обсудим план пропаганды. Подключайтесь к делу».

Москвичи сказали, что трудно будет оформлять документы через МИД СССР, они не имеют опыта подготовки документов для ЮНЕСКО, и самому Патону легче договориться с МИД УССР. Для памятных досок в Москве вроде бы нет оснований, здесь он только учился. В Ленинграде - хорошо бы узнать, где был завод Бенардоса, а вообще здесь столько досок выдающимся, что наш изобретатель потеряется. Хорошо выглядит единственная памятная доска на здании депо в Рославле, где сам изобретатель внедрял сварку. Конечно, доски и даже памятники правильнее ставить на родине. Конечно, музей через сто лет создать невозможно, но хорошо бы сделать выставку фотографий и документов. А конференцию МИС необходимо провести в Киеве, при головном институте сварки. Поэтому и оформлять все мероприятия будет удобнее киевлянам.

В принципе с этой реальной оценкой ситуации мы согласились. Тем более, что москвичи и ленинградцы обещали помогать в организационных вопросах по работам в архивах. Г.А. Николаев обещал поискать фотокопии материалов планшетов, которые когда-то были на выставке в МВТУ им. Н.Э. Баумана. Г.А. Маслов взялся решить в издательстве ЦК ВЛКСМ «Молодая гвардия» вопрос об издании в серии ЖЗЛ книги «Бенардос».

Через два дня Борис Евгеньевич сказал, что звонил в МИД, чтобы я подъехал и взял список документов и образцы заявок в ЮНЕСКО. Вообще, УССР ежегодно подает заявки в календарь, но только по юбилеям культурных деятелей. Опыта заявок, касающихся изобретателей и научных событий у них нет.

В то время МИД УССР располагался в небольшом трехэтажном особняке на Печерске на ул. Чекистов. Анатолий Максимович Зленко, сотрудник Секретариата ЮНЕСКО в Париже, одобрил нашу идею и пообещал пробить юбилейную дату. Мы за несколько дней оформили материалы, и Зленко поехал в Париж. А через неделю из МИДа сообщили, что заявка прошла экспертизу и получила положительное решение.

Как показали дальнейшие события, решение о включении в «Календарь памятных дат» очень пригодились для реализации наших планов.

#1380

Сварка и родственные технологии – боевому ракетостроению. Часть 6. Боевые ракетные комплексы третьего поколения. Новая стратегия стимулирует развитие электроники

Л.М. Лобанов, акад. НАНУ, д.т.н., **А.Н. Корниенко,** д.и.н., к.т.н., ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ (Киев)

В конце 1950-х гг. ракетно-ядерный щит СССР стал мощным сдерживающим фактором в агрессивных планах США и их союзников. В 1963 г. Министр обороны США Р. Макнамара объявил о начале работ по программе «Часовой» (Sentinel), выполнение которой должно было обеспечить защиту от ракетных ударов значительной части континентальной территории США. Предполагалось, что система противоракетной обороны (ПРО) будет состоять из двух эшелонов: высотных дальних ракет-перехватчиков и противоракет ближнего перехвата, и связанных с ними радиолокационных станций «PAR» и «MAR», а также вычислительных систем. Как «противоядие» от советских межконтинентальных баллистических ракет (МБР) американцы создают «противоракету» «Найк-Зевс» и в 1963 г. осуществляют перехват боеголовки ракеты «Титан», запущенной из Калифорнии в район Маршалловых островов. Возможность перехвата и уничтожения МБР возрождала планы уничтожения СССР.

Эти обстоятельства определили дальнейшее развитие ракетного вооружения СССР. Принимается решение о создании средств преодоления ПРО США. Главной задачей становилось уже не количественное наращивание МБР, а максимальное повышение их боевой эффективности и живучести.

Пересмотрена стратегия применения ракетно-ядерного оружия. Было запланировано запускать ракеты до приближения боевых блоков противника, наносить встречный или даже превентивный удар. Для этого необходимо было усовершенствовать МБР и прежде всего – обеспечить быстрое безошибочное функционирование систем автоматического управления на всех этапах боевого применения и защитить пусковые установки и командные пункты от последствий ядерного удара.

В соответствии с этими задачами 2 сентября 1969 г. вышло постановление правительства СССР о разработке и изготовлении ракетного комплекса Р-36М (15А14). Ракетный комплекс Р-36 завершал серию ракет второго поколения [1]. Судя по цифре «3» его отнесли уже к третьему поколению. Но в отличие от предыдущего добавили индекс «М» – модернизированный.

