

УДК 621.923

С. А. Астапчик, академик НАН Беларуси; **А. М. Кузей**, докт. техн. наук;
В. А. Зайцев, инж.

ГНУ «ФТИ НАН Беларуси», г. Минск, Беларусь

ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СИСТЕМЕ АЛМАЗ–АЛМАЗ ПРИ ОГРАНКЕ АЛМАЗА В БРИЛЛИАНТ

The study has been made of the surface morphology of a diamond tool in the process of diamond faceting. It is established that the temperature increases up to 1275 K to 1350 K in a contact zone. The diamond wearing is shown to be associated with adhesion interaction between crystal surface and nickel-boron alloy as well as with abrasive action of diamond grains.

Свойства природного алмаза определили его двойственную сущность. С одной стороны физические, химические, механические характеристики сделали его важнейшим стратегическим сырьем, а с другой стороны эти свойства, наряду с его редкостью, сделали его драгоценностью и мерой богатства. Последнее, в основном, определяет его использование как драгоценного камня вследствие высокой технологии обработки. Высокая стоимость алмаза обуславливает инертность технологий обработки и одновременно требует высокой эффективности обработки и качества бриллианта. Для обработки кристалла природного алмаза в бриллиант круглой формы в технологическом процессе, как правило, используется три типа инструмента: распиловочный диск, шлифовальный диск, ограночный диск. Собственно операция огранки представляет собой плоское шлифование граней, которое может осуществляться на чугунном ограночном диске (форма 6А2, 300×50); чугунном (стальном) диске, шаржированном алмазным микропорошком; на стальных дисках с алмазным микропорошком, закрепленным слоем полимера, металла (гальваническое покрытие либо объемное закрепление частицами металла) [1, 2]. При прочих равных условиях огранки производительность шлифования определяется структурой поверхностного (рабочего) слоя и концентрацией в нем алмазного микропорошка [1–3]. Производительность шлифования на чугунном диске в 20 раз ниже, чем на диске, шаржированном алмазным порошком, а полимерное покрытие обеспечивает большую производительность, чем гальваническое [3, 4].

Формирование полимерного алмазосодержащего покрытия позволяет достичь большей концентрации алмазного порошка на поверхности диска, чем в случае электрохимического покрытия (ЭХП). Рост концентрации алмазного микропорошка в ЭХП ограничен величиной глобул (зерен) осаждаемого металла, так как внедрение алмазного зерна в покрытие происходит вследствие защемления между растущими глобулами [4, 5]. Чем меньше размеры глобул, тем больше алмазных зерен закрепляется в растущем покрытии, а не выталкивается из него [5]. Снижение размеров глобул может быть обеспечено технологическими параметрами электрохимического процесса, либо легированием основного металла и осаждением сплава с иными свойствами, чем основной металл [4, 5]. Объектом исследования являлось ЭХП ограночного диска формы 6А2 (300×50×28) на различных стадиях изготовления и эксплуатации. Алмазосодержащие ЭХП из сплава никель – 6 % ат. бора осаждали из сульфатного электролита никелирования, содержащего боратный анион $BnHn-2$ и алмазный микропорошок фракции 10/7 (4 г/л).

После нанесения покрытия диск укатывали балласом при давлении 2,5–5 МПа и скорости вращения диска 3000 об/мин, а затем – кристаллом алмаза. Для полировки граней бриллианта ЭХП шаржировали алмазным микропорошком фракции 3/2. Структуру покрытий выявляли травлением в растворе на основе пиррофосфорной, серной (15 % (по массе)), азотной (15 % (по массе)) кислот при 380 К.

Формирование алмазосодержащего ЭХП никель – бор сопровождается образованием дендритов из несколько сросшихся алмазных зерен (рис. 1, а). Размер глобул сплава никель – бор значительно меньше, чем в никелевом ЭХП (3–5 мкм) и составляет 0,1–0,3 мкм (рис. 1, б).

