

Канд. техн. наук С. В. Олексієнко¹, канд. техн. наук Р. А. Куликовський²,
канд. техн. наук В. О. Мартиненко³, С. М. Ющенко¹

¹ Національний технологічний університет, м. Чернігів

² Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя

³ Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м. Миколаїв

СПОСІБ РЕАКТИВНО-ФЛЮСОВОГО ПАЯННЯ АЛЮМІНІЮ

Проведено аналіз виробничого досвіду паяння тонкостінних та складних за конфігурацією конструкцій з алюмінію та його сплавів. Визначено напрямки підвищення технологічності процесу паяння. Встановлено можливість високотемпературного реактивно-флюсового паяння алюмінію в печах за рахунок використання прошарку на основі силікату натрію, соляної кислоти та магнію.

Ключові слова: алюміній, оксидна плівка, флюс, припой, контактне плавлення, евтектика.

Вступ

При паянні тонкостінних конструкцій із алюмінію та його сплавів чи більш складних конструкцій використання ручних способів паяння з місцевим нагрівом не забезпечує високої якості виробів через розвиток у металі, що паяється, значних теплових деформацій. Більш доцільне паяння подібних конструкцій з загальним нагрівом в печах, флюсових ваннах та у ваннах з розплавленим припоєм. Паяння у флюсових ваннах великогабаритних виробів потребує великої кількості флюсу. В ряді випадків окрім розчинення металу, що паяється, в розплавленому флюсі відбувається ще й ерозія, котра створює більш суттєвий вплив на процес паяння й отримання якісних паяних з'єднань.

Паяння у ваннах з розплавленим припоєм ускладнюється необхідністю флюсування місць паяння та захистом решти поверхні від розтікання припою. Тому спосіб паяння в печах, який має широку універсальність, є оптимальним.

У всіх випадках при флюсовому паянні технологічний процес паяння повинен передбачати нанесення флюсу та розміщення припою. При цьому необхідно дозувати кількість припою, оскільки його надлишок призводить до його стікання, створення напливів, у яких розчиняється метал, що паяється, утворюючи підризи.

Виробнича практика показує, що при паянні алюмінію та його сплавів, особливо у великосерійному та масовому виробництві, припой вводять плакуванням металу, що паяється, припоєм. Але це не забезпечує гарантійної технологічності [1].

Флюсування виробів частіше за все виконують двома способами: порошкоподібним флюсом, який наносять на місце паяння, закриваючи вкладений припой, чи у водяному розчині флюсу методом занурення. Перший спосіб використовують при паянні одиничних і невеликих серій великогабаритних виробів, другий – при крупносерійному та масовому виробництві. При флюсуванні штучних виробів великих розмірів другим способом необхідний великий об'єм флюсувального розчину для занурення виробів і великі витрати флюсу, при чому за діючими виробничими інструкціями допускається використання водяного розчину флюсу лише протягом обмеженого терміну, після чого він підлягає заміні.

Можливість підвищення технологічності процесу паяння існує при використанні реактивно-флюсового паяння, при якому припой утворюється в результаті відновлення металу з флюсу чи дисоціації одного з його компонентів. Однак такому способу паяння притаманні всі недоліки паяння легкоплавкими припоями: низька

міцність паяних з'єднань та низька корозійна стійкість.

Мета роботи

Метою роботи є розробка способу високотемпературного реактивно-флюсового паяння в печах алюмінію.

Аналіз досліджень та публікацій

Для високотемпературного паяння алюмінію та його сплавів найчастіше використовують силуміни завдяки своїй високій рідкотекучості (переважно евтектичний силумін АЛ2) та припой 34А, які дозволяють отримувати достатньо міцні та корозійностійкі з'єднання (рис. 1).

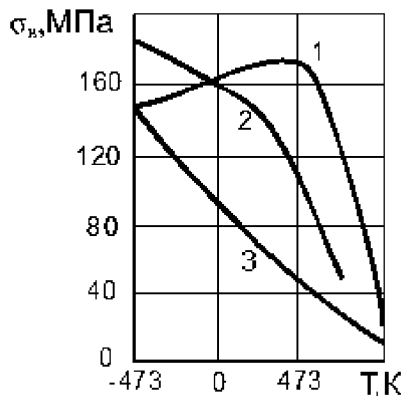


Рис. 1. Залежність міцності при розтягу від температури випробувань [1]:
1 – припой ПЗ4А; 2 – припой АЛ2; 3 – технічний алюміній

Мідь, що міститься у припої 34А, дозволяє знизити його температуру плавлення, але при цьому знижується його пластичність та збільшується крихкість.