К тому же, Военно-промышленный комплекс (ВПК) поставил дополнительное задание – модернизировать и МБР легкого класса УР-100 (8К84), созданную в ОКБ-52 (главный конструктор В.Н. Челомей). Одновременно модернизацию выполнял и сам разработчик ракеты.

Для создания средств преодоления американской системы ПРО (СП ПРО) к проекту ракеты нового поколения Р-36 выставили следующие требования: оснащение головной части ракеты новыми раздельными боевыми блоками с индивидуальным наведением на цели, с улучшенными массовыми и баллистическими характеристиками, стойкими к поражающим факторам ядерного воздействия; применение новых, более эффективных средств преодоления ПРО вероятного противника. А также повышение защищенности шахтных пусковых установок.

Необходимо было обеспечить безошибочное, надежное функционирование систем автоматического управления на всех этапах боевого применения МБР. Надо было решать много достаточно сложных конструктивных, технологических и производственных проблем. Глубоких научных наработок по этим вопросам в СССР не было.

Подготовка к войнам всегда была стимулом совершенствования технологий, давала толчок научно-техническому прогрессу. Основой для создания третьего поколения стратегического ракетного оружия стало создание: миниатюрных устройств цифровой вычислительной техники; различной высокоточной аппаратуры; компактных двигательных установок; ядерных зарядов с более высокими удельными характеристиками и другой прорывной техники. Значительные инвестиции получила электронная промышленность – отраслевые НИИ, КБ и предприятия. Достаточно средств было выделено на поисковые работы академическим институтам и ВУЗам. Ра-

бота велась по всем направлениям, начиная от поиска материалов для полупроводников, технологий получения кристаллов и кончая производством приборов, систем и механизмов управления.

К концу 1960-х гг. в институте «Микроприбор» (Киев) были созданы микроэлектронные элементы. На Киевском заводе «Радиоприбор» (п/я 62) серийно выпускали управляющие и вычислительные машины серии «Днепр», «Мир» и др., созданные в Вычислительном центре АН УССР (Институт кибернетики) под руководством В.М. Глушкова (*рис. 1*). Управляющая машина широкого назначения (УМШН) к тому времени уже широко применялась в различных отраслях промышленности, а также для исследований, например, в Летно-исследовательском институте (г. Жуковский, Московская обл.). Естественно основные усилия по научному обеспечению создания систем управления ракетных комплексов нового класса пришлись на Институт кибернетики [2, 3].

Специалистов нужного профиля и соответствующего подразделения в КБ «Южное» не было. Главный конструктор М.К. Янгель назначил руководителя комплекса М.Ф. Герасюту осуществлять общее методическое руководство. Выполнять конкретные проекты должен был Н.И. Урьев, специалист по вычислительной технике и специальным радиосхемам.

В 1968 г. в харьковском КБ «Электроприборостроение» (с 1991 – «Хартрон»), под руководством Главного конструктора В.Г. Сергеева был создан первый экспериментальный образец бортовой ЭВМ на гибридных модулях. Через 6 месяцев появилась трехканальная модификация такой ЭВМ на монолитных интегральных схемах. Это КБ стало ведущим разработчиком систем управления, бортовых и наземных вычислительных комплексов, сложного электронного оборудования для различных типов ракет и космических аппаратов, которые создавались на Южном машиностроительном заводе в Днепропетровске (ЮМЗ). В 1971 г. была успешно испытана новая ракета 15А14. Серийное производство этих бортовых ЭВМ было организовано на «Киевском радиозаводе». О ее надежности свидетельствует то, что несколько модернизированный ее вариант и в настоящее время находится в эксплуатации на боевом дежурстве.

Рис. 1. В.М. Глушков демонстрирует работу ЭВМ А.П. Александрову и Б.Е. Патону

До 1968 г. в МВТУ им. Н.Э. Баумана были разработаны универсальные устройства ввода графической информации.

Важной составляющей программного обеспечения была оригинальная система динамической коррекции программ, которая обеспечивала возможность оперативного внесения необходимых изменений в программное обеспечение на всех этапах работ от предстартовых испытаний до работы на орбите.

Такие высокие качества систем управления советских ракет обеспечены технологиями изготовления их элементов. Они основывались на внедрении новых технических решений. Для решения этих задач было созданы или усовершенствованы технологии сварки, пайки и родственных процессов. Особые трудности были вызваны тем, что сами детали и узлы изготавливаются в основном из металлов малой толщины и диаметров.

