

**П.А. Витязь, д.т.н., проф.
В.Т. Сеньюць, к.т.н., вед. н.с.**

И.В. Валькович, н.с.

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,

**М.Л. Хейфец, д.т.н., проф.
ГНПО «Центр» НАН Беларуси**

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ИНСТРУМЕНТОВ С ПЛАСТИНАМИ ИЗ НАНОСТРУКТУРНЫХ СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

Разработаны технологии производства инструментов с пластинами из сверхтвердых материалов, включающие синтез наноструктурных порошков, спекание поликристаллов из порошков и спекание порошков со связующими.

Введение. Практика использования инструментов показывает, что в ряде случаев целесообразно использовать сверхтвердые материалы (СТМ) не только в виде свободного абразива, но и в виде компактных материалов, содержащих частицы СТМ в связующей матрице, либо спеченных без добавок связующего в поликристаллические блоки. Это обуславливает актуальность разрабатываемых технологических основ синтеза наноструктурных СТМ и их последующего компактирования со связующим и без него [1].

На базе проведенных исследований по синтезу наноструктурных поликристаллических порошков на основе наноалмаза и изучения их спекаемости в условиях высоких давлений и температур разрабатываются технологии получения порошков наноструктурных СТМ и композиционных материалов на их основе [2–4].

Разработка технологии синтеза порошков СТМ. Разработку технологии получения порошков СТМ с использованием наноалмазов осуществляли при:

- синтезе частиц алмаза и КНБ субмикронных и микронных размеров из графита и гексагонального нитрида бора (ГНБ) с использованием ультрадисперсных алмазов (УДА) в качестве активатора процесса синтеза;

- синтезе поликристаллических частиц субмикронных и микронных размеров с применением наноалмазов, модифицированных тонким поверхностным слоем неалмазного углерода [2].

В первом случае получение порошков СТМ связано с фазовым превращением в отдельных частицах графита и ГНБ, инициируемом

УДА, во втором случае фазовое превращение происходит в тонком слое неалмазного углерода на поверхности УДА с последующим спеканием УДА в более крупные частицы (рис. 1).

1. *Модифицирующий отжиг порошка наноалмазов.* Проводится в условиях защитной атмосферы (водород, дисаммиак) с целью удаления адсорбированных и хемосорбированных кислородсодержащих групп [5], воды и их замены на водородсодержащие соединения, что позволяет защитить частицы УДА от графитизации в условиях высоких температур и низких давлении. Отжиг проводится в диапазоне температур 800–1000 °С в течение 2–4 часов. Отжигу подвергаются как очищенные от неалмазного углерода УДА, так и УДА с неалмазным углеродом на поверхности частиц.

2. *Приготовление шихты на основе наноалмазов и неалмазных форм углерода (нитрида бора).* В зависимости от вида получаемых частиц производится механическое смешивание очищенного порошка УДА и порошка графита (ГНБ), либо смешивание очищенного порошка УДА с порошком УДА, модифицированным тонким слоем неалмазного углерода в баночном смесителе в течение 1–2 часов. Модифицирование УДА неалмазными формами углерода производится путем отжига порошка УДА либо алмазсодержащей шихты в условиях вакуума при температуре 1100–1200 °С при выдержке на заданной температуре в течение 45 мин.

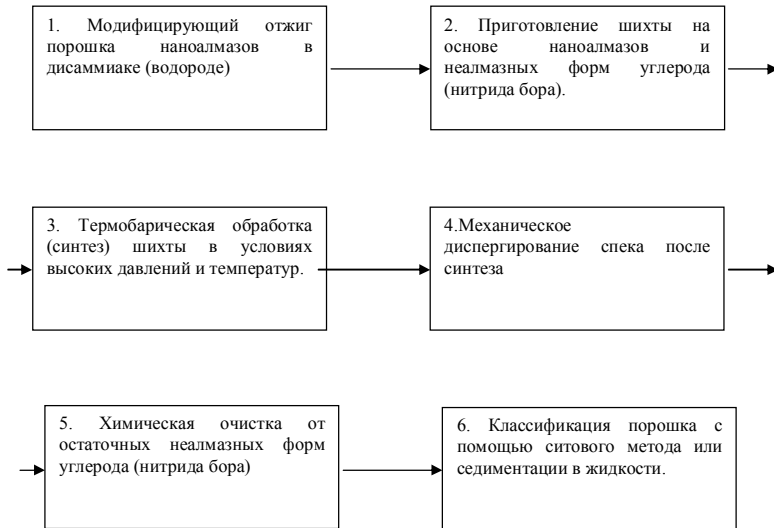


Рис. 1. Схема технологических основ получения порошков СТМ с использованием порошка наноалмазов