Кремній, що міститься у складі силумінів, при твердінні евтектики виділяється у вигляді грубих кристалів голчастої форми, які відіграють роль надрізів у пластичному алюмінію [2]. Для подрібнення структури та видалення надлишкових кристалів силуміни модифікують натрієм, а саме сумішшю солей натрію – 67% NaF + 33% NaCl. У присутності натрію відбувається зміщення ліній діаграми стану (рис. 2) і заевтектичний сплав АЛ2 стає доевтектичним. Евтектика набуває більш тонкої структури і складається з дрібних кристалів кремнію та α-структури, оскільки у процесі твердіння кристали кремнію обволікаються плівкою силіциду натрію Na₂Si, що перешкоджає їх росту. Такі зміни покращують механічні властивості силумінів.

Діаграма стану Al-Na [3] характеризується дуже незначною розчинністю елементів один в одному як в рідкому, так і в твердому стані. Розчинність Na в рідкому Al збільшується від 0,1% (по масі) при 973 К до 0,13% (по масі) при 1073 К. Al в Na в твердому стані практично не розчиняється або розчиняється дуже незначно: 0,003% (по масі) Al при температурі 932 К і близько 0,002% (по масі) Al при температурах 823–823 К.

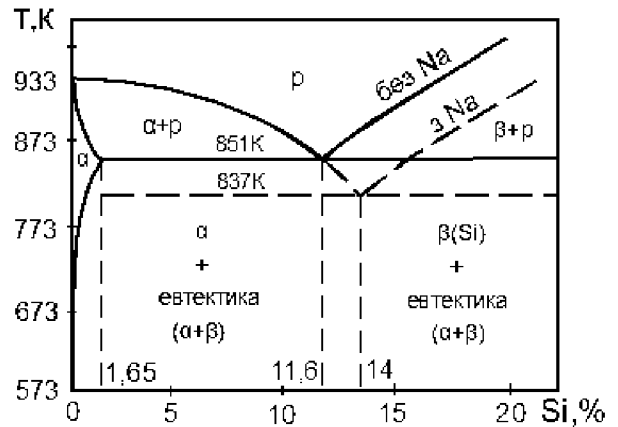


Рис. 2. Діаграма стану Al-Si [2]

Діаграма стану Na-Si не побудована. У системі утворюється ряд з'єднань Na_xSi_y. Кремній у натрію практично не розчиняється (розчинність Si в Na при температурі 923 К становить 2,4·10⁻³ ат. %) [4].

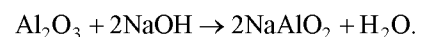
Доевтектичні сплави АЛ4 та АЛ9, додатково леговані магнієм, можуть зміцнюватися, окрім модифікування, термічною обробкою. Зміцнюючою фазою слугує Mg₂Si [2].

Дослідження [5] показали, що при напайці припою типу силумін, що містять не менше 2% магнію, у результаті окислення магнію та взаємодії його з залишками кисню у вакуумованому середовищі на припої перед розплавленням та на рідкому припої при його розтіканні утворюється щільна оксидна плівка MgO. Змочування АМц припоюми з 5–10% Mg відбувається лише при нагріванні до 903 К, ймовірно, внаслідок високої щільності та товщини плівки MgO. Таким чином, введення ≥ 2% Mg у припої ПЗ4А та силумін несприятливе для напайки.

Як вказується авторами роботи [4], роль магнію зводиться головним чином до очищення вакуумованого середовища печі та відновлення алюмінію з оксидної плівки. Однак, відомо, що у системі Al-Mg-Si утворюється дві евтектики: багата кремнієм з температурою плавлення 823 К і багата магнієм з температурою плавлення 723 К. Подвійна евтектика Al-Si має температуру плавлення 850 К. Таким чином, можливість ведення процесу паяння алюмінію силуміном у парах магнію при температурі 833 К підтверджує наявність при цьому контактного твердо-газового плавлення.

Отже, з вищесказаного випливає, що при паянні алюмінію та його сплавів силумінами необхідно забезпечити введення в зону з'єднання натрію та магнію.

За однією з теорій оксидна плівка з алюмінію видаляється внаслідок утворення в процесі паяння їдкого натрію при взаємодії його хлориду з залишками вологи, в результаті чого утворюється розчинний у воді та флюсі алюмінат натрію [1]:

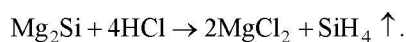
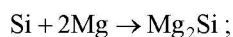
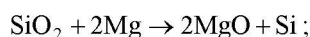
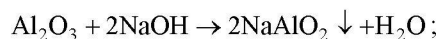
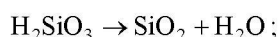
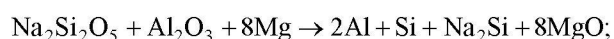
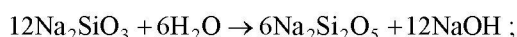
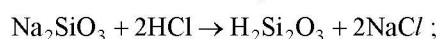


Як вказується в [1], наявність вологи, яка завжди міститься у флюсі та на поверхні деталей, що паяються, сприяє флюсуванню поверхні алюмінію. Волога вноситься разом з виробом, оскільки вона завжди є на поверхні деталей, що паяються. Підігрів виробів до 803 К зменшує кількість вологи на поверхні деталей, проте не виключає її повністю. Тобто волога присутня у зоні з'єднання у будь-якому випадку.