В областях теории, технологии и разработки оборудования для сварки в радиоэлектронной промышленности плодотворно работали ИЭС им. Е.О. Патона, МВТУ им. Н.Э. Баумана (О.Н. Браткова, Г.В. Назаров, А.С. Лысенко и др.), ВНИИ электросварочного оборудования, Московский институт электронного машиностроения, Рижский, Львовский и Киевский – политехнические институты и многие другие организации [4–8].

В 1971 г. в ИЭС Б.Е. Патон создал отдел «Физико-химические процессы пайки» (руководитель А.А. Россошинский), основным направлением которого было выполнение работ для электронной промышленности. Вскоре была разработана технология изготовления полупроводниковых приборов с применением ультразвука, конструкции и технологии сварки-пайки бескорпусных диодов, созданы электролизноводные газогенераторы для микросварки и микропайки (В.И. Балакин, В.М. Кислицын, А.Г. Мусин, И.М. Мельниченко, В.П. Шевченко) [9, 10].

Проблема экономии драгоценных металлов при пайке, и вместе с тем, повышение надежности соединений, была решена разработкой специальных паст и медных и фосфорных припоев, взамен содержащих серебро. Индукционная пайка совершенствовалось в НИИТМ-е и др. организациях (М.В. Поплавко, С.М. Лоцманов, В.П. Фролов и др.) [11].

Такие преимущества индукционной пайки, как быстрый нагрев изделий, высокая производительность и возможность механизации и автоматизации, привлекли внимание специалистов отрасли. Разработкой специальных печей для пайки занимались ВНИИСВЧ им. В.П. Вологдина, ВНИИЭТО, ВВИА им.

Н.Е. Жуковского, ИЭС им. Е.О. Патона, МАТИ им. К.Э. Циолковского и ряд других организаций. Кроме пайки металлов, в печах можно получать надежные соединения металлов с керамикой и керметами, при производстве приборов с деталями из молибдена, вольфрама и меди, покрытые золотом или серебром (В.Ф. Хорунов, Ю.Б. Малевский, В.С. Несмих и др.) [12].

Нагрев электронным лучом начал использоваться для пайки высокоточных изделий, собранных из тонкостенных элементов разной толщины, а также для изготовления узлов и конструкций из активных и тугоплавких металлов.

В 1964 г. в ИЭС им. Е.О. Патона создана микроплазменная сварка, в т.ч., впервые в мире – сварка разно-полярными импульсами (Б.Е. Патон, В.С. Гвоздецкий и др.) Такой процесс характеризуется локальным нагревом, хорошей видимостью зоны нагрева, минимальным испарением припоя и нашел применение для деталей электронных приборов [13] (*рис. 2*).

В 1968 г. в Московском авиационно-технологическом институте им. К.Э. Циолковского спроектирована установка для прецизионной сварки и пайки лучистой энергией (Г.Д. Никифоров, М.И. Опарин, А.Н. Кабанов, А.А. Кафаров и др.). Наличие микроскопа и механизма перемещения обеспечивает совмещение электронного пучка и зоны соединения с точностью ± 5 мкм при пайке золотых проводов диаметром 50–80 мкм и нихром-марганцевого серебра на стекле (толщина слоев составляла 30 и 800 нм) [14].

В 1965–1968 гг. созданы оборудование и технология импульсной точечной и шовной лазерной сварки, термообработки электронных приборов и радиокомпонентов (М.Ф. Стельмах, А.А. Чельный, В.П. Гаращук и др.) В 1970-х гг. в ИЭС, Институте металлургии им. А.А. Байкова и ряде других организаций разработаны высокоэффективные технологии изготовления элементов электронной техники пайкой лучом лазера (В.Э. Моравский, В.П. Гаращук, О.А. Величко, П.Ф. Авраменко и др.) [15, 16].

Удалось решить проблемы соединения тонких проволок с тонкими пленками, а также образования омических контактов в кристаллах интегральных схем, разработана технология присоединения «паучка» в шариковых выводах интегральных схем путем пайки за один импульс излучения лазера (О.В. Якубович, В.Е. Матюшков и др.) [17, 18].

Для решения проблем радиоэлектронной и приборостроительной промышленности Б.Е. Патон организовал в ИЭС отдел контактной микросварки под руководством В.Э. Моравского. Были созданы технологии и оборудование контактной точечной, стыковой и рельефной сварки энергией разряда конденсатора (В.Э. Моравский, В.А. Васильченко, Д.М. Калеко и др.) [19] (*рис. 3*).

