

примерно на 10% тверже алмаза, при этом он всего на 0,3% плотнее его. Новый углеродный материал царапает обычные алмазы. Это означает, что он располагается на шкале Мооса⁶ выше алмаза – непревзойденного эталона твердости.

Стоит отметить, что перед новинкой открывается широкий диапазон применения, так как современная промышленность, электроника и оптика построены именно на подобных прочных материалах, кроме того, в производстве ACNR совсем недорого. Ожидается, что ACNR может заменить обычные алмазы при производстве насадок для бурильных установок, а также абразивных материалов. По мнению некоторых ученых нет никаких препятствий для налаживания массового производства ACNR.

Анализируя вышеизложенное, можно сделать небезосновательное предположение, что в ближайшее время (7...12 лет, возможно и раньше) на мировом рынке появятся синтезированные в промышленных масштабах новейшие сверхтвердые материалы (в том числе, композиционные), превосходящие по своим механическим и эксплуатационным свойствам алмаз и кубический нитрид бора, которые и лягут в основу производства сверхновых абразивных инструментов. Во всяком случае достаточно весомые научные предпосылки для этого на сегодняшний день уже имеются.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дубицкий, Г.А. Сверхтвердые сверхпроводящие материалы на основе алмаза и кубического нитрида бора / Г.А. Дубицкий, В.Д. Бланк, С.Г. Буга, Е.Е. Семенов, В.А. Кульбачинский, А.В. Кречетов, В.Г. Кытин // Письма в ЖЭТФ. – 2005. – Т. 81. – Вып. 5–6. – С. 323–326.
2. Пушкарев, О.И. Микромеханические и эксплуатационные характеристики зёрен абразива при шлифовании / О.И. Пушкарев, В.М. Шумячер // Технология машиностроения. – 2006. – №12. – С. 29–32.
3. Юношев, А.С. Ударно-волновой синтез кубического нитрида кремния / А.С. Юношев // Физика горения и взрыва. – 2004. – Т. 40 – №3. – С. 132–135.

И.П. НИКИФОРОВ, П.Н. МАЛЬЦЕВ

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА АБРАЗИВОВ

Показаны современные технологии, которые уже используются или являются потенциальными для производства твердых и сверхтвердых абразивных материалов, таких как карбиды, алмаз, кубический нитрид бора и др. Предложена концепция применения технологии осаждения поликристаллических пленок алмаза из газовой фазы (CVD-технологии) для изготовления «идеальных» абразивных однослойных инструментов со строгим, заранее спланированным, расположением вершин зёрен.

Производство любых искусственных абразивов связано с большими затратами энергии. В связи с этим, исследования, направленные на снижение себестоимости изготовления абразивных материалов, являются на сегодняшний день актуальными.

С этой точки зрения одним из перспективным методов получения абразивов является *метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС, Self-propagating high temperature synthesis, SHS)*⁷ или синтеза горения, который позволяет получать различные материалы и изделия, в том числе и абразивы. В работах [3, 4] выполнена классификация СВС-абразивов по способам производства, рассмотрены методики исследования СВС-абразивов, представлены физико-механические свойства различных абразивных материалов, указаны области их применения. Благодаря технологии СВС получен довольно большой перечень новых абразивных материалов с высокими характеристиками: твердостью и прочностью зерна, абразивной способностью. К таким материалам относятся: карбид титана, сложный карбид, диборид титана, нитрид титана, розовый ко-

⁶ Шкала Мооса – шкала твердости, используемая геологами для определения относительной твердости минералов путем сравнения с твердостью десяти стандартных минералов. Была создана в 1811 г. немецким минерологом Фридрихом Моосом (F. Mohs). Самый твердый минерал, алмаз, имеет твердость 10. Он может поцарапать, или оставить отметку, на любом минерале с более низкой твердостью, включая корунд (9), топаз (8), кварц (7), ортоклаз (6), апатит (5), флюорит (4), кальцит (3), гипс (2) и тальк (1).

⁷ Химический процесс, протекающий с выделением тепла в автоволновом режиме типа горения и приводящий к образованию твердых продуктов.

