

**ПАНЬКИН Н. А., НОСОВ Ю. С., ОКИН М. А.**

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ  
ХОЛОДНЫМ ПРЕССОВАНИЕМ ПОРОШКОВ ТИТАНА И АЛЮМИНИЯ**

**Аннотация.** Методами металлографии, электронной растровой микроскопии и рентгеновской дифрактометрии исследованы титан-алюминиевые композиционные материалы. Они были получены одноосным прессованием при комнатной температуре (нагрузка 520 МПа) смеси порошков титана и алюминия и последующим твердофазным спеканием на воздухе при температуре 600 °С.

**Ключевые слова:** композиционный материал, прессование, спекание, пористость, твердость, фазовый состав, структура.

**PANKIN N. A., NOSOV YU. S., OKIN M. A.**

**A STUDY OF COMPOSITE MATERIALS PRODUCED  
BY COLD PRESSING OF TITANIUM AND ALUMINUM POWDERS**

**Abstract.** The methods of metallography, raster electron microscopy and x-ray diffractometry are applied to investigate the titanium-aluminium composite materials. They were received by uniaxial pressing at room temperature (load 520 MPa) of mixture of titanium and aluminum powders and their subsequent solid-phase sintering in the air at the temperature of 600 °C.

**Keywords:** composite material, pressing, sintering, porosity, hardness, phase composition, structure.

В настоящее время широко исследуются и применяются многокомпонентные (многоэлементные, многофазные, конструкционные и т.д.) материалы [1-4]. Среди них можно назвать и покрытия на основе нитридов титана, которые обладают определенным набором уникальных физико-механических, химических и эксплуатационных свойств [1; 4-7]. Измельчение структурных элементов TiN-покрытий достигается добавлением в его состав легирующих элементов (Cu, C, Si, Al) [1; 4; 5]. Для осаждения таких пленок требуется генерировать многокомпонентную плазму однородного в пространстве и стабильного во времени элементного и зарядового состава. Для ее получения, в настоящее время, разработано несколько методов [1; 4; 6]: 1. Одновременное распыление двух или нескольких различных по составу мишеней (катодов). 2. Использование мозаичных (составных) катодов. 3. Использование композиционных катодов, содержащих все необходимые компоненты в нужном соотношении. Для их получения широко используются методы порошковой металлургии, и, в частности, формирование и спекание смеси порошков – исходных компонентов распыляемого катода [7].

В настоящей работе представлено исследование микроструктуры и некоторых свойств композиционных материалов, полученных холодным прессованием смеси порошков титана и алюминия и последующим твердофазным спеканием. Выбор данных элементов обусловлен широким их применением при получении покрытий с уникальными эксплуатационными характеристиками (высокая жаро-, износо- и коррозионная стойкость, большая твердость и т.д.) [1; 8-10].

(Ti, Al)-композиты получали холодным прессованием (при 20°C) порошков титана (марка ПТМ-1) и алюминия (марка ПА-4) с последующим твердофазным спеканием на воздухе при температуре 600°C. Время спекания составляло 2 часа. В качестве исходных материалов использовали порошки титана (ПТМ-1, получен гидридно-кальциевым восстановлением титана) и алюминия (ПА-4, получен пульверизацией расплавленного алюминия). Содержание алюминия в (Ti, Al)-композитах изменялось от 5 до 50 вес.% (от 8.5 до 64 ат.%). Для получения однородной смеси порошков титана и алюминия проводили перемешивание на смесителе МР-6. Формование порошков в образцы цилиндрической формы диаметром 12.6 мм и высотой 3 мм проводили на машине для механических испытаний Shimadzu AG-X100kN. Рабочая нагрузка составляла 65кН (520 МПа) и поддерживалась в течение 30 мин. Скорость движения верхнего пуансона – 0.6 мм/мин.

Определение фазового состава проводили на рентгеновском дифрактометре ДРОН-6 в медном фильтрованном излучении. Исследования микроструктуры проводили с помощью металлографического (OLYMPUS GX-71) и сканирующего электронного (Phenom proX) микроскопов. Плотность определяли гидростатическим взвешиванием в дистиллированной воде.

