

УДК 621.923

А.М. Кузей, д-р техн. наук; В.Я. Лебедев, канд. техн. наук,
Минск, Республика Беларусь

МЕХАНИЗМЫ ИЗНАШИВАНИЯ АЛМАЗОТА В ОДНОКРИСТАЛЬНОМ ИНСТРУМЕНТЕ ПРИ ПРАВКЕ АБРАЗИВНЫХ КРУГОВ

Методами скануючої мікроскопії вивчений механізм зношування монокристалів синтетичного алмазу при правці абразивних кругів. Показано, що переважаючим механізмом зношування монокристалів алмазота є крихке руйнування.

Методами електронної скануючої мікроскопії изучен механізм износа монокристаллов синтетического алмаза при правке абразивных кругов. Показано, что преобладающим механизмом износа монокристаллов алмазота является хрупкое разрушение.

The wear mechanism of single crystals of synthetic diamond when straightening abrasive wheels is studied by electron scanning microscopy method. It is shown that the predominant wear mechanism of almozot single crystals is brittle fracture.

Введение

Изменение технологических укладов в промышленно развитых странах привели к увеличению доли финишных операций обработки и повышению точности изготовления деталей машин и механизмов.

В частности, это коснулось и абразивного инструмента, в том числе фасонного. Для его изготовления и при использовании в основном применяется правящий инструмент из монокристаллов природного алмаза. Однако, снижение объемов добычи высококачественных природных алмазов, особенно малых размеров (весовых групп -3+2- -5- +6), развитие технологий синтеза монокристаллов алмаза позволило использовать в монокристалльном алмазном инструменте синтетические алмазы.

Точность, достигаемая на операциях правки абразивного инструмента зависит от физико-механических характеристик монокристаллов алмаза. В отличие от природных монокристаллов алмаза синтетические монокристаллы содержат большее количество азота, а также примеси металлов катализаторов [1, 2]. Эксплуатационные характеристики инструмента с монокристаллом синтетического алмаза будут определяться их микроструктурой, примесным составом. Данные о микроструктуре, механизмах износа крупных (0,3-1 кар) монокристаллов синтетических алмазов при контактном взаимодействии с абразивными материалами в процессах правки кругов малочисленны, хотя они определяют технологические возможности и эксплуатационные характеристики однокристального правящего инструмента.

Методами электронной сканирующей микроскопии изучена морфология поверхностей износа кристаллов синтетического алмаза марки «Алмазот» [3]. Кристаллы исходной массой 0,5-0,6 карат использовали для правки шлифовальных кругов 300×40×127 25A40CM2K5. Инструментом «Алмаз в оправе по ГОСТ 22908-78». Удельная производительность шлифования при правке 400 см³/мг, скорость вращения круга 35 м/с, продольная подача 0,1 мм/об, поперечная подача 0,01 мм/дв. ход [4]. Кристаллы использовавшиеся для изготовления инструмента имели жёлтый цвет, не содержали дефектов во всём объеме и относятся к группе качества 2А. по классификации предприятия изготовителя [3].

В процессе правки абразивного круга, одновременно с формированием на его поверхности нового микрорельефа, происходит износ правящего инструмента. На поверхности вершин кристаллов образуются площадки износа с характерными микрорельефами (рис. 1-3).

В начальный период правки, после снятия 350-430 см³ абразива (материала шлифовального круга), на вершинах кристалла алмазота формируются площадки износа площадью 0,4-0,6 мм² с характерными микрорельефами (рис. 1 а, б). В этот период процесса правки на площадках износа образуются плоские сглаженные микрорельефы с углублениями и со следами обработки (царапинами) (рис. 1 а, б). Увеличение длительности процесса правки приводит к формированию более развитых микрорельефов представляющих собой совокупность округлых выступов и впадин (рис. 1 в, г).

