Сверхтвердые инструментальные материалы

Обзор по результатам выставки «Металлообработка -2024»

Маслов А.Р., д.т.н., профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана

Поликристаллические сверхтвердые материалы (СТМ), используемые в качестве инструментальных для лезвийного инструмента, являются плотными модификациями углерода (С) и нитрида бора (BN). Углерод и нитрид бора могут существовать в виде нескольких полиморфных модификаций, отличающихся друг от друга строением кристаллической решетки. Основными кристаллическими формами углерода являются графит и алмаз, аналогами этих форм у нитрида бора выступают графитоподобный нитрид бора и его плотные модификации: кубический (cBN) и вюрцтитный (wBN) нитрид бора. Синтезируются они при высоких давлениях и температурах в области термодинамической стабильности этих фаз [1 – 3].

Поликристаллы сверхтвердых материалов на основе синтетического алмаза (ПКА) и кубического нитрида бора (ПКНБ) изготовляются цельными и двухслойными в виде цилиндров диаметром до 101,6 мм. Наиболее часто используются поликристаллы диаметрами около 13,26 и 32 мм. Спекание двухслойных пластин осуществляется на подложке из твердых сплавов на основе карбида вольфрама [4].

Две подгруппы СТМ (ПКА и ПКНБ) практически имеют несвязанные друг с другом области применения, определяемые их физико-механическими свойствами и химическим составом. Твердость ПКА выше, чем твердость ПКНБ, а теплостойкость в 1,5… 2 раза ниже. ПКНБ практически инертен к черным металлам, а ПКА проявляет по отношению к ним значительную активность при высоких контактных температурах и давлениях, имеющих место в зоне резания. Поэтому режущие инструменты из ПКНБ применяют главным образом для обработки чугунов и сталей, а из ПКА – для обработки цветных металлов и сплавов, неметаллических материалов.

По сравнению с монокристаллическим алмазом в рабочем слое из ПКА на пластине-подложке обеспечивается высокая однородность по твердости и стойкости к истиранию во всех направлениях при больших показателях прочности. Существенные преимущества по прочности пластин и по удобству имеют двухслойные пластины с алмазным слоем на твердосплавной подложке, называемые также АТП – алмазно-твердосплавные пластины. Например, за рубежом такие пластины различных типоразмеров под фирменным названием Compax выпускает Diamond Innovations. Компания Element Six выпускает пластины Sindite с толщиной алмазного слоя от 0,3 до 2,5 мм и различной величиной алмазного зерна.

Поликристаллы алмаза, полученные химическим парофазным осаждением (CVD-diamond), представляют принципиально новый тип СТИМ на основе алмазов. По сравнению с поликристаллическими алмазами других типов, они характеризуются высокой частотой, твердостью и теплопроводностью, но меньшей прочностью.

Это толстые пленки, а по сути – пластины толщиной 0,3…2,0 мм (наиболее типичная толщина 0,5 мм), которые после выращивания отслаивают от подложки, разрезаются лазером и припаиваются к твердосплавным вставкам. При обработке высокоабразивных и твердых материалов имеют стойкость в несколько раз выше других PCD.

По данным компании Element Six Technologies (подразделение компании DeBeers Industrial Diamond Devision), выпускающих такие PCD под общим названием CVDite, они рекомендуются для непрерывного точения керамики, твердых сплавов, металломатричных композиций. Для обработки сталей не используются. В последние годы появились публикации о промышленном выращивании монокристаллических алмазов по технологии CVD.

По технологии CVD получают не только алмазный лезвийный инструмент, но и алмазные покрытия на твердом сплаве и некоторых керамических инструментальных материалах. Поскольку температура процесса составляет 600…1000°С, такие покрытия не могут быть нанесены на стальной инструмент. Толщина покрытий на инструменте, в том числе сложнопрофильном (сверла, фрезы, СМП), составляет 1…10 мкм. Области рационального использования алмазных покрытий аналогичны инструменту CVD-diamond.

Следует отличать алмазные покрытия от алмазоподобных (Diamond-Like Coating (DLC), так как последние – это покрытия аморфного типа и состоят из атомов углерода как с алмазными, так и с графитоподобными связями.

