

УДК 621.9.025.7+621.921.34

А.М. Кузей, д.т.н., зав. лаб.

В.Я. Лебедев, к.т.н., зав. лаб.

А.В. Францкевич, н.с.

Физико-технический институт НАН Беларуси

ВЛИЯНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ НА ХАРАКТЕР ИЗНОСА АЛМАЗА В ОДНОКРИСТАЛЬНОМ ПРАВЯЩЕМ ИНСТРУМЕНТЕ

Методами оптической и электронной микроскопии изучен характер износа кристаллов алмаза в однокристалльном правящем инструменте «алмаз в оправе». Установлено образование нескольких характерных типов рельефа. Показано, что причиной их образования является микроструктура кристалла алмаза, которую формируют частицы графита, микротрещины, области напряжений, включения лонсдейлита.

Введение. Точность профилирования и правки абразивного, алмазно-абразивного инструмента определяется износостойкостью алмазного (алмазоабразивного) инструмента. В свою очередь износостойкость кристалла алмаза зависит от концентрации легирующего элемента (в основном азота), формы присутствия азота в решетке, концентрации и распределения примесей в решетке алмаза, дефектов кристаллического строения – концентрации, размеров, распределения пор, включений и микро (нано) трещин [1, 2].

Свойства и структура природного алмаза изучены весьма подробно. Исследования проводились на высококачественных, бесцветных, бездефектных кристаллах. «Дефектным» с точки зрения отклонения состава, цвета кристаллов от беспримесных, бесцветных, в частности цветных, уделялось значительно меньше внимания. К таким кристаллам относятся алмазы, содержащие графит, карбид кремния: серые, черные, составляющие значительную часть алмазов, используемых в промышленности. Свойства таких кристаллов определяются концентрацией и распределением частиц графита в кристалле. Данные о структуре графитосодержащих кристаллов, ее влияния на износостойкость немногочисленны и в ряде случаев противоречивы, хотя она определяет уровень эксплуатационных характеристик инструмента.

Основная часть. Методами оптической и электронной сканирующей микроскопии изучена морфология поверхностей износа кристаллов алмазов в инструменте «алмаз в оправе», их

микроструктура и эксплуатационные характеристики. Для исследования была выбрана партия изношенного алмазного инструмента в количестве 120 шт., изготовленного из кристаллов массой 0,5-0,7 карат и применявшаяся при правке круга 1A1 300x40x127 25A 40CT2K. Структуру кристаллов выявляли обработкой в эквимолекулярном расплаве полифосфатов натрия и калия при 775–875К. Анализ характера износа алмазов в оправе показал, что по видам износа кристаллы можно разделить на следующие группы: кристаллы с плоской, гладкой поверхностью износа; кристаллы с плоской площадкой износа и следами обработки; кристаллы с плоской площадкой износа и развитым микрорельефом; кристаллы с частичным или полным разрушением площадки износа (рис. 1).

