

но перспективний гібридний полімер-керамічний матеріал на основі фосфату кальцію, вивчено механізм його структурування

**Ключові слова:** гібридний композит, полімер-керамічний матеріал, структурування, фосфат кальцію, сополімер.

In the article all areas of the use and mechanisms of structurization of composition materials for medical-technical use and its defects were analyzed. A perspective hybrid polymer-ceramic material on the basis of calcium phosphate was elaborated, the mechanism its structurization was learned.

**Keywords:** hybrid composite, polymer-ceramic material, structurization, calcium phosphate, copolymer.

УДК 621.762

*Д.А. СТРАТИЙЧУК*, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудн., ИСМ НАНУ, Киев,

*В.З. ТУРКЕВИЧ*, д-р хим. наук, проф., ИСМ НАНУ, Киев,

*Т.В. КОЛАБЫЛИНА*, асп., ИСМ НАНУ, Киев,

*А.С. ОСИПОВ*, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудн., ИСМ НАНУ, Киев,

*Т.И. СМИРНОВА*, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудн., ИСМ НАНУ, Киев

## ПОЛУЧЕНИЕ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ КОМПОЗИТОВ В СИСТЕМЕ $C_{алм.} - Ti - Si$

Представленная работа посвящена изучению фазового взаимодействия в тройной системе  $C_{алм.} - Ti - Si$  с целью определения оптимальных условий формирования высокопрочных алмазо-содержащих композитов. Используя высокие статические давления (7,7 ГПа), было показано, что начиная с 1500 °С связующий компонент –  $Ti_3SiC_2$  – распадается с образованием мелкозернистого  $TiC$  и фазы высокого давления  $\beta-SiC$ . Полученный композит на основе  $C_{АЛМ.}$  характеризуется высокими физико-механическими характеристиками и может быть использован при камнеобработке.

**Ключевые слова:** высокие давления, сверхтвёрдая керамика, алмаз, двойные карбиды.

В 80-годах прошлого столетия широкое распространение получили термостойкие композиты, получаемые путём пропитки или спекания синтетических алмазных микропорошков с кремнием [1].

Данные композиты были получены путём жидкофазного спекания в условиях высоких давлений (5,0 – 8,0 ГПа) и температур 1700 – 2100 К [2]. Среди материалов с похожими физико-механическими свойствами, но полученными путём твёрдофазного спекания, следует выделить материалы систем  $C_{АЛМ.} - Ti_3SiC_2$  и  $C_{АЛМ.} - Cr_2AlC$  (20 масс. %) [3, 4].

© Д.А. Стратийчук, В.З. Туркевич, Т.В. Колабылина, А.С. Осипов, Т.И. Смирнова, 2013

Структура данных композитов характеризуется наличием алмазного каркаса с прочными межзёренными границами.

Многие работы в данном направлении указывают на перспективность создания термостойких алмазосодержащих композитов в этих тройных системах.

В представленной работе было изучено формирование высокопрочного композита в системе  $C_{алм.} - Ti - Si$  в условиях высоких давлений и температур. Источником углерода и основой будущего композита в данной системе была выбрана полидисперсная смесь алмазных микропорошков.

Одна её часть (30 об. %) состояла из высококачественного алмазного микропорошка Якутского месторождения с размером частиц от 7 до 10 мкм, а другая – из синтетического микропорошка, полученного традиционным спонтанным синтезом, с размером частиц от 40 до 60 мкм. В качестве связующей фазы для образования прочных межчастичных контактов был выбран микропорошок двойного карбида титана/кремния – МАХ-фаза  $Ti_3SiC_2$  с размером частиц менее 10 мкм.

