

Адгезія розплавів і пайка матеріалів

УДК 621.762

Про застосування титанової фольги в конструкціях паяних малогабаритних вікон для передачі променевої енергії

В. С. Журавльов*, Т. В. Сидоренко

Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН
України

03142, Київ, Україна, вул. Кржижановського, 3

*E-mail: vszhuravlyov@gmail.com

Показано можливість застосування титанової фольги для мініатюризації конструкцій паяного з'єднання тонкого неметалевого диска (вікна) з порожнистим тонкостінним металевим або неметалевим циліндром для роботи в складі вакуумного приладу в широкому діапазоні температур. Основною особливістю даної розробки стало створення конструкцій паяного з'єднання, в яких обічайка, що охоплює диск з неметалу, в даному випадку з лейкосапфіру, виконана з титанової фольги товщиною 100 та в деяких випадках 50 мкм. Встановлено режими паяння та виготовлено паяні зразки вікон. Випробування на вакуумну щільність, які були проведені після різних режимів термоциклювання паяних зразків, показали високу працездатність даної конструкції паяного з'єднання.

Ключові слова: конструкції паяних з'єднань, пайка неметалів, неметалеві матеріали, лейкосапфір, склотрубка, адгезійно-активні припої, титан.

Вступ

У матеріалознавчій частини сучасного приладобудування одним з основних завдань є зменшення матеріалоемності конструкцій пристроїв і приладів, що розроблюються. Ця проблема також відноситься й до конструкцій паяних з'єднань неметалевих матеріалів з металевими сплавами, наприклад до вікон введення–виведення хвильової променевої енергії, зокрема до хвилепровідних систем, фотоприймачів тощо. Для створення таких конструкцій необхідно забезпечити отримання високогерметичних, механічно-міцних паяних з'єднань, що здатні працювати в

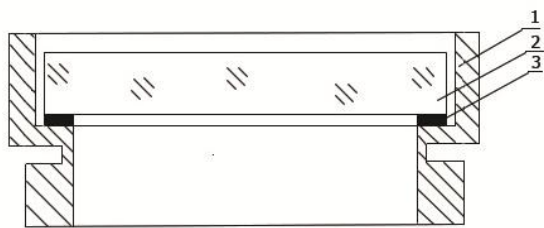


Рис. 1. Стандартна конструкція паяного вікна в металевий корпус: 1 — чашка металевого корпусу; 2 — вікно; 3 — припій.

широкому діапазоні температур від криогенних до 300—700 °С. Найбільш поширена конструкція для таких з'єднань наведена на рис. 1.

Металевий корпус подібних конструкцій виготовляють зі сплавів з термічним коефіцієнтом лінійного розширення (ТКЛР), що є близьким до такого для неметалевого матеріалу (диска). Зазвичай це залізонікель-кобальтові або титанові сплави. Чашка металевого корпусу виконує роль як центруючого елемента для неметалевого диска, так і герметизуючого елемента для створення з'єднання охоплюючого типу.

Як припій частіше за все використовують сплави на основі системи мідь—срібло (ПСр72, ПСр92 та ін.), а для паяння зі склом — більш м'які низькотемпературні припої на базі олова з добавками срібла, індію, свинцю та ін. Для одержання з'єднань торцевого типу припій укладають між диском і корпусом у вигляді плоскої шайби, а для охоплюючого з'єднання — у вигляді кільця у верхній частині неметалевого диска. Для паяння неметалізованого диска з залізонікелькобальтовими сплавами застосовують припої, які містять до 3% (мас.) титану і більш. Під час паяння неметалів з титановими сплавами легування припою можливо також за рахунок розчинення в ньому деякої кількості припаюваного титанового сплаву.

Основними недоліками такої конструкції (рис. 1) є її жорсткість в області чашки для розміщення неметалевого диска і необхідність збільшення діаметра корпусу в зоні вікна. (Останнє ускладнює створення малогабаритного мініатюрного корпусу приладу). Жорсткість конструкції призводить до великих термічних напружень, що виникають через неповне узгодження ТКЛР матеріалів, які з'єднуються, і навіть припою, в результаті чого можливе руйнування неметалевого матеріалу. Виконання цільного корпусу чашки (обічайки) призводить до виникнення згинального моменту, що особливо небажано для крихкого неметалевого диска, тому що неметали в процесі розтягування й вигину мають низьку міцність.