Для микроэлектроники К.К. Хренов и Э.М. Эсибян разработали сварку малоамперной дугой. Холодная и магнито-импульсная сварка позволили получить такие соединения, которые не удавалось получить другими способами. Была решена проблема изготовления уникальных изделий криогенной техники, электроники, радиотехники (К.К. Хренов, П.И. Гурский, И.А. Шульман, Ю.А. Корниенко и др.) [20]. Уникальные соединения получены микроплазменной, термокомпрессионной, с импульсным косвенным нагревом и другими технологиями [13, 21] (*рис. 4*).

Широко применяли электронно-лучевую сварку [22]. В частности, прецизионная сварка корпусов электровакуумных приборов, гироскопов и герметизация микросхем в алюминиевых оболочках использовалась как финальная операция изготовления высокоточных приборов. Разработка обеспечивает минимальные сварочные деформации (не больше 0,03 мм в диаметре до 100 мм), незначительный (не выше 60 °С) разогрев, находящихся внутри корпуса либо оболочки элементов монтажа и микросхем, а также допускает расположение герметичных выводов на корпусе прибора на расстоянии до 2 мм от сварного шва.

Согласно экономической доктрине Правительства СССР учреждения и предприятия ВПК производили и гражданскую продукцию. Успехи в развитии электронно-вычислительной техники обеспечили как защиту страны, так и удовлетворили потребность в качественно новой радиотехнической продукции. Все разработанные технологии были применены не толь-

Рис. 2. Процесс микроплазменной сварки

Рис. 3. Разработчики технологий микросоединений К.К. Хренов (слева) и В.Э. Моравский

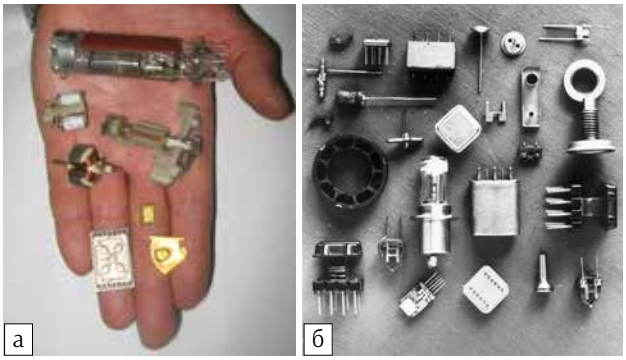


Рис. 4. Изделия, выполненные: а) микроконтактной сваркой, б) микроплазменной сваркой и пайкой

ко в ракетно-космической отрасли, но и резко повысили уровень производства многих других отраслей.

Следует напомнить, что УР-100 была принята на вооружение РВСН в 1967 г., она была сравнительно недорогая и выпускалась массово для скорейшего наращивания военного потенциала СССР «вдогонку» за США. Всего было развернуто около 1 000 таких ракет. Они были способны доставить термоядерную головную часть массой 800–1500 кг на расстояние до 12 000 км с точностью стрельбы 5 км. КБЮ за сентябрь 1968 г. разработало аванпроект на модернизированную ракету, названную МР-УР-100Н [18].

Базовыми приборами систем управления были: гиростабилизированная платформа с тремя гироинтеграторами и дискретными датчиками исходной информации, разработанная в НИИ ПМ под руководством В.И. Кузнецова; трехканальная БЦВМ; цифровая наземная аппаратура. Система управления ракетами Р-36М и МР-УР-100 (Главные конструкторы М.К. Янгель, В.Ф. Уткин), УР-100Н, УР-100Н УТТХ (Главный конструктор В.Н. Челомей) и межконтинентальные ракетные комплексы «Темп-2С», «Тополь» (Главный конструктор А.Д. Надирадзе) разработало КБ «Электроприборостроение». Это была первая отечественная система управления МБР, выполненная полностью на основе применения цифровых вычислительных машин в бортовой и наземной аппаратуре под руководством Я.Е. Айзенберга [23].