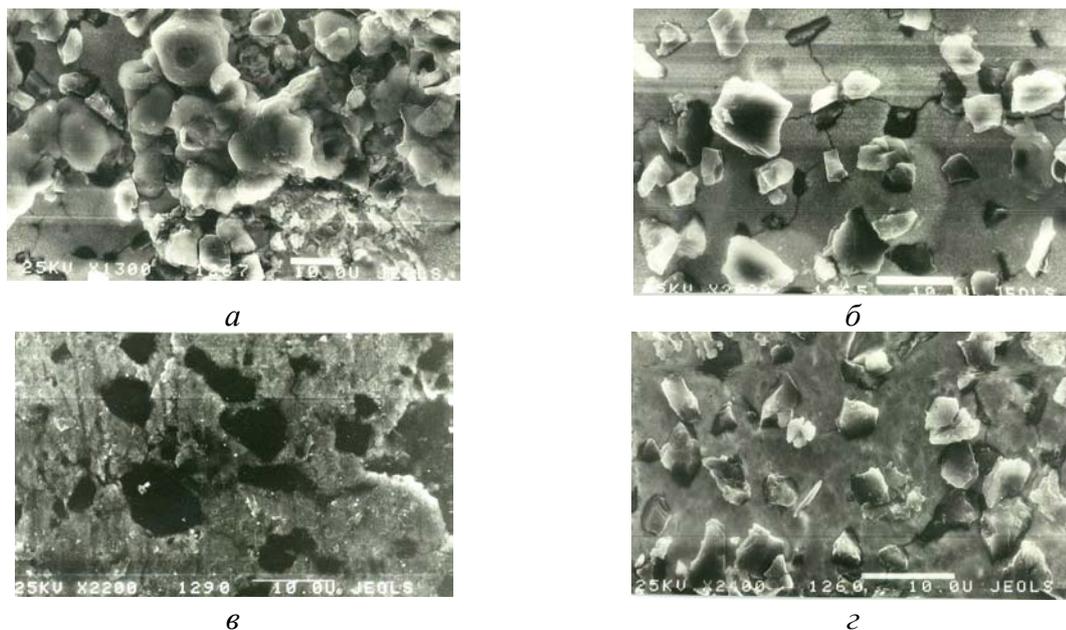


Рис. 1. Морфология поверхности ЭХП: а – исходная; б – травление 5 сек; в – укатка 20 мин; г – укатка и травление 3 с.

Образующаяся ЭХП имеет развитый микрорельеф на поверхности, а твердость покрытия достигает 7200 МПа (рис. 2, а). Укатка ЭХП балласом сглаживает микрорельеф на поверхности и приводит к образованию площадок износа на алмазных зернах (рис. 1, в, 2, б). Дендриты, формирующие микрорельеф поверхности разрушаются, алмазные зерна вдавливаются в металлическую матрицу (рис. 1, г).