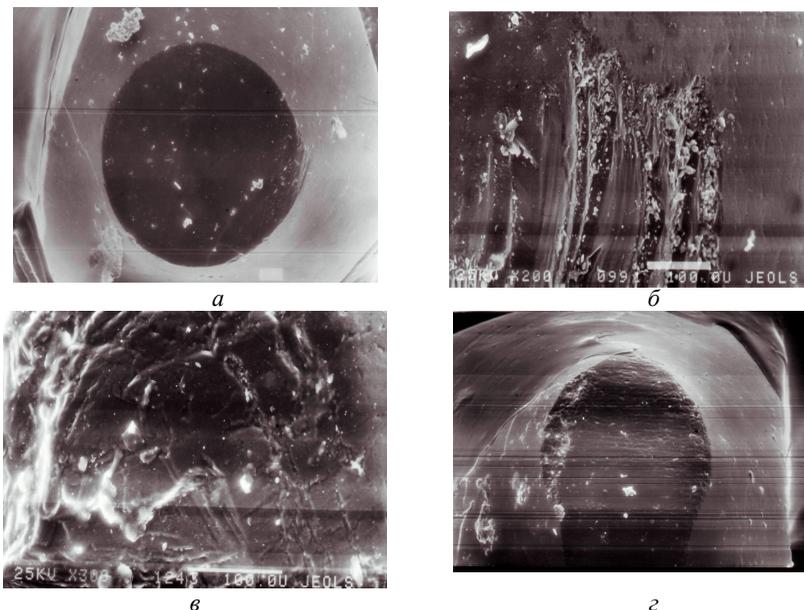


Рис. 1. Морфология поверхностей износа инструмента «алмаз в оправе»: а – тип 1; б – тип 2; в – тип 3; з – тип 4

Наиболее высокие эксплуатационные характеристики (удельная производительность не менее 460 см³/мин, наименьшая величина площадки износа) отмечены у бесцветных и серых кристаллов (I группа), а также черных (III группа). Среди кристаллов, показавших высокую производительность, 70 % кристаллов были бесцветными, а остальные серого и черного цвета. Наиболее низкие эксплуатационные

характеристики отмечены у кристаллов IV группы (80 % – черные, серые, остальные – бесцветные).

Наиболее развитый микрорельеф площадок износа образуется на кристаллах черного и серого цвета. В кристаллах алмаза серого цвета с различными оттенками и черного цвета в процессе обработки формируется микрорельеф различной морфологии. На прозрачных, с оттенком серого цвета алмазах, в процессе обработки образуются плоские площадки с дефектами в виде микрократеров и микротрещин. В микротрещинах и на поверхности площадок присутствуют частицы иных материалов, которые не удаляются при кипячении в царской водке. В кристаллах насыщенного серого цвета полупрозрачных переходных к черному цвету и уже не прозрачных формируются более развитые микрорельефы двух типов: плоский и объемный (рис. 2).

Объемный микрорельеф представляет собой совокупность округлых, вытянутых блоков, плоский – сеть канавок (микротрещин, борозд), в плоской площадке, разделяющих ее на отдельные зерна. На черных кристаллах выделяется три типа микрорельефов: плоский, с углублениями в форме канавок, объемный в форме блоков. На поверхности площадок износа этих кристаллов также присутствуют частицы иного материала.

Механизм износа алмаза определяется характером взаимодействия с обрабатываемой поверхностью. В зависимости от обрабатываемого материала, силовых параметров контактного взаимодействия, выделяют следующие механизмы износа: адгезионный, абразивный, диффузионный и их сочетания [3]. Каждому виду износа соответствует характерный вид поверхности алмаза: адгезионному – бугристая поверхность; абразивному – риски, параллельные направлению шлифования; диффузионному – гладкая площадка износа; комбинированному – сочетание соответствующих видов. Анизотропия твердости алмаза проявляется и в характере разрушения различных плоскостей кристалла. Поверхности близкие к плоскостям куба разрушаются с образованием более или менее изометричных частиц (зерен); поверхности близкие к плоскостям ромбододэкаэдра разрушаются с образованием преимущественно вытянутых частиц; при совпадении разрушаемой поверхности с плоскостью октаэдра – преимущественно с образованием призматических блоков; а на поверхности образуется ступенчатый рельеф.

