

334
04 03 2021

ВІДГУК

офіційного опонента д-ра техн. наук **В. В. ПЕРЕМІТЬКА**
на дисертаційну роботу **САБАДАША Олега Михайловича**

**«Технологія реактивно-флюсового паяння тонкостінних конструкцій
з алюмінієвих сплавів Al, Al-Mn»,**

представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.03.06 – «Зварювання та споріднені процеси і технології»

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

При виготовленні навігаційних приладів та систем управління перевага віддається тонкостінним легким конструкціям з алюмінію та сплавів алюмінію з марганцем. Найефективнішою технологією виробництва подібних об'єктів (зокрема фазованих антенних решіток) є паяння, яке дозволяє забезпечити належну точність конструкцій. Реалізація таких технологічних процесів супроводжується значними матеріальними та матеріальними витратами, що пов'язано з ризиками забруднення атмосфери токсичними сполуками, необхідністю очищення від таких сполук водних стоків, утилізацією залишків флюсу.

Виходячи з цього, розробка корозійно неактивних флюсів та технології реактивно-флюсового паяння у контрольованому середовищі, що забезпечить стабільну якість з'єднанням, екологічну безпеку та зниження собівартості тонкостінних алюмінієвих антен є актуальними.

Актуальність теми підтверджується також виконаним комплексом науково-дослідних робіт в ІЕЗ ім. Є.О. Патона в рамках державних науково-технічних програм «Розробка композиційних припоїв, дослідження структури та технологічних процесів паяння жароміцних нікелевих сплавів, алюмінієвих сплавів між собою та зі сталлю» (№ ДР 0100U004946, 2000-2002 рр.); «Розробка наукових основ створення адгезійно-активних припоїв, реактивних флюсів і технології паяння різнорідних з'єднань, що працюють під дією високих і низьких температур, жорстких циклічних теплових навантажень, радіаційного

опромінення та ін.» (№ ДР 0102U003961, 2002-2006 рр.); «Розробка присадних матеріалів для капілярного і некапілярного паяння і створення технологічних процесів з використанням цих матеріалів» (№ ДР 0110U001996, 2010-2012 рр.); «Створення матеріалів (флюсів) і технології пічного паяння алюмінієвих тонкостінних конструкцій в контрольованому газовому середовищі» (№ ДР 0118U002320, 2018-2019 рр.). При реалізації зазначених науково-технічних програм автор дисертації був співвиконавцем.

2. Наукова новизна одержаних результатів

В якості нових наукових результатів можна визначити наступне:

– знайдені за діаграмою плавкості сольової системи K, Al, Si/F області сумішей фторидів – стабільних, метастабільних та нестабільних – та встановлені склади евтектик, мас. %: KF(28) – K₃AlF₆(10) – K₃SiF₇(62), що плавиться при 715 °С, та K₃AlF₆(18) – K₃SiF₇(82), з T_{пл} = 817 °С;

– експериментально встановлений факт зростання в 1,6...1,8 рази площі розтікання алюмінієво-кремнієвого припою за умови збільшення присутності у складі реактивного флюсу KF-AlF₃-K₂SiF₆-KZnF₃ гексафторсилікату калію до 20 мас.% та калій-цинк фториду до 15 мас.%, утворення на поверхні основного металу легкоплавкого шару сплаву системи Al-Si товщиною ≥2...4 мкм та нагріві до температури, що перевищує температуру евтектики Al-12,5Si;

– встановлену умову забезпечення повноти алюмотермічного відновлення кремнію з флюсу KF-AlF₃-K₂SiF₆;

– зафіксований факт найменшої електрохімічної гетерогенності, що не перевищує 0,05В, між алюмінієвою підкладкою та флюсом KF-AlF₃-(K₂SiF₆+AlF₃) у системах флюс–припій–підкладка та флюс–підкладка.

3. Практична цінність роботи

За результатами досліджень, виконаних дисертантом, створено негігроскопічні фторидні флюси та розроблено технологію пічного реактивно-флюсового паяння в аргоні алюмінієвих тонкостінних конструкцій, що забезпечує високі показники міцності швів в умовах статичних і динамічних навантажень;

Дослідно-промислова перевірка технології паяння алюмінієвого тонкостінного хвильоводу засвідчила відповідність експлуатаційних характеристик паяного виробу вимогам ТУ, що має практичну цінність для вітчизняних виробників радарних антен.

4. Обґрунтованість наукових положень у дисертації та їх достовірність

Ступінь обґрунтованості наукових положень, сформульованих у дисертаційній роботі висновків та практичних рекомендацій є високим, мету і задачі досліджень поставлено чітко. Достовірність одержаних результатів не викликає сумніву. Вірогідність наукових положень та практичних рекомендацій, що викладені у дисертації, підтверджено сучасними методиками, які автор використовував у своїх дослідженнях.