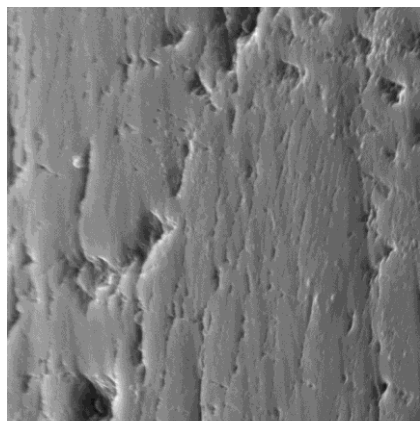
Увеличение длительности процесса правки приводит к увеличению площади площадок износа на вершинах монокристаллов алмазота до 0,7-1,1 мкм и изменяет морфологию их поверхности (рис. 2).

На площадках износа сохраняется бугристый микрорельеф на фоне которого расположены глубокие канавки (царапины), совпадающие с направлением правки (рис. 2 а, б).

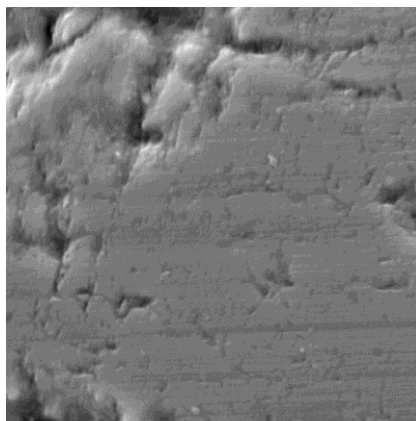
Затем, после снятия 1100-1500 см³ абразива, бугристый микрорельеф сохраняется, однако на фоне сглаженных вершин появляются и острые вершины бугров (выступов). Контрастность микрорельефа (высота бугров) увеличивается. Следы царапин сохраняются на отдельных участках площадок износа (рис. 2 в, г).

После съема 1700-2000 см³ абразива размеры площадок на вершинах кристаллов возрастают до 1,4-2,1 мм². Рельеф на площадках износа сглажен, но на фоне слабо выраженных бугристых микрорельефов присутствуют глубокие царапины и углубления в которых находятся продукты износа абразивного материала (рис. 3).

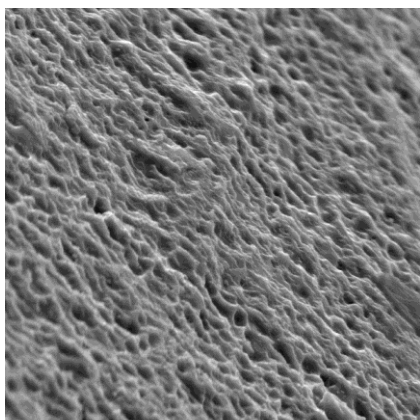
Продукты износа абразивного материала так же присутствуют и на поверхности площадок износа монокристаллов алмазота, образующихся при различных объемах снятого абразива (рис. 1-3).



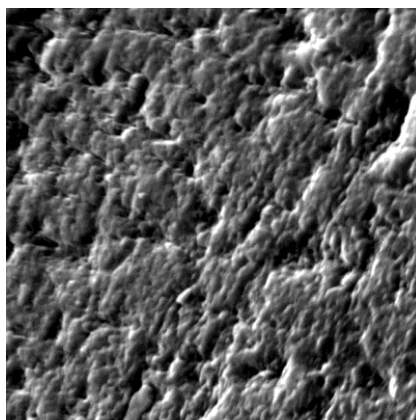
а



б



в



г

Рисунок 1 – Морфология поверхностей износа монокристаллов алмазота:
а, б – после снятия 350-400 см³ абразива;
в, г – после снятия 450-800 см³ абразива

