

**НАНОСТРУКТУРИРОВАНИЕ КАРБИДНОЙ КЕРАМИКИ В ПРОЦЕССЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ  
АКТИВАЦИИ МЕТАЛЛО-КЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОРОШКОВ**

М.Г. Криницын<sup>1,2</sup>

Научный руководитель: профессор, д.т.н. М.И. Лернер  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,  
Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4, 634021  
E-mail: krinmax@gmail.com

**NANOSTRUCTURING OF CARBIDE CERAMICS IN THE PROCESS OF MECHANICAL  
ACTIVATION OF METAL-CERAMIC COMPOSITE POWDERS**

M.G. Krinitcyn<sup>1,2</sup>

Scientific Supervisor: Prof., Dr. M.I. Lerner  
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050  
Institute of Strength Physics and Materials Science SB RAS,  
Russia, Tomsk, Akademicheskii pr., 2/4, 634021  
E-mail: krinmax@gmail.com

***Abstract.** In this paper, the effect of mechanical activation on the grinding of titanium carbide in the composition of a “titanium-titanium carbide” composite metal-ceramic powder was studied. The regimes that make it possible to achieve the refinement of both the powder as a whole and the carbide component are described. The results of microscopy of the obtained powders are presented, including metallography and transmission electron microscopy.*

**Введение.** Металломатричные композиты обладают уникальным сочетанием физико-механических свойств, позволяющих эксплуатировать изделия из таких материалов в различных экстремальных условиях [1]. Композиты с титановой матрицей наиболее востребованы в космической и авиационной промышленности, поскольку обладают высокой удельной прочностью при низком удельном весе.

Одним из наиболее перспективных керамических соединений для упрочнения титана является карбид титана, который при высоком химическом родстве с титаном также является одним из наиболее твердых материалов, известных на сегодняшний день. Композиционные порошки «титан – карбид титана» могут быть использованы в технологии порошковой наплавки для получения защитных покрытий на титан и его сплавы, а также в аддитивных технологиях производства.

Основной целью данной работы является исследование структуры композиционного порошка «титан – карбид титана» после механической активации. При этом задачей является не только измельчение карбидных частиц в порошке, но и порошка в целом.

**Материалы и методы исследования.** Проведенные ранее исследования [2,3] показали, что наибольшую прочность и износостойкость имеют изделия, полученные из порошка с мелкими

карбидными частицами, при этом в технологии электронно-лучевой порошковой наплавки структура карбидных частиц наследуется от порошка [4].

Ранее при получении композиционного порошка измельчение карбидного зерна достигалось за счет регулирования состава исходной шихты при синтезе порошка. В ходе выполнения этих работ наименьший размер карбидных частиц, который удалось достичь, составил 5 мкм. Дальнейшее измельчение карбидных частиц было проведено с применением механической активации (МА) полученных порошков.

Процесс МА порошков был проведен в планетарной шаровой мельнице «Активатор-2S». Состав исходного композиционного порошка «TiC + 50 об.% Ti», дополнительно в шихту был добавлен титан до общего содержания титановой связки 80 об.%. Процесс МА проводили при частоте вращения барабанов 960 об/мин, загрузка порошка 50 г, соотношение порошок : шары составляло 1:1. МА проводили в течение различного времени с шагом в 10 минут вплоть до 60 минут с исследованием фракционного состава в каждом случае.

Было установлено, что после 30 минут МА наблюдается наибольшее количество мелкого порошка, в дальнейшем происходит слипание порошка с образованием частиц порошка, превышающих по размеру исходный. Было проведено металлографическое исследование композиционного порошка после измельчения в течение 30 минут, а также приготовлена фольга для исследования методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ). Были использованы металлографический микроскоп "AXIOVERT-200MAT" (Zeiss, Германия) и просвечивающий электронный микроскоп JEOL JEM-2100 (Токуо Воеки Ltd., Япония), находящиеся в ЦКП «Нанотех» ИФПМ СО РАН, г. Томск.

**Результаты.** Металлографическое исследование показало, что избыток титана, преднамеренно примененный к исходному порошку (рис. 1), собирается на поверхности композиционного порошка, образуя «корку» (рис. 1а), составляющую 25-50 % от поперечного сечения порошка. В центральной части порошка (рис. 1б) наблюдается высокая плотность карбидных частиц, при этом их размер не превышает 1 мкм, а средний размер для большинства частиц лежит в пределах 350-600 нм.