3. *Термобарическая обработка (синтез) шихты в условиях высоких давлений и температур.* Синтез порошков осуществляется в аппарате высокого давления (АВД) в диапазоне давлений 2–4 ГПа при температуре в диапазоне 1200–1350 °С. Синтез поликристаллических частиц на основе УДА осуществляется при более низких технологических параметрах: давление 2ГПа, температура 1200–1250 °С. Синтез алмаза и КНБ из графита и ГНБ с применением УДА происходит при более высоких режимах: давление 4 ГПа, температура 1300–1350 °С. Длительность синтеза в обоих случаях составляет 30 с [6].

4. *Механическое диспергирование спека после синтеза.* Дробление полученного спека осуществляется путем его раздавливания в пресс-форме усилием 100 МПа и последующем размоле в баночном смесителе до получения однородного порошка.

5. *Химическая очистка от остаточных неалмазных форм углерода (нитрида бора).* Химическая очистка заключается в удалении остаточных (непрореагировавших) частиц графита (ГНБ), неалмазных форм углерода, а также дисперсных образований УДА, которые затруднительно использовать в дальнейшем при получении композиционных и поликристаллических материалов. Удаление

углерода производится путем кипячения продуктов размола в смеси азотной и концентрированной серной кислот, взятых в соотношении 3:1 по массе с добавлением бихромата калия. ГНБ удаляется путем обработки продуктов размола в расплаве КОН.

6. *Классификация порошка с помощью ситового метода или седиментации в жидкости.* В зависимости от дисперсности полученных частиц для их классификации может быть использован ситовый метод (для частиц свыше 40 мкм) и седиментация порошка в жидкости (в воде) для разделения микропорошков.

Разработка технологии спекания поликристаллов на основе СТМ. На основе синтезированных порошков алмаза и кубического нитрида бора путем спекания в условиях высоких давлений и температур получают поликристаллические блоки для лезвийной обработки сплавов цветных металлов, керамики, сталей и чугунов. Технологии получения поликристаллов включают основные этапы (рис. 2).



спекания порошков СТМ

1. *Химическое модифицирование порошков СТМ.* На стадии газофазного химического модифицирования осуществляется удаление с поверхности частиц влаги, кислородсодержащих соединений [7], а также нанесение на поверхность частиц активаторов спекания и компонент связующего. Модифицирование осуществляется в атмосфере дисаммиака в диапазоне температур 800–1000 °С, время выдержки на заданной температуре составляет 2–4 часа. Для модифицирования порошков алмаза используется Со в качестве

катализатора-растворителя, а также Ti, B, Si в качестве карбидообразующих элементов. Порошки КНБ перед спеканием модифицировали Al.

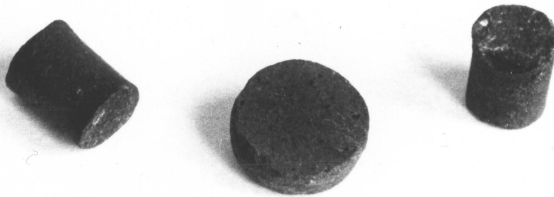
2. *Термобарическая обработка порошка в условиях высоких давлений и температур.* Компактирование порошков осуществляется в АД, в котором осуществляется синтез порошков СТМ. В данном случае используются более высокие давления и температуры: при спекании алмазных порошков применяются давления 5–7 ГПа, температура составляет 1600–2200 °С [8], спекание КНБ осуществляется при давлениях 4–6 ГПа и температурах 1400–2000 °С. Выдержка при заданной температуре производится в течение 15–30 с.

3. *Химическая очистка от примеси остаточных неалмазных форм углерода (нитрида бора).* Очистка алмазных поликристаллов производится путем обработки в кислотах путем кипячения, поликристаллы на основе КНБ подвергаются обработке в расплаве щелочи.

