

ВЫВОДЫ

Использование сотового каркаса позволяет при сохранении прежней прочности и общей жесткости барабана снизить массу его обечайки и ступиц, а также полностью отказаться от применения каких-либо дополнительных внутренних силовых элементов (например, колец).

Снижение массы достигается и за счет использования в барабане с сотовым каркасом полого шестигранного вала.

Другим важным преимуществом барабанов с сотовым каркасом является их высокая технологичность, обусловленная тем, что производство в больших масштабах, идентичных друг другу, относительно небольших по массе и габариту полых шестигранных элементов из пластин или гнутых элементов не вызывает трудностей, а сборка барабанов различных раз-

меров значительно проще сборки существующих барабанов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Спиваковский, А. О. Транспортирующие машины / А. О. Спиваковский [и др.]. – М: Машиностроение, 1968. – 109 с.
2. Андреев, В. А. Транспортные машины и комплексы подземных разработок / В. А. Андреев, В. А. Дьяков, Е. Е. Шешко. – М.: Недра, 1975. – 464 с.
3. Подопригра, Ю. А. Конструкция барабана ленточного конвейера: информ. листок / Ю. А. Подопригра, М. Л. Гулак. – Брянск: ЦНТИ, 1998. – 4 с.
4. А. с. 1490043 СССР, МКИ³ В 65 G 23/04.
5. Дьячков, В. К. Современные конструкции узлов ленточных конвейеров: обзор / В. К. Дьячков. – М.: НИИинформтяжмаш, 1978. – 48 с.
6. Диллон, Б. Инженерные методы обеспечения надежности систем / Б. Диллон, Ч. Сингх. – М.: Мир, 1984. – 318 с.

Поступила 25.01.2006

УДК 621.762.8

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ SiC В АЛМАЗОСОДЕРЖАЩЕЙ КОМПОЗИЦИИ ПРИ НИЗКИХ ДАВЛЕНИЯХ

Инж. ЖУК А. Е.

Белорусский национальный технический университет

Создание композиционного материала на основе алмаза и карбида кремния при низких давлениях обусловлено образованием SiC при взаимодействии жидкого кремния с углеродом, который формируется на поверхности кристаллов алмаза за счет частичной графитации алмаза при температуре 1500 °С. При этом реализуется технология реакционного спекания, что позволяет получить сверхтвердый материал «Скелетон D» с высокими физико-механическими свойствами, прежде всего твердостью по Кнуппу 50–55 ГПа, модулем упругости 600–750 ГПа, высокой износостойкостью и теплопроводностью 450–650 Вт/(м·К) [1]. Более высокие значения свойств дости-

гаются при использовании шихты, содержащей смесь алмазных кристаллов с отличающимися друг от друга размерами в несколько раз. Формирование изделия идет на ранних стадиях в присутствии удаляемой технологической связки (фенолформальдегидной смолы), что приводит к образованию пористой заготовки (пористость 30–60 об.%). Последующие термообработка заготовки в вакууме и пропитка жидким кремнием позволяют получить пронизывающие друг друга каркасы алмаза и карбида кремния.

Достоинством технологии является отсутствие процесса усадки, что исключает необходимость окончательной механической обра-

ботки изделия из сверхтвердого материала. Установлены оптимальные технологические параметры, обеспечивающие получение материала, который отвечает требованиям, предъявляемым к материалу абразивного и формирующего инструмента.

Целью представленной работы являлось создание близкого к «Скелетон D» по свойствам материала с исключением потерь массы алмаза на графитацию за счет предварительной защиты поверхности алмаза нанопокрывтием из SiC. Предусматривалось осуществлять покрытие вакуумным магнетронным распылением одновременно кремния и углерода. Различие в строении и свойствах наноматериала покрытия и карбидокремниевой матрицы КМ позволяет реализовать различные механизмы образования SiC в покрытии и формирования карбидокремниевой матрицы в присутствии жидкой фазы. Поэтому выявление закономерностей образования SiC в покрытии и композиционном материале в процессе пропитки пористой заготовки из алмазных частиц с нанопокрывтием жидким кремнием представляет интерес, так как позволит реализовать условия получения материала с повышенными свойствами.