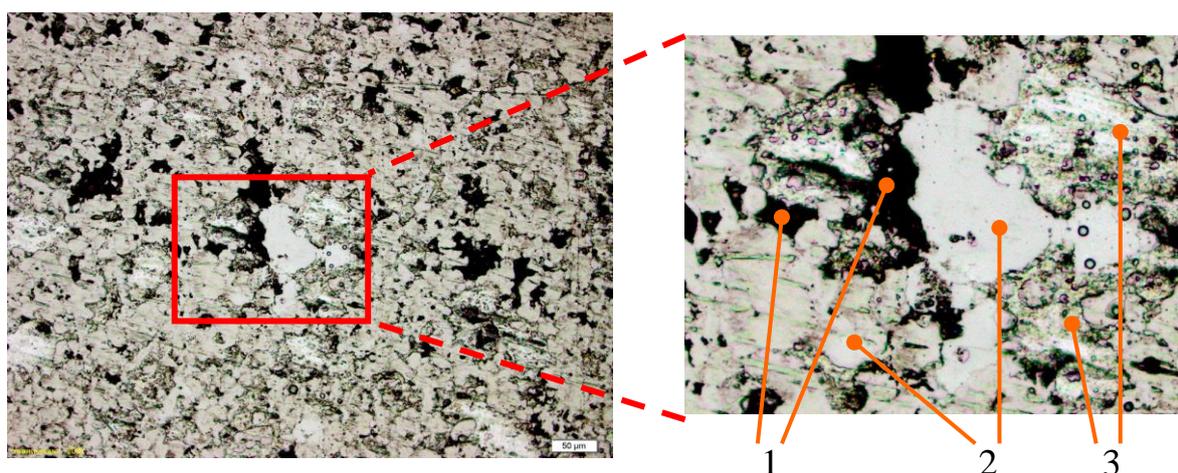


Рис. 1. Микроструктура шлифа (Ti, Al)-композита (25 вес.% Al; 1 – поры, 2 – зерна титана; 3 – зерна алюминия).

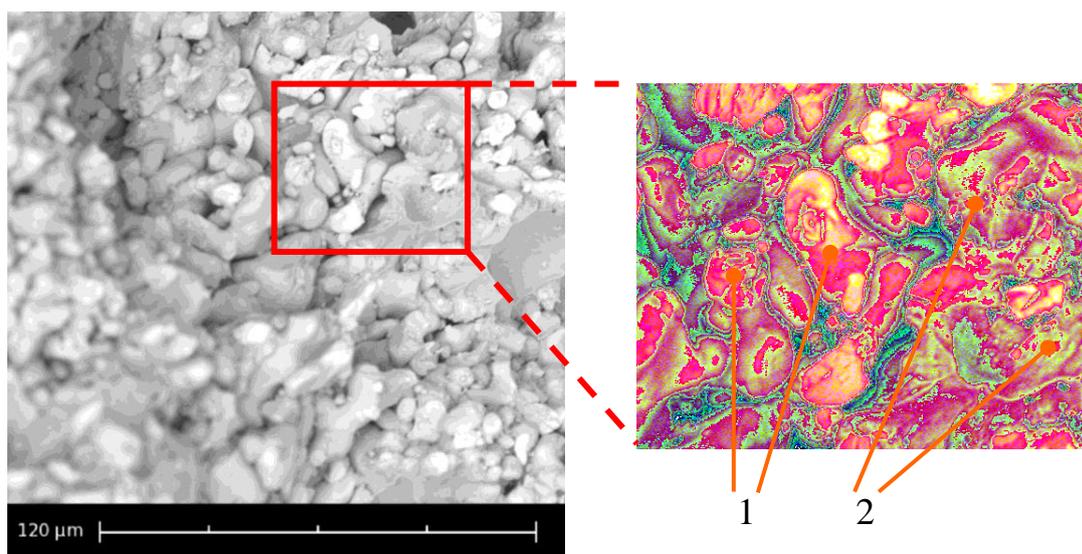


Рис. 2. Электронно-микроскопическое изображение излома (Ti, Al)-композита (25 вес.% Al; 1 – зерна титана; 2 – зерна алюминия).

Анализ микроструктуры (Ti, Al)-композита (шлифа – рис. 1 и излома – рис. 2) показал, что исследуемый композиционный материал помимо зерен титана и алюминия содержит некоторое количество пор. При этом титановые частицы при прессовании частично деформируются. Алюминий, вследствие большей пластичности, при прессовании заполняет пространство между зернами титана.