Основні наукові положення та результати досліджень доповідалися на численних міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференціях. Це свідчить про достатню ступінь апробації роботи.

Основний зміст дисертації та найважливіші висновки викладені у статтях, опублікованих у фахових журналах, що входять до переліку рекомендованих МОН України видань для публікації праць здобувачів наукового ступеня.

5. Структура та зміст дисертації

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи – 181 сторінка, включаючи 79 рисунків, 26 таблиць, список використаних джерел із 159 найменувань на 15 сторінках, та 4 додатки.

Дисертація та автореферат містять усі необхідні структурні розділи, написані українською мовою й оформлені відповідно до вимог ДАК України.

У вступі обґрунтовано актуальність теми роботи; подано мету та основні напрямки досліджень, а також наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів. Наведено відомості про апробацію основних наукових положень та наукові публікації.

У першому розділі наведено аналіз фізико-хімічних властивостей алюмінієвих сплавів, способів високотемпературного паяння алюмінієвих тонкостінних конструкцій, а також сольових систем хлоридних і фторидних флюсів, які для даних матеріалів застосовуються. Підкреслено факт невикористання паяльних листів та екологічні наслідки застосування занурення елементів при паянні у сольовий розплав.

У другому розділі описані матеріали, устаткування та методи досліджень, які застосовувалися при виконанні роботи, зокрема для дослідження температурних інтервалів плавлення; металографічних досліджень, рентгеноструктурного і мікрорентгеноспектрального аналізу, виготовлення дисперсних сумішей флюсів; механічних властивостей паяних з'єднань.

У третьому розділі детально розглянуто термодинамічні умови (ΔG) протікання хімічних реакцій в системах Al_2O_3 – фториди, Al – фториди. Визначені як перспективні компоненти флюсів для паяння гексафторсілікат калію (K_2SiF_6) та калій-цинк фторид ($KZnF_3$): вони сприяють руйнуванню оксиду Al_2O_3 , при взаємодії даних сполук з алюмінієм відновлюється кремній.

Наведено результати дослідження хімічної взаємодії в системі K, Al, Si /F. Визначено температуру солідусу та ліквідусу сольових розплавів. Встановлено склад стабільних, метастабільних і нестабільних сумішей фторидів. На підставі отриманих результатів визначено перспективні суміші сольової системи KF-AlF₃-K₂SiF₆.

Плавленням та синтезом сполук отримані фторидні порошкові флюси системи KF-AlF₃-K₂SiF₆(KZnF₃). Наведено фазовий склад реактивних флюсів, на підставі рентгеноструктурного аналізу дисперсних порошоків.

У четвертому розділі наводяться результати дослідження характеру взаємодії сольових сумішей, що складають реактивні флюси, на контактній межі з алюмінієм, вивчення розтікання припоїв системи Al-Si та формування паяних з'єднань алюмінієвих сплавів в контрольованому середовищі. Детально вивчені корозійні властивості флюсів рекомендованого складу.

Дослідженнями фізико-хімічних процесів у системі «флюс-припій-алюміній» при високотемпературному паянні встановлено факт відновлення кремнію на контактній поверхні алюмінієвої підкладки при взаємодії з реактивним флюсом системи KF-AlF₃-K₂SiF₆ та утворення легкоплавкого сплаву Al-Si за рахунок контактнореактивного плавлення. Утворений сплав покращує формування з'єднань і може сам виконувати функцію припою. Визначено склад реактивного флюсу для паяння алюмінію без присаджування припою. Зокрема, добавка фторидів алюмінію та кремнію сприяє повному алюмотермічному відновленню кремнію (що підвищує масову частку припою в паяльному зазорі), а добавка калій-цинк-фториду забезпечує підвищення міцності з'єднань сплаву АМц без додаткового присаджування припою.

Визначено склади флюсів, що відповідають вимогам стандарту та мають найменшу електрохімічну гетерогенність.

У п'ятому розділі наведено результати розробки екологічно безпечного технологічного процесу паяння алюмінієвих тонкостінних конструкцій в контрольованому газовому середовищі. Дослідно-промислові випробування

алюмінієвих хвильоводів, виготовлених в умовах ПАТ «Київський завод «РАДАР» за запропонованою технологією, показали їх відповідність вимогам технічного завдання за отриманими експлуатаційними характеристиками.

Запропоновано також технологію реактивно-флюсового пічного паяння без присаджування припою алюмінієвих тонкостінних компактних слот антен, а також пластинчастих алюмінієвих радіаторів термоелектричних модулів для систем підігрівання і охолодження води.

Висновки дисертації повністю відображають найважливіші наукові та практичні результати дисертації. Вони сформульовані конкретно та логічно, відповідно до змісту дисертації.

Зміст дисертації та автореферату ідентичний. Автореферат дисертації достатньо повно висвітлює результати, наведені в самій дисертації.

