

В.А. Зайцев, гл. инж.

РАУП Гомельское ПО “Кристалл”

А.М. Кузей, д.т.н.

Физико-технический институт НАН Беларуси

Э.А. Марцинкевич, зав. центр. лаб.

РАУП Гомельское ПО “Кристалл”

ОБРАБОТКА ТОНКИХ КРОМОК ЛЕЗВИЙНОГО ИНСТРУМЕНТА

Изучен механизм износа алмаза при шлифовании тонких кромок лезвийного инструмента. Показано, что разрушение кристалла происходит по абразивному и адгезионному механизмам. Величина продуктов абразивного износа не превышает 10–40 нм.

Введение. Свойства природного алмаза определили его двойственное назначение. С одной стороны, алмаз является военно-стратегическим сырьем, определяя развитие атомной энергетики, электроники, машиностроения, с другой, – является мерой богатства, используется как сокровище. Второе назначение до сих пор превалирует над первым, диктуя условия использования, обработки и применения алмаза, несмотря на производство искусственных кристаллов алмаза. Высокая стоимость алмазов обусловила инертность технологий его обработки, консерватизм в использовании инструмента и широкий спектр мнений о механизмах его разрушения, контактного взаимодействия с инструментом [1, 2]. Отличительной чертой обработки кристаллов алмаза является большая (или равная) твердость обрабатываемого кристалла по сравнению с инструментом – единичным алмазным зерном.

Основная часть. Принято считать, что в зависимости от условий шлифования износ кристалла алмаза происходит по адгезионному, абразивному, диффузионному механизму, либо их совокупности [3, 4]. В общем случае, при алмазоабразивном шлифовании износ происходит вследствие массового взаимодействия единичных инструментов – алмазных зерен с обрабатываемой поверхностью. Алмазное зерно вдавливаются в обрабатываемую поверхность и, разрушаясь, перемещается в ней, образуя сужающуюся борозду (царапину). Одновременно в поверхностном слое из-за релаксации напряжений сжатия-растяжения образуется сеть микротрещин. Последующее разрушение кристалла алмаза происходит при

внедрении зерна в дефектный слой и хрупкого разрушения локальных участков [5–7]. Изменения механизма износа наблюдается при изменении условий взаимодействия обрабатываемого кристалла с поверхностью алмазобразивного инструмента. Трение кристалла о поверхность композиционного материала металл–алмаз ведет к разогреву кристалла до 1075–1275 К, снижению его твердости на 40–50 %. Несмотря на разогрев только тонкого поверхностного слоя, снижение твердости обеспечивает благоприятные условия для формирования поверхности с шероховатостью на наноразмерном уровне [7, 8].

Достаточно высокое качество обрабатываемой поверхности обусловили широкое использование инструмента на металлической связке для огранки алмаза в бриллиант. Эти типы инструмента (чугунный диск, шаржированный алмазным порошком; стальной диск с алмазо-полимерным покрытием; стальной диск с гальваническим алмазосодержащим никелевым покрытием) используются и для изготовления алмазного инструмента – алмазных резцов, игл и т.д. [9, 10]. Ужесточение требований к качеству, производительности обработки алмаза требует использования специализированного инструмента, адаптируемого к условиям обработки.

Эффективность (производительность, качество) обработки инструментом определяется концентрацией алмазного порошка, его распределением в поверхностном слое [9, 10]. Получение алмазосодержащего слоя (покрытия) с концентрацией алмазного порошка 25–50 об. % методом порошковой металлургии, гальваностегии не представляет сложностей при величине алмазных зерен 40–50 мкм и более. При снижении размеров алмазных зерен до 7–10 мкм и ниже получение алмазосодержащих материалов представляет более сложную задачу. Увеличение объемного содержания микрочастиц в электролите дестабилизирует процесс электролиза, который прекращается через 15–20 минут [9, 10]. При этом формируется рыхлое, пористое покрытие, содержащее гидроксиды никеля (железа) с низкими прочностными и эксплуатационными характеристиками. Концентрация алмазных зерен фракций 10/7 и менее в гальванических покрытиях не превышает 15–20 об. %; в полимерных – 10–15 %; в шаржированном – 5–10 об. % [9].

Повышение концентрации и равномерности распределения алмазных зерен в алмазосодержащих композиционных материалах может быть достигнуто изменением структуры матрицы (связки).