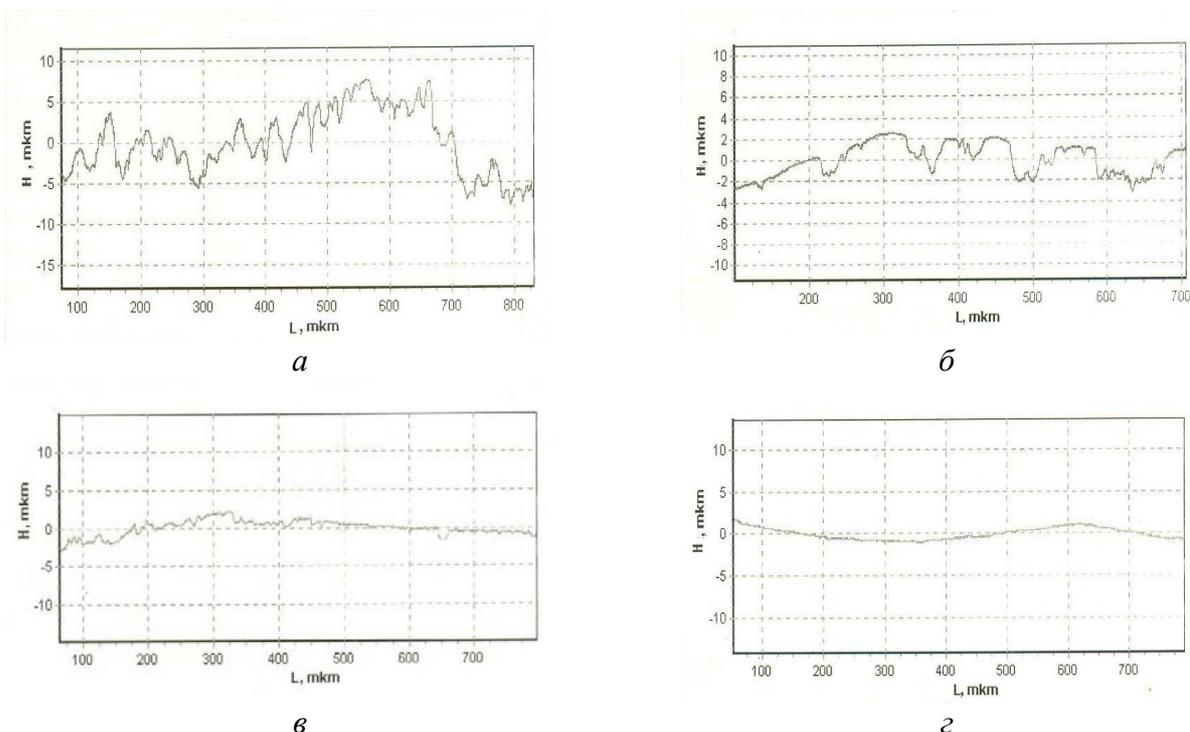


Рис. 2. Микрорельеф ЭХП: а – исходный; б – после укатки; в – после шаржирования; г – после шлифования 60 мин.

Последующая укатка ЭХП кристаллом алмаза и шаржирование алмазным микропорошком приводит к образованию на поверхности ЭХП тонкого слоя, состоящего из микропорошка, осколков алмазных зерен (0,5–3 мкм) и частиц сплава никель – бор (рис. 3, а).

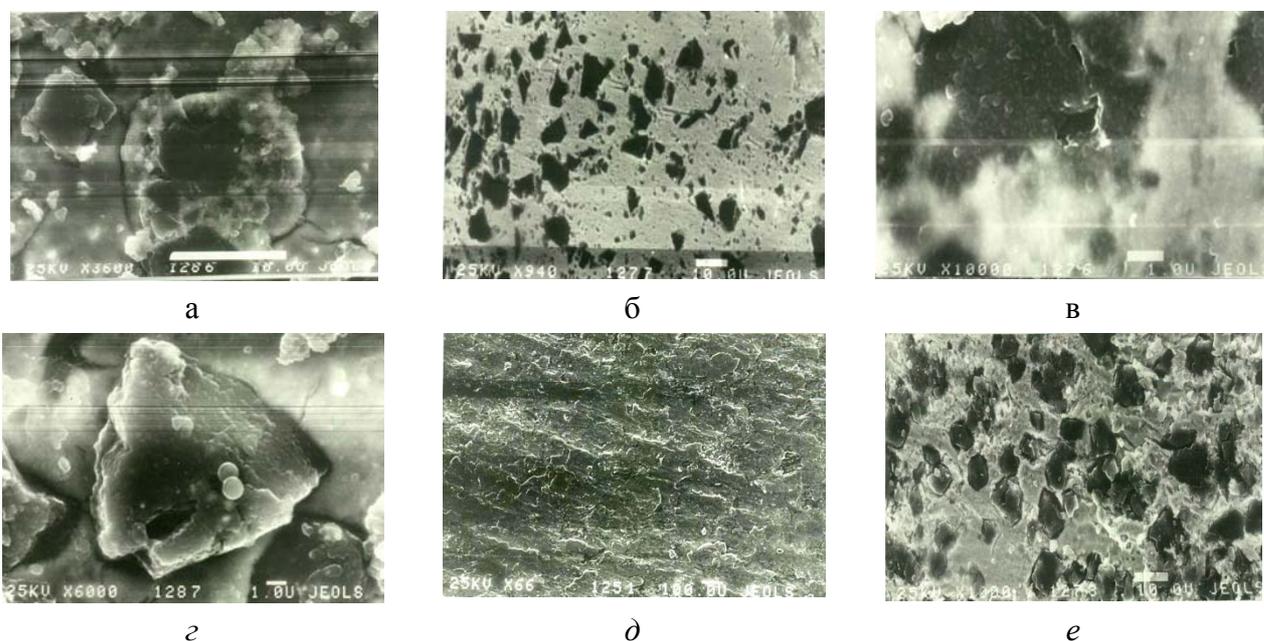


Рис. 3. Морфология поверхностей износа ЭХП: после шаржирования, травление 3 с (а); после шлифования в течение 30 мин (б); после шлифования (30 мин), травление 3 с (в); после шлифования 100 мин (д); после шлифования (100 мин), травление 3 с (е).