Покрытия, наносимые методами физического осаждения из газовой фазы (PVD) и химического осаждения из газовой фазы активированные плазмой (PACVD), имеют толщину 1…30 мкм (обычно около 5 мкм) и характеризуются высокой твердостью и рекордно низким коэффициентом трения.

Поскольку процесс нанесения таких покрытий проводится при температурах не выше 300°С, они используются также для повышения стойкости быстрорежущего инструмента. Наибольший эффект от алмазоподобных покрытий достигается при обработке медных, алюминиевых, титановых сплавов, неметаллических и высокоабразивных материалов.

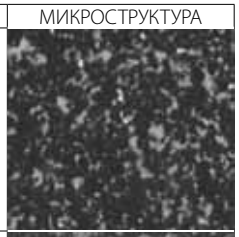
Согласно стандарту ISO 513 подразделение марок PCBN ведется по содержанию в материале кубического нитрида бора: с высоким (70…95%) содержанием BN (индекс *H*) и относительно небольшим количеством связки и с низким (40…70%) содержанием BN (индекс *L*).

Для низкосодержащих марок PCBN используется керамическая связка TiCN. Марки с высоким содержанием BN рекомендуются для высокоскоростной обработки чугуна всех типов, в том числе закаленных и отбеленных, а также точения жаропрочных никелевых сплавов.

PCBN с низким содержанием BN обладают большей прочностью и используются в основном для обработки закаленных сталей, в том числе при прерывистой обработке. Фирмой Sumitomo Electric также выпускаются пластины PCBN с керамическим покрытием (тип BNC), имеющие повышенную стойкость при высокоскоростной обработке сталей и обеспечивающие высокое качество обработанной поверхности [7].

Компания Element Six Technologies

1. Области применения и характеристики поликристаллических алмазов (PCD)

МАРКА	ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ	ХАРАКТЕРИСТИКИ	МИКРОСТРУКТУРА
CMX850	Идеально подходит для фрезерования и черновой обработки алюминиевых сплавов, где необходимо высокое сопротивление образованию стружки, а также для титана и композитных материалов.	Размер зерна меньше микрона. Благодаря высокой остроте кромки/удержанию края супермелкая структура CMX850 подходит для использования, когда требуется зеркальная полировка/шлифовка	
CTX002	Идеальна для профильных фрез и инструментов для нарезания резьбы, а также подходит для использования с подверженными износу деталями.	Средний размер зерна 2 мкм; для удобства использования усилена кобальтом. CTX002 идеальна для сложных инструментов, где требуется крайне трудоемкая обработка.	
CTB010	Эта марка идеальна для черновой и чистовой обработки, производимой одним инструментом. Рекомендуется для сплавов алюминия с низким и средним содержанием кремния.	Средний размер зерна 10 мкм; эта марка PCD своего рода рабочая лошадка, идеально подходящая для многих областей применения, где необходим баланс прочности и износостойкости.	
CTH025	Хорошо работает со сплавами алюминия с высоким содержанием кремния, композитными материалами с металлической матрицей (ММС), карбидами вольфрама и керамикой.	Средний размер зерна 25 мкм; эта марка обладает оптимальной износостойкостью в условиях абразивной обработки	
CTM302	Используется с ММС, сплавами алюминия с высоким содержанием кремния, высокопрочными марками чугуна и биметаллами. Обладает высокой абразивной стойкостью и хорошей термостойкостью.	Эта многофункциональная марка PCD с размером зерна от двух до 30 мкм отличается высокой износостойкостью, а также прочностью и качеством кромки.	

разрабатывает сверхтвердые инструментальные материалы на основе искусственных алмазов с высокими теплопроводностью и теплостойкостью [8].

К ним относятся поликристаллические алмазы (PCD), алмазы химического парофазного осаждения CVDite– PCD, монокристаллические алмазы. Другим направлением деятельности компании является создание марок из поликристаллического кубического нитрида бора (PCBN).

В табл. 1 приведены сведения о марках поликристаллических алмазов (PCD).