Для зменшення впливу даного ефекту обічайку роблять такою, що виступає над вікном, а це викликає згинальний момент в зворотному напрямку [1]. З метою зменшення згинального моменту так само можливе використання паска з титану, який припаюється одночасно до вікна і корпусу приладу [2]. Така конструкція дозволила збільшити термостійкість лінзи з лейкосапфіру, що з'єднаний з корпусом виробу з титанового сплаву або кобальту. Подібне з'єднання нами використано як вікно пірометрів, що встановлені безпосередньо в корпусі двигуна внутрішнього згоряння або газотурбінного двигуна.

Матеріали і методика експерименту

Метою даної роботи є мініатюризація конструкції паяного з'єднання тонкого неметалевого диска з порожнистим тонкостінним металевим циліндром для роботи в складі вакуумного приладу в широкому діапазоні температур. Також був розглянутий варіант паяння лейкосапфірового диска зі скляною трубкою. Для визначення способу з'єднання диска з титановим корпусом була запропонована конструкція, що наведена на рис. 2.

Для вікон використовували поліровані диски з лейкосапфіру діаметром 10—15 мм і товщиною 0,3—0,6 мм. Корпус виготовляли з титанових сплавів. Паяння виконували з використанням припою ПСр72 вакуумної плавки, який у вигляді стрічки закладали в спеціально виготовлену проточку в корпусі приладу. Кількість припою визначали виходячи з обраних параметрів диска конкретних розмірів. Товщину корпусу в зоні проточки b варіювали від 0,4 до 0,2 мм, а висоту h_1 і h_2 — в межах від 0,5 до 2 мм. Поясок, що охоплює вікно (обічайку), виготовляли з титанової фольги товщиною 100 мкм. Були розроблені спеціальні прийоми для згортання фольги в циліндр і кріплення його на циліндричній корпус приладу.

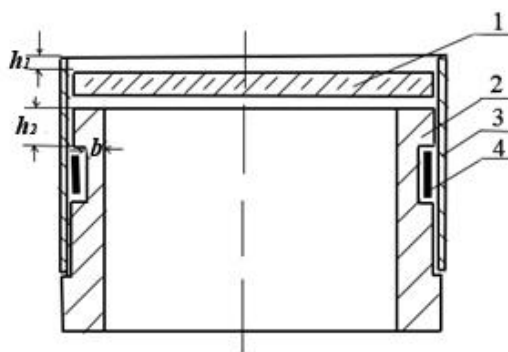
Результати досліджень та їх обговорення

Для оцінки стійкості тонкої фольги в розплаві припою в процесі паяння визначали її змочування й можливість окрихчування припою даним розплавом. Встановлено, що тонка фольга змочується краще і за більш низьких температур відносно масивного титану марки ВТ1. Максимальна температура паяння повинна не перевищувати 860 °С, а ізотермічна витримка не повинна бути більше 4 хв. Даний ефект ймовірно зумовлений збільшенням поверхневої енергії фольги в результаті прокатки, що призводить до дефектності структури.

Виходячи з цих даних і деяких параметрів вакуумної печі, що була використана, отримано паяні вікна (рис. 3).

Досліджено мікроструктуру паяного шва, що виявилася подібною до тієї, яка була детально вивчена нами раніше [2, 3]. На межі контакту лейкосапфіру з розплавом утворюється тонкий твердий прошарок (кілька мікрометрів), що складається з титану і міді. Срібло, яке є основою припою, в ньому практично відсутнє. У зоні контакту титанової деталі з припоєм так само утворюються мідно-титанові з'єднання, що не містять срібла. В результаті таких процесів припій збіднюється міддю і

Рис. 2. Конструкція паяного з'єднання тонкого неметалевого диска з порожнистим тонкостінним металевим циліндром: 1 — диск; 2 — циліндр; 3 — поясок з титанової фольги; 4 — припій; h_1 — висота компенсуючого кінця робочої деталі; h_2 — висота опорного кінця робочої деталі; b — товщина корпусу в зоні припою.



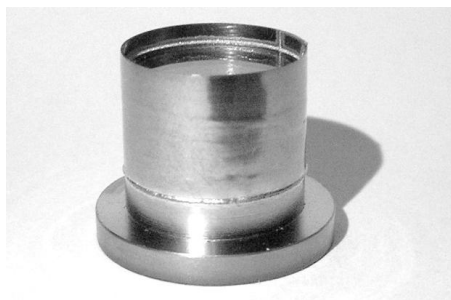


Рис. 3. Паяне вікно з лейкосапфіру діаметром 12 мм.