На сьогоднішній день дотримуються такої точки зору щодо видалення оксидної плівки з поверхні алюмінію при паянні флюсами, що не містять фторидів [1]. При нагріванні алюмінію та його сплавів в оксидній плівці утворюються тріщини внаслідок різниці їх коефіцієнтів термічного розширення. В утворенні тріщини проникає флюс, і протікає реакція заміщення облуджуючого металу в його хлориді алюмінієм з утворенням хлористого алюмінію. Облуджуючий метал осаджується на поверхні алюмінію, вступає з ним у взаємодію та розчиняє алюміній з поверхні, «підмиваючи» оксидну плівку. Через деякий час повністю підмита плівка подрібнюється і переходить у флюс.

Матеріали та методи досліджень

Досліди проводили на зразках з алюмінію марки АД00 розмірами $8 \times 8 \times 10$ мм. Підготовка поверхні зразків, які підлягали з'єднанню, полягала у знятті шабером приповерхневого шару товщиною $\sim 0,2 \pm 0,3$ мм і в наступному знежирюванні. На основі викладених вище міркувань у якості прошарку використовувалась суміш складу $\text{Na}_2\text{SiO}_3\text{-HCl-Mg}$. Співвідношення компонентів визначалась кількістю кремнію, що виділяється в результаті проходження нижче наведених реакцій і бере участь в утворенні евтектичного сплаву Al-Si (88,3 % алюмінію та 11,7 % кремнію мас. %), по відношенню до якого магній вводиться у кількості до ≤ 2 %:



Дослідження проводились у вакуумній камері модернізованої установки УВН-2М-1 при глибині розрідження $1,33 \cdot 10^{-2}$ Па, температурі 853 К, питомому тиску 0,6 МПа та часі витримки при температурі досліджень 900 с. Навантаження на зразки створювалось за допомогою механічного приводу типу гвинт-гайка через пружину, що дозволило зафіксувати момент утворення рідкого прошарку за показаннями індикатора годинникового типу.

Мікросліפי з'єднань для металографічних дослід-

жень виготовляли за стандартною методикою з використанням алмазних паст. Травлення зразків здійснювали в суміші плавикової та азотної кислот (2:1 об'ємних часток). Мікроструктуру з'єднань досліджували методом оптичної мікроскопії на мікроскопі МИМ-8. Хімічний склад зони з'єднання та ділянок металу, що прилягали до неї, визначали мікрорентгеноспектральним аналізом за допомогою растрового електронного мікроскопа JSM-840 фірми «JEOL».

Результати експериментів

Запропонований нами склад прошарку дозволяє забезпечити легке і технологічне нанесення його на поверхні деталей, що з'єднуються, і за рахунок клеючих властивостей суміші спрощувати складання виробів.

Перші спроби по веденню процесу з'єднання алюмінію АД00 через прошарок показали утворення шва і дифузійних зон, характерних для паяних виробів (рис. 3).

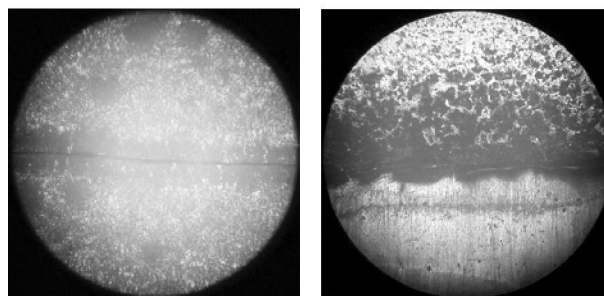


Рис. 3. Мікроструктура з'єднань:
а – АД00 + АД00 через прошарок, $\times 300$;
б – АД00 + прошарок на сталевій основі, $\times 900$

Методом скануючої мікроскопії встановлено, що евтектична суміш, яка утворюється при виділенні вільного кремнію в результаті проходження описаних вище реакцій, заповнює зазор в стику та забезпечує якісне формування зони з'єднання (рис. 4).

Характер розподілу кремнію по зоні з'єднання вказує на його дифузію в алюмінієві деталі (рис. 5).

Концентрація елементів безпосередньо у шві за даними мікрорентгеноспектрального аналізу складає 87,65Al – 10,87Si – 1,28Mg – 0,2Na (мас. %).