К преимуществам PCD компании Element Six Technologies относятся:

- Постоянный равномерный износ, отличная термостойкость и предельная износостойкость;
- Обеспечивается высокое качество детали на длительные производственные циклы;
- Минимизируются простои оборудования;
- Простота изготовления инструмента;
- Самый широкий выбор PCD для производства прецизионных инструментов.

В результате усовершенствования методов синтеза, а также благодаря развитию возможностей нового продукта получены марки CMX850 и CTM302, обладающими свойствами, которые способны удовлетворить любые требования, предъявляемые к эффективности инструментов. Марка CTM302 обеспечивает предельное сопротивление истиранию, а CMX850 – оптимальный баланс технологичности/обрабатываемости и производительности (рис. 1).

При выборе марок PCD нужно учитывать их четыре основных характеристики: а) сопротивление резанию; б) абразивная стойкость; в) обрабатываемость при электроэрозионной обработке (ЭЭО); г) шлифуемость (табл. 2).

Марки PCD компании Element Six обеспечивают идеальный баланс между поведением в эксплуатации и характеристиками в обработке, необходимый для удовлетворения условий резки или шлифовки.

В табл. 3 приведены сведения о марках алмазов химического парофазного осаждения (CVDite– PCD).

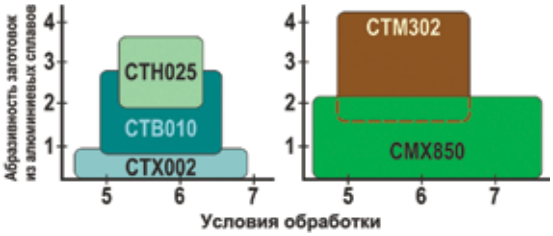
Преимущества алмазов CVDite– PCD:

- Более высокая износостойкость по сравнению с PCD марки CTB010;
- Отличная термостойкость и коэффициент теплопроводности;
- Благодаря отсутствию связующего высокая химическая инертность;
- Исключительная абразивная стойкость;
- Идеальны для использования в условиях высоких температур;
- Возможность получения «полированной» поверхности.

Характеристики алмазов CVDite – PCD в сравнении с PCD марки CTB010 приведены в табл. 4.

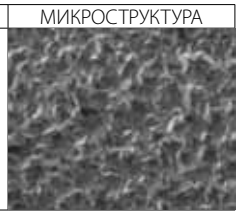
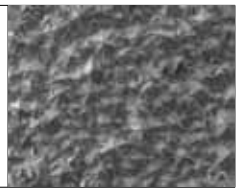
Как правило, алмазы CVDite–PCD компании Element Six Technologies рекомендуются для обработки цветных

Рис. 1. Назначение марок PCD для обработки заготовок из:



1 – деформируемых алюминиевых сплавов;
2 – сплавов алюминия с кремнием < 13% Si;
3 – сплавов алюминия с кремнием > 13% Si;
4 – композитов с магниевой матрицей. Условия обработки:
5 – чистовая;
6 – получистовая;
7 – черновая

3. Марки алмазов химического парофазного осаждения (CVDite– PCD)

МАРКА	ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ	ХАРАКТЕРИСТИКИ	МИКРОСТРУКТУРА
CDE PL	Обработка ламинированных половых покрытий и фиброцементных плит.	Эта электропроводная марка CVD используется для режущих инструментов, что позволяет потребителям применять в процессе обработки инструментов электроэрозионную механическую обработку (EDM) и электроэрозионное шлифование (EDG).	
CDM PL	Подходит для обработки упрочненных металлом композитных материалов (ММС), алюминиевых сплавов, стеклопластика и материалов на основе углеродного волокна.	Универсальная марка для механической обработки режущими инструментами	

4. Характеристики PCD

Марка	Характеристики эксплуатации		Характеристики при изготовлении		Размер зерна, мкм
	Сопротивление резанию	Абразивная износостойкость	Обрабатываемость при ЭЭО	Шлифуемость	
CMX 850					0,5 - 1,0
CTX 002					2
CTB 010					10
CEH 025					25
CTM 302					2 - 30

5. Области применения и характеристики монокристаллических алмазов

МАРКА	ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ	ХАРАКТЕРИСТИКИ	МИКРОСТРУКТУРА
Монокристаллы MCC	Обеспечивают исключительно высокое качество финишной супер прецизионной обработки.	Не имеют цвета. Обеспечивают исключительную износостойкость.	
MONODITE	В первую очередь используется для обработки направляющих супер прецизионного оборудования и для изготовления волок.	Бледно-желтого цвета. Обладают предсказуемыми свойствами, необходимыми для производства режущих инструментов.	

