

ПАЙКА ПРИ РЕМОНТЕ И ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

В.Н. Дашков, докт техн. наук, профессор, Ю.Т. Антонишин, канд. техн. наук, доцент,
А.В. Кудина, канд. техн. наук, В.А. Сокол, студент (БГАТУ)

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы соединения (пайки) алюминиевых сплавов на основе современных достижений в области высокотемпературной пайки.

Questions connections (soldering) aluminum alloy using modern advances in high-temperature soldering have been examined in the article.

Введение

В современных конструкциях сельскохозяйственных машин (корпус высевающего аппарата и т.п.) применяют алюминиевые сплавы. При эксплуатации они подвергаются воздействию сложного комплекса дестабилизирующих факторов, в частности, вибрационным и ударным нагрузкам. Их надежность может снижаться в десятки и сотни раз по сравнению с аналогичными изделиями, используемыми в стационарных условиях. Высокие нагрузки, действующие на конструкции, вызывают значительное возрастание интенсивности отказов за счет механических разрушений элементов. Поэтому создание конструкций с заданным уровнем прочности и надежности – необходимое условие изготовления элементов техники.

Свойства паяного соединения зависят от способа пайки. Традиционные технологии пайки припоем с коррозионно-активным флюсом для удаления окисной пленки с поверхности припоя и основного материала не обеспечивают требуемый уровень коррозионной стойкости, прочности и пластичности. Кроме того, при нагреве под пайку алюминиевых сплавов, упрочняемых по механизму дисперсионного твердения (старения), происходит их разупрочнение в результате коагуляции упрочняющих фаз. Практически не подвергаются высокотемпературной пайке деформируемые, термически обрабатываемые сплавы систем Al-Si-Mg, Al-Mg, Al-Cu-Si, Al-Cu-Ti, Al-Cu-Ti-Si из-за близости температур нагрева при закалке этих сплавов к температурам их солидуса и опасности вследствие этого пережога паяемых сплавов. Дуралюмин и сплав В95 после пайки теряют не менее 30 % прочности, а в случае пережога – его прочность уменьшается более чем вдвое. Закалка паяных соединений после пайки от более низких температур не обеспечивает достаточной их прочности.

Наиболее прочные и коррозионностойкие соединения могут быть получены при пайке тугоплавкими припоями. В зависимости от допустимой температуры нагрева паяемого материала и назначения изделия вы-

бирается припой. При пайке чистого алюминия и сплава АМц могут применяться наиболее тугоплавкие припои – эвтектический силумин, П575 (80 % Al, 20 % Zn) и П590А (89 % Al, 10 % Cu, Si) с температурой плавления 575, 577, 590 °С, соответственно. Прочность получаемых изделий недостаточна (до 5-10 МПа).

Основная часть

Задача данного исследования – разработка технологии пайки изделий из алюминиевых сплавов, обеспечивающей конструктивную прочность паяных швов на уровне основного материала, герметичность соединений, работоспособность при высоких и низких температурах. При предлагаемом способе пайки припоем образуется в результате плавления соединяемых материалов, промежуточных покрытий или прокладок с образованным эвтектики. При этом способе пайки нет необходимости в предварительном изготовлении припоя.

Известные технические решения, заключающиеся в нанесении промежуточных покрытий из меди, серебра или никеля на соединяемые поверхности, не позволяют получать соединения с требуемым уровнем свойств. Так, нанесение на поверхность алюминия медного покрытия для получения эвтектики Al-33 % Cu с температурой плавления 548 °С не используют в качестве припоя из-за его высокой хрупкости.

Идея исследования основана на гипотезе получения тройной эвтектики, образуемой за счет плавления покрытий и прилегающих к ним поверхностных зон соединяемых материалов. Процесс следует использовать для металлургического модифицирования паяемого шва с целью получения максимальной прочности и пластичности.

Исследовали сплавы на основе алюминия, легированные магнием и кремнием. В табл. 1 приведен их химический состав и механические свойства.

Припаяваемая пластина представляла собой сплав алюминия, легированный магнием и кремнием, дополненно с двух сторон плакированный силумином, с последующей прокаткой. Толщина плакирующего слоя равна 0,05 мм, что составляет 5 % толщины паяе-

Таблица 1. Химический состав и механические свойства паяемого сплава

Cu	Mg	Si	Fe	Mn	Cr	Al	Предел текучести, МПа	Предел прочности на растяжение, МПа	Относительное удлинение, %
0,23	0,97	0,49	0,52	0,28	следы	остальн	235	280	5

мой детали (1 мм). Плакирующий слой выполняет функции припоя, а предварительное плакирование одной из паяемых деталей, кроме того, устраняет необходимость флюсования при пайке. В табл. 2 приведен химический состав плакирующего слоя.

