

оценивали раздавливанием частиц алмаза с покрытием на прессе. Установлено, что в процессе раздавливания покрытие не ослаиваются. Формирование каркаса из карбида кремния на поверхности алмаза делает его термостабильным до температур 1600<sup>0</sup>С. Установлено, что процесс образования карбида кремния в покрытии идет при температуре 680-750<sup>0</sup>С[2]. Исследования тонкой структуры и фазового состава карбидокремниевой матрицы композиции алмаз – карбид кремния показали, что процесс структурообразования при реакционном спекании в засыпках при температуре 1500<sup>0</sup>С идет с образованием в зоне контакта алмаза аморифизированной структуры карбида кремния, которая образуется при быстром охлаждении наноструктурного покрытия. Использование карбида кремния, активированного взрывом, способствует созданию высокоплотной структуры композиции, содержащий как наноструктурный карбид кремния, так и зерна карбида кремния с развитой границей. Полученные результаты позволят считать перспективной предлагаемую технологию для защиты алмаза от окисления и процесса графитации, что позволяет создать сверхтвердых материалов на основе алмаза и карбида кремния с уникальным сочетанием физико-механических свойств.

## **Литература**

1. Патент №1375, РБ, С23С 14/00, опубл. бюл. №3, 1996
2. Ковалевский, В.Н. Гордеев, С.К., Корчагина, С.Б., Фомихина, И.В., Жук, А.Е. Формирование структуры карбидокремниевой матрицы при создании композиции алмаз – карбид кремния. Огнеупоры и техническая керамика. – 2005.-№5.- С.

УДК 621.791.7

### **Получение композита алмаз – карбид кремния с использованием наноструктурных покрытий**

Ковалевский В.Н., Фомихина И.В., Ковалевская А.В., Жук А.Е.  
Белорусский национальный технический университет

Использование в качестве связки карбида кремния (SiC) позволяет создать сверхтвердый материал инструментального и конструкционного назначения, в котором сочетаются высокие

удельные характеристики прочности и жесткости с высокой износостойкостью и твердостью. Трудности окончательной механической обработки сверхтвердого материала сдерживают широкое применение композита алмаз – карбид кремния в промышленности.

Достижимые в композитах алмаз - карбид кремния высокие свойства, естественно, вызывают интерес к поиску новых подходов к их получению. Анализ технологических возможностей позволяет предложить следующую классификацию методов получения композитов алмаз – SiC. Получение композиции возможно по трем вариантам:

- пропиткой пористой заготовки из кристаллов алмаза жидким кремнием;
- реакционным спеканием в засыпке заготовки из шихты (кремний, углерод, алмаз, карбид кремния);
- взрывным уплотнением пористого изделия из шихты с последующим термобарическим спеканием.

По первому варианту получают различных по размерам и форме изделий. По технологии [1], абразивное изделие изготавливают пропиткой жидким кремнием при 15000С пористой заготовки из шихты, полученной смешиванием и термообработкой алмазных порошков различных фракций с технологической связкой (фенолформальдегидной смолой). Термодинамическая нестабильность алмаза на воздухе при температуре свыше 1000°С приводит к графитации алмаза [1]. При пропитке происходит графитация поверхностных слоев алмаза с образованием карбида кремния, что приводит к потере массы алмаза. Потеря массы алмаза малых размеров (5 – 7мкм) может достигать 50 масс. %.

Во втором и третьем вариантах приготавливают шихту из порошков алмаза и SiC, Si и углерода (пиролитическое покрытие алмаза и SiC), технологической связки, формируют изделие с заданной пористостью, выполняют реакционное спекание в засыпках или уплотняют заготовку взрывом и проводят термобарическое спекание [2].

Для первого варианта пористость ограничивается свободной фильтрацией жидкого Si (чаще 30 – 60%). Для второго и третьего варианта пористость 15 – 20%, так как в шихте содержится Si. Получение готового изделия связано с

образованием пронизывающего алмазный скелет карбида кремния, который формируется за счет химического взаимодействия углерода и жидкого Si. Процесс реакционного спекания протекает без усадки (0,2%), что исключает необходимость окончательной механической обработки материала [1,3].

В задачи данного исследования входило снижение потерь алмаза, связанных с графитацией и химическим взаимодействием его с жидким Si с образованием SiC, путем защиты поверхности алмаза покрытием. Предлагается один из вариантов защиты кристаллов алмаза нанесением тонкопленочного наноструктурного покрытия из смеси атомов Si и C с последующим превращением покрытия при нагреве в SiC. Использование полученных порошков с наноструктурным покрытием для получения композита алмаз – карбид кремния, исследование структуры и фазового состава композита на основе Si+C/C(алмаз).

Исследования выполнялись на алмазных порошках АСМ 14/10 и 7/5 (ГОСТ 9206-80) с размером частиц 14 - 10 мкм и 5 - 7 мкм. При изготовлении композита алмаз – карбид кремния использовали шихту, в которую входили алмазные порошки с нанесенными покрытиями, Смарки Кр-0 (ГОСТ 2169-69), порошки SiC марки FCP фирмы Stark с размерами частиц 0,56...0,64 мкм, активированные взрывом.

