

# Структура переходной зоны при пайке металлокерамических соединений с использованием пленок титана

В. А. Демчук, Г. Б. Щекина, Н. С. Костюков

Рассмотрена структура области сая металлокерамического соединения  $Al_2O_3/12X18H10T$ , где в качестве активного элемента используется титановое покрытие, полученное электродуговым методом в вакууме. С помощью структурного и элементного анализа установлены продукты реакции в зоне межфазной границы с оксидом алюминия.

**Ключевые слова:** активная пайка, металлокерамическое соединение, микроструктура,  $TiCu_4$ .

In this work we examined the structure of interfacial zone of a metal ceramic joint  $Al_2O_3/12X18H10T$ , where a titanium coat produced due to the vacuum electric-arc methods is used as an active element. Using structural and elemental analysis we determined reaction products in the interphase boundary with alumina.

**Key words:** active brazing, metal-ceramic conjunction, microstructure,  $TiCu_4$ .

## Введение

При создании конструкций, содержащих элементы с различными электрофизическими и механическими свойствами, особую роль играет прочность их соединения. Например, определенные трудности возникают при изготовлении металлокерамических конструкций. Одним из способов, позволяющих решить эту задачу, является метод пайки с использованием активных элементов, таких как Zr и Ti. При пайке активный элемент в припое способствует смачиваемости керамики благодаря окислительно-восстановительным реакциям на этой поверхности [1 – 3], что создает условия для получения прочного соединения.

Существенное влияние на прочность сая оказывает структура и материал переходной зоны, которая должна ограничивать воздействие остаточных термических напряжений, создавая условия для их равномерного распределения по всему объему переходной зоны между металлом и керамикой. Проведенные ранее исследования [4] с использованием метода конечных элементов для модели упругой деформации позволили выявить

влияние модуля упругости и коэффициента термического расширения (КТР) на прочность металлокерамического сая. Как следует из представленных результатов (рис. 1), наибольшее воздействие на

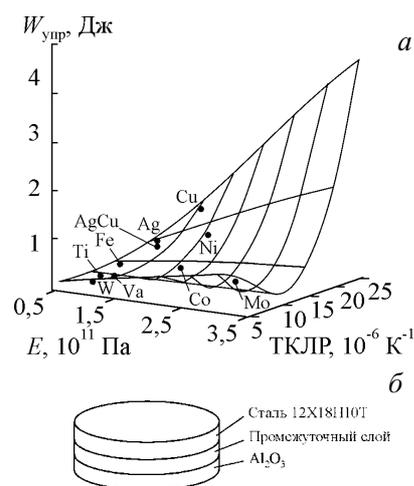


Рис. 1. *a* – Расчетная зависимость энергии упругой деформации в керамике от упругих и термических свойств переходной зоны; *б* – модель металлокерамического паяного соединения.

прочность металлокерамического спая оказывает КТР промежуточного слоя. Влияние модуля упругости в рамках данной модели незначительно. Однако присутствие в промежуточном слое фазы, имеющей повышенный модуль упругости, может ограничивать прочность соединения, ухудшая условия для релаксации напряжений, возникающих в области спая. Поэтому для прогнозирования качества соединения очень важно понимание характера реакций в промежуточном слое между керамикой и металлом.

Цель работы — изучение влияния пленок титана на структурные особенности области спая металлокерамического соединения.

### Эксперимент

Для исследования были приготовлены цилиндрические образцы из керамики микролит (99,3 %  $Al_2O_3$ ) диаметром 8 мм и высотой 20 мм, которые были припаяны к стали 12Х18Н10Т с применением припоя ПСр 72 (Ag—28%, Cu—72%). Использование эвтектического состава системы AgCu имеет определенное преимущество, так как этот состав является относительно пластичным и, следовательно, способным ограничивать напряжения, возникающие между материалами с различным коэффициентом термического расширения. Для реализации процесса активной пайки на поверхность керамического образца методом электродугового распыления в вакууме предварительно наносили слой титана толщиной 5–10 мкм. Пайку проводили в вакуумной печи с молибденовыми нагревателями при давлении  $P = 10^{-3}$  Па.

Время пайки определялось длительностью процессов растворения титанового покрытия в присадочном материале в области контакта, а также оптимальным временем взаимодействия полученного расплава с керамикой. Для анализа микроструктуры и продуктов химических реакций с помощью сканирующей электронной микроскопии использовали косой срез области спая, что обеспечило лучшее разрешение. Рентгеноструктурный анализ продуктов реакции у поверхности керамического образца проводили с использованием рентгеновского дифрактометра Дрон 3М.

### Обсуждение результатов

На рис. 2, 3 показана микроструктура промежуточного слоя и профиль концентрации элементов для  $Al_2O_3/12Х18Н10Т$  паяного соединения при температуре пайки 820°C в течение 20 мин. На рис. 2 наблюдаются три характерных слоя, отличающихся



Рис. 2. Микрофотография области спая, полученная на сканирующем электронном микроскопе JSM 6390LV JEOL\*.