рунд, карбид бора магнийтермический, композиты оксидные реакторные, керамика оксидная, СТИМ – синтетический твердый инструментальный материал, САПС – синтезированный абразивно-порошковый сплав на основе карбида титана и др.

Метод выращивания кристаллов из растворов-расплавов также является важнейшим направлением в области получения сверхтвердых материалов (алмаза и кубического нитрида бора). Специфика раствор-расплавной кристаллизации состоит в том, что равновесие между твердой и жидкой фазой на диаграмме состояния определяется не точкой, как в однокомпонентных составах, а линией. Так что интервал кристаллизации растягивается на десятки и сотни градусов, вследствие чего изменяется и термодинамика процессов. Большинство созданных технологий базируется на спонтанной кристаллизации, особенность которой заключается в том, что кристаллы растут не одновременно и с разными скоростями, вследствие чего они различаются как по размерам, так и огранкой. В работе [8] предложена технология, позволяющая получать термостабильные шлифпорошки различной прочности, состоящие из однородных по структуре и степени изометричности кристаллы. Авторы выделяют три этапа перспективной технологии: 1) Подбор компонентов исходной шихты, обеспечивающих синтез кубического нитрида бора при небольших пересыщениях вблизи линии равновесия, в среде с избытком азота возле растущего кристалла. В результате этого обеспечивается рост кристаллов, состоящих, как правило, из изометричных, блочной структуры монокристаллов и двойников. 2) Оптимизация температурного поля в реакционном объеме аппарата высокого давления. С помощью термопар определяли температуру в центре реакционного объема, а распределение температурного поля по всему объему – по результатам моделирования. 3) Специальная адгезионно-магнитная сортировка изготовленных порошков.

Инструментальные композиты получают *методом спекания* связки и зёрен кубического нитрида бора (КНБ), *гальваническим осаждением* связки на поверхность инструмента с размещением на ней зёрнами КНБ, *плазменным напылением* и пр. Главным направлением в современной технологии спекания порошковых материалов является использование высокоскоростного нагрева, который позволяет оптимизировать процесс спекания и получать материалы с высокой плотностью и мелкозернистой структурой. В связи с этим появился ряд неизотермических методов спекания. Среди них следует выделить метод спекания металлических материалов прямым пропусканием электрического тока и *с применением лазерного нагрева*. В работе [2] исследованы возможности применения лазерного излучения для изготовления инструментов на основе КНБ. Изучение влияния лазерного нагрева на свойства зёрен КНБ решалось прямым облучением, при котором зёрна шлифпорошка отбирались по 100 шт. в партии, размещались в ряд на графитовой подложке и подвергались воздействию непрерывного мощного CO₂ лазера с длиной волны 10,6 мкм. Анализ полученных результатов показывает, что в результате лазерного нагрева (вероятно в результате действия растягивающих напряжений [2]) на некоторых зёрнах (15...20%) наблюдается образование трещин, а часть зёрен (5...10%) приобретали белый цвет. Зёрна белого цвета имели показатель прочности в 5...6 раз ниже, чем у исходных шлифпорошков и которые хрупко разрушались на мелкие частицы практически сразу при контакте с индентором. По мере нарастания интенсивности лазерного нагревания наблюдается выгорание продуктов финишной очистки (Na, Cl, Ca, Fe, Cu) и протекает процесс интенсивного окисления зёрен КНБ с аллотропическим переходом кубической решетки в гексагональную. Зёрна КНБ имеют высокую поглотительную способность (75...80%) при действии лазерного излучения. Определены оптимальные энергетические параметры концентрированного лазерного облучения порошков КНБ которые не приводят к отрицательному термическому разрушению: плотность мощности – $(1,6...2,0) \times 10^3 \text{ Вт/см}^2$, время действия – 0,2...0,3 с.