Таблица 2. Химический состав плакирующего слоя

Si	Cu	Fe	Zn	Mg	Mn	Ni	Al
10-13	3-5	0,6	0,2	0,2	0,5	0,2	остальное

Высокотемпературную пайку алюминиевых сплавов осуществляли контактно-реактивным методом. При этом одна из паяемых деталей была плакирована силумином. При температуре выше 500 °С растворимость алюминия в кремнии резко возрастает, значительной величины достигает растворимость паяемого сплава в эвтектическом силумине [1]. При этом может развиваться эрозия в галтельных участках швов, где скапливаются большие количества жидкого припоя. В этом случае образуются более развитые и грубые галтельные участки шва.

В ходе выполнения работы было отмечено, что в соединениях из алюминиевых сплавов, паяных эвтектическим силумином, при больших выдержках могут появиться достаточно резко выраженные усадочные трещины в галтельных участках швов, а также усадочные рыхлоты и «прострелы» с черной каймой, обусловленные обратной ликвацией эвтектики Si-Al. Поэтому пайка алюминиевых сплавов должна проводиться в узком температурном интервале в течение оптимального промежутка времени. Результаты исследования говорят о том, что при температуре пайки, превышающей 595-600 °С, основные легирующие элементы (Mg и Si) образуют в растворе алюминия фазу Mg₂Si [2]. Квазибинарный раствор Al-Mg₂Si имеет оптимальную температуру нагрева – 595 °С. При большей температуре нагрева наблюдается явление пережога, при котором включения Mg₂Si выпадают по границам зерен алюминиевого сплава. Поскольку фаза Mg₂Si является хрупкой, происходит необратимое изменение свойств паяного шва (снижение пластичности и коррозионной стойкости).

Оптимизацию температуры пайки и времени выдержки при этой температуре производили металлографическим анализом структур паяных соединений. Выдержка при пайке составляла 3-5 мин. Дальнейшее увеличение времени выдержки нецелесообразно, так как паяемый материал может подвергнуться пережогу, что приведет к безвозвратной потере механических свойств. Установлено, что меньшая выдержка приводит к получению дефектных паяных швов (непропаи, рыхлоты), большая выдержка приводит к

росту эрозии паяного шва (при выдержке в течение 20 мин. эрозия увеличивается в 5-6 раз).

Образцы после специальной подготовки, заключающейся в обезжиривании деталей в специальных органических растворителях типа бензин, ацетон и удалении окисной пленки химическим способом путем травления деталей в щелочных растворах и осветления в азотной кислоте, подвергали вакуумной контактно-реактивной пайке в интервале температур 585-605 °С. В качестве защитной среды при пайке использовали вакуум ($p = 1,33 \cdot 10^{-4}$ Па) [3]. Это тормозит рост окисной пленки на алюминии при нагреве деталей до температуры пайки. Градиент температур в паяльной зоне печи не превышал 3 °С. Контроль температуры в печи производили термопарами.

В прижатом состоянии детали нагревали до температуры пайки. При этом микровыступы на соединяемых поверхностях разрушают окисную пленку Al₂O₃, обеспечивая контакт алюминия с покрытием и наступление контактно-реактивного плавления. В месте контакта с покрытием при температуре пайки образовалась эвтектика Al-Cu-Si.

Дополнительная активация и очистка паяльной атмосферы с помощью твердого геттера, в качестве которого применяли сплав магния с алюминием, обеспечивает хорошее растекание эвтектического слоя по алюминиевым сплавам и выполняет пайку при существенно меньших давлениях [4]. Массу компактной навески твердого геттера определяли из расчета 0,01 г на 1 дм³ объема паяльного пространства.

Качество паяного соединения

Качество паяного соединения оценивали визуальным осмотром, пневмоиспытаниями на прочность и металлографическими исследованиями образцов, вырезанных из спаянных узлов конструкций. Результаты испытаний и исследований представлены в табл. 3.

При испытаниях соединения разрушались по основному металлу, прочность паяных соединений достаточно стабильная, при этом максимальные касательные напряжения составляли приблизительно 70 МПа.

Результаты микрорентгеноспектрального исследования показали, что в зоне пайки образуется тонкая прослойка эвтектики (5-7 мкм), концентрация Si и Mn в которой достигает 7,9-11,3 % и 0,3-1,3 %, соответственно.