Этот слой расположен на одном уровне с площадками износа на поверхности алмазных зерен и обеспечивает полирование граней. После прекращения полировки на этом слое (дорожке) осуществляют шлифование граней, увеличивая давление до 2,5–5,5 МПа на обра-

батываемый кристалл. В процессе шлифования на поверхности ЭХП формируется поверхностная структура, характеризующаяся развитым микрорельефом на поверхности площадок износа и крайне незначительным (0,01–0,05 мкм) выступанием алмазных зерен из сплава никель – бор. На площадках износа алмазных зерен присутствует пленка сплава никель – бор (рис. 3, в). В прослойках сплава никель – бор между зернами расположены осколки алмазных зерен (0,1–0,3 мкм), и округлые частицы сплава никель – бор. Такие же частицы выявляются на поверхности площадок износа (рис. 3, б, в). Увеличение интенсивности шлифования (повышение давления на грань заготовки бриллианта) постепенно (40–100 мин) проводит к формированию на поверхности ЭХП дорожек износа, среди которых расположены отдельные алмазные зерна. Однако растворение поверхностного слоя (0,1–0,3 мкм) обнажает поверхность алмазных зерен (рис. 3, д, е).

Процессы, происходящие при огранке алмаза в бриллиант, описаны достаточно подробно [1, 3, 6, 7, 9]. Принято считать, что шлифование алмаза является, в основном, процессом массового микрорезания тончайшего поверхностного слоя [1, 6, 7]. Когда алмазное зерно внедряется (вдавливается) в обрабатываемый кристалл, вокруг возникает область напряжений, в которой по мере возрастания нагрузки образуются микротрещины, разрушающие кристалл по плоскостям спайности [1, 7]. Повышение температуры в зоне контакта (1000–1200 К) снижает твердость поверхностного слоя и создает более благоприятные условия разрушения (износа) поверхностного слоя [9]. Шлифование (огранка) алмаза может вестись, хотя и с меньшей скоростью, на поверхности чугуна без применения алмазного микропорошка [1]. В этом случае износ поверхности алмаза обеспечивают иные механизмы. В зависимости от условий обработки износ алмаза при шлифовании происходит вследствие взаимодействия с поверхностью инструмента по адгезионному, диффузионному, абразивному механизмам [6, 8]. Анализ изменения морфологии поверхности и структуры ЭХП никель–бор после укатки балласом и алмазом показывает, что значительная часть алмазных зерен (70–80 %) имеет плоские вершины (рис. 1, в, 3, а, 3, в).

Следовательно, при укатке, помимо сглаживания дендритного микрорельефа, происходит износ алмазных зерен с образованием плоских площадок. После укатки ЭХП балласом и алмазом площадь, занимаемая алмазными зернами, на его поверхности возрастает с 15–20 % до 25–35 %, и алмазные зерна выступают из покрытия на высоту 0,1–0,5 мкм. На участке (дорожке) полирования после шаржирования ЭХП алмазным микропорошком высота алмазных зерен снижается и не превышает 0,05 мкм (рис. 2, в, г, 3, б, в). Отсутствие на значительной части (60–80 %) алмазных зерен острых кромок, небольшая высота (0,05 мкм) алмазных зерен на поверхности ЭХП показывает, что в данном случае механизм массового микрорезания поверхности алмаза острыми кромками алмазных зерен не реализуется либо его вклад в износ невелик. Существование на поверхности площадок износа тончайшего слоя металла (на это указывает низкий электронный контраст между зерном и матрицей), развитый микрорельеф на площадках и присутствие округлых частиц на алмазных зернах и поверхности сплава никель–бор указывают на преимущественно адгезионный характер взаимодействия поверхности ЭХП с алмазом. Механизм износа алмаза при огранке на диске с ЭХП никель–бор может быть описан следующим образом.

При укатке поверхности ЭХП балласом и алмазом одновременно со сглаживанием (путем деформации и резания) дендритного микрорельефа алмазные зерна вдавливаются в сплав никель–бор, а их вершины разрушаются. Разрушение вершин (острых кромок) происходит путем абразивного износа и хрупкого разрушения (скалывания). На это указывает морфология поверхности алмазных зерен и присутствие осколков 0,1 – 0,5 мкм в сплаве (рис. 1 в, е). Острые кромки сохраняются на части (20–40 %) алмазных зерен, расположенных под поверхностью сплава. После шаржирования укатанного ЭХП алмазным микропорошком на его поверхности формируется слой из ультрадисперсных (0,1–0,3 мкм) частиц сплава алмазных зерен (1–3 мкм) и алмазных зерен основной фракции (10/7), плоские вершины которых находятся на одном уровне с металлоалмазным слоем (рис. 3, б, в). При движении ЭХП по