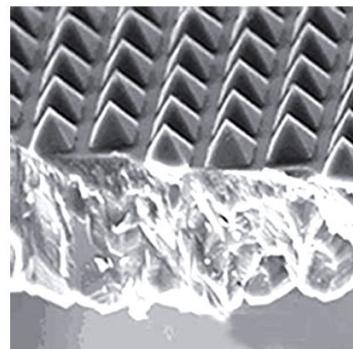


Рис. 1. Массив алмазных пирамид на подложке

Одной из перспективных технологий получения алмазов является *метод газофазного синтеза*, т.е. технология осаждения поликристаллических пленок алмаза из газовой фазы (*Chemical Vapor Deposition*) – CVD-алмазов [7]. CVD-процесс основан на разложе-

нии, тем или иным способом, углеводородов (как правило метана) в смеси с водородом и последующим осаждением алмаза на нагретую подложку. Рабочая смесь *диссоциирует*⁸ в вакуумной камере под действием электрического разряда, СВЧ-плазмы или лазерного излучения. Возможна также диссоциация на горячей нити или в пламени газовой горелки (в этом случае используется ацетилен-кислород). Продукты разложения (углеводородные радикалы и атомарный водород) *диффундируют*⁹ к подложке, нагретой до температуры 700...1000 °С, на которую и осаждается алмаз. Рост алмаза не является *эпитаксиальным*¹⁰, зарождение кристаллов происходит на заранее привнесенных на подложку центрах нуклеации¹¹, обычно наночастицах алмаза. В качестве подложек чаще всего используют кремний и молибден, но осаждать алмазные пленки можно и на другие материалы, стойкие к нагреву до 1000 °С в присутствии атомарного водорода.

CVD-технология получения отдельных алмазных пирамид на анизотропно травленной кремниевой подложке методом реплики является весьма заманчивой, в плане перспективного изготовления алмазного однослойного инструмента. Вполне возможно, что подобные технологии помогут в недалёком будущем изготавливать «идеальные» абразивные инструменты из сверхтвердых синтетических материалов, со строгим, заранее спланированным, расположением вершин, например, – пирамид, выполняющих функцию режущих зёрен (рис. 1). Кремниевая (или молибденовая) подложка, обладая достаточно высокой теплопроводностью, способна быстро отводить тепло из зоны резания. Однако широкому внедрению данных высоких технологий в сферу абразивной обработки мешает главный сдерживающий фактор: слишком малая скорость осаждения алмаза, что делает процесс изготовления, на данном этапе развития, нетехнологичным. На данный момент времени речь идет только о перспективах использования CVD-технологий в электронике.

Альтернативным методом получения синтетического алмаза является *детонационный синтез из взрывчатых веществ*. Данная технология позволяет получать ультрадисперсные алмазы (УДА), представляющие собой частицы, имеющие размеры от 2 до 20 нм. В газах, образующихся при детонации ряда взрывчатых веществ (например, смеси тротила и гексогена), содержится значительное количество свободного углерода, из которого в условиях высоких температуры и давлений, достигаемых при взрыве, формируется алмазная фаза углерода. Выход алмазного продукта составляет 4...10% от массы взрывчатого вещества [1]. Алмазные ультрадисперсные нанопорошки используют в качестве наполнителей, для полировальных паст и суспензий, при обработке металлических, керамических и других материалов [5].

Малые размеры получаемых частиц ограничивают область применения ультрадисперсных алмазов. Практический интерес для изготовления, например режущего инструмента, могут представлять технические алмазы с размерами частиц на 2...3 порядка больше УДА. Поэтому промышленное использование детонационных алмазов требует разработки технологии их укрупнения (компактирования). Синтезируемый при детонации алмазный порошок может быть переделан в макрочастицы также при помощи технологии взрыва [6].

Таким образом, для получения абразивов и сверхтвердых синтетических материалов с высокими режущими свойствами, а также инструментов на их основе, должны быть рассмотрены не только традиционные технологии производства, но и всесторонне проанализированы альтернативные методы. К таким методам можно отнести: самораспространяющийся высокотемпературный синтез, выращивание кристаллов из растворов-расплавов, спекание, гальваническое осаждение, плазменное напыление, газофазный синтез, детонационный синтез и др. Кроме того, для создания абразивов со стабильными эксплуатационными свойствами не нужно забывать и о возможностях комбинированных технологий, которые имеют широкий спектр применения.

⁸ *Диссоциация* (от лат. *dissociatio* – разделение, разъединение) – процесс, заключающийся в распаде молекул на несколько более простых частиц – молекул, атомов, радикалов или ионов.

⁹ *Диффундировать* – проникать, смешиваться путём диффузии.