відбувається часткова ізотермічна кристалізація розплаву. У центральній частині шва виявляються області з високим вмістом срібла. Причиною такого перерозподілу елементів є відмінність в енергіях хімічного зв'язку титану як з компонентами твердої фази (елементами змочуваної підкладки), так і зі складовими розплаву. Титан є хімічно активним елементом до кисню, хемосорбується на поверхні



a



б

Рис. 4. Паяне з'єднання лейкосапфірового диска зі скляною трубкою: *a* — схема; *б* — паяний зразок; 1 — опорне металеве кільце; 2 — кільце з титанової фольги; 3 — лейкосапфіровий диск; 4 — припій; 5 — склотрубка; *h* — висота кільця з титанової фольги, що спаяна зі скляною трубкою.

Al_2O_3 . Мідь, маючи більшу енергією зв'язку з титаном, ніж срібло [4], хемосорбується безпосередньо на продуктах взаємодії $Ti-Al_2O_3$ з утворенням інтерметалідів Ti_xCu_y , ймовірно, з домішками кисню і срібла. Окаймлення цих інтерметалідів фазою на основі срібла вказує на кластерну структуру розплаву. Інтенсифікація контактної взаємодії на межі Al_2O_3-Ti , наприклад, внаслідок підвищення температури, збільшення концентрації титану тощо спричиняє розпад сполук Ti_xCu_y та утворення оксидів титану.

Вибираючи металевий припій для паяння неметалевого диска зі скляним корпусом приладу у вигляді трубки, слід враховувати крихкість скла, його низьку механічну міцність на вигин і розтягування і менший термічний коефіцієнт лінійного розширення, ніж у металевих припоїв. У зв'язку з цим необхідно застосовувати переважно низькотемпературні пластичні припої на основі олова, індію, свинцю та інших, леговані титаном. Однак до недоліків цих припоїв варто віднести суттєве зниження механічної міцності під час нагрівання спаяного вузла до відносно невисоких температур, особливо, якщо всередині приладу знаходиться газ під надлишковим тиском.

Для збільшення механічної міцності паяного з'єднання диска з корпусом у процесі розтягування в даній роботі запропоновано конструкцію з'єднання (рис. 4), в якій вона (міцність) залежить від висоти *h*

пропаювання титанової фольги уздовж склотрубки. Титанова фольга попередньо приварюється контактним зварюванням до металевого кільця, яке є опорним для лейкосапфірового диска. В роботі випробувано три види припоїв: на основі олова, індію та свинцю, леговані сріблом і титаном. Визначено режими паяння.

Випробування паяних вікон проводили на вакуумну щільність (по три зразка кожної конструкції). Як методика для випробувань був обраний “метод акваріума” з використанням тиску повітрям 0,35 МПа, що дозволяє виявляти натікання 10^{-7} Вт (10^{-3} л·мкм/с) [5]. Визначення вакуумної щільності паяних зразків виконували після термоциклювання за режимами: 24 °С—100 °С—24 °С (занурювання паяних вікон у киплячу воду, 3 цикли) і (+ 24 °С)—(–12 °С)—(+24 °С) з витримкою в камері холоду й відігрівання за температури 24 °С по 15 хв, 3 цикли. В результаті випробувань встановлено, що натікання було менше за $1 \cdot 10^{-7}$ Вт.

Висновки

На підставі виконаних розробок і ряду випробувань встановлено, що застосування титанової фольги забезпечує отримання якісних герметичних, термостійких паяних з'єднань диска з лейкосапфіру з тонкостінним металевим та скляним корпусами приладу. У цьому випадку спрощуються конструкція корпусу приладу та його габарити, що робить можливою їх подальшу мініатюризацію. Відносно невеликі напруги, що призводять до пластичної деформації фольги, дозволяють збільшити неузгодженість ТКЛР матеріалів, які паяються. Слід зазначити, що матеріалом фольги можуть бути й інші хімічно активні до неметалів або їх компонентів метали, наприклад цирконій, ніобій, тантал і ін.