6. Апробація положень та результатів дисертації та повнота їх викладення в опублікованих роботах

Основні результати дисертації опубліковані в 25 наукових працях, що включають 8 статей у наукових фахових виданнях, з яких 2 в іноземних виданнях; 14 тез та матеріалів наукових і науково-практичних конференцій. Наукові публікації охоплюють всі розділи дисертаційної роботи. Отримано один патент України на корисну модель.

Обсяг друкованих робіт та їх кількість відповідають вимогам МОН України щодо публікації основного змісту дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

7. Зауваження по дисертаційній роботі

1. Висновки за розділом 2 дисертації носять констатуючий характер та зводяться до переліку застосованих методик досліджень.

2. На рисунку 3.7, стор.80, ступінь протікання реакції ΔP набуває значень, які перевищують 100%, що бути не може.

3. На рисунках 4.10, стор.104, та 4.11, стор. 105, криві залежностей не позначені, що ускладнює розуміння поданого матеріалу. На рисунках 4.11 та 4.14 відсутня інформація про аргумент, виражений у мас. %.

4. При порівнянні площ розтікання припою в умовах флюсового паяння в гелії та повітрі (стор. 104, 105) бракує відповідних даних для випадку застосування аргону. В подальших дослідженнях із застосуванням захисту інертними газами, результати яких наведені в дисертації, жодного разу таких порівнянь теж не наводиться. Це породжує незрозуміння мотиву проведення паяння саме в гелії.

5. Не зрозумілим залишилося, чому при ідентичних основі флюсу ($KF - AlF_3$) та температурі паяння ($600...605^\circ C$) площа розтікання припою з використанням флюсу Nocolok та чистої, без внесення комплексних фторидів, основи флюсу на рисунках 4.12 та 4.13 суттєво відрізняється.

6. При дослідженні розтікання доєвтектичних припоїв Al-Si при різному співвідношенні реактивного флюсу до припою (стор.109-110) бралось до уваги відношення об'ємів. Зважаючи на те, що обидва компонента подаються у вигляді порошкового дроту, доречнішим було б скористатися співвідношенням поперечних перерізів або мас. До честі автора, у подальшому, при викладенні інших результатів такий перехід було зроблено.

7. Деякі дані носять суперечливий характер: на с.114 повідомляється про застосування в дослідженнях аргону марки А, а сторінкою пізніше – аргону високої частоти.

8. Враховуючи те, що автор розглядає дві схеми процесу – з присаджуванням припою та без нього – бажаним було б чітко оговорити випадки, коли можна рекомендувати кожен з них.

9. При регламентації добавки фториду алюмінію у складі флюсу для паяння без присаджування припою заявлені досить широкі межі

співвідношення $K_2SiF_6/AlF_3 = 17/1 - 1/1$ (стор. 125), які бажано було б обмежити оптимальними значеннями, наприклад, з технологічних або економічних міркувань.

10. На стор.130 виглядає зайвим розміщення опису отримання калій-цинк фториду $KZnF_3$, який доречнішим був би у розділі 3.

11. Висновок 2 до розділу 4 не містить конкретної температури (або її інтервалу) перегріву з перевищенням точки евтектичного перетворення Al-Si припою, при якому фіксується відповідне збільшення площі розтікання припою.

12. У роботі зустрічаються окремі граматичні помилки за текстом (наприклад, стор.23, 60, 64, 66, 68, 70, 73, 77, 84, 90, 102) та неточності використання понять (площі „перетину” (стор.67) замість „перерізу”, „фтористоводнева” кислота (стор.64, 83) замість „фториста” або «флуоридна», „каплі”(стор.103) замість „краплі”, „включення” (стор.162) замість „вкраплення”).

Загальний висновок

Відмічені недоліки та зауваження, зроблені до окремих положень дисертації, не стосуються кваліфікаційних ознак роботи та не знижують її загального наукового рівня.

В цілому дисертаційна робота Сабадаша Олега Михайловича «Технологія реактивно-флюсового паяння тонкостінних конструкцій з алюмінієвих сплавів Al, Al-Mn», є завершеним науковим дослідженням в області технології та матеріалів для високотемпературного реактивно-флюсового паяння алюмінієвих сплавів з низьким вмістом магнію, яке за обсягом виконаних досліджень, їх новизною, науковою та практичною значущістю одержаних результатів та їх рівнем повністю відповідає вимогам до робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, зокрема, пунктам 9, 11 та 12 «Порядку присудження наукових ступенів»,

затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567.

Автор дисертаційної роботи – Сабадаша Олег Михайлович – заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.06 – Зварювання та спорідненні процеси і технології.

Офіційний опонент,
декан металургійного факультету
Дніпровського державного технічного
університету (ДДТУ), професор кафедри
технології та устаткування зварювання,
д-р техн.наук, професор



В.В.Перемітько

Підпис Перемітька Валерія Вікторовича засвідчую:

Учений секретар ДДТУ
канд. соціолог. наук, доцент



Л.М.Сорокіна