С 1965 г. выпуск ракетно-космической техники занял ведущее место в работе предприятия «Киевприбор». Киевским ЦКБ завода «Арсенал» была разработана система прицеливания ракеты МР-УР100, а на заводе «Арсенал» налажен серийный выпуск системы. В 1971 г. на стенде было проведено успешное испытание созданной на ЮМЗ ракеты с использованием бортовой ЭВМ, разработанной в НПО «Хартрон». Успешный запуск ракеты на полигоне положил конец недоверию к цифровой вычислительной техники. Стало понятно, что пора запускать первые бортовые ЭВМ в серийное производство. Для этого был привлечен «Киевский радиозавод». Дальнейшая слаженная работа ЮМЗ, НПО «Хартрон» и радиозавода позволила создать ракетно-космические комплексы, которые стали единственными в своем роде в СССР.

Киевский завод автоматики имел значительный опыт в создании приборов для управления судами и торпедами, в частности, основанные на гироскопах. С 1966 г. в составе завода создано Специальное конструкторское бюро, где разрабатывали гироскопические электромеханические приборы управления ракетами-носителями и космическими аппаратами.

В 1960-х гг. для обнаружения цели на дальних подступах (за сотни км) и выдачи указания цели ракетному оружию в НИИ «Квант» были созданы радиолокационные системы. В 1972 г. было разработано и освоено производство микроэлементов. С тех пор здесь были разработаны и приняты на вооружение более 50 видов радиолокационных систем и комплексов. Среди них – различные типы многофункциональных радиолокационных комплексов, способных работать на надводных и подводных кораблях, системы указания цели для ракетного оружия, комплексы оптико-электронного противодействия высокоточного оружия, системы управления огнем, наземных и морских станций приема информации от космических объектов и др.

Кроме того, в создании ракет третьего поколения участвовали Запорожский НИИ радиосвязи (разработка подвижных агрегатов для регламентных проверок радиоканалов боевого управления), Запорожский завод «Радиоприбор» (серийный выпуск подвижных агрегатов для регламентных проверок радиоканалов боевого управления), Харьковский приборостроительный завод им. Т.Г. Шевченко (серийный выпуск аппаратуры автоматизированной системы боевого управления и связи), Харьковский завод «Коммунар» (серийный выпуск аппаратуры системы управления ракет МР-УР-100, МР-УР-100 УТТХ) и др.

Применение на ракете Р-36М системы управления с БЦВМ позволило: управлять разведением, построением заданных боевых порядков средств РТО и ББ, и индивидуальным наведением ББ на цели в пределах энергетически достижимой площади разведения; за счет применения оптимальных программ вывода и разведения повысить энергетические возможности ракеты; полностью автоматизировать все процессы управления БРК с командного пункта в процессе эксплуатации и боевого применения; осуществлять оперативное пере-прицеливание с малой потерей боеспособности; повысить боеспособность комплекса в 4 раза; повысить точность стрельбы в 3 раза.

В пневмогидравлической схеме ракеты реализован ряд принципиально новых решений, которые позволили значительно упростить конструкцию и схему работы ПГС, уменьшить количество элементов автоматики, исключить необходимость проведения профилактических работ и повысить ее надежность при одновременном уменьшении массы. Полная ампулизация топливных систем обеспечила время пребывания РК в боевой готовности до 10–15 лет (практически – более 25 лет) [24].

Разработку двух новых ракетных комплексов третьего поколения КБ «Южное» интенсивно продолжало практически одновременно. Комплекс с ракетой МР-УР-100 создавался примерно на год позже сроков, и это дало возможность использовать новые, перспективные конструкторские решения по комплексу Р-36М и этим уменьшить сроки его отработки. На обоих комплексах применены схемы минометного старта с ТПК, ГЧ, разделяемых систем управления на основе БЦВМ, единый унифицированный боевой блок РГЧ, аналогичные конструктивно-компоновочные схемы твердотопливных двигателей РГЧ.

В процессе разработки РГЧ пришли к выводу, что приборный отсек должен отделяться от ракеты и обеспечивать полет РГЧ. В поисках возможности минимизации массы пришли к идее герметичного приборного отсека. Это решение позволило отказаться от корпусов приборов, максимально сблизить их между собой, уменьшив их массу и массу кабельной сети, обеспечив лучшие условия для функционирования аппаратуры, и существенно уменьшить габариты и массу приборного отсека. Герметичный приборный отсек стал объектом двойного использования: сначала в составе ракеты во время полета первых ступеней, а затем, отделившись от ракеты вместе с РГЧ, обеспечивал ее полет и разведения ББ. При этом улучшилась штатная эксплуатация ракеты – в случае отказа одного из приборов заменяли ГПВ, взятый из ЗИП, а неисправный отправляли на завод-изготовитель для ремонта.