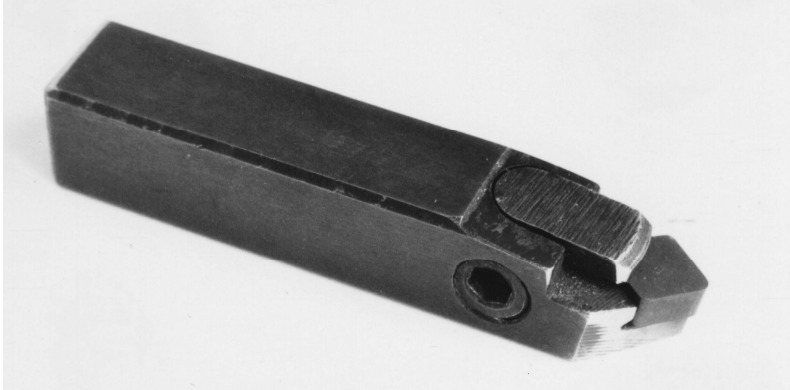
4. *Контроль физико-механических свойств поликристаллов.* Полученные образцы контролируются визуально с помощью оптического микроскопа на предмет наличия поверхностных дефектов, пор, трещин. Контроль-100 %.

5. *Механическая обработка поликристаллов.* После операции контроля осуществляется механическая обработка образцов с помощью алмазных чашечных кругов с целью придания образцам необходимых геометрических размеров, углов. Полученные поликристаллические блоки могут крепиться на державку механически либо с помощью пайки.

По разработанным технологиям синтезированы поликристаллические СТМ на основе КНБ и алмаза, из которых изготовлены режущие пластины для лезвийной обработки материалов. На рисунках 3, а, б. Представлены поликристаллические блоки на основе УДА и резец с пластиной на основе КНБ.



а)



б)

*Рис. 3. Полукристаллические блоки на основе УДА (а)
и резец пластиной на основе КНБ (б)*

Разработка технологии получения композиционных материалов путем спекания наноструктурных порошков СТМ со связующими. Спекание частиц алмаза и КНБ со связующими производится при содержании абразива до 50 объемных %. Вследствие этого компактирование порошков СТМ со связкой осуществляются при более низких технологических параметрах, чем получение полукристаллов. Физико-механические и эксплуатационные характеристики таких материалов определяются, в основном, свойствами связующего.

Исследовалось компактирование порошков УДА с различными связующими: титановая бронза, стекло, неалмазный углерод, фенолформальдегидная смола. В результате установлено, что для получения материалов с требуемыми физико-механическими характеристиками достаточно использовать давления до 2 ГПа и температуры до 1000 °С. Время выдержки при заданной температуре составляет до 30с [3].

Технологии получения композиционных материалов состоят из следующих этапов (рис. 4):



Рис. 4. Схема технологических основ получения композиционных материалов из наноструктурных порошков СТМ со связующими

1. *Химическое модифицирование порошков СТМ.* Как и в случае синтеза порошков и спекания поликристаллов осуществляется отжиг порошков СТМ в дисаммиаке. Если последующее спекание проводится с использованием металлического связующего (титановой бронзы), то на поверхность порошка путем газотранспортных реакций наносится титан для лучшей смачиваемости частиц алмаза и связующего. Отжиг проводят при температуре 800–1000 °С в течение 2–4 часов.

2. *Смешивание порошка СТМ со связующими, прессование заготовок.* Смешивание алмазных порошков и связующих производят в смесителе, затем из шихты прессуют заготовки необходимой формы и размеров. Давление прессования составляет 200–500 МПа.

3. *Спекание заготовок под давлением.* Спекание проводится по методике, используемой при получении порошков и поликристаллов в АД.

4. *Контроль физико-механических свойств композитов.* Проводится 100 % визуальный контроль заготовок под микроскопом, а также выборочный контроль твердости (микротвердости) и вязкости полученных образцов.

5. *Механическая обработка полученных композитов.* С помощью алмазных чашечных кругов производится шлифовка торцов композита, затем осуществляется доводочная обработка с помощью алмазной пасты.

По разработанной технологии изготовлены композиционные алмазосодержащие элементы для абразивной обработки оптических деталей. На рисунке 5 показаны отдельные абразивные элементы, выполненные в виде колец, и таблеточные элементы, наклеенные на план-шайбу.