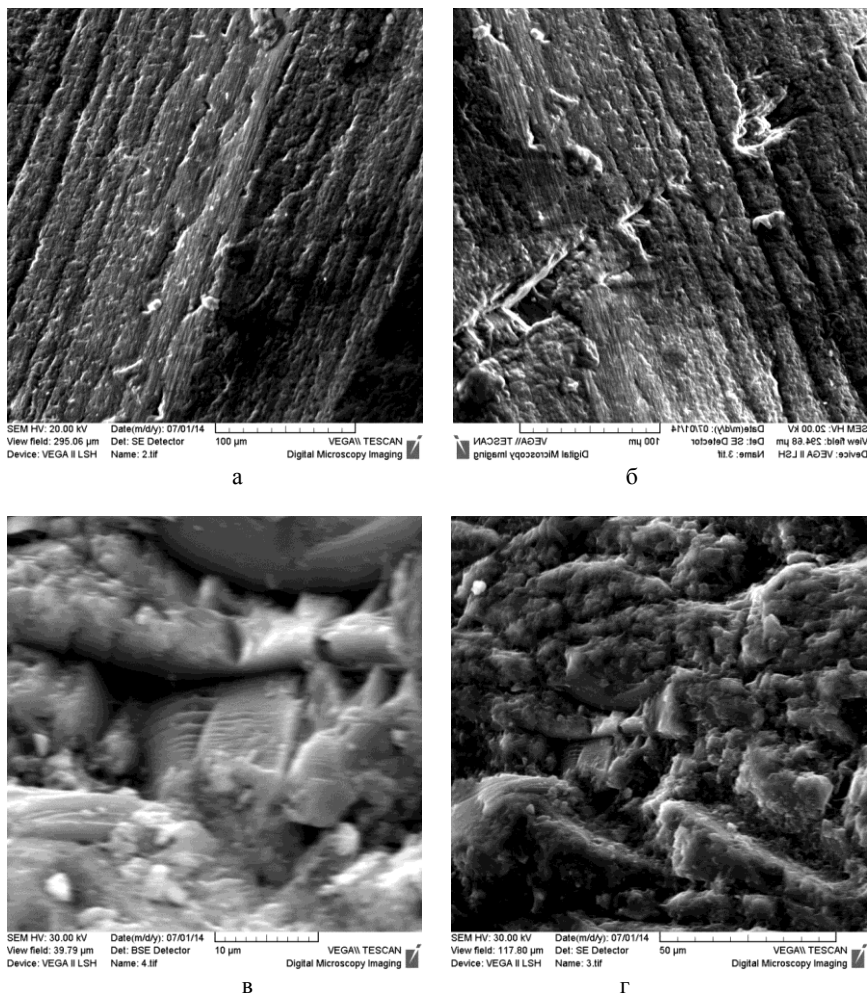


Рисунок 2 – Морфология поверхностей износа монокристаллов алмазота:
а, б – после снятия 850-1100 см³ абразива;
в, г – после снятия 1100-1500 см³ абразива

Морфология этих частиц различается (рис. 1 а, 2 б, 3 б, 3 в). Одни из них представляют собой частицы осколочной формы с острыми гранями, другие бесформенные, со сглаженной поверхностью и без чётко различимых границ с поверхностью алмазота (рисунок 1 а, 2 б, 3 б, 3 г). Характер изменения морфологии поверхности износа алмазота коррелирует с объемами снятого абразивного материала.