Объектами исследования являлись композиционные материалы системы Ni–алмаз, полученные гальваностегией и порошковой

металлургий. Композиційний матеріал (Ni-B)–алмаз отримували осаженням на сталеву підложку з електроліта, що містить сернокислий нікель (250–350 г/л), борну кислоту (25–30 г/л) і гидроборатний аніон (0,1–10 г/л). Композиційний матеріал Ni–алмаз–полімер отримували гарячим пресуванням шихти нікелевих порошків, алмаза і полімерного зв'язуючого (фенолформальдегідної смоли) при 445–455 К. Шліфування кристалів алмаза проводили при швидкості обертання 4000 об./мін. диска форми 6А2, діаметром 300 мм, тисненні 2,5–5 МПа.

На рис. 1 представлена структура композиційного матеріалу Ni-B–алмаз.

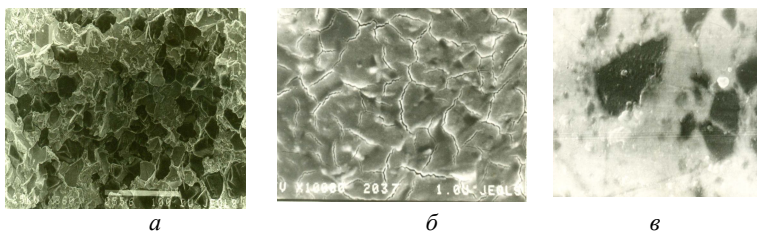


Рис. 1. Мікроструктура композиційного матеріалу Ni-20 ат. % В-алмаз: а – излом; б – после укатки (пластической деформации); в – после шлифования 20 мин.

Состав композиційного матеріалу нікель (бор)–алмаз визначається вмістом боросодержачого аніона в електроліті, температурою і катодною густиною струму. Основним фактором, що визначає вміст бору в покритті, є концентрація боросодержачого компонента. З ростом останнього, вміст бору в покритті досягає 27–28 ат. %. Введення бору в нікелеву основу змінює структуру покриття і розмір кристалітів нікеля до 0,3–1 мкм [10]. Зменшення розмірів кристалітів нікеля (сплав нікель–бор) забезпечує закріплення алмазних зерен ростучими кристалітами. Алмазні зерна захоплюються в ростучі шари, а не виталкуються з нього (рис. 1, а). Концентрація алмазних зерен в композиційному матеріалі (Ni-B)–алмаз залежить від концентрації бору в сплаві (табл. 1).

Таблиця 1

Влияние концентрации бора в электролите
на содержание алмазного порошка в покрытии

Концентрация алмазного порошка, об. %, в покрытии	Концентрация бора, ат. %						
	0	2	5	8	14	19	23
10/7	14	23	26	33	33	34	36
14/10	25	33	38	38	40	43	47

Концентрация алмазного порошка фракции 14/10 в композиционном материале достигает 33–40 об. % при концентрации бора 5–14 ат. %. Увеличение содержания алмазного порошка в композиционном материале сопровождается увеличением производительности шлифования природного и синтетического алмаза (табл. 2).

Таблица 2

Влияние состава покрытия на производительность шлифования алмаза (размерно-весовая группа 0,2–0,3 карат)

Вид обработки покрытия	Производительность шлифования, карат/ч, при концентрации бора в покрытии, ат. %						
	0	2	4	9	12	18	25
Укатка балласом 5 мин	0,3	0,32	0,35	0,46	0,60	0,67	0,82

Изменение морфологии поверхности алмазосодержащего композиционного материала показывает, что после его укатки балласом основная часть зерен находится в никелевой матрице, и лишь часть зерен выступает над матрицей (рис. 1, б). После 20 мин. шлифования часть алмазных зерен приобрела плоскую форму, что свидетельствует об их износе (рис. 1, в). Однако в интервале времени обработки 5–30 мин. скорость шлифования не меняется и составляет 0,34–0,35 карат/час. Наряду с плоскими вершинами зерен из матрицы выступают и меньшие по размеру зерна с острыми вершинами. На плоских вершинах алмазных зерен присутствует слабо выраженный рельеф в форме трещин, вырывов, борозд. В матрице наряду с алмазными зернами присутствуют и их обломки меньших размеров (0,1–1 мкм). Эти алмазные частицы представляют собой осколки разрушившихся алмазных зерен. Продукты абразивного износа поверхности кристалла не превышают 10–40 нм [8].