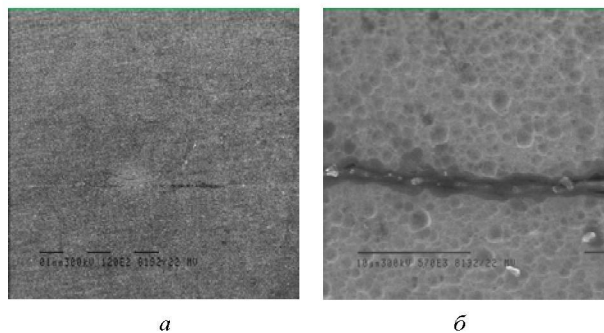


Рис. 4. Мікроструктура з'єднань за даними електронної мікроскопії

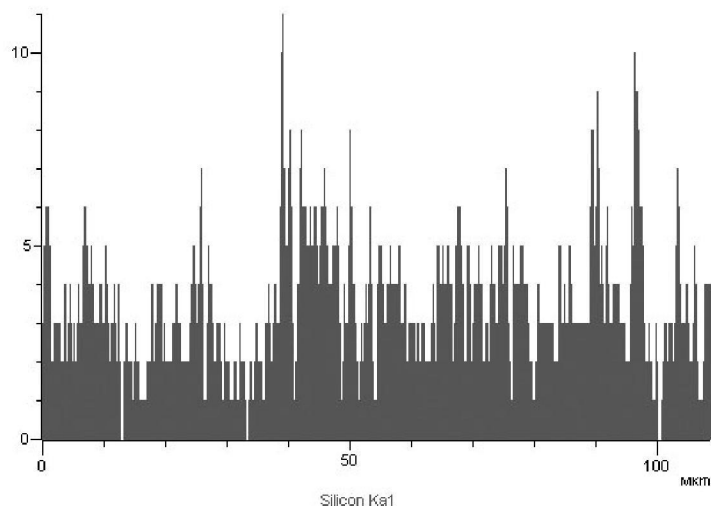


Рис. 5. Характер розподілу кремнію по зоні з'єднання (мас. %)

На даному етапі досліджень міцність з'єднань при випробуванні на зріз досягла значення 51 МПа, що складає 82 % від міцності основного матеріалу.

Висновки

1. Створено основи технології високотемпературного реактивно-флюсового паяння алюмінію за рахунок використання прошарку системи $\text{Na}_2\text{SiO}_3\text{-HCl-Mg}$, який володіє флюсоючими властивостями та дозволяє отримати з'єднання на основі евтектики Al-Si.

2. Актуальним завданням дослідження даного напрямку є розробка технологічних прийомів ведення процесу паяння алюмінію та сплавів на його основі, які дозволять забезпечити ефективність видалення оксидної плівки за короткий проміжок часу, що особливо важливо при отриманні прецизійних з'єднань.

Перелік посилань

1. Никитинский А. М. Пайка алюминия и его сплавов / А. М. Никитинский. – М.: Машиностроение, 1983. – 192 с.
2. Лахтин Ю. М. Материаловедение и термическая обработка металлов : учеб. / Ю. М. Лахтин ; 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1976. – 407 с.
3. Лякишев Н. П. Диаграммы состояния двойных металлических систем : справочник в 3 т., т. 1. / под общ. ред. Н. П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996. – С. 176–177.
4. Лякишев Н. П. Диаграммы состояния двойных металлических систем справочник в 3 т., т. 1, кн. 1. / под общ. ред. Н. П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 2001. – С. 510–511.
5. Лашко Н. Ф. Контактные металлургические процессы при пайке / Н. Ф. Лашко, С. В. Лашко. – М.: Металлургия, 1977. – 192 с.

Одержано 12.12.2013

Олексієнко С. В., Куликовський Р. А., Мартыненко В. А., Ющенко С. М. Способ реактивно-флюсовой пайки алюминия

Проведен анализ производственного опыта пайки тонкостенных и сложных по конфигурации изделий с алюминия и его сплавов. Определены пути повышения технологичности процесса пайки. Установлена возможность высокотемпературной реактивно-флюсовой пайки алюминия в печах за счет использования прослоек на основе силиката натрия, соляной кислоты и магния.

Ключевые слова: алюминий, оксидная пленка, флюс, припой, контактное плавление, эвтектика.

Oleksienko S., Kulikovskiy R., Martynenko V., Yushchenko S. Method reactive brazing aluminum flyusovoy

The production experience of brazing of thin-walled and compound configuration constructions is analyzed. Ways of brazing manufacturability improvement are defined. The possibility of high-temperature reactive-flux brazing of aluminium in furnaces at the expense of using the sodium silicate basic layer, hydrochloric acid and magnesium is determined.

Key words: aluminium, surface oxide, flux, braze, contact fusion, eutectic.