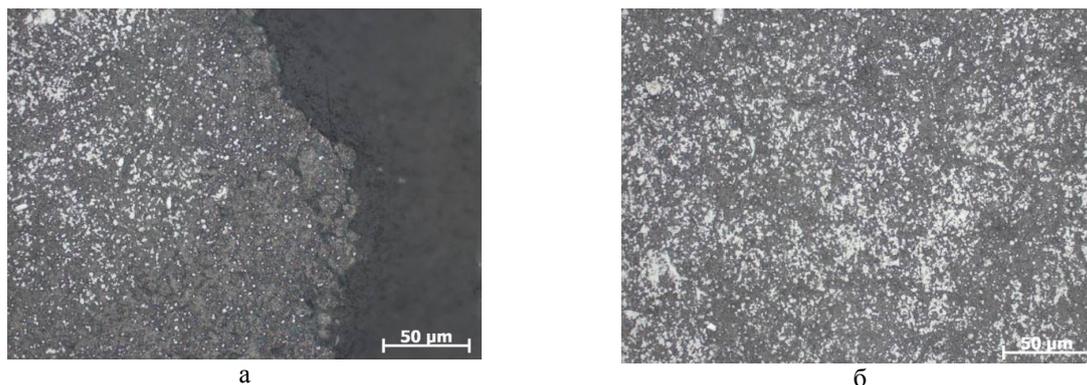


Рис. 1. Металлографические изображения композиционного порошка «титан – карбид титана» после механической активации в поперечном сечении

С применением ПЭМ была исследована тонкая структура полученного порошка (рис. 2). Было установлено, что в титановой матрице помимо крупных частиц (до 1 мкм) присутствуют мелкие сферические частицы карбида титана со средним размером  $10 \pm 2$  нм (рис. 2а). По данным

микродифракции (рис. 2б) было установлено, что выявленные в темном поле частицы действительно являются карбидом титана.

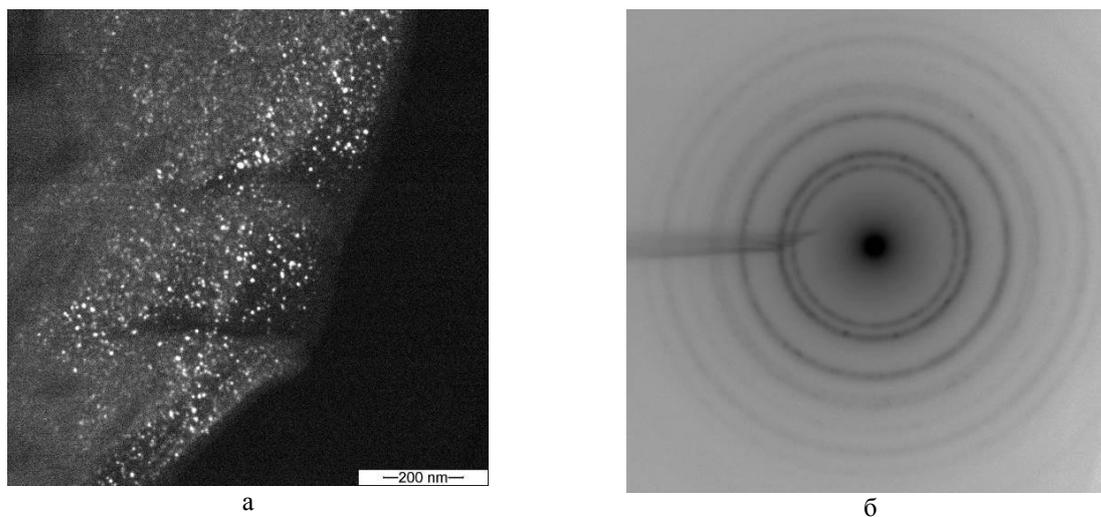


Рис. 2. Просвечивающая электронная микроскопия порошка «титан – карбид титана» в темном поле (а) и микродифракция с этой области (б)

**Закключение.** По итогам работ можно сделать вывод, что после МА удастся не только достичь измельчения композиционного порошка с титановой матрицей, но и добиться существенного измельчения карбидных частиц. Получаемый после МА порошок имеет титановую «корку» на поверхности и мелкодисперсные карбидные частицы в центральной части порошка. Размер карбидных частиц варьируется от 10 нм до 1 мкм. В дальнейшем планируется изготовить объемные изделия из данного порошка, исследовать их структуру и свойства и сравнить полученные результаты с данными для неизмельченного порошка.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 17-19- 01425).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nurminen J., Näkki J., Vuoristo P. Microstructure and properties of hard and wear resistant MMC coatings deposited by laser cladding // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2009. – Т. 27. – №. 2. – С. 472-478.
2. Прибытков Г. А., Криницын М.Г., Фирсина И.А., Дураков В.Г. Твердость и абразивная износостойкость электронно-лучевых покрытий карбид титана - титановая связка, наплавленных синтезированными композиционными порошками // Вопросы материаловедения. – 2017. – Т. 92. – №. 4. – С. 52-61.
3. Прибытков Г. А. и др. Твердость и абразивная износостойкость электронно-лучевых покрытий, наплавленных СВС композиционными порошками TiC + сталь P6M5 // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2017. – Т. 13. – №. 10. – С. 446-452.
4. Прибытков Г. А. и др. Формирование структуры покрытий при электронно-лучевой наплавке СВС композиционными порошками “TiC + сталь P6M5” // Физика и химия обработки материалов. – 2017. – №. 5. – С. 36-43.