

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ТЕХНОЛОГИИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ БЕСФЛЮСОВОЙ ПАЙКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

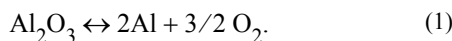
Е. И. СТОРЧАЙ, д-р техн. наук, Ю. В. ГОРБАТСКИЙ, Л. С. ЛАНТУШЕНКО, кандидаты техн. наук  
(ОАО «Криогенмаш», г. Балашиха Москов. обл., РФ)

Проанализированы существующие способы высокотемпературной бесфлюсовой пайки алюминиевых сплавов, типичные области их использования и характерные недостатки. Предложен новый высокопроизводительный способ пайки в среде аргона с использованием пористого титана (геттера).

*Ключевые слова:* бесфлюсовая пайка, пайка в вакууме, пайка в аргоне, алюминиевые сплавы, оксидная пленка, припой, геттер, пары магния, пористый титан, подготовка поверхности, очиститель, прочность паяных соединений

Как известно, наличие оксидных пленок на поверхности алюминия препятствует его пайке, причем ни один из процессов их удаления (диссоциация, возгонка, растворение оксидов в основном металле и расплавленном припое) при нагреве в вакууме или нейтральных газовых средах самопроизвольно не реализуется.

Действительно, условие диссоциации оксидной пленки при нагреве до температуры пайки алюминия не выполняется, поскольку давление диссоциации оксида алюминия  $P_{Al_2O_3}$  несоизмеримо меньше остаточного давления кислорода  $P_{O_2}$  в практически достижимом вакууме или атмосфере инертных газов. В связи с этим равновесие реакции смещается влево:



Учитывая то, что оксидная пленка  $Al_2O_3$  характеризуется проводимостью  $n$ -типа, скорость окисления алюминия практически не зависит от  $P_{O_2}$ , поскольку

$$V = A \left( \sqrt{\frac{1}{P_{Al_2O_3}}} - \sqrt{\frac{1}{P_{O_2}}} \right), \quad (2)$$

где  $V$  — константа скорости реакции;  $A$  — const;  $v$  — коэффициент, зависящий от типа проводимости и степени разупорядоченности оксидной пленки ( $v \geq 2$ ).

Оксидная пленка  $Al_2O_3$  не растворяется ни в твердом, ни в жидком металле; температура возгонки оксида в вакууме  $1 \cdot 10^{-3}$  Па близка к тем-

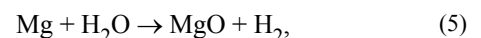
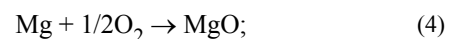
пературе плавления  $Al_2O_3$ ; температура испарения алюминия выше его температуры плавления.

В настоящее время разработано несколько способов бесфлюсовой пайки алюминия, имеющих практическое значение, к которым относятся такие виды пайки, как пайка в высоком вакууме в присутствии паров магния, в низком вакууме в присутствии паров магния и титановой губки, в вакууме в присутствии пористого титана, в аргоне в присутствии пористого титана.

В основе способа пайки алюминия в высоком вакууме в присутствии паров магния [1–3] лежит их способность вступать в металлотермическую реакцию с оксидной пленкой, восстанавливая ее:



Пары магния и расплавленный припой, проникая на поверхность алюминия через трещины в оксидной пленке, образовавшиеся при нагреве, приводят к контактному твердогазовому и твердожидкому плавлению паяемого металла под пленкой, что способствует ее диспергации. Для смачивания алюминия припоем и последующего его растекания достаточно появления локальных нарушений сплошности оксидной пленки, которая не восстанавливается, поскольку пары магния, взаимодействуя с кислородом и парами воды



снижают парциальное давление непосредственно в зоне реакции и вакуумной камере.

Эффект разрушения оксидной пленки возрастает, если магний введен в основной металл или припой. По нашим данным, магний в процессе нагрева, диффундируя к границе фаз металл–оксид, взаимодействует с оксидной пленкой. После нагрева сплавов АМг0,5 и АМг2 в вакууме  $(2 \dots 5) \cdot 10^{-3}$  Па при температуре  $600^\circ C$  и выдержке в течение 3 ч магний на поверхности образцов



практически отсутствует. По мере удаления от поверхности содержание его увеличивается, приближаясь к содержанию магния в сплаве в исходном состоянии. Глубина зоны диффузии магния составляет около 300 мкм.

Испарение магния из металла и припоя повышает дефектность оксидной пленки, но при этом приводит к связыванию кислорода и паров воды непосредственно в зоне пайки, что способствует повышению качества паяных соединений.