металлов, при которой необходимо минимизировать абразивное изнашивание. По сравнению с PCD этот материал обладает более высокими термостойкостью и износостойкостью (рис. 2).

Благодаря высокой стойкости при обработке материалов с абразивными включениями и низкому коэффициенту трения скольжения, диапазон CVDite–PCD также идеально подходит как для обработки с использованием СОТС, так и для «сухого» резания.

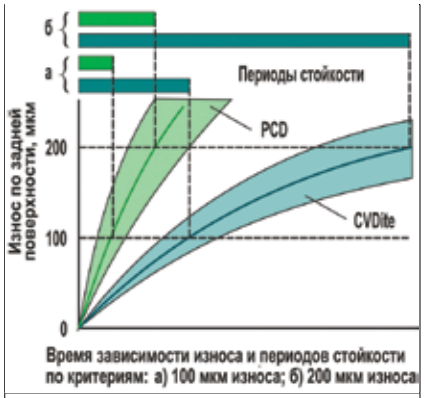


Рис. 2. Сравнение характеристик стойкости в зависимости от использования по критерию величины износа: а) 100 мкм; б) 200 мкм

Как видно из рис. 2, стойкость алмазов CVDite в 5 раз превышает стойкость алмазов в пределах износа по задней поверхности до 200 мкм.

Монокристаллические искусственные алмазы производятся с использованием патентованной технологии, процесса высокотемпературного синтеза с высоким давлением в условиях исключительной чистоты. Это позволяет получать исключительную износостойкость, отличное сопротивление резанию, высокий коэффициент теплопроводности в сочетании с низким тепловым расширением.

В табл. 5 приведены сведения о монокристаллических алмазах.

К преимуществам монокристаллов относятся:

- Беспрецедентное качество финишной обработки, недостижимое при использовании традиционных инструментальных сверхтвердых материалов.
- Получение шероховатости поверхности и точности формы в нанометровом диапазоне при радиусе режущей кромки порядка 10 нанометров.
- Облегчается производство режущих инструментов благодаря точности формы пластин в микрометровом диапазоне.

Области применения и характеристики марок поликристаллического кубического нитрида бора PCBN приведены в табл. 6.

К преимуществам перечисленных PCBN относятся:

- Исключительно твердый и термически стабильный материал.
- Обеспечивает исключительную устойчивость к деформации и износостойкость в условиях высоких температур.
- Представляет собой реальную, более экономически эффективную альтернативу традиционным процессам шлифования.
- Шесть марок PCBN удовлетворят требования самых разнообразных условий эксплуатации.

При выборе инструментального материала для прерывистого резания закаленных конструкционной, подшипниковой и инструментальной сталей (группы ISO H01–H20) предпочтительнее марка DCX650 со средним содержанием CBN.

Для непрерывного точения закаленной стали с преобладающим окислительным изнашиванием используют такие марки, как DCC500 и DCN450 с более низким содержанием CBN. На рис. 3 показаны области применения указанных марок PCBN.

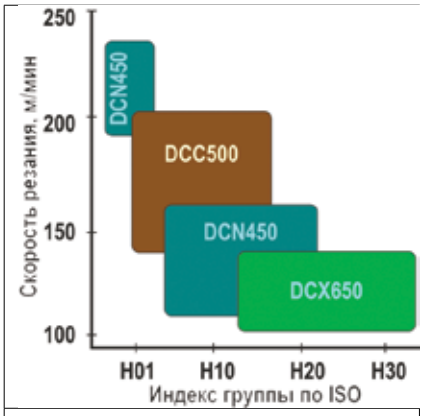


Рис. 3. Области применения марок PCBN.

В табл. 7 даны сведения о применяемости марок с высоким содержанием PCBN для обработки заготовок из различных материалов из трех основных групп ISO.