Результаты исследований на приборе “Micromet II” свидетельствуют о большом разбросе значений микротвердости паяного шва при относительно стабильной микротвердости паяемых деталей. Большой разброс значений микротвердости (559-686 МПа) обусловлен структурной неоднородностью зоны сплавления, образуемой за счет плавления плакирующего слоя и прилегающих к нему поверхностных зон соединяемых материалов.

Таблица 3. Влияние режимов пайки на качество формирования паяных швов

Температура пайки, °С	время выдержки	Результаты визуального осмотра	Металлографические исследования
580-585	5 мин	Галтели неравномерные и прерывистые	Значительное количество непропаянных участков
590-595	4,5 мин	Галтели равномерные, поверхность швов гладкая	Непропаянных участков нет
600-610	3 мин	Галтели равномерные, поверхность швов шероховатая	Наблюдается эрозия паяемых материалов

Это объясняется эффектом контактно-реактивного плавления, сопровождающимся образованием дефектов и локальных неоднородностей структуры, возникновения по этим неоднородностям микрообластей эвтектического состава или областей с пересыщенным твердым раствором, появлением жидкой фазы в данных областях и дальнейшим растворением твердых компонентов в образовавшейся жидкости, что подтверждают результаты замера микротвердости. В таких системах уменьшение межфазного поверхностного натяжения границы соприкосновения твердых тел при ее плавлении может быть одной из движущих сил контактного плавления.

Заключение

1. Разработана технология пайки деталей из алюминиевых сплавов, обеспечивающая получение конструкций с уровнем прочности паяного шва, соответствующим основному материалу. При этом паяный шов приобретает структурное состояние, характеризующееся повышенной стабильностью свойств (65-70 МПа, в литом состоянии – 80-100 МПа).

2. В зоне пайки образуется эвтектика толщиной 5-7 мкм, концентрация кремния в которой достигает 7,9-11,3 %, а марганца – 0,3-1,3 %. При этом эффект

плавления сопровождается образованием дефектов и локальных неоднородностей структуры с возникновением по этим неоднородностям микрообластей эвтектического состава или областей с пересыщенным твердым раствором, появлением жидкой фазы в данных областях и дальнейшим растворением твердых компонентов в образовавшейся жидкости.

3. Поскольку основными легирующими элементами деталей из алюминиевых сплавов являются магний и кремний, то при нагреве они образуют в растворе алюминия фазу Mg_2Si . Квазибинарный

раствор алюминия и силицида магния при пайке следует нагревать не более чем до 595 °С, т.к. при большей температуре наблюдается явление пережога, при котором происходит выделение силицида магния по границам зерен. Силицид магния – хрупкая фаза, поэтому его выделение может приводить к снижению свойств паяного соединения (пластичности и коррозионной стойкости).

ЛИТЕРАТУРА

1. Суслов, А.А. Вакуумная пайка узлов из алюминиевых сплавов / А.А. Суслов // Сварочное производство. – 1992, № 10. – С. 10.
2. Хорунов, С.Ф. Пайка: достижения и перспективы / С.Ф. Хорунов // Автоматическая сварка. – 1998, № 11. – С. 51-53.
3. Takemoto, T. Vacuum brazing of aluminium / titanium joints with aluminium filler metals / T. Takemoto, H. Nakamura, J. Okamoto // Keikinokoku Japan Light metals welding. – 1986. – Vol. 36, № 9. – P. 548-554.
4. Bollenrath, F. The brazing of titanium to aluminium / F. Bollenrath, G. Metzger // Welding Journal. – 1963, № 10. – P. 42.

“Агропанорама” - научно-технический журнал для работников агропромышленного комплекса. Это издание для тех, кто стремится донести результаты своих исследований до широкого круга читателей, кого интересуют новые технологии, кто обладает практическим опытом решения задач.

Журнал “Агропанорама” включен в список изданий, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим (сельскохозяйственное машиностроение и энергетика, технический сервис в АПК), экономическим (АПК) и сельскохозяйственным наукам (зоотехния).

Журнал выходит раз в два месяца, распространяется по подписке и в розницу в киоске БГАТУ. Подписной индекс в каталоге Республики Беларусь: для индивидуальных подписчиков - 74884, предприятий и организаций - 748842. Стоимость подписки на первое полугодие 2013 года: для индивидуальных подписчиков - 80250 руб., ведомственная подписка - 142836 руб.