Технология получения композиции «алмаз – карбид кремния» включает известные операции формования пористой заготовки из кристаллов алмаза (прессование, шликерное литье и т. п.), при которых образуется каркасная структура из кристаллов алмаза с покрытием, с последующей пропиткой ее жидким кремнием. Предварительная операция по нанесению нанопокрывтия осуществлялась в специальном смешивающем барабане, который обеспечивал равномерное нанесение покрытия из смеси атомов или кластеров кремния и углерода на частицы алмаза. Для получения хорошей адгезии между покрытием и алмазом поверхность последнего активировалась путем обработки плазмой тлеющего разряда.

Исследования проводили на алмазных синтетических микропорошках различных фракций (АСМ 14/10, 7/5, 1/0), причем для высокой износостойкости применяли ультрадисперсные порошки со средним размером частиц менее 1 мкм с высокой удельной поверхностью, активность которых требует использования вакуумных технологий. Процесс нагрева до

температуры пропитки 1500 °С приводит к потерям массы алмаза за счет частичной графитации, протекающей на поверхности алмаза, которая для активных порошков малых фракций достигает 50 масс.%. Анализ результатов исследования процессов нанесения покрытия на алмазные микрошлифпорошки показал, что плотные слои карбида кремния толщиной 10–160 нм могут формироваться при напылении тонких пленок из смеси атомов или кластеров кремния и углерода магнетронным распылением с последующей их термической обработкой [2].

Применение синтетических алмазов сдерживается их склонностью к окислению на воздухе (при 620 °С они сгорают). Для защиты их от окисления используют никелевые, хромовые и титановые покрытия, которые неоднородны и имеют низкую прочность. Для повышения прочности и создания защиты алмазов от графитации и окисления предложено использовать карбидокремниевые покрытия. Исследования сопротивления окислению алмазов, покрытых тонким наноструктурным слоем карбида кремния, при нагреве в окислительной атмосфере в диапазоне температур 600–1000 °С выявили, что интенсивное окисление алмаза наблюдается при нагреве свыше 800 °С, что на 200 °С выше, чем для непокрытого алмаза [3].

Закономерности процесса магнетронного напыления нанопокрывтий выявлялись с учетом известных механизмов взаимодействия атомов мишени с летящими с низкими скоростями ионов, что вызывает за счет упругого столкновения смещение атомов относительно равновесного положения и, как следствие, их распыление. Исследование механизма процесса распыления, переноса и конденсации вещества при нанесении нанопокрывтий [2] описывает процессы с учетом неоднородности распыляемого потока. Согласно этому механизму эмиссионный поток взаимодействует с локализованной плазмой магнетронного разряда. Он имеет повышенную плотность, ограниченный объем и содержит высокоэнергетичные электроны, ионы, нейтральные атомы. Часть атомов эмиссионного потока пронизывает плазменное пространство и под влиянием теплового, фотонного и электрического воздействия переходит

в возбужденное или метастабильное состояние, оставаясь электрически нейтральным. Активации подвергаются атомы потока с нормальными и малоугловыми (расходящимися и скрещивающимися) траекториями движения относительно зоны эрозии. Формирование однородной области высокоэнергетичных атомов на значительном удалении от катода при низких температурах создает условия напыления, обеспечивающие образование аморфной структуры в тонких нанослоях (10–20 нм) на частицах алмаза за счет высокой их теплопроводности (до 1000 Вт/(м·К)).

Образование SiC происходит в нанопокрывании за счет взаимодействия кремния и углерода при последующей обработке слоя плазмой тлеющего разряда. При этом реализуется принцип раздельного синтеза, при котором на первом этапе формируется покрытие из смеси компонентов со структурой низкой дефектности, а на втором – протекает реакционное спекание SiC в твердой фазе при низких температурах.