В настоящее время пайка в вакууме (около  $1 \cdot 10^{-3}$  Па) в присутствии паров магния широко применяется при изготовлении крупногабаритных конструкций из алюминиевых сплавов, например пластинчато-ребристых теплообменников (ПРТ).

Недостатками этого способа пайки являются необходимость в периодической очистке стенок камеры печи, экранов, нагревательных элементов и вакуумной системы от сконденсировавшихся паров магния, а также в использовании при пайке многокомпонентных припоев.

Применение пайки в присутствии паров магния и титановой губки [4] позволяет вести процесс при нагреве в вакууме с остаточным давлением менее 10 Па и использовать в качестве припоя силумины без магния. Переход к низкому вакууму возможен благодаря применению вспомогательного контейнера с затвором, уплотненным титановой губкой, и введению паров магния из навески, размещенной в затворе под губкой, которая играет роль неиспаряемого геттера, о чем свидетельствуют данные массоспектрометрического анализа состава воздушной атмосферы после нагрева титана в герметизированном объеме.

Для регенерации титановой губки с целью последующего использования при пайке в работе [5] предложено проводить ее отжиг в вакууме ( $5 \cdot 10^{-2}$  Па) при температуре 850 °С в течение 1 ч. При этом потерянные геттерные свойства губки восстанавливались, а количество термических циклов пайки, при которых обеспечивалось смачивание алюминия припоем, сокращалось примерно в 2 раза.

Пайка в присутствии паров магния и титановой губки дает возможность осуществлять процесс на более простом оборудовании, что, по-видимому, перспективно при изготовлении малогабаритных изделий.

Пайка алюминиевых сплавов в вакууме с использованием в качестве неиспаряемого геттера пористого титана [6] позволяет отказаться от применения паров магния. Нагрев изделия вместе с геттером от комнатной температуры до температуры пайки осуществляют в вакууме с промежуточными выдержками для выравнивания поля температуры изделия, а охлаждение — с выдержкой при температуре 500 °С для регенерации геттера [7], что обеспечивает возможность использовать его многократно.

Процесс происходит в вакууме ( $1 \cdot 10^{-3}$  Па). Установлено, что при пайке, например, алюминиевого сплава АМц эвтектическим силумином паяные соединения имеют хорошо сформированные галтели, их прочность на срез составляет 100 МПа.

При пайке в вакууме возможен только один безальтернативный способ нагрева — радиационный. Более широкие возможности в выборе способа нагрева (от чисто радиационного до чисто конвективного) существуют при пайке в нейтральной газовой среде, например, аргоне, что позволяет существенно сократить время нагрева конструкции до температуры пайки.

На основе результатов сопоставительного анализа [8] для реализации процесса пайки в среде аргона предложен конвективно-радиационный способ нагрева с внутренней циркуляцией нагреваемого газа и передачей от него теплоты к поверхности изделия за счет вынужденной конвекции и частично радиации от металлоконструкций камеры.

Однако процесс пайки является принципиально возможным, если нагрев конструкции происходит в «безокислительной атмосфере». Между тем, существующие в настоящее время промышленные способы очистки инертных газов от кислорода и паров воды, вызывающих окисление алюминия, позволяют получить, например, аргон с парциальным давлением кислорода и паров воды соответственно 0,15 и 0,18 Па, что значительно больше, чем в вакууме  $1 \cdot 10^{-3}$  Па ( $P_{O_2} = 4,5 \cdot 10^{-5}$  Па,  $P_{H_2O} = 6,65 \cdot 10^{-5}$  Па). Кроме того, в процессе нагрева состав атмосферы в камере пайки непрерывно изменяется. Выделяющиеся из металлов при термической дегазации газы образуются при химическом взаимодействии поверхностных оксидов и других соединений с примесями, находящимися в паяемом металле, материалах камеры и приспособлениях, диффундирующими из объема металла к его поверхности. Константа скорости химической реакции и коэффициент диффузии находятся в экспоненциальной зависимости от температуры

$$V = K e^{-E/RT}; \quad D = K^* e^{-E^*/RT}, \quad (6)$$

где  $K, K^*$  — коэффициенты пропорциональности;  $D$  — коэффициент диффузии;  $E, E^*$  — энергия активации;  $R$  — газовая постоянная;  $T$  — температура.