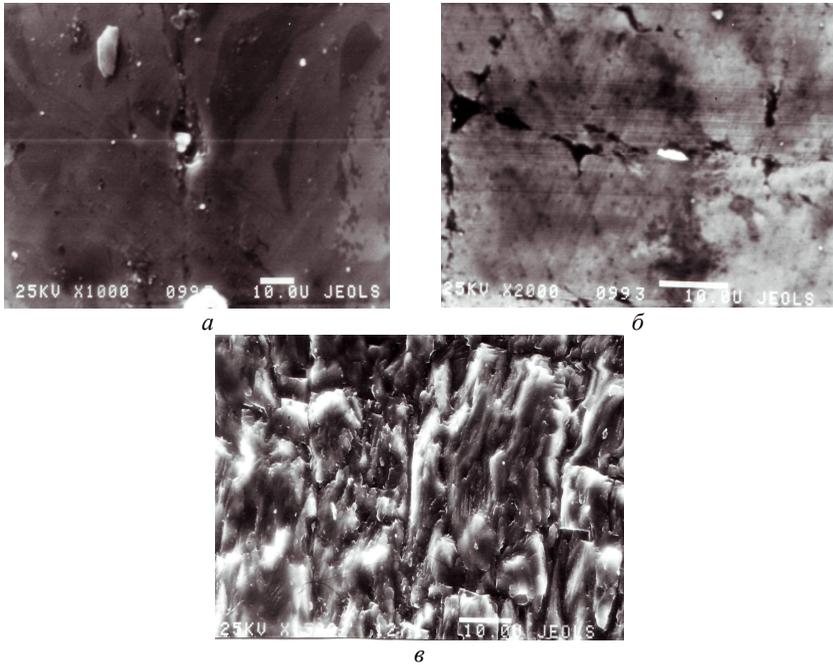


Рис. 2. Характерные микрорельефы на площадках износа кристаллов алмаза: а – прозрачные, серые кристаллы; б, в – серые, черные кристаллы

При шлифовании абразивных кругов на основе корунда и карбида кремния износ алмаза происходит вследствие абразивного износа, либо хрупкого разрушения (рис. 1). При данном виде обработки вид износа зависит от прочности кристалла: наиболее прочные разрушаются в результате абразивного износа, менее прочные – хрупкого разрушения.

Основным механизмом абразивного износа и хрупкого разрушения является динамическое воздействие зерен корунда на поверхность кристалла [4, 5]. В результате множества ударов зерен абразива в поверхностном слое формируется сеть микротрещин, снижающая его прочность. Кристалл изнашивается при непрерывном скалывании ультрадисперсных частиц, либо при пониженной прочности хрупко разрушается при распространении нескольких трещин в объеме кристалла (рис. 1). Плоские гладкие площадки, а также площадки со следами износа образуются на прозрачных кристаллах серого цвета

различной интенсивности. На небольшой части таких кристаллов площадки частично, либо полностью разрушены. Однако в морфологии поверхности разрушения площадок присутствуют отдельные элементы гладких участков. Следовательно, разрушению вершины кристалла предшествовало образование плоской площадки, а данный вид износа является комбинированным и складывается из абразивного износа и хрупкого скалывания. Присутствие на гладких площадках частиц абразива, внедренных в кристалл, и микрократеров на поверхности кристалла, показывает, что формирование гладкой поверхности износа происходит в результате множества микроразрушений дефектного поверхностного слоя и отделения ультрадисперсных частиц размером 50–100 нм. Однако образование плоских и объемных микрорельефов на поверхности графитосодержащих кристаллов не может быть только следствием абразивного износа.

Образование рельефов с различной морфологией обусловлено неоднородностью состава и «микроструктурой» кристалла. «Микроструктуру» кристалла определяют размеры частиц графита, их распределение и форма присутствия в кристалле. Участки с повышенным содержанием графита изнашиваются с большей скоростью, чем соседние, с меньшим содержанием графита, формируя микрорельеф, отражающий распределение графита и, следовательно, микроструктуру кристалла. В местах скопления частиц графита при воздействии зерен абразива формируются глубокие канавки по направлению не совпадающие с направлением шлифования. В местах расположения крупных частиц графита формируются углубления (рис. 2, *з*). В случае равномерного распределения ультрадисперсных частиц графита под воздействием зерен абразива формируются гладкие площадки износа (рис. 2, *а, б*). Таким образом, формирование на площадках износа рельефов с различной морфологией обусловлено «микроструктурой» монокристалла алмаза. В данном случае абразивное воздействие играет роль «травителя».