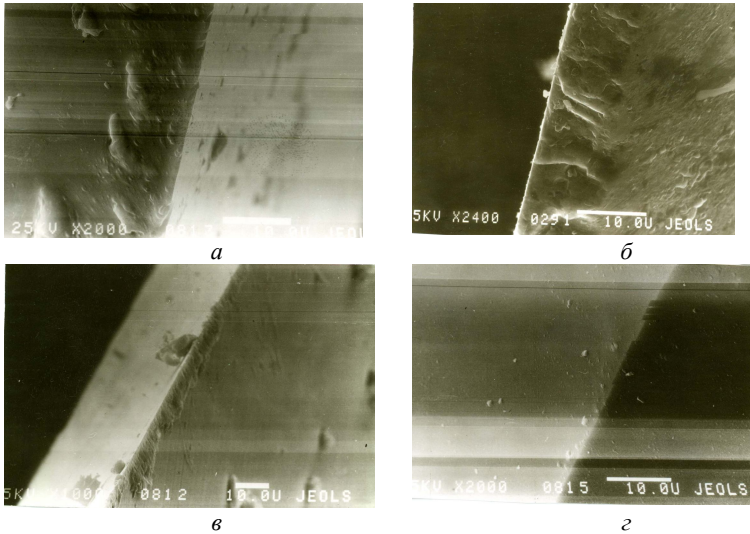


Рис. 2. Морфология поверхности кромок алмазных лезвий:

- а* – шлифование композиционного материала Ni-B–алмаз (14–10 мкм), давление 4 МПа; *б* – шлифование композиционного материала Ni-B–алмаз (7/10 мкм), давление 2 МПа; *в* – шлифование композиционного материала Ni–полимер–алмаз (7/10 мкм), давление 4 МПа; *г* – то же, давление 2 МПа

Выступание алмазных зерен над никелевой матрицей по данным профилограмм не превышают 0,1–0,2 мкм, т.е. вершины алмазных зерен взаимодействуют с обрабатываемой поверхностью совместно с матрицей. Морфология поверхности кристалла, а именно присутствие на ней материала матрицы и внедрившихся в нее осколков алмазных зерен, показывает, что основными видами износа являются абразивный и адгезионный (рис. 2, *а*). Существование на поверхности кристалла участков с внедренными обломками алмазных зерен указывает также и на одну из причин разрушения кромок (200–400 мкм) тонких лезвий (рис. 2, *б*). В процессе износа поверхности кристалла алмаза участвуют как алмазные зерна, так и матрица (связка алмазабразивного инструмента). Контактное взаимодействие матрицы с поверхностью кристалла приводит к повышению его температуры, затем переносу и одновременному износу слоя матрицы (температура плавления сплава никель–бор 1150 К). В этих условиях вершины алмазных зерен внедряются в поверхность кристалла, разрушая его, и одновременно формируют дефектную зону из сети микротрещин. Дефектная зона образуется в результате сжатия – растяжения кристалла на участках внедрения вершин зерен [1, 4].

Толщина дефектной зоны достигает 1–3 мкм при величине алмазных зерен

14–10 мкм. Повышение температуры поверхности кристалла, перенос материала матрицы и последующее образование сети микротрещин (дефектной зоны) является основной причиной скола кромок лезвий с углами 20–30° (рис. 2). На участках скола фиксируются микротрещины, осколки внедрившихся в кристалл алмазных зерен (рис. 2, б). Бугристая поверхность кристалла указывает на адгезионный характер его износа [3]. Снижение размеров алмазных зерен до 7–10 мкм уменьшает число сколов кромки лезвия (рис. 2, в, г). Аналогичное влияние оказывает снижение давления шлифования с 5–3 МПа до 2,5–1,0 МПа.

Закрепление в матрице алмазных зерен величиной от 0–1 до 7–10 мкм при их концентрации 25–30 об. % наиболее эффективно обеспечивают процессы порошковой металлургии. Формирование многоуровневой структуры алмазосодержащего композиционного материала, используя полимерное связующее, позволяет изготавливать алмазообразивный инструмент для обработки сверхтвердых материалов.