Проведенные dilatометрические исследования показали, что синтез (реакционное спекание в твердой фазе) SiC из кремния и углерода состава, соответствующего стехиометрическому, протекает при температурах 650–850 °С, что приводит к уменьшению объема и повышению плотности покрытия.

Общий вид кристаллов алмаза с покрытием кремнием и углеродом (а) и состояние поверхности (б) представлены на рис. 1. Тонкое наномерное покрытие алмаза практически не изменяет вид кристаллов алмаза.

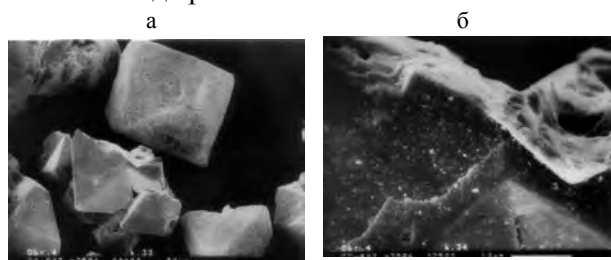


Рис. 1. Кристаллы алмаза АСМ 14/10 с покрытием

В процессе обработки нанопокрывания плазмой тлеющего разряда формируется карбид кремния с аморфной структурой в зоне контакта покрытия с кристаллом алмаза. Структура покрытия (а) и картина микроdifракций (б) представлены на рис. 2.

Оценку адгезионной прочности покрытия и алмазной частицы осуществляли путем раздавливания частицы с покрытием на прессе. Установлено, что на оптимальных режимах напыления наблюдается качественное соединение компонентов.

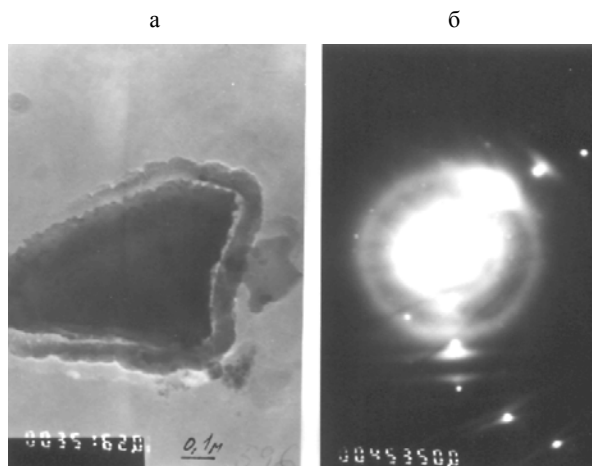


Рис. 2. Структура частицы с покрытием, обработанная плазмой тлеющего разряда

Вторая стадия – реакционного спекания – идет с образованием карбидокремниевой матрицы при повышении температуры до 1500 °С, обеспечивающей расплавление кремния. Модель структурообразования в композиционном материале «алмаз – карбид кремния» схематично представлена на рис. 3. Источником углерода является пиролитический углерод, который предварительно наносится на частицы алмаза с нанопокрыванием SiC. На рис. 3а показана структура, которая формируется в пористой заготовке. Наряду с кристаллами алмаза для формирования дополнительных центров кристаллизации вторичного SiC предложено дополнительно вводить в шихту первичный SiC. Использовали как наноструктурный SiC, так и домикронный порошок SiC, активированный взрывом. В процессе нагрева при пропитке в нанопокрывании алмаза образуется α -SiC при более низких температурах. При 1500 °С пористая структура заполняется жидким кремнием (рис. 3б). При этом наночастицы первичного α -SiC инфильтрируют по объему заготовку совместно с жидким кремнием. Высокая активность и пористое строение покрытия из пиролитического углерода приводят к интенсивному растворению углерода в жидком крем-

нии (рис. 3в). Одновременно с процессом растворения углерода в зоне контакта с твердым веществом (алмазной частицей с покрытием SiC либо частицей первичного SiC) образуется вторичный карбид кремния β -SiC.

В отличие от структуры композита «Скелетон D», содержащего β -SiC, разработанный композиционный материал содержит как β -SiC, так и высокотемпературную модификацию α -SiC. Если расчет компонентов выполнен правильно, то свободного кремния в композиционном материале практически не остается.