Перед нанесением покрытия активировали поверхность кристаллов алмаза обработкой порошка в плазме тлеющего разряда (плазмирующий газ – аргон) при давлении  $5 \times 10^{-3}$  Торр в режимах:  $U = 1250$  В,  $I = 0,15$  А, время обработки 300 с. Для нанесения покрытия применяли композиционный распыляемый катод, который обеспечивал одновременное распыление двух или более компонентов. Низкотемпературной плазмой на поверхность кристаллов алмаза наносили тонкопленочное (до 100 нм) покрытие Si+C. Режимы обработки: ток  $I = 2,5$  А, давление  $P = 0,5$  Па, расстояние от катода до порошка  $l = 150$  мм. Полученные покрытия состояло из смеси атомов кремния и углерода

Изготовление композита алмаз – карбид кремния осуществляли реакционным спеканием шихты в засыпках. Порошки алмаза и SiC покрывали пиролитическим С (12% от

массы алмаза). Использовали соотношение компонентов: алмаз – карбид кремния алмаз – кремний 30–30–40 об.%.

Исследования фазового состава алмазных порошков с тонкопленочным покрытием показали, что в исходном состоянии порошок с покрытием состоит: алмаза С (решетка кубическая), кремния Si (кубическая), графит С (гексагональная). Поверхность частиц алмаза с покрытием Si+C/C(алмаз) и SiC/C(алмаз) изучена по фрактограммам, полученным на растровом микроскопе. Поверхность частицы алмаза, покрытого смесью атомов кремния и графита, выглядит как поверхность исходного алмаза. Фрактограммы подтверждают, что тонкопленочное покрытие однородно покрывает поверхность кристаллов алмаза. Фрактограммы поверхности алмаза, покрытого пиролитическим углеродом представляют собой развитую наружную поверхность, что обеспечивает активное растворение углерода в жидком кремнии.

Для оценки адгезионной прочности покрытия с кристаллами алмаза использовали методом раздавливания частиц на прессе при нагрузке 95 – 100кгс. Порошки АСМ 14/10 испытывали с покрытием (Si+C). После испытания исследовали тонкую структуру алмаза с покрытием. Исследования показали, что покрытие (Si+C) не отслаивается от основной фракции алмаза.

Для оценки температуры, при которой происходит образование SiC в покрытии проводили фиксировали на dilatометре. Установлено, что в процессе нагрева наблюдается образование SiC в интервале температур 6500С - 7500С. Тонкая структура частиц алмаза с покрытием после спекания оценивалась по репликам и структурам, полученным при исследовании тонких фольг на просвет.

В зоне контакта с алмазом формируется оболочка из SiC с аморфной структурой, о чем свидетельствуют образование дифракционных колец. Структура композиции алмаз-карбид кремния, полученная реакционным спеканием (1500<sup>0</sup>С) в засыпке формируется из алмаза с оболочкой SiC и карбидокремниевой матрицы. Частицы алмаза сохранили свои размеры.

Исследования вязкости разрушения композиции алмаз-карбид кремния, выполненное инденторным методом, показало, что материал матрицы (SiC) имеет значения  $K_{IC}$  в пределах 10-12 н/м<sup>3/2</sup>, твердость композиции составляет 50 – 55 по Кнуппу,

модулем упругости (580 – 720ГПа), прочностью на сжатие 560 – 650МПа, теплопроводность 500 Вт/(м\*К) По характеристикам вязкости разрушения материал приближается к значениям твердых сплавов.

По структуре и свойствам материал относится к группе сверхтвердых материалов с уникальным сочетанием физико – механических свойств, что предполагается перспективным применять разработанную технологию для изготовления режущего и формующего инструмента. Использование наноструктурного покрытия позволяет избежать потерю массы алмаза при графитации и образовании карбида кремния.

### **Литература**

1. Гордеев, С.К. Алмазные композиционные конструкционные материалы. – В кн.: Теория и практики технологий производства изделий из композиционных материалов и новых металлических сплавов / Труды международной конференции 27-30 августа 2003, Москва. М., «Знание», 2004, с.37-41.
2. Ковалевский, В.Н., Гордеев, С.К., Фомихина, И.В., Жук, А.Е. Технологические особенности получения композитов алмаз – карбид кремния с использованием высоких давлений // Материалы, технологии, инструменты. Т.10 (2005) №1 С.62– 66.

УДК 666.797 2

**50 лет кафедре «Порошковая металлургия, сварка и технология материалов».**

**История и перспективы развития научных направлений**

**Ковалевский В.Н.**

**Белорусский национальный технический университет**

21 сентября 2005 года выдающемуся ученому академику Роману Олегу Владиславовичу, 35 лет возглавлявшему кафедру, исполняется 80 лет. Его родная кафедра «Порошковая металлургия, сварка и технология материалов» сердечно поздравляет Юбиляра и желает ему здоровья и творческого долголетия на благо нашей Отчизны.

Исторический экскурс. В послевоенные годы бурное развитие промышленности Беларуси опиралось на достижения