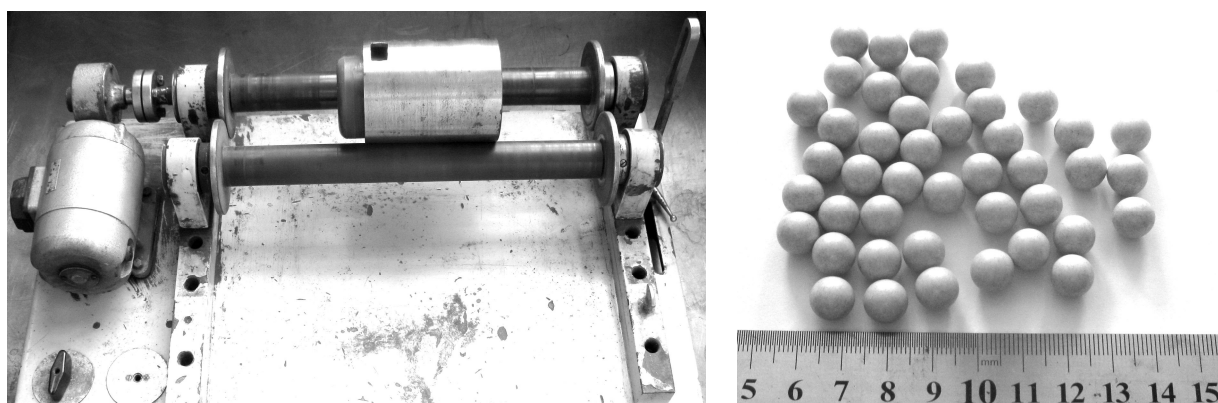


Рис. 1 – Внешний вид шарового смесителя и керамических шаров из  $Si_3N_4$

Однородные смеси алмазных микропорошков и микропорошков  $Ti_3SiC_2$  (от 3 до 10 масс. %) приготавливали в 2 этапа. На первом этапе микропорошки несколько раз протирались через медные сита для более гомогенного распределения всех компонентов во всём объёме смеси. Затем полученная смесь загружалась в цилиндрический шаровой смеситель (рис. 1) и подвергалась гомогенизации в среде безводного ацетона на протяжении 24 ч. Рабочими телами служили керамические шары из  $Si_3N_4$  (диаметр 0,5 – 1 см), а смешивание происходило в тефлоновом барабане при постоянной скорости вращения 2 об/с. В дальнейшем полученная смесь извлекалась из барабана, а ацетон отгонялся путём нагревания в открытых условиях.

Эксперименты по формированию высокопрочных композитов проводили в аппарате высокого давления типа тороид-30, который предварительно был проградуирован по давлению и температуре. Непосредственного контроля температуры и давления в процессе спекания не проводилось.

Экспериментальным путём было установлено, что наиболее оптимальными условиями для получения данных композитов является давление 7,7 ГПа, температура 2100 К и продолжительность термобарического воздействия 90 с. После проведения экспериментов были получены хорошо сформированные цилиндрические образцы высотой 4 мм и диаметром 9,5 мм.

С помощью рентгенофазового анализа было установлено, что после спекания в условиях высоких давлений и температур композит состоит из  $S_{алм.}$ , нестехиометрического карбида титана ( $Ti_xCu$ ) и фазы высокого давления  $\beta$ -SiC.

Также было зафиксировано небольшое количество графита, который образовался в межчастичном пространстве (порах) и является следствием частичной графитизации алмаза; данный процесс всегда имеет место при твёрдофазных спеканиях.

Дальнейшее изучение композита методом сканирующей электронной микроскопии (SEM) (рис. 2) показало однородность микроструктуры.

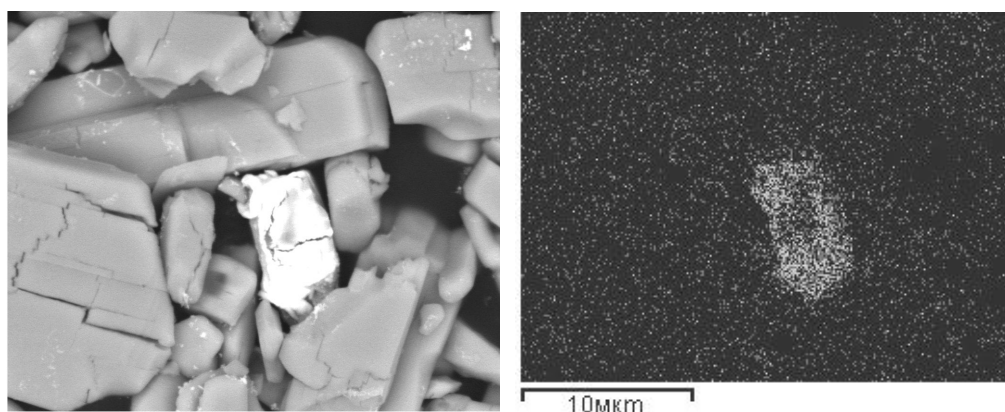


Рис. 2 – SEM-изображение композита и общий вид в характеристическом излучении кремния

Детально анализируя межчастичные контакты, были подтверждены данные рентгенофазового анализа о распаде исходной фазы  $Ti_3SiC_2$  с последующим взаимодействием продуктов распада с алмазными зёрнами.

Таким образом, удалось достичь формирования прочных связей алмаз-связка-алмаз и получить высокопрочный композит.

Следует отметить, что в представленном методе получения имеют место (мультиплицируются) одновременно несколько подходов, приводящих к упрочнению керамического материала.

Во-первых, это использование крупной фракции (60/40 мкм) алмазного микропорошка, который, как известно, в условиях статического сжатия самоиндентируется и формирует систему полидисперсных зёрен со свежими (ювенильными) поверхностями. При этом также значительно уменьшается доля крупной фракции.