Цитована література

1. Батыгин В.Н., Метелкин И.И., Решетников А.М. *Вакуумноплотная керамика и ее спай с металлами*. Москва: Энергия, 1973. 408 с.
2. Найдич Ю.В., Журавлев В.С., Фрумина Н.И. Разработка и испытание рабочих параметров спаев оконного типа из сапфира. *Адгезия расплавов и пайка материалов*. 1981. Вып. 8. С. 56—58.
3. Найдич Ю.В., Журавлев В.С., Фрумина Н.И. Исследование адгезионных свойств медно–серебряно–титановых припойных расплавов в процессе пайки сапфира с титаном. *Адгезия расплавов и пайка материалов*. 1978. Вып. 3. С. 99—101.
4. Hirnyj S., Indacochea J.E. Phase transformations in Ag70.5Cu26.5Ti3 filler alloy during brazing processes. *Chem. Met. Alloys*. 2008. Vol. 1. P. 323–332.
5. Санін Ф.П., Джур С.О., Кучма Л.Д., Найдьонов В.А. *Герметичність у ракетно-космічній техніці*. Дніпропетровськ: Вид. ДДУ, 1995. 168 с.

References

1. Batyigin, V.N., Metelkin, I.I., Reshetnikov, A.M. (1973). *Vakuumnoplottnaya keramika i ee spai s metallami*. Moskva: Energiya, 408 s. [in Russian].
2. Naydich, Yu.V., Zhuravlev, V.S., Frumina, N.I. (1981). *Razrabotka i ispytanie rabochih parametrov spaev okonnogo tipa iz sapfira. Adgeziya rasplavov i payka materialov*. Vyip. 8. S. 56—58. [in Russian].
3. Naydich, Yu.V., Zhuravlev, V.S., Frumina, N.I. (1978). *Issledovanie adgezionnyih svoystv medno–serebryano–titanovyih pripoynyih rasplavov v protsesse payki sapfira s titanom. Adgeziya rasplavov i payka materialov*. Vyip. 3. S. 99—101. [in Russian].

4. Hirnyj, S., Indacochea, J. E. (2008). Phase transformations in Ag70.5Cu26.5Ti3 filler alloy during brazing processes. Chem. Met. Alloys., Vol. 1, P. 323-332. <https://doi.org/10.30970/cma1.0071>
5. Sanin, F.P. Dzhur, Ye.O., Kuchma, L.D., Naidonov, V.A. (1995). Hermetychnist u raketno-kosmichnii tekhnitsi. Dnipropetrovsk: Vyd. DDU, 168 s. [in Ukrainian].

About the titanium foil using in the brazed construction of small windows for the transmission of radiant energy

V. S. Zhuravlev*, T. V. Sydorenko

I.M. Frantsevich Institute for Problems of Materials Science of the NAS of Ukraine, Kyiv

E-mail: vszhuravlyov@gmail.com

The aim of this work was to miniaturize the design of a brazed joint of a thin non-metallic disk with a hollow thin-walled metal cylinder for operation as part of a vacuum device in a wide temperature range. For brazing a non-metallic disk with a glass tube-shaped device body, when choosing a metal filler, the fragility of glass, its low mechanical strength in bending and tensile and a lower thermal coefficient of linear expansion than metal fillers must be taken into account. Therefore, the use of low-temperature plastic solders based on tin, indium, lead etc., which are alloyed with titanium, is preferable. However, the disadvantages of these fillers include a significant decrease in mechanical strength when the brazed unit is heated to relatively low temperatures, especially if there is a gas inside the device under excessive pressure. The option of brazing a leucosapphire disk with a glass tube was also considered. A design has been proposed to determine how a disk is connected to a titanium body. This design has increased the heat resistance of the leucosapphire lens, which is connected to the body of the product made of titanium alloy or covar. Such connection can be used as pyrometer windows installed directly in the body of an internal combustion engine or gas turbine engine. The main feature of this development was the creation of a brazed joint structure in which the shell covering the disk is made of non-metal, in this case of leucosapphire, made of titanium foil with a thickness of 100 and in some cases 50 μm . Brazing modes were set and brazed windows were made. Tests on the vacuum density after different modes of thermal cycling of brazed samples showed high performance of this structure of the brazed joint. It was shown that the use of titanium foil makes it possible to obtain high-quality heat-resistant brazed joints. The relatively small stresses that lead to plastic deformation of the foil make it possible to increase the inconsistency of the thermal coefficient of linear expansion (TCLE) of materials that were brazed. It should be noted that the foil material can also be other metals which had chemical active towards non-metallic materials or their components, for example, zirconium, niobium, tantalum, etc.

Keywords: *structures of brazed joints, brazing of non-metals, non-metallic materials, leucosapphire, glass tube, adhesive-active filler metals, fillers, titanium.*