С учетом того, что основное количество газа выделяется из объема металла, а лимитирующей стадией процесса дегазации является диффузия, увеличение температуры нагрева от  $T_1$  до  $T_2$  при-

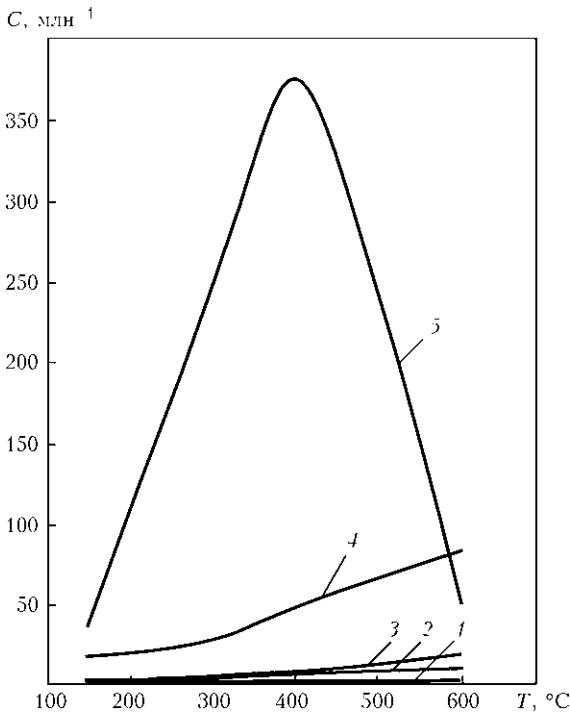


Рис. 1. Изменение состава атмосферы при нагреве в предварительно очищенном аргоне сплава АМц (материал камеры — сталь 12Х18Н10Т): 1 — O<sub>2</sub>; 2 — CH<sub>4</sub>; 3 — N<sub>2</sub>; 4 — H<sub>2</sub>; 5 — H<sub>2</sub>O

водит к уменьшению времени дегазации в  $\exp\left[\frac{-E}{R}\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)\right]$  раз.

Энергия активации при диффузии газов из металлов равна десяткам джоулей на моль. Расчет показал, что при увеличении температуры нагрева, например, от 150 до 300 °С, интенсивность диффузии газов возрастает в сотни раз.

Как видно из рис. 1, при нагреве до температуры пайки содержание кислорода в камере изменяется незначительно, а концентрация паров воды в аргоне существенно увеличивается. Кривая изменения концентрации влаги становится максимальной при 400 °С, затем концентрация паров воды в камере уменьшается. Это обусловлено в основном десорбцией с поверхности алюминиевой конструкции, материалов камеры и приспособлений физически адсорбированной влаги с последующим окислением алюминия. Десорбция паров воды существенно уменьшается после предварительного нагрева камеры [9]. Поэтому предварительный нагрев камеры в сочетании с вакуумированием и последующим заполнением чистым аргоном позволяет вести нагрев изделия в более благоприятных условиях. Однако получить качественные паяные соединения не удается, поскольку при температуре пайки концентрация паров воды в аргоне остается высокой (1,6·10<sup>-2</sup> об. %) и алюминий окисляется. Следовательно, непосредственно в процессе нагрева и пайки необходима

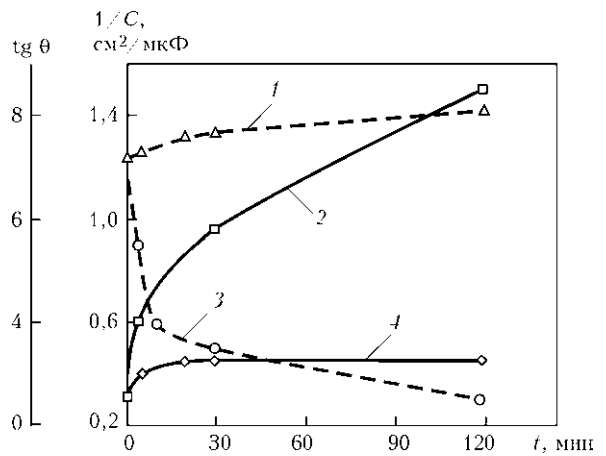


Рис. 2. Зависимость тангенса (1, 3) угла диэлектрических потерь tg θ и емкостной толщины оксидной пленки 1/С (2, 4) на сплаве АМц от времени выдержки в среде аргона при 600 °С без геттера (2, 3) и с геттером (1, 4)

дополнительная очистка атмосферы камеры, для чего используются геттеры.

Применение в качестве неиспаряемого геттера пористого титана [10] позволяет осуществлять пайку в практически безокислительной атмосфере. Об этом свидетельствуют результаты электрохимических измерений [11, 12] емкостной толщины оксидной пленки 1/С и тангенса угла диэлектрических потерь tg θ после нагрева сплава АМц в аргоне (рис. 2). При использовании геттера значения tg θ и 1/С практически не изменяются с увеличением времени выдержки при температуре 600 °С, они указывают на наличие на поверхности сплава в этих условиях тонкой и пористой оксидной пленки.