поверхности алмаза вследствие тепловыделения при трении и микрорезания осколками и сохранившимися острыми кромками алмазных зерен температура в зоне контакта достигает 1275–1400 К. О резком возрастании температуры в зоне контакта свидетельствуют округлые частицы сплава никель–бор (температура плавления сплава 1350 К), образовавшиеся при кристаллизации расплава и морфология поверхности дорожек износа (рис. 3 в, з, д). Пленки, частицы сплава в твердо-жидком и жидком состоянии выдавливаются кристаллом на площадки алмазных зерен. При соударении с площадкой алмаз движется по слою металла, который затем кристаллизуется, формируя характерный микрорельеф (рис. 3 в, з). Нагрузки при соударении сосредоточены в тонких слоях площадок (0,1–0,3 мкм) алмазных зерен, которые разрушаются на частицы (0,05–0,1 мкм), образующие металло-алмазную суспензию. Соударения грани алмаза с алмазными зернами, несмотря на их малую высоту, сопровождаются значительными ударными нагрузками, приводящими к сколам, растрескиванию алмазных зерен и вдавливанию в сплав (рис. 3, д).

Таким образом, повышение температуры в зоне контакта ЭХП–алмаз приводит к снижению прочности алмазных зерен и разрушению на ультрадисперсные фрагменты. Образующаяся металло-алмазная суспензия обеспечивает процессы массового микрорезания и растворения поверхности алмаза. Контактное взаимодействие в системе алмаз–сплав никель–бор проявляется как растворение углерода в сплаве и образование карбида бора и тройных соединений $Ni_xB_yC_z$. Сильное контактное взаимодействие в системе алмаз–сплав никель–бор происходит как растворение углерода с образованием тройных фаз $Ni_xB_yC_z$, B_4C в отличие от системы алмаз–никель с низкой растворимостью углерода [10]. Высокие температуры в зоне контакта, формирование металло-алмазной суспензии приводят к тому, что микрорезание поверхности алмаза ускоряет адгезионное взаимодействие, удаляя продукты растворения, а сам процесс микрорезания тончайшего слоя (0,01–0,05 мкм) алмаза ультрадисперсными частицами в присутствии расплава как химическое взаимодействие с силовой составляющей, т.е. как механо-химическое взаимодействие. Подобный характер износа маскирует абразивную его составляющую.

Литература

1. Епифанов В. И., Песина А. Я., Зыкова Л. В. Технология обработки алмазов в бриллианты. – М.: Высш. школа, 1982. – 351 с.
2. Абрамов В. Н., Знаменский Г. Н., Цисарь И. А. Эффективность применения нового инструмента для обработки твердых материалов // Порошковая металлургия. – 1997. – № 3/4. – С. 107 – 110.
3. Мартыненко Г. П., Жежерин В. П., Бушмелев А. С. Некоторые особенности полирования плоских поверхностей природного алмаза // Алмазы и сверхтвердые материалы. – М.: НИИМАШ, 1979. – Вып. 7. – С. 12 – 13.
4. Гаевская Т. В., Новоторцева И. Г., Марцинкевич Э. А., Кузей А. М. Алмазообразивный инструмент для резки сверхтвердых материалов. /Межд.научн.-практ.конф. «Проблемы применения алмазов в технике и электронике». Москва, 21 – 25 мая 1997 г. – С. 26 – 27.
5. Шипило В. Б., Звонарев Е. В., Кузей А. М. Получение, свойства и применение порошков алмаза и кубического нитрида бора. – Мн.: Бел. наука, 2003. – 335 с.
6. Семко М. Ф., Грабченко А. И. Алмазное шлифование синтетических сверхтвердых материалов. – Харьков: Вища школа, 1978. – 232 с.
7. Семенова Тянь-Шанская Т. С. Исследование сопротивления алмаза износу при шлифовании. //Новые направления развития алмазной обработки. – М.: Труды ВНИИ Алмаз, 1981. – С. 19 – 24.
8. Михайлов М. И., Щерба В. Я., Прушак В. Я. Износостойкость ограничных дисков. – Гомель, Информтрибо, 1996. – 159 с.
9. Федоров А. И., Малышев А. И., Козлов В. Н. Физические процессы при обработке алмаза //Физико-химические явления процессов обработки. – Тбилиси: Миниераба, 1971. – С. 76 – 89.
10. Вол А. Е. Строение и свойства металлических систем: Т.1. – М.: Физматгиз, 1959. – 755 с.

Поступила 05.07.07.