
Р а з д е л Ш

ПАЙКА. АДГЕЗИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ. АДГЕЗИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ПОЛУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

УДК 621.762

В. С. Журавлев, Т. В. Сидоренко*

МИНИАТЮРИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ПАЯНОГО СОЕДИНЕНИЯ ТОНКОГО НЕМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ДИСКА С ПОЛЫМ ТОНКОСТЕННЫМ МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ЦИЛИНДРОМ

Выполнена миниатюризация конструкции паяного соединения тонкого неметаллического диска с полым тонкостенным металлическим цилиндром для работы в составе вакуумного прибора в широком диапазоне температур. Основной особенностью предложенной разработки явилось создание конструкции паяного соединения, в котором обечайка, охватывающая диск из неметалла, в данном случае из лейкосапфира, выполнена из титановой фольги толщиной 100 мкм. Установлены режимы пайки и изготовлены паяные окна. Проведенные испытания на вакуумную плотность после различных режимов термоциклирования паяных образцов показали высокую работоспособность данной конструкции соединения.

Ключевые слова: конструкции паяных соединений, пайка неметаллов, неметаллические материалы, лейкосапфир, адгезионно-активные припои, титан.

Введение

В современном приборостроении одной из основных задач является уменьшение материалоёмкости разрабатываемых конструкций устройств и приборов. Эта проблема также относится и к конструкциям паяных соединений неметаллических материалов с металлическими сплавами, например к окнам ввода-вывода волновой энергии, в частности к

* В. С. Журавлев — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины, Киев;
Т. В. Сидоренко — кандидат химических наук, старший научный сотрудник, там же.

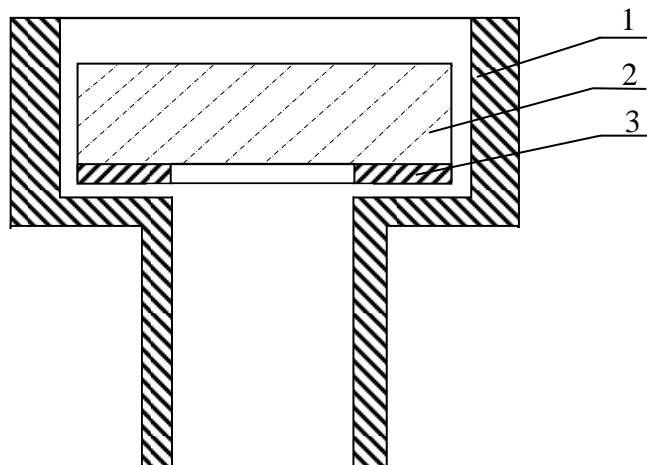


Рис. 1. Стандартная конструкция паяного окна в металлический корпус: 1 — чашка металлического корпуса; 2 — окно; 3 — припой

Fig. 1. Standard brazed window construction: 1 — metal cup; 2 — window; 3 — filler metal

волноводным системам, фотоприемникам и др. При создании таких конструкций необходимо обеспечить получение высокогерметичных механически прочных паяных соединений, способных работать в широком диапазоне температур от криогенных до 500—700 °С. Наиболее распространенное решение для таких соединений приведено на рис. 1.

Металлический корпус выполняется из сплавов с термическим коэффициентом линейного расширения (ТКЛР), близким к таковому для неметаллического материала. Обычно это железоникелькобальтовые или титановые сплавы. Чашка металлического корпуса выполняет роль как центрирующего элемента для неметаллического диска, так и герметизирующей ободки при создании соединения охватывающего типа. В качестве припоя наиболее часто используют сплавы на основе системы медь—серебро (ПСр72, ПСр92 и др.). При получении соединений торцевого типа припой укладывают между диском и корпусом в виде плоской шайбы, а при охватывающем соединении — в виде кольца в верхней части неметаллического диска. Для пайки неметаллизированного диска с железоникелькобальтовыми сплавами применяют припои, содержащие до 3% (мас.) титана и более. При пайке неметаллов с титановыми сплавами легирование припоя возможно за счет растворения в нем некоторого количества припаяваемого сплава.

Основными недостатками такой конструкции являются ее жесткость в области чашки для размещения неметаллического диска и необходимость увеличения диаметра корпуса в зоне окна. Последнее усложняет создание малогабаритного миниатюрного корпуса прибора. Жесткость конструкции приводит к большим термическим напряжениям, возникающим из-за неполного согласования ТКЛР спаиваемых материалов и даже припоя, в результате чего возможно разрушение неметаллического материала.