Развитая поверхность контакта фаз и высокая сорбционная емкость пористого титана позволяют использовать его в качестве геттера многократно, однако после 120...150 ч нагрева при температуре пайки требуется его замена или регенерация в вакууме (табл. 1, 2). Механические испытания образцов сплава АМц, паянных в присутствии титана в состоянии поставки и регенерированного в вакууме (1...5)·10<sup>-3</sup> Па при 800 °С в течение 3 ч, показали наличие у них одинаковой прочности на срез. Паяные соединения по качеству практически не отличаются, они имеют хорошо сформированные галтели и одинаковую структуру металла шва.

Таблица 1. Изменение веса ΔG образцов окисленного пористого титана после нагрева в вакууме 5·10<sup>-3</sup> Па в течение 3 ч

№ эксперимента	Температура регенерации, °С	ΔG, г/кг
1	500	-0,15
2	600	+0,12
3	800	-0,50



**Таблица 2.** Изменение веса образцов пористого титана при нагреве в аргоне до 610 °С с выдержкой 3 ч и прочность на срез ( $\tau_{ср}$ ) соединений сплава АМц, паянных в среде аргона

№ эксперимента	Состояние поверхности титана	$\Delta G$ , г/кг	$\tau_{ср}$ , МПа
1	В состоянии поставки	0,952	100
2	Окисленной в процессе пайки в аргоне	0,517	70
3	Восстановленной в вакууме при 800 °С (время выдержки 3 ч)	0,954	95

На основании полученных результатов разработан принципиально новый способ бесфлюсовой пайки алюминия и его сплавов в среде аргона [8, 9, 12, 13], который по сравнению с вакуумной пайкой является более производительным, что особенно важно при изготовлении крупногабаритных алюминиевых конструкций.

Термический цикл пайки включает несколько этапов нагрева и вакуумирования, обеспечивающих минимальный перепад температур в изделии и поддержание необходимого состава атмосферы в камере пайки. Изделие после кристаллизации припоя охлаждают на воздухе вне камеры. Полученные паяные соединения по качеству формирования и прочности не отличаются от паянных в вакууме (рис. 3).

К недостаткам указанного способа следует отнести необходимость предварительной очистки аргона от примесей кислорода и паров воды. Таким образом, применение пористого титана в качестве неиспаряемого геттера позволяет осуществлять бесфлюсовую пайку конструкций из алюминиевых сплавов как в аргоне, так и вакууме без применения паров магния.

Важное значение для получения качественных паяных изделий имеет рациональный выбор конструкционных материалов и припоев. Чаще всего при бесфлюсовой пайке применяют промышленные сплавы системы Al–Mn (АМц) и Al–Mg (АМг0,5 и АМг2), не упрочняемые термообработкой, а также термоупрочняемые сплавы систем Al–Mg–Si (АД31 и АВ) и Al–Mg–Si–Cu (АД33). При их пайке в вакууме в присутствии паров магния применяют припои системы Al–Si и силу-

мины, легированные магнием. При пайке в вакууме или аргоне в присутствии пористого титана нет необходимости в использовании припоев, содержащих магний.

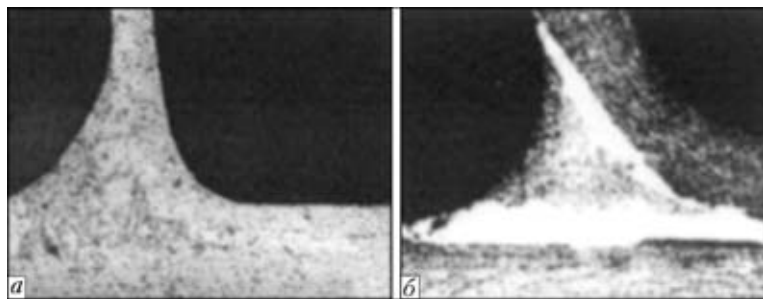
Механические свойства сплавов систем Al–Mg–Si и Al–Mg–Si–Cu существенно повышаются при закалке с последующим естественным или искусственным старением. Кроме основных упрочняющих фаз  $\alpha + Mg_2Si$  или  $\alpha + Mg_2Si + Si$ , в сплавах могут присутствовать также интерметаллидные соединения типа AlSiFe, AlCrFeSi, AlFeMnSi, AlMnSi [14]. Для их паяных соединений характерно образование по границам зерен легкоплавких эвтектик, что уменьшает положительное влияние магния на прочность соединений. Междолинное проникновение припоя особенно характерно для сплавов, содержащих медь. Кроме того, в результате диффузии меди в припой происходят снижение его температуры плавления и увеличение растворения паяемого металла в припое.