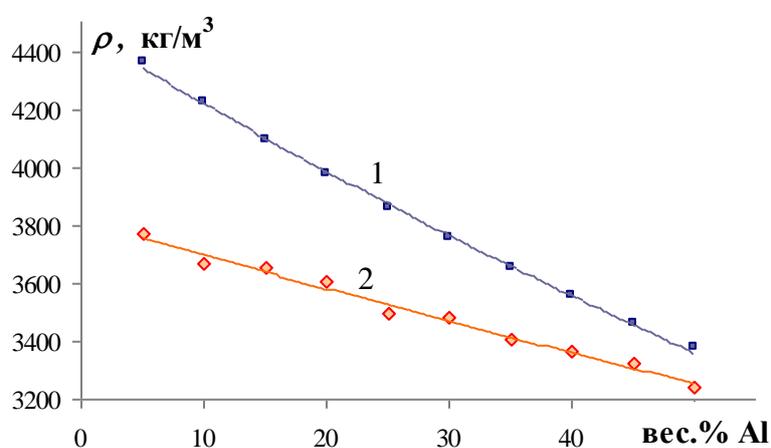


Рис. 3. Плотность (Ti, Al)-композитов (1 – теория; 2 – эксперимент).

На наличие большого количества пор показывают результаты измерения плотности композиционных материалов (рис. 3). Она оказывается меньше соответствующих значений для безпористых образцов (теоретические результаты). Увеличение содержания алюминия приводит к снижению пористости.

Содержание алюминия также оказывает влияние на твердость прессованных образцов. Результаты измерения твердости по Бринеллю представлены на рис. 4. По мере увеличения

концентрации алюминия от 5 до 50 вес.% наблюдается уменьшение твердости от 147 НВ (твердость массивного титана 130-160 НВ) до 55 НВ (твердость алюминия 20-40 НВ).

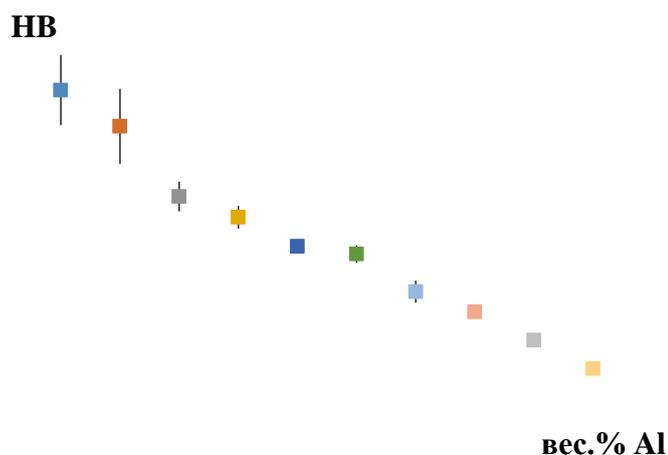


Рис. 4. Твердость по Бриннелю (Ti, Al)-композитов.

Рентгенографические исследования указывают на присутствие в (Ti,Al)-композите трех фаз (рис. 5):  $\alpha$ -титана (брегговский угол  $2\Theta \approx 35.1, 38.4, 40.2$ ; пространственная группа –  $R\bar{6}3/mmc$ ), алюминия ( $2\Theta \approx 38.5, 44.7$ ; пространственная группа –  $Fm\bar{3}m$ ) и интерметаллического соединения  $TiAl_3$  ( $2\Theta \approx 39.2$ ; пространственная группа –  $I4/mmm$ ).

Согласно литературным данным зарождение фазы  $TiAl_3$  происходит путем диффузии атомов алюминия в решетку частиц титана [6; 11]. При этом, в области контакта Ti-Al с меньшим содержанием алюминия возможно образование фазы  $TiAl$  (находящегося в равновесии с фазой  $TiAl_3$ ), а на заключительной стадии –  $Ti_3Al$  [11]. Нами присутствие линий соответствующих фазам  $TiAl$  и  $Ti_3Al$  не обнаружено.