Формирование «микроструктуры» в монокристалле алмаза, помимо присутствия углерода (и примесей), может быть обусловлено и иными факторами. В кристаллах алмаза серого и черного цвета присутствует участки, имеющие структуру лонгсдейлита [6], что приводит к анизотропии физико-механических и химических свойств кристаллов алмаза.

Обработка поверхности кристалла алмаза в расплаве полифосфатов выявляет неоднородности его строения на участках граней, прилегающих к рабочей вершине (рис. 3).

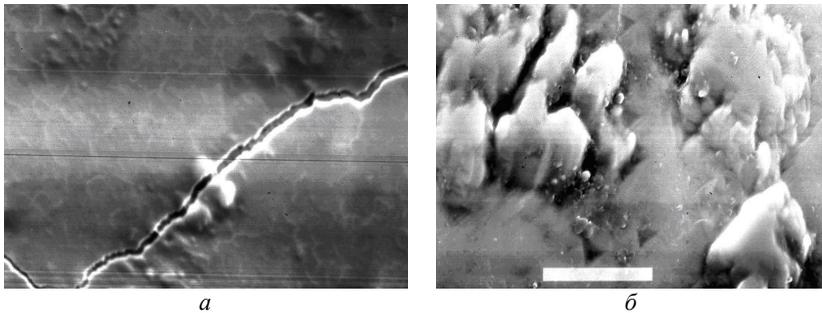


Рис. 3. Микроструктура кристаллов алмаза:
а – микротрещина; б – включение лонгсдейлита

Эти неоднородности представляют собой отдельные частицы, либо канавки травления (рис. 3 а, б). Выявление в кристаллах отдельных частиц можно связывать с неоднородным распределением графита. Однако, морфология поверхности, характер ее растворения свидетельствуют о присутствии в кристаллах включений лонгсдейлита.

Образование протяженных канавок может быть обусловлено растворением алмаза в устьях микротрещин, либо преимущественным растворением на границах напряженных областей. Одновременное образование ямок травления свидетельствует о том, что частицы и канавки травления являются микроскопическими объектами, присутствующими в кристалле и формирующими его «микроструктуру».

Высокие эксплуатационные характеристики части черных кристаллов, изнашивающихся с образованием развитого микрорельефа, обусловлены их микроструктурой – присутствием в нем лонгсдейлита и графита. Низкие эксплуатационные характеристики бесцветных и серых кристаллов (IV группа) обусловлены присутствием в них сети микротрещин, либо областей напряжений.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гагарин В.Г. Влияние включений в алмазах на их прочность // Сверхтвердые материалы. – 1983. – № 4. – С. 27–30.

2. Физические свойства алмаза: Справочник / Под ред. Новикова Н.В. – К.: Наукова думка, 1987. – 188 с.
3. Михайлов М.И., Щерба В.Я., Прушак В.Я. Износостойкость ограночных 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. 19–24.
5. 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.
6. Начальная Т.А., Малоговец В.Г., Подзарей Г.А., и др. Особенности строения и физико-механические свойства природных алмазов Украины // Сверхтвердые материалы. – 2000. – № 1. – С. 36–45.

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.

ЛЕБЕДЕВ Владимир Яковлевич – кандидат технических наук, заведующий лабораторией физики поверхностных явлений Физико-технического института Национальной академии наук Беларуси.

Научные интересы:

– алмазно-абразивные инструменты из сверхтвердых материалов: технология производства, испытания и сертификация.

ФРАНЦКЕВИЧ Алла Владимировна – научный сотрудник лаборатории физики поверхностных взаимодействий Физико-технического института Национальной академии наук Беларуси.

Научные интересы:

– физико-механические свойства и качество природных алмазов.

Подано 30.05.2009