Температура пайки сплавов АВ, АД31, АД33 не должна превышать 580 °С, поскольку их температура солидуса составляет соответственно 592, 595 и 585 °С, а перегрев выше этой температуры ведет к пережогу и ухудшению механических свойств основного металла. Кроме того, процесс получения качественных паяных соединений затрудняется близостью температуры ликвидуса эвтектического силумина (577 °С), традиционно применяющегося для пайки и солидуса сплавов системы Al–Mg–Si.

Снижение температуры пайки может быть достигнуто применением припоев с меньшей, чем у эвтектического силумина СИЛ1, температурой плавления. Перспективными в этом плане являются припои системы Al–Ge–Si [15–17]. Результаты наших исследований показали, что использование припоев этой системы при бесфлюсовой пайке алюминиевого сплава АВ позволяет снизить температуру пайки до 560 °С, исключая тем самым возможность пережога основного металла. Значения прочности на срез соединений, паянных в вакууме аморфно-кристаллическим припоем СТЕМЕТ 1502, более высокие ( $\tau_{ср} = 120$  МПа), чем паянных эвтектическим силумином ( $\tau_{ср} = 90...100$  МПа).

Одной из причин более высокой прочности соединений, паянных припоем СТЕМЕТ 1502, является малый паяльный зазор, который определяется толщиной припоя (около 0,07 мм).

После пайки сплава АВ эвтектическим силумином структура металла паяных швов состоит из твердого раствора



**Рис. 3.** Микроструктура ( $\times 50$ ) соединений сплава АМц, паянных эвтектическим силумином в присутствии пористого титана в вакууме (а) и среде аргона (б)

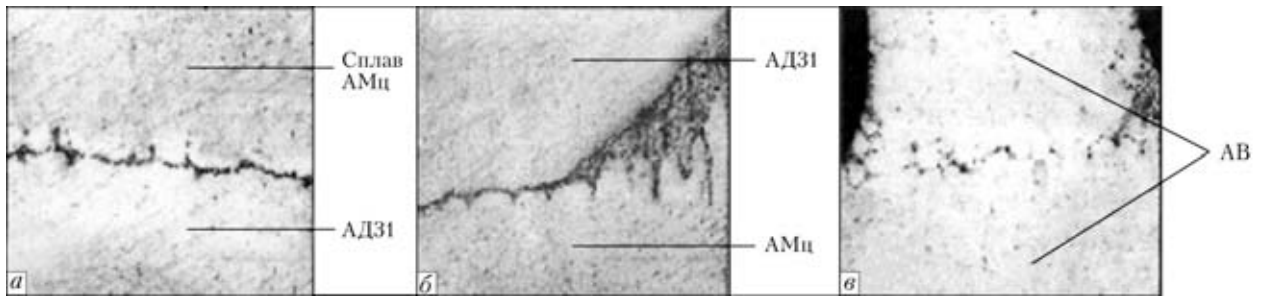


Рис. 4. Микроструктура ( $\times 50$ ) соединений, паянных после обработки алюминиевых сплавов в растворе очистителя Дескалер ФФ в среде аргона (а, в) и вакууме (б)

на основе алюминия и эвтектики Al-Si, которая равномерно распределена в шве и по границам зерен.

Фрактографические исследования разрушенных при испытаниях паяных соединений выявили отличия в характере изломов при пайке припоями, содержащими в своем составе германий, и припоем Al-Si эвтектического состава. После пайки припоем СТЕМЕТ 1502 при 560 °C имеет место вязкое разрушение шва по зернам без обнажения их границ, а при использовании припоя СИЛ1 при 580 °C преобладает хрупкое разрушение соединения.

Алюминиевые сплавы других систем, упрочняемые термообработкой, а именно, Al-Zn-Mg (B93, B94, B95, B96), Al-Cu-Mg и Al-Cu-Mn (Д1, Д16, Д19, АКД4, АК4-1, АК6, АК8), имеют в своем составе повышенное содержание меди, цинка и магния, что существенно влияет на паяемость этих сплавов. Так, например, цинк и магний отличаются высокой упругостью пара и в процессе нагрева в вакууме испаряются, что приводит к ухудшению смачиваемости сплава припоем, а иногда к вспучиванию основного металла и образованию пузырей [18]. Медь и магний в сплавах при температуре пайки образуют легкоплавкие эвтектики, которые располагаются в основном по границам зерен, что приводит к снижению прочности сплавов. Кроме того, сплавы этих систем имеют низкую температуру солидуса, что исключает применение для их пайки известных припоев.