Во-вторых, во время термического воздействия за счёт химического распада двойного карбида  $Ti_3SiC_2$  удаётся получить мелкодисперсные фазы карбида титана и  $\beta$ -SiC, сформировав тем самым прочные связи  $C_{алм.}$ -связка- $C_{алм.}$ . Некоторые характеристики полученного материала приведены в таблице.

Для определения функциональных параметров полученных композитов путём алмазной шлифовки были изготовлены режущие пластины диаметром 9,52 мм и высотой 3,18 мм.

Испытания проводили при непрерывном точении заготовки из твёрдого сплава ВК6. При скорости резания 17 м/мин и глубине резания 0,2 мм (подача 0,1 мм/об) самые лучшие результаты показали пластины, в которых массовая доля двойного карбида  $Ti_3SiC_2$  в исходной смеси составляла 10 %. Такой композит может быть рекомендован для применения в качестве режущих вставок для обработки твёрдосплавных валков.

Таблица – Некоторые физические характеристики композита, полученного при 8,0 ГПа и 2100 К

HV10, ГПа	51,2
$K_{1C}$ , МПа · м <sup>1/2</sup>	7,1
Плотность, г/см <sup>3</sup>	3,1
Модуль Юнга, ГПа	920,7
Термостойкость, °С	~ 1200
Средний размер частиц, мкм	20

В результате проведённых исследований можно сделать следующие выводы: спекание в системе  $C_{алм.}$  –  $Ti_3SiC_2$  в условиях высоких давлений и температур приводит к формированию полидисперсного состояния алмазных частиц, а термохимический распад  $Ti_3SiC_2$  приводит к формированию мелкодисперсных карбидов титана и кремния.

Данные карбиды в виду своей высокой реакционной активности в момент диссоциации образуют прочные границы алмаз-связка-алмаз. В дальнейшем планируется разработка технологий получения подобных материалов для применения в буровых инструментах.

**Список литературы:** 1. Zhao J. Enhancement of fracture toughness in nanostructured diamond-SiC composites / [J. Zhao, L. Qian, C. Daemen at ell.] // Appl. Phys. Lett. – 2004. – № 84 (8). – P. 1356 – 1361. 2. Mlungwane K. The development of a diamond-silicon carbide composite material / K. Mlungwane, I.J. Sigalas, M. Hermann // Industrial diamond Review. – 2005. – № 4. – P. 62 – 65. 3. Sambasivan S. Phase relationships in the Ti-Si-C system at high pressures / S. Sambasivan, W.T. Petuskey // J. Mater. Res. – 1992. – Vol. 7, № 6. – P. 1473 – 1479. 4. Wang Haikuo Nanostructured diamond-TiC composites with high fracture toughness / [Haikuo Wang, Duanwei He, Chao Xu at ell.] // J. of Appl. Physics. – 2013. – Vol. 113, Iss. 4. – P. 043505 (1) – 043505 (4). – Режим доступа к журн.: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4789004>.

Поступила в редколлегию 02.08.13

УДК 621.762

**Получение мелкодисперсных композитов в системе  $C_{алм.} - Ti - Si$  / [Д.А. СТРАТИЙЧУК, В.З. ТУРКЕВИЧ, Т.В. КОЛАБЫЛИНА и др.] // Вісник НТУ «ХПІ». – 2013. – № 57 (1030). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 70 – 74. – Бібліогр.: 4 назв.**

Представлена робота присвячена дослідженню фазової взаємодії в потрійній системі  $C_{алм.} - Ti - Si$  з метою виявлення оптимальних умов формування високоміцних алмазовмісних композитів. Використовуючи високі статичні тиски (7,7 ГПа), було показано, що починаючи з 1500 °C зв'язуючий компонент –  $Ti_3SiC_2$  – розкладається з утворенням дрібнозернистого TiC та фази високого тиску  $\beta$ -SiC. Отриманий композит на основі  $C_{алм.}$  характеризується високими фізико-механічними характеристиками та може бути використаний при каменеобробці.

**Ключові слова:** високі тиски, надтверда кераміка, алмаз, подвійні карбіди.

This work is devoted to the study of phase interaction in the ternary  $C_{diamond.} - Ti - Si$  system and was conducted to determine the optimum conditions for the formation of high-strength diamond-containing composites. By using high static pressure (7.7 GPa), it was shown that starting from 1500 °C the binder component  $Ti_3SiC_2$  decomposes to form the fine dispersed TiC and high-pressure  $\beta$ -SiC phases. Obtained diamond based composite is characterized by high physic and mechanical characteristics and can be used for stone processing.

**Keywords:** high pressure, superhard ceramic, diamond, binary carbides.