Структура полученного композита представляет собой кристаллы алмаза с пронизы-

вающей их карбидокремниевой матрицей (рис. 3г).

Структура композита «алмаз – карбид кремния» с нанопокрытием кристаллов алмаза представлена на рис. 4.

Структура композита состоит из кристаллов алмаза и карбида кремния α - и β -модификаций. В зоне у границы алмазных частиц формируется нанодисперсная структура SiC покрытия. В процессе жидкофазного реакционного спекания SiC в качестве движущей силы спекания выступает уменьшение термодинамического потенциала системы, вызванное синтезом новой фазы.

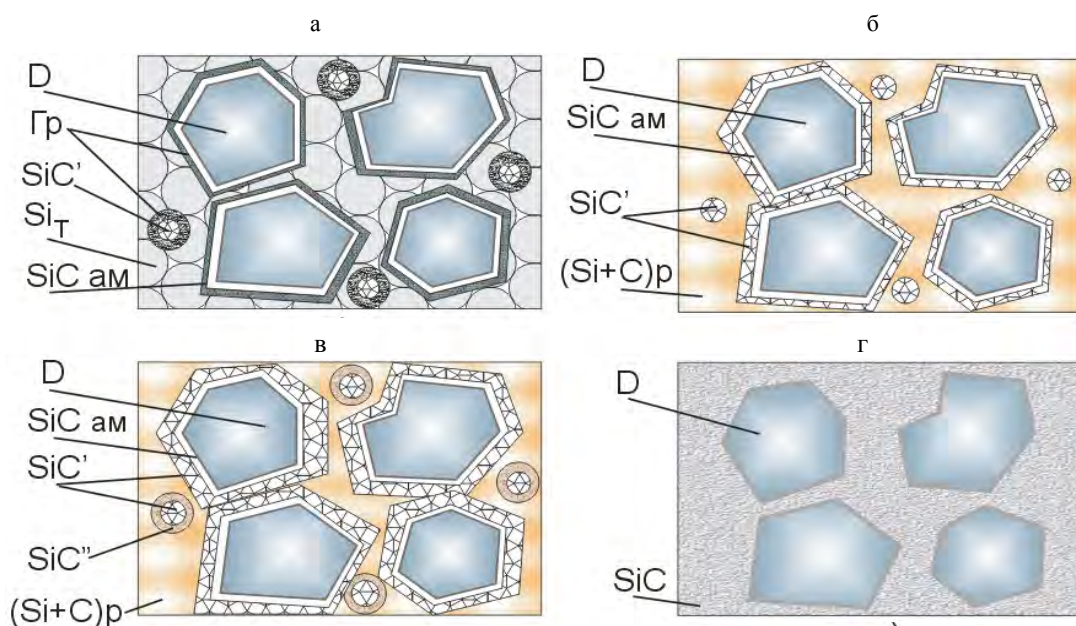


Рис. 3. Схема модели получения композиции «алмаз – SiC» с покрытием: а – пористый каркас «алмаз – первичный SiC» с покрытием ($SiC_{ам}$ и $SiC_{пир}$); б – пропитка каркаса жидким Si; в – образование раствора (Si+C) и формирование SiC в покрытии; г – структура композита