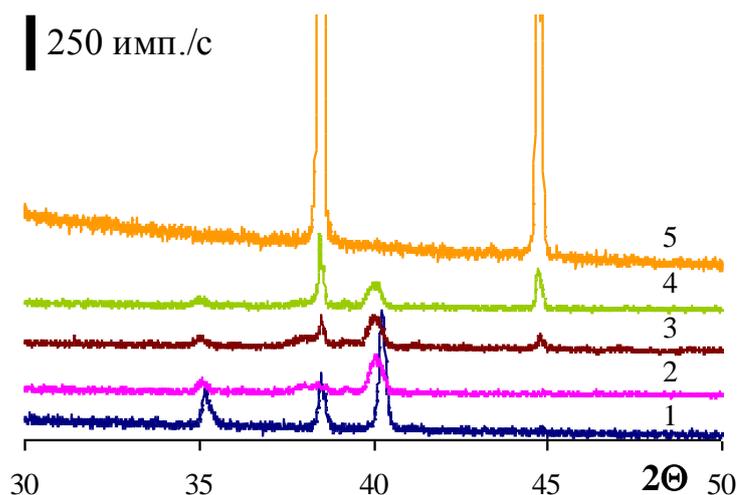


Рис. 5. Участки рентгеновской дифракционной картины от порошков и (Ti, Al)-композитов (1 – ТМ-1; 2 – 5 вес.%; 3 – 25 вес.%; 4 – 50 вес.%; 5 – ПА-4).

Отмечается смещение линий  $\alpha$ -титана и алюминия в (Ti, Al)-композите относительно аналогичных рефлексов для порошков ТМ-1 и ПА-4. Для титана сдвиг происходит в область

малых  $2\Theta$ , а для алюминия в область больших брегговских углов. Это указывает на наличие макронапряжений различного знака в зернах титана и алюминия. При этом изменение межплоскостного расстояния для алюминия меньше чем у титана. Данный факт является следствием отжига и рекристаллизационных процессов, происходящих в зернах алюминия при спекании.

Основные выводы можно сформулировать следующим образом:

1. (Ti, Al)-композит состоит из частиц титана, пространство между которыми заполнено алюминием и поровым объемом. Содержание алюминия оказывает влияние на плотность, твердость и пористость прессованных образцов, значения которых уменьшаются при увеличении концентрации алюминия.

2. В (Ti,Al)-композите обнаружено присутствие трех фаз:  $\alpha$ -титана, алюминия и интерметаллоида  $TiAl_3$ , полученный вследствие диффузии атомов алюминия в решетку частиц титана. Анализ положения линий  $\alpha$ -титана и алюминия указывает на наличие макронапряжений различного знака и величины в зернах титана и алюминия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Погребняк А. Д., Шпак А. П., Азаренков Н. А. и др. Структура и свойства твердых и сверхтвердых нанокompозитных покрытий // Успехи физических наук. – 2009. – Т. 179. – № 1. – С.35-64.
2. Погожев Ю. С., Левашов Е. А., Кудряшов А. Е. и др. Композиционные СВС-материалы на основе карбида и никелида титана, легированные тугоплавким нанокompонентом // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2012. – № 2. – С. 24-32.
3. Прибытков Г. А., Коростелева Е. Н., Гурских А. В. и др. Структурообразование при спекании порошковых смесей Ti-Cu // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2011. – № 4. – С. 16-20.
4. Федотов А. Ф., Амосов А. П., Ермошкин А. А. Состав, структура и свойства СВС-прессованных катодов системы Ti-C-Al-Si и полученных из них вакуумно-дуговых покрытий // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2013. – № 2. – С. 29-36.
5. Коротаев А. Д., Мошков В. Ю., Овчинников С. В. Многокомпонентные твердые и сверхтвердые субмикро- и нанокompозитные покрытия на основе нитридов титана и железа // Физическая мезомеханика. – 2007. – Т. 10. – № 3. – С. 39-52.
6. Амосов А. П., Латухин Е. И., Федотов А. Ф. и др. Получение многокомпонентных СВС-прессованных катодов на основе тугоплавких соединений титана для нанесения

- вакуумно-дуговых покрытий // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2011. – № 1. – С. 46-51.
7. Либенсон Г. А., Лопатин В. Ю., Комарницкий Г. В. Процессы порошковой металлургии. – Т.2. Формирование и спекание. – М., 2002. – 540 с.
  8. Белоус В. А., Васильев В. В., Лучанинов А. А. Твердые покрытия Ti-Al-N, осажденные из фильтрованной вакуумно-дуговой плазмы // Физическая инженерия поверхности. – 2009. – Т. 7. – № 3. – С. 216-222.
  9. Каменева А. Л. Модель структурных зон покрытий из TiN, TiAlN, формируемых электродуговым испарением металла в активной газовой среде // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2012. – № 1. – С. 52-57.
  10. Аникин В. Н., Блинков И. В., Волхонский А. О. Ионно-плазменные покрытия Ti-Al-N на режущем инструменте, работающем в условиях постоянных и знакопеременных нагрузок // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2009. – № 1. – С.44-52.
  11. Кокорин В. Н. Прессование деталей и заготовок с использованием механических смесей с различным фазовым состоянием. – Ульяновск, 2009. – 341 с.