Исполнение цельного корпуса и охватывающего пояса чашки (обечайки) способствует появлению изгибающего момента, что особенно нежелательно для хрупкого неметаллического диска, поскольку неметаллы при растяжении и изгибе имеют низкую прочность. Для уменьшения влияния данного эффекта обечайку делают выступающей над окном, что вызывает изгибающий момент в обратном направлении [1]. С целью уменьшения изгибающего момента также возможно использование охватывающего пояса из титана, который припаивается одновременно к окну и корпусу прибора [2]. Эта конструкция позволила увеличить термостойкость линзы из лейкосапфира, спаянной с корпусом из титанового сплава или ковара. Такое соединение применяется в качестве окон пирометров, установленных непосредственно в корпусе двигателя внутреннего сгорания и газотурбинного двигателя.

Постановка задачи и способы ее решения

Цель данной работы — провести миниатюризацию конструкции паяного соединения тонкого неметаллического диска с полым тонкостенным металлическим цилиндром для работы в составе вакуумного прибора в широком диапазоне температур. Для решения данной задачи предложена конструкция, представленная на рис. 2. В качестве окон использовали полированные диски из лейкосапфира диаметром 12—15 мм и толщиной 0,3—0,6 мм. Корпус изготавливали из титановых сплавов. Пайку

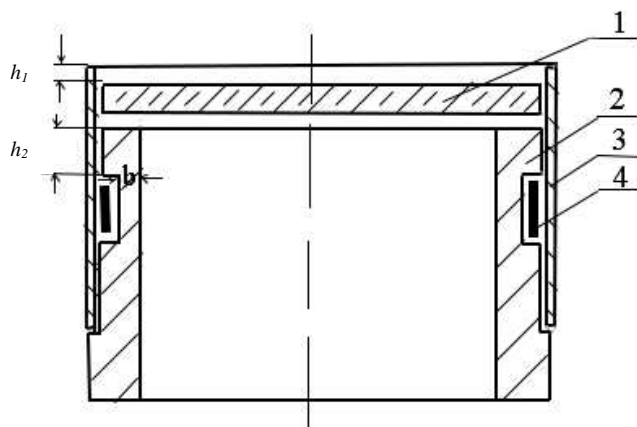


Рис. 2. Конструкция паяного соединения тонкого неметаллического диска с полым тонкостенным металлическим цилиндром: 1 — диск; 2 — цилиндр; 3 — фольга; 4 — припой; h_1 — высота компенсирующего конца; h_2 — высота опорного конца рабочей детали; b — толщина корпуса в зоне припоя

Fig. 2. The construction of the brazed joint of a thin non-metal disk with a hollow thin-walled metal cylinder: 1 — disk; 2 — cylinder; 3 — foil; 4 — filler metal; h_1 — height of the compensating end; h_2 — the height of the base end of the workpiece; b — cylinder thickness in the brazed zone

выполняли припоем ПСр72 вакуумной плавки, который в виде ленты закладывали в специально изготовленную проточку в корпусе прибора. Количество припоя определяли исходя из выбранных параметров диска конкретных размеров. Толщину корпуса в зоне проточки b варьировали от 0,4 до 0,2 мм, а высоту h_1 и h_2 — в пределах 0,5—2 мм. Охватывающий окно пояс (обечайку) изготавливали из титановой фольги толщиной 100 мкм. Были разработаны специальные приемы сворачивания фольги в цилиндр и крепления его на цилиндрическом корпусе прибора.

Результаты исследований и разработки

Для оценки стойкости тонкой фольги в расплаве припоя в процессе пайки определяли ее смачивание и возможность охрупчивания данным расплавом. Установлено, что тонкая фольга смачивается лучше и при более низких температурах относительно точеной поверхности массивного титана марки ВТ1. Данный эффект, вероятно, вызван увеличением поверхностной энергии фольги в результате прокатки, приводящей к дефектности структуры. Максимальная температура пайки должна быть не выше 860 °С, а изотермическая выдержка — не более 4 мин.