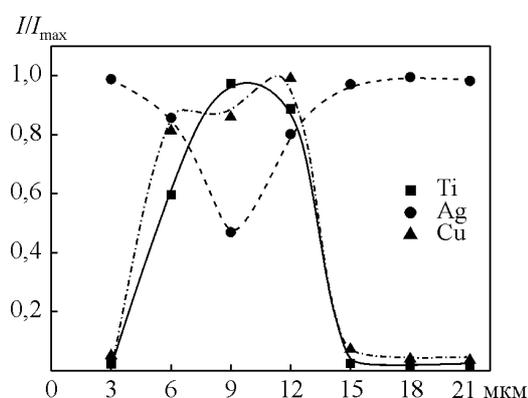


Рис. 3. Профиль концентрации элементов у поверхности керамического образца.

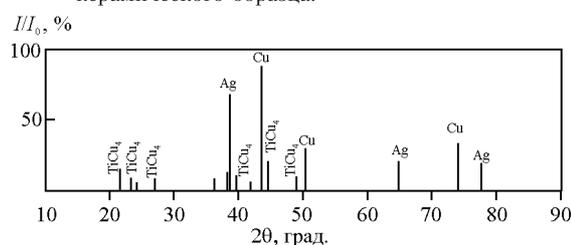


Рис. 4. Результаты рентгеноструктурного анализа продуктов реакции у поверхности керамического образца (последовательный анализ)

степенью контраста на электронном изображении и характеризуемых различным элементарным составом (области а, б и с). Слой (а) в основном состоит из Ag (96 ат. %) с небольшим содержанием Ti (4 ат. %). Слой (б) имеет более сложный состав: Ag, Cu, Ti с неоднородным распределением элементов по толщине. Максимальная концентрация титана достигается на границе с припоем (сплав Ag – Cu). Рентгенодифракционным анализом установлено

\* Анализы проведены в центре минералого-геохимических исследований ИГиП ДВО РАН, аналитики Рождествина В.И., Макеева Т.Б.

образование в слое (б) интерметаллидной фазы (темный контраст)  $TiCu_4$  (рис. 4), при этом толщина реакционного слоя не превышает 15 мкм. Увеличение времени выдержки не приводит к каким-либо существенным изменениям микроструктуры. Тем не менее, при его увеличении размер слоя (б) растет, что очевидно связано с диффузией титана в область припоя. Кроме того, на границе реакционного слоя образуется слой, богатый Ag. Так как согласно работам [1 – 3], разрушение спая происходит по хрупкому механизму, и поверхность излома проходит в области, близкой к керамической составляющей спая, присутствие Ag может действовать как пластичный буфер, компенсируя возникающие напряжения. Присутствие фазы, содержащей  $TiCu_4$ , может ограничивать прочность соединения из-за ее хрупкости, но так как реакционный слой является довольно тонким, можно предположить, что его влияние на остаточные напряжения незначительно.

#### **Заключение**

1. При пайке соединения  $Al_2O_3/12X18H10T$  с использованием титанового покрытия и припоя ПСр 72 происходит образование промежуточного реакционного слоя  $TiCu_4$

2. В дополнение к фазе, богатой Ti – Cu, паяные соединения обнаруживают присутствие областей,

богатых Ag и расположенных на границе реакционной зоны.

3. Применение активного металла в виде покрытия позволило сконцентрировать зону реакции титана с припоем у поверхности керамического образца и, таким образом, ограничить область переходной зоны металлокерамических соединений, имеющей высокий модуль упругости, обусловленный образованием интерметаллида  $TiCu_4$ .

#### **Литература**

1. Hanson W.B., Ironside K.I., Fernie J. A. Active Metal Brazing of Zirconia. *Acta materialia*, 2000, v. 48, no. 18 – 19, p. 4673 – 4676.
2. Do Nascimento R.M., Martinelli A.E., Buschinelli A.J.De.A., Klein A.N. Brazing  $Al_2O_3$  to sintered Fe – Ni – Co alloys. *Journal of materials science*, 1999, v. 34, no. 23, p. 5839 – 5845.
3. Chnguang Zhang, GuanJun Qiao, Zhihao Jin. Active brazing of pure alumina to Kovar alloy based on the partial transient phase (PTLP) technique with Ni-Ti interlayer. *Journal of the European Ceramic Society*, 2002, v. 22, no. 13, p. 2181 – 2186.
4. Демчук В.А., Костюков Н.С., Калиниченко Б.Б. Расчет эффективной структуры переходной зоны при пайке металлокерамических соединений. *Информатика и системы управления*, 2008, № 1 (15), с. 16 – 22.

*Демчук Виктор Александрович — Институт геологии и природопользования ДВО РАН (ИГиП ДВО РАН г. Благовещенск), кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией. Специалист в области технологии вакуумных покрытий. E-mail: demchuk@ascnet.ru.*

*Щекина Галина Борисовна — Институт геологии и природопользования ДВО РАН (ИГиП ДВО РАН г. Благовещенск), ведущий инженер. Специалист в области технологии керамических материалов. E-mail: Shekinag@mail.ru.*

*Костюков Николай Сергеевич — Институт геологии и природопользования ДВО РАН (ИГиП ДВО РАН г. Благовещенск), доктор технических наук, главный научный сотрудник. Специалист в области керамического материаловедения. E-mail: kostyukovnc@ascnet.ru.*