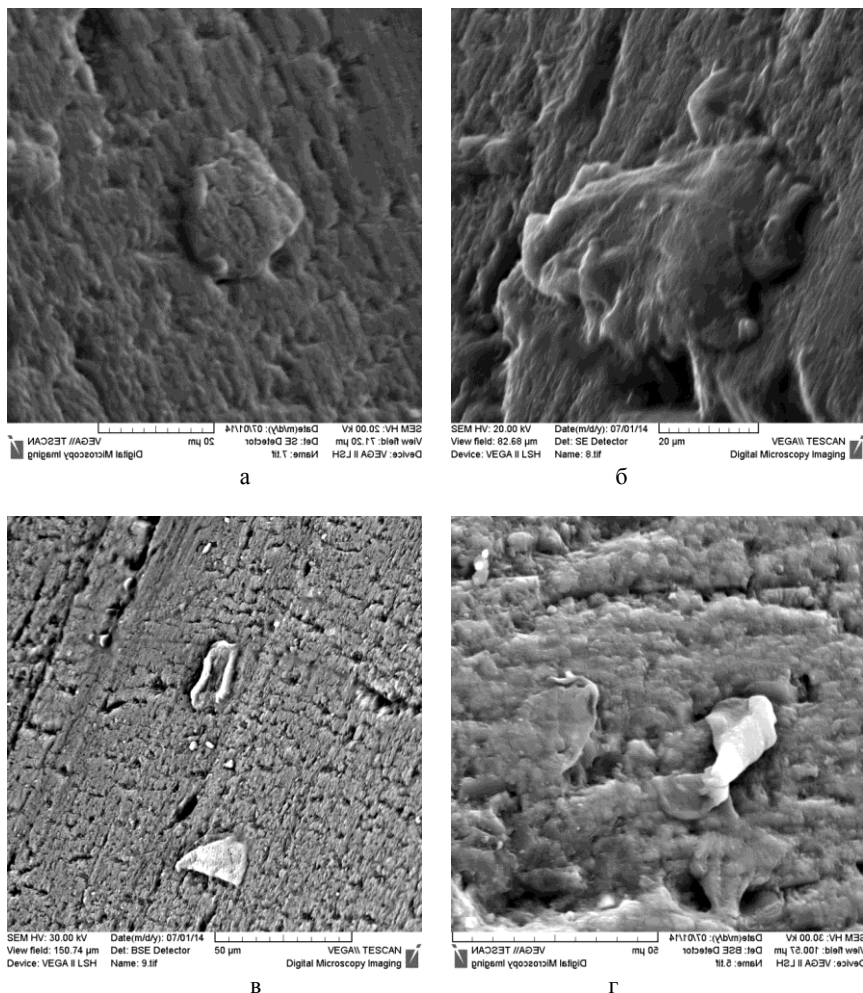


Рисунок 3 – Морфология поверхностей износа монокристаллов алмазота:
а, б – после съема 1600-1800 см³ абразива;
в, г – после съема 1700-2000 см³ абразива

Обсуждение результатов

Процесс правки абразивного круга «Алмазом в оправе» представляет собой контактное динамическое взаимодействие алмаза с композиционным материалом оксид алюминия – оксидное стекло. Контактное взаимодействие этих материалов сопровождается значительным повышением температуры поверхностей вследствие трения [5]. Результатом этого взаимодействия

является не только разрушение абразивного материала, но и изнашивание алмаза более мягким материалом. Изнашивание монокристалла алмаза, так же как и кристалла природного алмаза может быть описано в рамках общепринятых представлений о микрорезании единичным алмазным зерном, твёрдость которого ниже чем монокристалла [5, 6]. В момент контакта вершин алмазного зерна с поверхностью монокристалла алмаза, которое имеет характер ударного динамического взаимодействия, вершины внедряются в поверхность монокристалла, формируя область напряжений.

Следствием этого является появление сети микротрещин в поверхностном слое монокристалла алмаза [6]. При последующих соударениях и внедрении множества вершин алмазных зёрен в поверхностный слой монокристалла он хрупко разрушается [6, 7]. Однако, такая модель не учитывает теплового эффекта трения контактирующих поверхностей. Повышение температуры в зоне контакта поверхностей приводит к снижению твёрдости обрабатываемого и обрабатывающего материалов. В зависимости от условий обработки (правки) температура в зоне контакта может достигать 1075-1375 К [5].

Механизм изнашивания монокристалла алмаза (алмазота) при правке зависит от условий динамического и химического взаимодействий материалов. Выделяют следующие виды изнашивания: адгезионный, диффузионный, абразивный, хрупкое разрушение [8, 9]. Каждому механизму изнашивания соответствует характерная морфология поверхности алмаза: адгезионному – бугристая; абразивному – риски, борозды, совпадающие с направлением обработки; диффузионному – плоская, гладкая [9].