Среди новых деформируемых термически неупрочняемых алюминиевых сплавов, имеющих повышенную прочность, могут представлять интерес дисперсионно-твердеющие сплавы, легированные скандием [15, 19]. Результаты исследований [15] показали, что добавки скандия в сплавы 3003, 3004, 3005 позволяют в 1,5...2,0 раза повысить их прочность. Однако высокотемпературный нагрев значительно снижает прочность этих сплавов вследствие коагуляции фазы Al<sub>3</sub>Sc, хотя после нагрева в течение 1 ч при температуре 600 °C прочность сплава типа 3004, дополнительно легированного скандием, составляет около 200 МПа. Аналогичные данные получены при исследовании низколегированных алюминиевых

сплавов типа 01515 с добавками скандия. Несмотря на то, что скандий является дефицитным и дорогостоящим элементом, применение сплавов системы Al-Mg-Sc в качестве материала для пайки конструкций в ряде случаев может оказаться оправданным.

Качество паяных соединений алюминиевых сплавов существенно зависит от способа предварительной подготовки поверхности деталей к пайке. Так, традиционные щелочное и кислотное травления, хотя и обеспечивают удаление жировых загрязнений и старых оксидных пленок, но не являются экологически чистыми способами подготовки и не отвечают современным требованиям защиты окружающей среды.

В настоящее время созданы очищающие средства широкого спектра применения, представляющие собой нетоксичные, взрывопожаробезопасные, полностью биоразлагаемые жидкости, в составе которых присутствуют поверхностно-активные вещества и компоненты, способные удалять с поверхности алюминиевых сплавов жировые загрязнения и оксидные пленки.

Очистители представляют собой водные растворы щелочного и кислотного характера, которые выпускаются в виде концентратов по соответствующим техническим условиям. Из обшир-

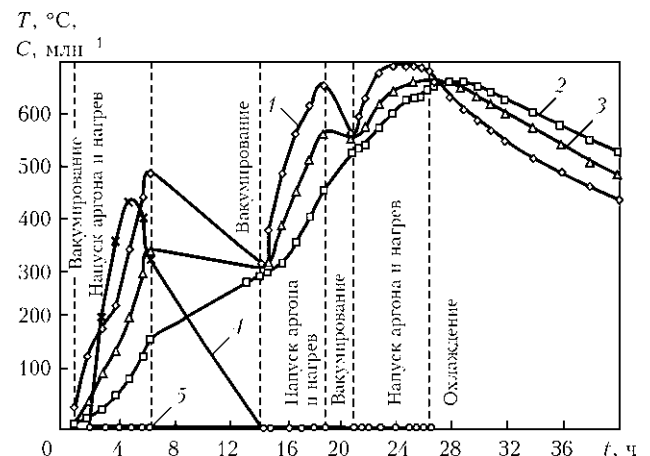


Рис. 5. Термический цикл пайки в аргоне ПРТ размером 1050×850×3000 мм и изменение содержания кислорода и паров воды в камере в процессе нагрева: 1 — температура газа; 2, 3 — соответственно  $T_{\min}$ ,  $T_{\max}$  ПРТ; 4, 5 — содержание  $C$  соответственно паров воды и кислорода

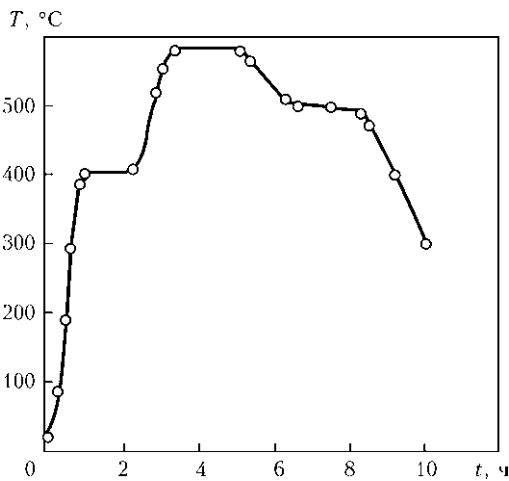


Рис. 6. Термический цикл пайки в вакууме в присутствии пористого титана рабочего колеса турбодетандера диаметром 300 мм



Рис. 7. Внешний вид рабочего колеса турбодетандера диаметром 300 мм

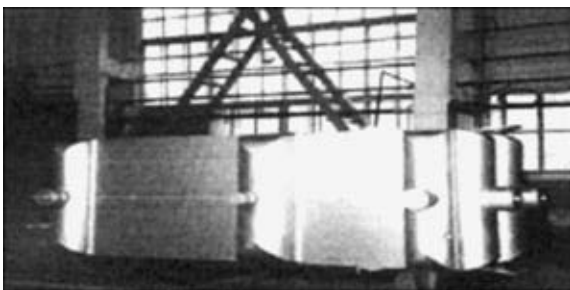


Рис. 8. Внешний вид паяного ПРТ размером 1050x850x3000 мм

ной номенклатуры очищающих средств на основе анализа результатов исследований [20] электрохимического поведения алюминиевых сплавов, скорости их растворения, качества обезжиривания, изменения толщины и дефектности оксидных пленок в растворах нескольких десятков очистителей различных фирм-производителей выбран кислотный очиститель Дескалер ФФ фирмы ООО «ЕСТОС ТЕХНО», который при установленных концентрациях и режимах обработки по всем параметрам в совокупности является наиболее эффективным для подготовки поверхности алюминиевых сплавов к пайке (рис. 4).