Модернизация системы управления (КБ «Электроприборостроение») заключалась в реализации более полных законов управления с доведением практически до нуля методических ошибок, а также увеличением памяти БЦВМ. При этом точность стрельбы повысилась в 2,5 раза, время готовности ракеты к пуску уменьшился до 62 с.

Улучшение параметров системы прицеливания (КБ завода «Арсенал») достигалось за счет повышения точности соблюдения характеристик аппаратуры, повышения ударной прочности, применения системы предупредительного запуска и квантового оптического гирометра с высоким быстродействием, позволяющий выполнять многократную коррекцию прицеливания.

Рис. 5. Блок управления ракеты 15А16

Впервые в практике отечественного ракетостроения на ракете 15А16 было применена система «Меридиан», которая позволяла определить направление настоящего меридиана и обеспечивала прицельный пуск ракеты после ядерного воздействия. С помощью системы «Меридиан» достигнута возможность дистанционно измерять и уточнять поправку азимута базового элемента, определенную при постановке на боевое дежурство, с помощью визуальных гирокомплексов (*рис. 5*).

Летные испытания обоих ракетных комплексов начались в НИИП-5 в октябре 1977 г. и завершились в сентябре 1979 г. (15А16), и в ноябре 1979 г. (15А18). На испытаниях в качестве измерительных средств использовали новейшие варианты датчиков и преобразовательной аппаратуры, систему телеметрических измерений «Сириус», бортовые приборы системы траекторных измерений «Вега-АП». Трассы испытаний было переоснащены высокоэффективными антеннами («Изумруд», «Агат», «Орбита-В»).

Ракета 15А18 могла доставить РГЧ с индивидуальным наведением 10 штук ББ с мощностью заряда 0,5–0,7 Мт, с точностью стрельбы ± 0,65 км, имея мощную СП ПРО противника. В начале 1970-х гг., учитывая реальные возможности высокоэффективных методов радиоэлектронного противодействия потенциальным противником средств боевого управления, в случае чрезвычайного положения возникла задача гарантированного доведения боевых приказов от высших звеньев управления (ВС СССР, Управление ракетных войск стратегического назначения (РВСН)), до командных пунктов и отдельных пусковых установок стратегических ракет. Было решено дополнить имеющиеся каналы связи специальной командной ракетой, оснащенной мощными радиопередающими устройствами, запускаемой в особый период и подающей команды на пуск всех ракет, стоящих на боевом дежурстве по всей территории СССР.

Разработка такой ракетной системы, получившей название «Периметр», была задана КБ «Южное» постановлением правительства от 30 августа 1974 г. Как базовую ракету сначала предполагалось использовать ракету МР-УР-100 (15А15), впоследствии остановились на ракете МР-УР-100 УТТХ (15А16). На ракете устанавливалась специальная головная часть, содержащей оригинальную радиотехническую командную систему разработки ОКБ технической кибернетики Ленинградского политехнического института (НПО «Импульс»).

В создании комплекса командной ракеты принимали участие многие предприятия и организации различных министерств и ведомств. Основные из них: НПО «Импульс» (В.И. Мельник), НПО автоматики и приборостроения под руководством Н.А. Пилюгина (Москва), Центральное конструкторское бюро тяжёлого машиностроения под руководством Б.Р. Аксютина, Воронежский НИИ связи – НИИ радиосвязи под руководством А.П. Биленко (Москва), ВНИИС (Б.Я. Осипов), ЦКБ «Геофизика» (Г.Ф. Игнатьев), НИИ-4 МО (Е.Б. Волков) и др.

После наземной отработки новых технических решений в 1979 г. начались летно-конструкторские испытания командной ракеты. На площадке 71 был создан специальный командный пункт, оснащенный новой уникальной аппаратурой боевого управления для обеспечения дистанционного контроля и пуска командной ракеты по приказам, поступающим от высших звеньев управления РВСН. Во время испытаний системы «Периметр» были проведены реальные запуски ракет. Вместе с летными испытаниями проводилась наземная проверка работоспособности всего комплекса в условиях влияния поражающих факторов ядерного взрыва на полигоне Харьковского физико-технического института, в испытательных лабораториях ВНИИ экспериментальной физики, на ядерном полигоне (на острове Новая Земля). Испытания подтвердили работоспособность аппаратуры при уровнях воздействия ядерного взрыва, превышающих заданные тактико-технические требования.