С учетом этих данных и некоторых параметров используемой вакуумной печи (последние, например инерционность, также влияют на режим пайки) были изготовлены паяные окна (рис. 3). Микроструктура паяного шва аналогична той, что была детально исследована нами ранее [2, 3]. На границе контакта лейкосапфира с расплавом образуется тонкая твердая прослойка (несколько микрометров), состоящая в основном из титана и меди. Серебро — основа припоя, в прослойке практически отсутствует. В зоне контакта титановой детали с припоем также образуются медно-титановые соединения, не содержащие серебро. В результате таких процессов припой обедняется медью и происходит частичная изотермическая кристаллизация припойного расплава. В центральной части шва появляются области с высоким содержанием

Рис. 3. Паяное окно из лейкосапфира диаметром 12 мм

Fig. 3. Brazed leucosapphire window with diameter 12 mm



серебра. Причиной такого перераспределения элементов является различие в энергиях химической связи титана как с компонентами твердой фазы (элементами смачиваемой подложки), так и с составляющими припойного расплава. Титан, являясь химически активным к кислороду элементом, хемосорбируется на поверхности Al_2O_3 . Медь, обладая большей энергией связи с титаном, чем серебро [4], хемосорбируется непосредственно на продуктах взаимодействия $Ti-Al_2O_3$ с образованием интерметаллидов Ti_xCu_y , вероятно, с примесью кислорода и серебра. Окаймление этих интерметаллидов фазой на основе серебра, возможно, указывает на кластерную структуру расплава. Интенсификация контактного взаимодействия на границе Al_2O_3-Ti , например с повышением температуры, увеличением концентрации титана приводит к распаду соединений Ti_xCu_y и образованию оксидов титана.

Паяные окна (три образца) испытывали на вакуумную плотность. В качестве методики испытаний выбран "метод аквариума" с использованием давления воздухом 0,35 МПа, позволяющий обнаруживать натекание 10^{-7} Вт (10^{-3} л·мкм/с) [5]. Определение вакуумной плотности проводили после пайки и термоциклирования по режимам $24\text{ }^\circ\text{C} - 100\text{ }^\circ\text{C} - 24\text{ }^\circ\text{C}$ (погружение паяных окон в кипящую воду, 3 цикла) и $(+24\text{ }^\circ\text{C}) - (-12\text{ }^\circ\text{C}) - (+24\text{ }^\circ\text{C})$ с выдержкой в камере холода и отогрева при $24\text{ }^\circ\text{C}$ по 15 мин, 3 цикла. В результате испытаний натеканий данного уровня (10^{-7} Вт) не обнаружено.

Выводы

Применение титановой фольги позволяет получать качественные герметичные термостойкие паяные соединения диска из лейкосапфира с тонкостенным металлическим корпусом прибора. При этом упрощаются конструкция корпуса прибора и его габариты, что способствует проведению их дальнейшей миниатюризации. Даже небольшие напряжения способны вызывать пластическую деформацию тонкой фольги. Это позволяет использовать ее для соединения (пайки) материалов с большим различием их ТКЛР. Следует отметить, что материалом фольги могут быть и другие химически активные к неметаллам или их компонентам металлы, например цирконий, ниобий, тантал и др.

РЕЗЮМЕ. Виконано мініатюризацію конструкції паяного з'єднання тонкого неметалевого диска з порожнистим тонкостінним металевим циліндром для роботи у складі вакуумного приладу в широкому діапазоні температур. Основною особливістю даної розробки стало створення конструкції паяного з'єднання, в якому обечайка, що охоплює диск з неметалів, у даному випадку з лейкосапфіру, виконана з титанової фольги товщиною 100 мкм. Встановлено режими пайки і виготовлено паяні вікна. Проведені випробування на вакуумну щільність після різних режимів термоциклювання паяних зразків показали високу працездатність даної конструкції з'єднання.

Ключові слова: конструкції паяних з'єднань, паяння неметалів, неметалічні матеріали, лейкосапфір, адгезійно-активні припої, титан.

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

Поступила 17.11.18

Zhuravlev V. S., Sydorenko T. V.

Miniaturization of the brazed joint construction of a thin non-metal disk with a hollow thin-walled metal cylinder

The miniaturization of the brazed joint construction of a thin non-metal disk with a hollow thin-walled metal cylinder for operation as part of a vacuum device in a wide temperature range was carried out. The main feature of this development was the creation of a brazed joint construction, in which the enclosing shell on non-metal disk, in this case of leucosapphire, was made from titanium foil 100 μm thick. Regimes of brazing were installed and the brazed windows were made. Vacuum density tests were carried out. The high efficiency of this joint construction was shown after various regimes of thermal cycling of brazed samples.

Keywords: constructions of brazed joints, brazing of non-metals, non-metal materials, leucosapphire, adhesive active filler metals, titanium.