Таблица 3

Влияние состава матрицы на прочностные и эксплуатационные характеристики композиционного материала

№ п/п	Состав композиционного материала, об. %				Твердость, HRB	Разрушающее напряжение при сжатии, МПа	Производительность шлифования карат/час
	связующее	Ni-фракция - 100 мкм	Ni-B фракция - 5 мкм	Алмаз АСН 10/7			
1	30	35	10	25	75	380	0,63
2	30	35	5	30	80	450	0,71
3	25	45	5	25	95	470	0,76
4	25	40	5	30	90	490	0,82

Ультрадисперсные частицы никеля упрочняют связующее. Связующее, наполненное ультрадисперсными частицами никеля (фракция – 5 мкм), выполняет функцию носителя алмазных зерен. Шлифование кромок алмазных лезвий алмазосодержащим композиционным материалом позволяет избежать сколов на кромках лезвий. Сколы на кромках лезвий образуются при давлениях

шлифования 4,0–5,0 МПа, т.е. при более высоких давлениях, чем в случае обработки лезвия композиционным материалом Ni-B–алмаз (рис. 2, в). Причинами этого является использование более дисперсных алмазных порошков, более высоких концентраций алмазного порошка в матрице, а также присутствие полимера. Полимер подавляет перенос и налипание толстых слоев (~ 1–3 мкм) матричного материала на обрабатываемую поверхность и обеспечивает демпфирование алмазных зерен. Выравнивание давлений на зерна формирует более однородный рельеф, снижает толщину дефектной зоны, что позволяет формировать кромку лезвия толщиной 50–80 нм.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Семко М.Ф., Грабченко А.И., Ходоревский М.Г. Алмазное шлифование синтетических сверхтвердых материалов. – Харьков: Вища школа, 1978. – 232 с.
2. Бочаров А.М., Климович А.Ф., Старовойтов А.С., Снежков В.В. Изнашивание микрокристаллов алмаза. – Минск: Беларуская навука, 1996. – 144 с.
3. Михайлов М.И., Щерба В.Я., Прушак В.Я. Износостойкость ограниченных дисков. – Гомель: Инфотрибо, 1996. – 159 с.
4. Семенова Тянь-Шаньская А.С. Исследование сопротивления алмаза износу при шлифовании // Новые направления развития алмазной обработки: Труды ВНИИ Алмаза. – М., 1981. – С. 117–122.
5. Новиков Н.В., Майстремко А.Л., Кулаковский В.Н. Сопротивление разрушению сверхтвердых композиционных материалов. – Киев: Наукова думка, 1993. – 220 с.
6. Антекман А.А., Демидовка В.П. Теоретическая модель износа алмазного инструмента на металлической связке при обработке кристаллов природного алмаза // Состояние и перспективы развития бриллиантового производства. – 1982–1985 гг. – М., 1981. – С. 52–55.
7. Федотов А.И., Мальшев А.И., Козлов В.Н. Физические процессы при обработке алмаза / Физико-химические явления при обработке материалов. – Тбилиси, Миниераба, 1971. – С. 80–86.
8. Мартыненко Г.П., Жежерин В.П., Бушмелев А.С. Некоторые особенности полирования плоских поверхностей природного

- алмаза // Алмазы и сверхтвердые материалы. НИИ МАШ. – М., 1979. – Вып. 7. – С. 12–13.
9. *Абрамов В.Н., Знаменский Г.Н., Циссарь Н.А.* Эффективность применения нового инструмента для обработки сверхтвердых материалов // Порошковая металлургия. – 1997. – № 7/8. – С. 103–107.
10. *Шипилло В.Б., Звонарев Е.В., Кузей А.М.* Получение, свойства и применение порошков алмаза и кубического нитрида бора. – Минск: Беларуская навука, 2003. – 335 с.

ЗАЙЦЕВ Валентин Алексеевич – главный инженер Гомельского ПО “Кристалл”.

Научные интересы:

– обработка сверхтвердых материалов.

КУЗЕЙ Анатолий Михайлович – доктор технических наук, заведующий лабораторией физики поверхностных взаимодействий Физико-технического института Национальной академии наук Беларуси.

Научные интересы:

– межфазное взаимодействие в гетерогенных системах.

МАРЦИНКЕВИЧ Эдуард Адамович – заведующий центральной лабораторией Гомельского ПО “Кристалл”.

Научные интересы:

– технология алмазной обработки.

Подано 21.09.2007