Характерные рельефы, образующиеся на вершинах монокристаллов алмазов, площадок износа свидетельствуют о абразивном (рисунок 1, 2), адгезионном (рисунок 1 в, 2 в, г) механизмах изнашивания. Однако, морфология микрорельефов на площадках износа зависит от размеров площадок и объемов снятого абразива (рис. 1-3). В начальный момент процесса правки, когда размеры площадок износа возрастают до 0,4-0,6 мм поверхности площадок гладкие, с отдельными царапинами (бороздами), совпадающими с направлением правки, и углублениями (рис. 1 а, б). Морфология поверхностей износа в этот временной период правки указывает на абразивный механизм изнашивания (рис. 1 а, б). Присутствие на поверхности площадок износа углублений, в которых находятся частицы абразива осколочной формы, свидетельствует и о хрупком механизме изнашивания (рис. 1 а, б). Далее (после съёма 900 см³ абразива), морфология поверхности износа (бугристая) указывает на адгезионный механизм изнашивания (рисунок 1 в, г). Затем, если судить по морфологии поверхности износа (рис. 2), механизм изнашивания изменяется на абразивный с долей адгезионного. После съёма 2000 см³ абразива механизм изнашивания

смешанный адгезионный (рис. 3 а, б, г), абразивный (рис. 3 в, г) и хрупкого разрушения (рис. 3 в, г).

Присутствие на плоских площадках износа углублений с частицами абразива показывает, что наряду с абразивным изнашиванием значительный вклад в изнашивание монокристалла вносит хрупкое разрушение (рис. 1 а, б). Множество ударов частиц абразива (Al_2O_3) о поверхность монокристалла алмаза приводит к повышению дефектности приповерхностного слоя, которое проявляется в развитии объёмной сети микротрещин. Образование такого слоя приводит к снижению твёрдости, прочности, следствием этого является образование глубоких борозд и рисок на поверхности площадки (рис. 2 а, б). Вершины частиц абразива, внедряясь в дефектный поверхностный слой монокристалла алмазота, разрушают его, формируя глубокую царапину, борозду (рис. 1 в, г).

При изменении направления шлифования, вершина частицы абразива глубоко внедряется в дефектный поверхностный слой. Разрушение дефектного поверхностного слоя приводит к формированию бугристых микрорельефов на поверхности площадок износа (рис. 1 в, г, 2 а, б). Образование характерных бугристых микрорельефов не связано с адгезионным механизмом изнашивания монокристаллов алмазота. Эти микрорельефы образуются вследствие хрупкого разрушения (микросколов) дефектного приповерхностного слоя, в условиях динамического ударного взаимодействия множества частиц абразива с поверхностью монокристалла алмазота. Однако, помимо частиц абразива осколочной формы, внедрённых в поверхность площадок износа, на поверхности площадок присутствуют и частицы с иной морфологией, не являющиеся частицами абразива (рис. 3). Морфология поверхности этих частиц, отсутствие четкой границы между частицами и поверхностью монокристалла алмазота указывает, что эти частицы образовались на поверхности (в углублении поверхности) площадки износа, находясь в пластичном, вязко-пластичном состоянии (рис. 3 б, в). Материалом способным перейти в вязко-пластичное состояние в условиях правки абразивного круга является связующее абразивного композиционного материала – оксид алюминия – стекло. Температура начала размягчения связующего составляет 1075-1275 К [10]. Оксидное стекло, находясь в жидком, вязко-пластичном состояниях смачивает поверхность алмаза, взаимодействуя с ним. Частицы стекла образующиеся в микротрещинах, и порах поверхности площадок износа в условиях динамического контакта с поверхностью абразивного круга, изменяют механизмы износа абразивного материала и монокристалла. Можно полагать, что засаливание поверхности алмазота приведёт к повышению коэффициента трения в паре алмазот – композиционный материал – оксид алюминия – стекло, увеличению температуры в зоне контакта и снижению удельной производительности процесса правки.