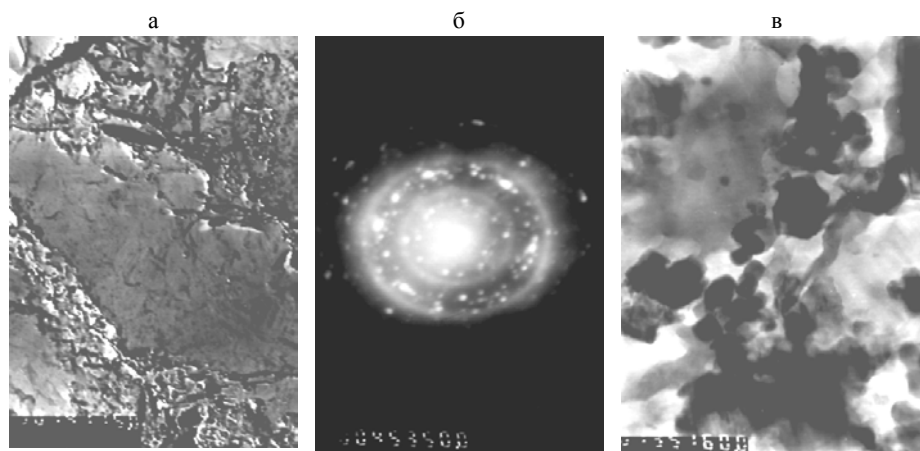


Рис. 4. Фрактограммы поверхности разрушения и картина микродифракций композиции «алмаз – карбид кремния»: а – фрактограмма поверхности разрушения; б – картина микродифракций; в – тонкая структура композиции «алмаз – карбид кремния»

ВЫВОД

Выполненные исследования позволили установить закономерности и механизмы формирования карбида кремния в покрытии и композиционном материале. Установлено, что в нанопокрывании, представляющем собой активную смесь атомов и кластеров кремния и углерода, реакция взаимодействия компонентов протекает при низких температурах в твердой фазе. Использование вакуумной технологии нанесения и термообработки плазмой тлеющего разряда приводит к образованию α -SiC в нанопокрывании. Перспективным методом получения нанопокрывания из α -SiC с повышенными свойствами является ее раздельный синтез путем создания бездефектной структуры смеси кремния и углерода с последующим переводом в вакууме в тугоплавкое соединение при обработке плазмой тлеющего разряда. При этом этапы синтеза можно проводить на оптимальных режимах. Синтез SiC при получении сверхтвердого материала «алмаз – карбид кремния», протекающий при спекании в присутствии жидкой фазы кремния, приводит к образованию β -SiC. Уровень свойств полученного материала соответствует сверхтвердому материалу «Скелетон D» по верхней границе значений. Формирование в зоне соединения наноструктурного слоя α -SiC обеспечивает высоко-

кую адгезионную прочность. Сформированная структура композита «алмаз – карбид кремния» позволяет повысить вязкость разрушения материала с 5,7 до 10 МПа/м^{0,5}.

Развитие нанотехнологии привело к созданию наноструктурной керамики, управление строением которой осуществляется на кластерном уровне. Эти технологии могут найти применение при создании сверхтвердых материалов на основе алмаза и карбида кремния, материалов с высокой вязкостью разрушения, высокими износостойкостью и теплопроводностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Гордеев, С. К.** Алмазные композиционные конструкционные материалы / С. К. Гордеев // Теория и практики технологий производства изделий из композиционных материалов и новых металлических сплавов: труды междунар. конф., Москва, 27–30 авг. 2003 г. – М.: Знание, 2004. – С. 37–41.
2. **Ковалевский, В. Н.** Исследование эмиссионных процессов в плазме тлеющего разряда и их адаптация к магнетронным распылительным системам / В. Н. Ковалевский, К. Б. Фигурин, Б. Л. Фигурин // *Металлургия*. – Минск: Вышэйш. шк., 2002. – Вып. 26. – С. 87–91.
3. **Структурообразование** карбидокремниевой матрицы в композиции алмаз – карбид кремния / В. Н. Ковалевский [и др.] // *Огнеупоры и техническая керамика*. – 2005. – № 5. – С. 8–14.

Поступила 10.10.2006

УДК 621.9.048.4.06

ОСОБЕННОСТИ МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ШЛИФОВАНИЯ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Докт. техн. наук, проф. СПИРИДОНОВ Н. В., асп. НЕРОДА М. В.

*Белорусский национальный технический университет,
Барановичский государственный университет*

Процесс газотермического нанесения покрытий на рабочие поверхности деталей машин позволяет создавать в зависимости от материалов и технологии металлизации слои с опреде-

ленными свойствами, в результате чего повышаются износостойкость, стойкость к коррозии, эрозии, кавитации и другие эксплуатационные свойства деталей машин, но