Выводы

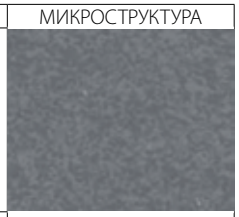
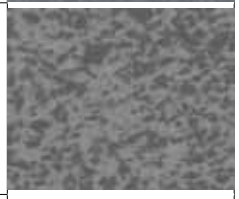
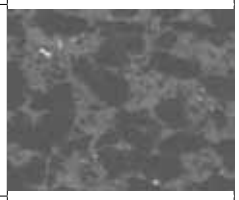
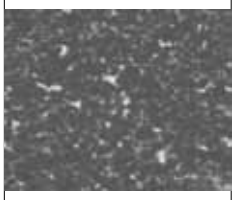
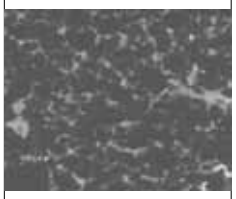
1. Как следует из материалов компании Element Six Technologies алмазы химического парофазного осаждения рекомендуются для обработки композиционных материалов с использованием цветных металлов и углепластиков с высоким содержанием Si, когда необходима высокое сопротивление абразивному изнашиванию. По сравнению с обычными PCD этот материал обладает более высокими термостойкостью и износостойкостью.

2. Поскольку заготовки из порошковых металлов производят с помощью аддитивных технологий или методами точного литья, то они очень близки к конечной форме детали. Поэтому, при их обработке редко требуются режимы тяжелого прерывистого резания или снятие больших припусков. Однако, при резании таких заготовок требуются повышенные прочность и износостойкость инструментального материала.

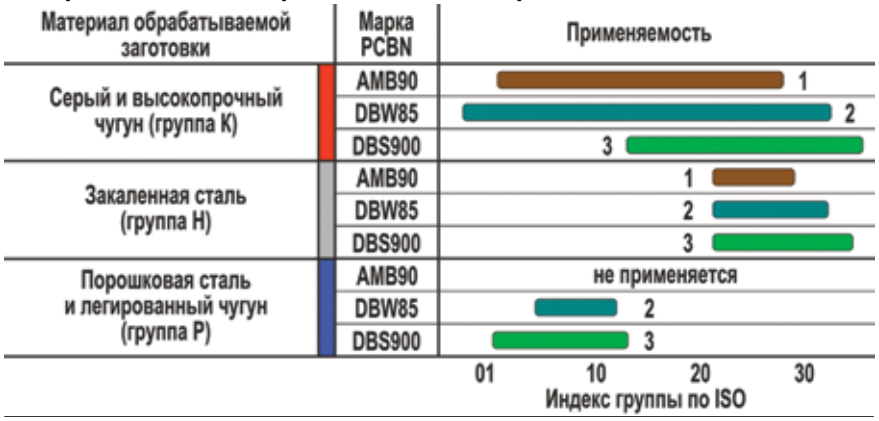
Литература

1. Высокоэффективные технологии обработки: Монография / С.Н. Григорьев, Волосова М.А., Маслов А.Р. и др. Под общей ред. С.Н. Григорьева. – М.: Машиностроение, 2014.
2. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 1 / под ред. А.А. Кутина и А.С. Васильева // М.: Машиностроение, 2018.
3. Инструмент для высокопроизводительного и экологически чи-