Заключение

Превалирующим механизмом износа монокристаллов алмазота в условиях правки абразивного инструмента является хрупкое разрушение. Однако повышение температуры в зоне контакта алмазота с абразивным материалом, образование дефектного поверхностного слоя на алмазоте, перенос связующего на поверхность алмазота приводят к изменению механизма износа на абразивный. Адгезионное взаимодействие (и механизм износа) алмазота с обрабатываемым абразивным материалом проявляется как перенос связующего (оксидное стекло) на поверхность монокристалла. Однако, этот вид контактного взаимодействия (износа) не приводит к формированию бугристых микрорельефов. Образование характерных бугристых микрорельефов, на поверхности алмазота обусловлено специфическим механизмом абразивного износа – частичным выкрашиванием трещиноватого дефектного слоя на поверхности алмазота.

Список использованных источников: 1. Соколов А. Н. Шульженко А. и др. // Структура и твёрдость монокристаллов природного алмаза октаэдрического габитуса в зависимости от условий баротермической обработки // Сверхтвёрдые материалы - 2012. - №3. - с. 26-33. 2. Бокий Г.Б., Безруков Г.Н. и др. // Природные и синтетические алмазы – М.: Наука, 1988. – 222 с. 3. Монокристаллический синтетический сверхтвёрдый материал «Алмазот» ТУ РБ 600124613.602–2002. 4. Материалы и инструменты абразивные. Обработка абразивная. ГОСТ 21445–89. 5. Несмелов А.Ф., Меркулова Н.И. // Некоторые зависимости характеризующие процесс шлифования алмаза. Сб. трудов ВНИИ ГОЗНАКа 1971, №6, с. 88-100. 6. Семёнова-Тянь-Шанская А.С. // Труды ВНИИ Алмаза. М. 1982. – 72 с. 7. Епифанов В.И., Песина А.Я., Зыкова Л.В. // Технология обработки алмаза в бриллиант, 1982. – 347 с. 8. Лоладзе Т.Н., Бокучаева Г.В. // Износ алмаза и алмазных кругов. М. 1967. – 232 с. 9. Федоров А.И., Мальшев А.И., Козлов В.Н. // Физические процессы при обработке алмаза. Тбилиси, 1971. с. 76-89. 10. Чеповецкий И.Х. // Механика контактного взаимодействия при алмазной обработке. Киев. 1988. – 225 с.

Bibliography (transliterated): 1. Sokolov A.N. Shul'zhenko A. i dr. // Struktura i tvrdost' monokristallov prirodного алмаза октаэдрического габитуса в зависимости от условий баротермической обработки // Sverhtvjordye materialy - 2012. - №3. - s. 26-33. 2. Bokij G.B., Bezrukov G.N., i dr. // Prirodnye i sinteticheskie алмазы – М.: Nauka, 1988. – 222 s. 3. Monokristallicheskiy sinteticheskiy sverhtvjordyj material «Almazot» TU RB 600124613.602-2002. 4. Materialy i instrumenty abrazivnyye. Obrabotka abrazivnaya. GOST 21445-89. 5. Nesmelov A. F., Merkulova N. I. // Nekotorye zavisimosti harakterizujushhie process shlifovanija алмаза. Sb. trudov VNIИ GOZNAKa 1971, №6, s. 88-100. 6. Semjonova-Tjan'-Shanskaja A.S. // Trudy VNIИ Almaza. M. 1982. -72 s. 7. Epifanov V.I., Pesina A.Ja., Zyкова L.V. // Tehnologija obrabotki алмаза v brilliant, 1982. – 347 s. 8. Loladze T.N., Bokuchaeva G.V. // Iznos алмаза i алмазных кругов. M. 1967. -232 s. 9. Fedorov A.I., Malyshev A.I., Kozlov V.N. // Fizicheskie processy pri obrabotke алмаза. Tbilisi, 1971. s. 76-89. 10. Chepoveckij I.H. // Mehanika kontaktnogo vzaimodejstvija pri алмазnoj obrabotke. Kiev, 1988. 225 s.

Поступила в редколлегию 18.07.2014