Еще во время летных испытаний постановлением правительства была поставлена задача расширения функций командной ракеты – доведение боевых приказов не только до объектов РВСН, но и ракетных подводных лодок стратегического назначения, самолетов дальней и морской ракетоносной авиации на аэродромах и в воздухе, пунктов управления РВСН, ВВС и ВМФ [25–30].

Литература

1. Лобанов Л.М., Корниенко А.Н. Сварка и родственные технологии – боевому ракетостроению. Часть 5. Второе поколение МБР – рождение в условиях внешней и внутренней конкурентной борьбы. // Сварщик в России.– 2021.– № 4. – С. 35–39.

2. Малиновский Б.Н. Цифровая полупроводниковая управляющая машина (УМШН) и перспективы её использования. В сб. «Итоги научно-технической конференции», Ивановский энергетический институт им. В.И. Ленина, Иваново, 1962.

3. Глушков В.М. Перспективы использования вычислительной техники. Доклад на Международной выставке «Интероргтехника-66». – М., 1966.

4. Браткова О.Н., Назаров Г.В., Лысенко А.С. и др. Источники питания для односторонней контактной микросварки. // Автоматическая сварка.– 1970.– № 9. – С. 40–52.

5. Назаров Г.В., Гревцев Н.В. Сварка и пайка в микроэлектронике. – М.: Советское радио, 1969.– 192 с.

6. Грачев А.А. Ультразвуковая сварка в электронной технике. – М.: Мин. электротехпром. 1968.– 46 с.

7. Николаев Г.А., Ольшанский Н.А. Специальные методы сварки. – М.: Машиностроение, 1975.– 232 с.

8. Ковшиков Е.К., Маслов Г.А. Микросварка давлением. – М.: Машиностроение, 1976.– 84 с.

9. Россошинский А.А. Ультразвуковая микросварка. – М.: Энергия, 1977.– 185с.

10. Россошинский А.А., Табелев В.Д., Кислицын В.М. Микросварка давлением. – Киев: Техника, 1971.– 152 с.

11. Буслович С.Л., Коциньш И.А., Калкут Л.Е., Гельфгат Ю.М. Автоматизация пайки печатных плат. – М.: Энергия, 1976.– 216 с.

12. Несмих В.С., Малевский Ю.Б., Губенко Б.Г., Хорунов В.Ф. Контактно-реактивная пайка меди с тугоплавкими металлами. // Автоматическая сварка. – 1970.– № 8. – С. 59–61.

13. Патон Б.Е., Гвоздецкий В.С., Дудко Д.А. и др. Микроплазменная сварка. – К.: Наукова думка, 1979.– 248 с.

14. Никифоров Г.Д., Дьяченко В.В., Опарин М.И., Лопатина Г.Г. Использование сфокусированной лучистой энергии мощных ксеноновых ламп для сварки и пайки металлов. // Сварочное пр-во.– 1969.– № 9. – С. 1–3.

15. Авраменко П.Ф., Величко О.А., Моравский В.Э. Импульсная лазерная пайка проводников с пленками в микроприборостроении. // Автомат. сварка.– 1978.– № 5. – С. 24–26.

16. Моравский В.Э., Гаращук В.П., Величко О.А. Технология и оборудование импульсной лазерной сварки и резки. – М.: Машиностроение, 1976.– 56 с.

17. Кривошей А.В., Бельцев А.Н. Пайка и сварка в производстве радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Энергия, 1974.– 240 с.

18. Якубович О.В., Матюшков В.Е. и др. Пайка лучом лазера изделий электронной техники. Информац. сообщение // ВИНИТИ.– 1981.– № 4. – С. 57–59.

19. Моравский В.Э. Конденсаторная сварка металлов малых толщин. – Киев: Машгиз, 1969.– 144 с.

20. Хренов К.К. Холодная сварка металлов. – Москва, 1972.– 31 с.

21. Красулин Ю.Л., Кузьмин В.И., Никитин В.Г. Сварка элементов микросхем с импульсным косвенным нагревом. // Автоматическая сварка.– 1966.– № 3. – С. 64–65.

22. Кабанов А.Н., Золотов Л.А. Применение установки ЭЛУРО для микросварки и пайки // Автоматическая сварка.– 1967.– № 3. – С. 74–75.

23. Айзенберг Я.Е. Ракеты. Жизнь. Судьба: воспоминания. – Харьков: Инвестор, 2010.– 159 с.