¹⁰ *Эпитаксия* – это закономерное нарастание одного кристаллического материала на другой, т.е. ориентированный рост одного кристалла на поверхности другого (подложки).

¹¹ *Нуклеация* – первая по времени стадия фазового перехода, когда образуется основное число устойчиво растущих капель новой стабильной фазы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белякова Л.Д. Исследование химии поверхности ультрадисперсного алмаза методом газовой хроматографии / Л.Д. Белякова, О.Г. Ларионов, С.А. Паркаева и др. // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2008. – Т. 8. – Вып. 1. – С. 66–74.
2. Головкин Л.Ф. Влияние лазерного нагрева на прочность кубического нитрида бора при статическом нагружении / Л.Ф. Головкин, А.А. Гончарук, А.Д. Каглык // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2010. – №1/6. – С. 4–10.
3. Концепция развития СВС как области научно-технического прогресса / Под ред. А.Г. Мержанова. – Черно-головка: Территория, 2003. – 368 с.
4. Мержанов А.Г. СВС-абразивы: производство, свойства, применение / А.Г. Мержанов, И.П. Боровинская, В.К. Прокудина и др. // Наука – производству. – 1998. – № 8. – С. 4–12.
5. Новиков Н.В. Физико-химические свойства новых марок алмазных нанопорошков детонационного синтеза / Н.В. Новиков, Г.П. Богатырева, М.А. Маринич и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. Сборник научных трудов. – Киев: ИСМ им. В.Н. Бакуля. – 2009. – Вып. 12. – С. 305–311.
6. Новиков С.А. Искусственные алмазы, образующиеся при детонации взрывчатых веществ / Соросовский образовательный журнал. – 1999. – № 2. – С. 104–109.
7. Ральченко В. CVD-алмазы: применение в электронике / В. Ральченко, В. Конов // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2007. – № 4. – С. 58–67.
8. Соколов А.Н. Формирование функциональных свойств порошков кубического нитрида бора / А.Н. Соколов, Г.Д. Ильницкая, Г.Ф. Невструев, А.А. Будяк // Труды междунардн. научн. конф. «Актуальные проблемы физики твердого тела». – Минск 26–28 октября 2005 г. – Минск, 2005. – Т. 2. – С. 403–405.

Ю.М. ПРЕСНОВ, А.М. МИХАЙЛОВ

**ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ ВНЕДРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ ОБУЧЕНИЯ В ТЕХНИЧЕСКОМ ВУЗЕ**

Рассматриваются проблемы и вопросы технологизации обучения за счёт внедрения в учебный процесс информационных технологий создания электронных систем обучения и контроля знаний. Показано, что рациональная организация процедуры автоматизированного тестирования достигается при использовании трёхуровневой шкалы оценок и схемы последовательного анализа. Разработан критерий, позволяющий производить усечение последовательной процедуры при оптимальном числе ответов (модифицированный последовательный критерий).

Анализ публикаций, в частности [1...3], показал, что одним из направлений развития высшей технической школы на современном этапе является обеспечение доступа широких слоёв населения к образовательным программам, которые могут и должны реализовать технические вузы, путём развития дистанционных форм обучения техническим специальностям.

Доступность подобных технологий является для граждан вопросом обеспечения конкурентоспособности на рынке труда.

Обществу подобные технологии дают рычаг решения острых социальных проблем безработицы и повышения производительности, эффективности и качества труда.

Государство получает возможность управлять процессами обучения и контролировать результаты образовательной политики.

Традиционная методика организации процесса обучения полностью строится на деятельности преподавателя. Именно поэтому занятия почти всех типов, используемые в учебном процессе, сегодня не являются технологичными.

Важно, что электронное обучение позволяет повысить уровень технологизации обучения, а для любой технологии цель необходимо определять очень точно, а это создаёт предпосылки для использования объективных методов контроля качества усвоения конкретного учебного материала при текущем и итоговом контроле уровня знаний.

Высказываются мнения, что технология полного обучения, по-видимому, не будет разработана в ближайшее десятилетие.

Из занятий или элементов занятий к технологичным относятся:

1. Лабораторные и практические работы, проводимые учащимися самостоятельно с использованием разработок для каждого занятия, опубликованных в виде рекомендаций к данной лабораторной работе.