6. Области применения и характеристики PCBN

МАРКА	ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ	ХАРАКТЕРИСТИКИ	МИКРОСТРУКТУРА
DCN450	Для прерывистого точения и чистового фрезерования твердых материалов, а также для высокоскоростного непрерывного точения; обладает высокой стойкостью к луночному износу. Обеспечивает шероховатость поверхности RZ <1 мкм.	Содержание CBN ~ 45%; размер зерна CBN ниже микрометра; связующее – карбонитрид титана. Благодаря одной из самых тонких структур из всех коммерческих марок	
DCC500	Для непрерывной и мало прерывистой резки большинства марок автомобильной стали; благодаря отличной абразивной стойкости представляет идеальный выбор для инструментальной стали холодной обработки и некоторых сплавов для клапанных седел	Содержание CBN ~ 50%; средний размер зерна 1,5 мкм; связующее преимущественно карбид титана.	
DCX650	Рекомендуется для токарной обработки средней или частой прерывистости всех распространенных марок закаленной стали. Баланс прочности обеспечивает хорошую стойкость к луночному износу и износу по задней поверхности.	Содержание CBN ~ 65%; запатентованное мультимодальное распределение зерна со средним размером 3 мкм. В качестве связующей системы используют карбонитрид титана.	
DBW85	Благодаря исключительной прочности и абразивной стойкости широко используется, например в тонком растачивании серого чугуна и обработке клапанных седел. Обладает исключительной стойкостью к стружкообразованию, что делает его идеальным для сильно прерывистой резки всех твердых и абразивных материалов заготовок.	Содержание CBN ~ 85%; средний размер зерна 2 мкм. Связующее из смеси алюминия/вольфрама/кобальта/бора обеспечивает суперстойкость.	
DBS900	Идеальный выбор для использования в тех случаях, когда необходим более длительный срок службы. Отлично работает в прерывистой обработке серого и высокопрочного чугуна, закаленной стали, легированных металлокерамических сплавов и порошковых металлов, а также подходит большинству областей применения с высоким содержанием CBN.	Содержание CBN ~ 90%; средний размер зерна 4 мкм. Разработан с абсолютно новой системой связующего, позволяющей обеспечить предельную абразивную стойкость и низкое сопротивление резанию	
AMB90 (Твердый PCBN)	Общая токарная и фрезерная обработка серого и высокопрочного чугуна, тяжелая токарная обработка закаленной стали. Твердый формат обеспечивает более экономичное решение инструмента (используются кромки на обеих поверхностях вкладыша/диска).	Содержание CBN ~ 90%; средний размер зерна 10 мкм. Фаза связующего включает нитриды и бориды алюминия.	

7. Применяемость марок с высоким содержанием PCBN



стого резания / В.Н. Андреев, Г.В. Боровский, В.Г. Боровский, С.Н. Григорьев. М.: Машиностроение, 2010.

4. Боровский Г.В., Григорьев С.Н., Маслов А.Р. Справочник инструментальщика / под общей ред. А.Р. Маслова. 2-е изд. М.: Машиностроение, 2007.

5. Жедь В.П., Боровский Г.В., Молодык С.У. Инструмент из сверхтвердых материалов. М.: Машиностроение, 1987.

6. Верещака А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями. М.: Машиностроение, 1993.

7. Григорьев С.Н., Волосова М.А. Нанесение покрытий и поверхностная модификация инструмента. Учебное пособие. – М.: ИЦ МГТУ «Станкин», Янус-К, 2007.

8. Каталоги компании Element Six Technologies, 2023 г. // www.office.china@e6.com (дата обращения 08.08.2024).

ФАКТОРЫ И ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

(Обзор отечественных и международных стандартов)

Маслов А.Р., д.т.н.,
профессор МГТУ имени Н.Э. Баумана

По мере роста требований к технике создаются все более твердые и прочные материалы. Эти параметры материала, подвергаемого обработке резанием, влияют на протекание процесса взаимодействия режущего инструмента с обрабатываемой заготовкой в сторону увеличения сопротивления, которое оказывает режущему инструменту такой материал. обрабатывающему его

Это вызывает необходимость включения в состав режимных факторов тех параметров механических свойств обрабатываемых материалов, которые качественно и количественно влияют на уровень практических режимов обработки режущими инструментами [1].

1. Обозначения факторов и параметров процессов резания

В стандартах и современной литературе все чаще используются нижеприведенные обозначения факторов и параметров процессов резания. Для упрощения расчета величины потребляемой мощности для каждой группы обрабатываемых материалов приводится коэффициент kc 1.1, который представляет собой удельную силу резания при срезании стружки со средней толщиной, равной 1 мм. При других толщинах стружки используется показатель степени mc для вычисления удельной силы резания kc...

Всю статью вы можете прочитать на сайте редакции http://ito-news.ru/archive/2024/2404_maslow_ar_art_03.pdf или по ссылке в QR-кода

В статье разделы "Обозначение основных групп обрабатываемых материалов"; "Унификация обозначений размерных параметров инструмента"; "Система классификации инструментальных материалов"...