24. Ракеты и космические аппараты конструкторского бюро «Южное». / под ред. С.Н. Конюхова / – Днепропетровск: «КБЮ», 2000.– 239 с.

25. Военный энциклопедический словарь РВСН / Минобороны РФ; Гл. ред.: И.Д. Сергеев, В.Н. Яковлев, Н.Е. Соловцов / – М.: Большая Российская Энциклопедия, 1999.– 632 с.

26. Глушко В.П. Развитие ракетостроения и космонавтики в СССР. – М.: Машиностроение, 1987.– 304 с.

27. Калашников М. Битва за небеса. – М.: «Издательство АСТ».– 2003.– 704 с.

28. Первушин А.И. Звездные войны. Американская Республика против Советской Империи. – М.: Эксмо, Яуза, 2005.– 320 с.

29. Липкин И.А. История создания отечественных систем радиоуправления РДД. – М.: Вузовская книга, 2007.– 112 с.

30. Черток Б.Е. Ракеты и люди. Горячие дни холодной войны. – М.: Машиностроение.– 2007.– 701 с.

#1381

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА

Название книги	Цена (руб.)*
В. М. Литвинов, Ю. Н. Лысенко. **Кислородная резка и внепечной нагрев в тяжелом машиностроении.** 2017. — 368 с.	600
В. И. Лакомский, М. А. Фридман. **Плазменно-дуговая сварка углеродных материалов с металлами.** 2004. — 196 с.	400
А.Н. Корниенко. **История сварки. под ред. акад. Б.Е. Патона.** –2004 г. – 210 с.	700
А. А. Кайдалов. **Электронно-лучевая сварка и смежные технологии.** Издание 2-е, переработанное и дополненное. 2004. — 260 с.	500
В. Я. Кононенко. **Газовая сварка и резка.** 2005. — 208 с.	400
С. Н. Жизняков, З. А. Сидлин. **Ручная дуговая сварка.** Материалы. Оборудование. Технология. 2006. — 368 с.	500
А. Я. Ищенко и др. **Алюминий и его сплавы в современных сварных конструкциях.** 2006. — 112 с. с илл.	400
П. М. Корольков. **Термическая обработка сварных соединений.** 3-е изд., перераб. и доп. 2006. — 176 с.	400
А. Е. Анохов, П. М. Корольков. **Сварка и термическая обработка в энергетике.** 2006. — 320 с.	500
Г. И. Лащенко. **Способы дуговой сварки стали плавящимся электродом.** 2006. — 384 с.	500
А. А. Кайдалов. **Современные технологии термической и дистанционной резки конструкционных материалов.** 2007. — 456 с.	500
П. В. Гладкий, Е. Ф. Переплетчиков, И. А. Рябцев. **Плазменная наплавка.** 2007. — 292 с.	500
***** ***А. Г. Потапьевский.*** **Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Часть 1. Сварка в активных газах.** 2007. — 192 с.	500
Г. И. Лащенко, Ю. В. Демченко. **Энергосберегающие технологии послесварочной обработки металлоконструкций.** 2008. — 168 с.	400
Б. Е. Патон, И. И. Заруба и др. **Сварочные источники питания с импульсной стабилизацией горения дуги.** 2008. — 248 с.	400
З. А. Сидлин. **Производство электродов для ручной дуговой сварки.** 2009. — 464 с.	600
В. Н. Радзиевский, Г. Г. Ткаченко. **Высокотемпературная вакуумная пайка в компрессоростроении.** 2009. — 400 с.	500
В. Н. Корж, Ю. С. Попиль. **Обработка металлов водородно-кислородным пламенем.** 2010. — 194 с.	400
Нормирование расхода покрытых электродов при ручной дуговой сварке и наплавке. Нормирование расхода сварочных материалов при сварке под флюсом. Справочные пособия. 2008. — 68 – 68 – 40 с.	200
***** ***Г. И. Лащенко.*** **Современные технологии сварочного производства.** 2012. — 720 с.	400

* Цены на книги указаны без учета стоимости отправки.

** Продается только в электронной версии.

Тарифы на рекламу в 2021 г.

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

*(*все цены в руб. с НДС)*

Изготовление оригинал-макета

- 10% стоимости рекламной площади

Статья на правах рекламы

- 1 стр. — 13 000 руб.

Прогрессивная система скидок

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

Требования к оригинал-макетам

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

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

Подписка-2021 на журнал «Сварщик в России»

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

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

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

На электронную версию журнала можно подписаться в редакции или на сайте:
www.welder.stc-paton.com