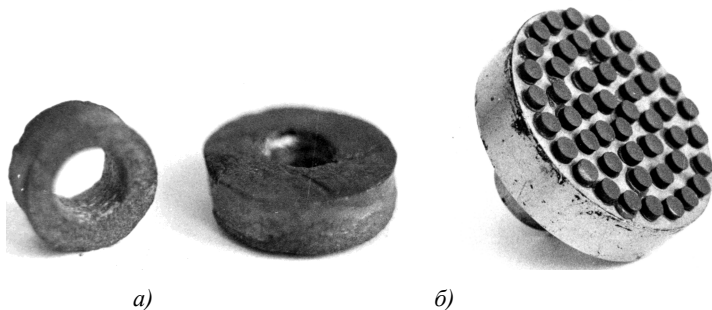


Рис. 5. Алмазосодержащие элементы на основе УДА, изготовленные в виде колец (а) и элементы на основе УДА закрепленные на план-шайбу (б)

Выводы:

1. Разработаны технологии получения наноструктурных СТМ с использованием наноалмазов, включающие различные варианты. В первом случае синтез частиц алмаза и КНБ субмикронных и микронных размеров из графита и ГНБ происходит с использованием наноалмазов в качестве активатора процесса синтеза. Во втором случае осуществляют получение поликристаллических частиц субмикронных и микронных размеров на основе наноалмазов, модифицированных тонким поверхностным слоем неалмазного углерода.

2. Разработаны технологии синтеза наноструктурных порошков алмаза и кубического нитрида бора. По разработанным технологиям синтезированы поликристаллические СТМ на основе КНБ и алмаза, изготовлены режущие пластины для лезвийной обработки сплавов цветных металлов, керамики, закаленных сталей.

3. Разработаны технологии спекания при давлении до 2 ГПа и времени спекания до 30 с синтезированных наноструктурных порошков СТМ со связующими. Получены алмазосодержащие наноструктурные композиционные материалы со связующими на основе титановой бронзы, стекла, неалмазного углерода, фенолформальдегидной смолы и изготовлены композиционные алмазосодержащие элементы для абразивной обработки оптических деталей.

ЛИТЕРАТУРА:

1. *Шульженко А.А.* Поликристаллические сверхтвердые материалы в режущем инструменте. Ч. 1 / *А.А. Шульженко, С.А. Клименко* // Инструментальный свет. – 1999. – № 4–5. – С. 14–16.
2. *Витязь П.А.* Синтез и применение сверхтвердых материалов / *П.А. Витязь, В.Д. Грищук, В.Т. Сенють.* – Минск : Беларус. навука, 2005. – 359 с.
3. Модифицирование материалов и покрытий наноразмерными алмазосодержащими добавками / *П.А. Витязь, В.И. Жорник, В.А. Кукареко, и др.* – Минск : Белорусская наука, 2011. – 522 с.
4. Технологии конструкционных наноструктурных материалов и покрытий / *П.А. Витязь, А.Ф. Ильющенко, М.Л. Хейфеци др.* ; под общ. ред. *П.А. Витязя и К.А. Солнцева.* – Минск : Беларус. навука, 2011. – 283 с.
5. Исследования микропримесного состава ультрадисперсного алмаза / *Т.М. Губаревич, Н.М. Костюкова, Р.Р. Сатаев, Л.В. Фомина* // Сверхтвердые материалы. – 1991. – № 5. – С. 30–34.
6. *Сенють В.Т.* Получение сверхтвердых материалов инструментального назначения с использованием наноалмазов в условиях высоких давлений и температур : автореф. дис. ... канд. техн. наук / *В.Т. Сенють.* – Минск, 2006. – 24 с.
7. *Кулакова И.И.* Химия поверхности наноалмазов / *И.И. Кулакова* // ФТТ. – 2004. – Т. 46. – № 4. – С. 621–628.
8. *Бочечка А.А.* Особенности строения нанодисперсных алмазных порошков и их консолидации при воздействии высоких давлений и температур : обзор / *А.А. Бочечка* // Сверхтвердые материалы. – 2003. – № 5. – С. 3–10.

ВИТЯЗЬ Петр Александрович – академик, доктор технических наук, профессор, Первый заместитель Председателя Президиума НАН Беларуси.

Научные интересы:

- материаловедение;
- порошковая металлургия;
- технология машиностроения.

СЕНЮТЬ Владимир Тадеушевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории наноструктурных и сверхтвердых материалов Объединенного института машиностроения НАН Беларуси.

Научные интересы:

- материаловедение сверхтвердых материалов;
- технология машиностроения.

ВАЛЬКОВИЧ Игорь Владимирович – научный сотрудник лаборатории наноструктурных и сверхтвердых материалов Объединенного института машиностроения НАН Беларуси.

Научные интересы:

- материаловедение сверхтвердых материалов.

ХЕЙФЕЦ Михаил Львович – доктор технических наук, профессор, Заместитель академика-секретаря Отделения физико-технических наук НАН Беларуси.

Научные интересы:

- материаловедение;
- оборудование и технология машиностроения.

Подано 06.06.2011