При подготовке поверхности деталей из алюминиевых сплавов к пайке в растворе очистителя

Дескалер ФФ при полном удалении жировых загрязнений и оксидных пленок скорость растворения металла на два порядка меньше, чем при традиционном щелочном травлении.

Кроме того, за счет образования на поверхности сплавов плотных пленок фосфатных соединений  $AlPO_4$  и  $AlPO_4 \cdot 2H_2O$  существенно (до 30 сут) увеличивается допускаемое время межоперационного пролеживания деталей, подготовленных к пайке.

В качестве примера на рис. 5, 6 представлены термические циклы пайки ПРТ и рабочего колеса турбодетандера, изготовленных бесфлюсовой пайкой в присутствии пористого титана, а также их внешний вид (рис. 7, 8). Пайку ПРТ выполняли в специальном паяльном агрегате с аэродинамическими нагревателями атмосферы предварительно очищенного аргона [21], рабочего колеса — в стандартной вакуумной печи.

1. Лашко Н. Ф., Лашко С. В. Вопросы теории и технологии пайки. — Саратов: Изд. Саратов. ун-та, 1974. — 248 с.
2. Камба К., Сугияма Е. Сумитомо кэйкиндзоку гихо // Light Metal Technical Reports. — 1985. — 26, № 3. — С. 145–156.
3. Shoer H. Hartloeten von Konstruktionen aus Aluminium Werkstoffen // Bander Bleche Rohre. — 1986. — 27, № 4. — С. 72–74.
4. Перевезенцев Б. Н., Соколова Н. М., Телицына Г. А. Пайка алюминия в низком вакууме // Свароч. пр-во. — 1996. — № 6. — С. 2–4.
5. Перевезенцев Б. Н., Соколова Н. М., Телицына Г. А. Активирование поверхности при вакуумной пайке алюминия // Там же. — 1996. — № 2. — С. 4–5.
6. Сторчай Е. И., Лантушенко Л. С. Экологически чистая технология бесфлюсовой пайки алюминиевых сплавов // Там же. — 2007. — № 12. — С. 22–24.
7. О возможности регенерации титанового геттера, применяемого при пайке алюминиевых конструкций в среде аргона / Е. И. Сторчай, Ю. В. Горбатский, А. В. Соколова, Л. С. Лантушенко // Современное состояние и перспективы развития высокотемпературной пайки: Материалы семинара, г. Москва, 24–25 нояб. 2004 г. — М.: ЦРДЗ, 2004. — С. 61–66.
8. Горбатский Ю. В., Кортиков В. С., Сторчай Е. И. Термический цикл процесса пайки алюминиевых пластинчато-ребристых теплообменников в среде аргона // Свароч. пр-во. — 2000. — № 2. — С. 34–37.
9. Разработка способа пайки алюминиевых пластинчато-ребристых теплообменников в среде аргона / Е. И. Сторчай, Ю. В. Горбатский, А. В. Соколова, Л. С. Лантушенко // Хим. и нефт. машиностроение. — 1999. — № 9. — С. 6–10.
10. Применение титана в качестве геттера при высокотемпературной бесфлюсовой пайке алюминиевых пластинчато-ребристых теплообменников / Е. И. Сторчай, А. В. Соколова, И. В. Рослан, Л. С. Тарасенко // Изготовление теплообменной аппаратуры: Материалы семинара, г. Москва, 12–13 апр. 1993 г. — М.: ЦРДЗ, 1993. — С. 24–31.
11. Сторчай Е. И. Применение омическо-емкостного метода для исследования процесса флюсования // Свароч. пр-во. — 1975. — № 6. — С. 45–47.
12. Влияние технологических факторов на свойства соединений алюминиевых сплавов при пайке пластинчато-ребристых теплообменников в среде аргона / Л. С. Лантушенко, Ю. В. Горбатский, Е. И. Сторчай, А. В. Соколова // Материалы междунар. науч.-техн. конф. «Пайка-2000», г. Тольятти, 13–14 сент. 2000 г. — Тольятти: ТГУ, 2000. — С. 33.

13. Пат. 2124971, В 23 К 1/012. Способ бесфлюсовой пайки алюминиевых изделий / Н. С. Баранов, С. П. Геталов, Ю. В. Горбатский и др. — Оpubл. 20.01.99.
14. Алюминиевые сплавы. Промышленные деформируемые, спеченные и литейные алюминиевые сплавы: Справоч. руководство. — М.: Металлургия, 1972. — 552 с.
15. Степанов В. В., Конкевич В. Ю., Суслов А. А. Перспективы повышения прочности паяных конструкций из алюминиевых сплавов // Свароч. пр-во. — 2006. — № 8. — С. 37–43.
16. Суслов А. А. Припой для пайки узлов из алюминиевых сплавов // Пайка: опыт, искусство, наука: Сб. докл. науч.-техн. конф. за 1967–2002 гг. / В. П. Фролов, В. П. Плаунов, И. Ю. Маркова, И. И. Ильина: В 2 т. — Т. 1. — М.: Альфа Доминанта, 2005. — С. 236–239.
17. Аморфные ленточные припои для высокотемпературной пайки. Опыт разработки технологии производства и применения / Б. А. Калинин, В. Т. Федотов, О. Н. Севрюков и др. // Свароч. пр-во. — 1996. — № 1. — С. 15–19.
18. Термическая обработка титановых и алюминиевых сплавов в вакууме и инертных средах / Г. Г. Максимович, В. Н. Федирко, Я. И. Спектор, А. Т. Пичугин. — Киев: Наук. думка, 1987. — 179 с.
19. Филатов Ю. А., Елагин В. И., Захаров В. В. Алюминиевые сплавы, легированные скандием // Металлургия машиностроения. — 2005. — № 4. — С. 25–30.
20. Новая экологически чистая технология подготовки поверхности алюминиевых сплавов к пайке / Е. И. Сторчай, Ю. В. Горбатский, Л. С. Лантушенко и др. // Свароч. пр-во. — 2001. — № 1. — С. 37–41.
21. Горбатский Ю. В., Сторчай Е. И. Новая экологически чистая технология производства алюминиевых пластинчато-ребристых теплообменников // Хим. и нефт. машиностроение. — 1999. — № 9. — С. 10–11.

Currently available methods of high-temperature fluxless brazing of aluminium alloys, their typical research areas and characteristic disadvantages have been analyzed. A new highly-efficient method of brazing in argon, using porous titanium (getter) is proposed.

Поступила в редакцию 22.09.2008

## НАШИ ПОЗДРАВЛЕНИЯ!

### Ю. Н. САРАЕВУ — 60



В сентябре исполнилось 60 лет руководителю Межотраслевого научно-технического центра «Сварка» Института физики прочности и материаловедения (ИФПМ) СО РАН, доктору технических наук Сараеву Юрию Николаевичу.

Ю. Н. Сараев в 1971 г. окончил Томский политехнический институт, работал в его лаборатории «Автоматизация сварочных процессов НИИ автоматики и электромеханики», а затем после перевода лаборатории на кафедру «Оборудование и технологии сварочного производства» работал в должности ассистента, старшего преподавателя, доцента. В 1982 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. С 1986 г. работает в ИФПМ СО РАН. В 1995 г. — защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук по теме: «Разработка адаптивных импульсных технологических процессов сварки и наплавки».

Ю. Н. Сараев — один из ведущих специалистов РФ в области систем питания и автоматического управления дугowymi сварочными и наплавочными процессами.

Под руководством Ю. Н. Сараева в ИФПМ СО РАН создано и успешно развивается новое научное направление, связанное с разработкой адаптивных импульсных технологических про-

цессов сварки и наплавки, обеспечивающих получение неразъемных соединений с гарантированно высокими характеристиками прочности применительно к сварным конструкциям ответственного назначения, деталям машин и механизмов, работающим в сложно-климатических условиях Западно-Сибирского региона. В рамках указанного направления осуществлялись следующие работы:

разработка и исследование адаптивных импульсных технологических процессов сварки и наплавки для получения неразъемных соединений конструкций и изделий ответственного назначения: магистральные нефте- и газопроводы, сосуды, работающие под давлением, сварка цветных металлов, судостроение, объекты энергетики, автомобильный и железнодорожный транспорт;

разработка мобильных средств ремонта вооружения и военной техники способами сварки, наплавки, резки;

разработка и исследование систем питания и автоматического управления для дуговой, плазменной и электрошлаковой сварки и наплавки.

Он является автором и соавтором более 155 научных работ, в том числе трех монографий и 37 авторских свидетельств, в 2004 г. награжден Грамотой РАН за разработку высокоэффективных технологических процессов сварки.

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины  
Редколлегия и редакция журнала «Автоматическая сварка»