

УДК 621.922:621.921.34

А. М. Кузей, канд. техн. наук

Физико-технический институт НАН Беларусь, г. Минск

ИЗНОС АЛМАЗА ПРИ ШЛИФОВАНИИ

The wear of natural diamond has been investigated on polishing using scanning and atomic-powered electron microscopic methods. The diamond wear is shown to proceed during destructing the microrelief of a surface defective layer with formation of 5-40 nm size particles.

Отличительной чертой обработки кристаллов алмаза является большая (или равная) твердость обрабатываемого материала по сравнению с инструментом. В качестве инструмента, как правило, используется алмазное зерно. На практике обработка алмаза и сверхтвердых материалов на его основе осуществляется алмазно-абразивным инструментом. Шлифование алмаза алмазно-абразивным инструментом можно рассматривать как процесс трения двух близких по твердости материалов с высоким модулем упругости [1, 2]. Обработка природного алмаза проводится с учетом анизотропии твердости граней в различных кристаллографических направлениях [110] и [001]. Обработку цилиндрических поверхностей («рундиста» бриллианта) кристаллов и распиленных полуфабрикатов осуществляют алмазно-абразивным инструментом с величиной зерна синтетического алмаза 100/80 – 40/28 мкм. Основной вид дефектов – образование микротрещин и сколов на кромках кристалла и кромках природных (исходных) микротрещин. Шлифование цилиндрических поверхностей кристаллов алмаза протекает на фоне интенсивного износа единичных алмазных зерен инструмента. Взаимодействие алмазного зерна с поверхностью кристалла сопровождается интенсивным разрушением вершин и кромок, образованием плоских площадок износа либо разрушением алмазных зерен и выкрашиванием обломков из связки. В результате образуется износостойкая пара алмаз – алмаз (алмаз – связка) и процесс шлифования прекращается. Восстановление режущей способности достигается удалением слоя связки и обнажением новых алмазных зерен [3, 4]. Для шлифования заготовок алмаза (масса 0,3 – 0,5 карат) использовали алмазно-абразивный круг формы 1А1 (150x5x6x32, АС-6, 80/63, 150 %) на полимерной связке. Связка состояла из фенолформальдегидной смолы СФП-012А и наполнителя тетрабората натрия. Шлифование проводили на станке ШП-3, применяемом в гранильном производстве. Скорость вращения круга 200 об/мин, скорость вращения заготовки 7000 об/мин. Число осцилляций заготовки по отношению к алмазно-абразивному кругу 2–4 в мин. Предварительно заготовка обтачивалась алмазным резцом. Шлифование заготовки алмазно-абразивным кругом осуществляли по упругой схеме с постоянным давлением 3 МПа. Морфологию поверхности заготовок алмаза после шлифования исследовали методами сканирующей и атомно-силовой микроскопии.

Анализ изменения морфологии поверхности алмазных заготовок в зависимости от длительности процесса шлифования показал следующее. Наиболее интенсивно шероховатость поверхности снижается в течение 1–2 мин обработки (рис. 1 а, б). После 4–5 мин обработки морфология поверхности не меняется (см. рис. 1, в). Увеличение длительности обработки до 10 – 15 мин, как правило, сопровождается изменениями формы обрабатываемого кристалла с круглой на эллипсную. После 4 мин шлифования параметры шероховатости (участка с царапинами) составляют $R_a = 180,3$ нм, $R_q = 222,3$ нм, где R_a – среднее арифметическое отклонение профиля; R_q – среднее квадратичное отклонение профиля. После 5 мин шлифования $R_a = 51,4$ нм, $R_q = 64,4$ нм (рис. 2, 3).

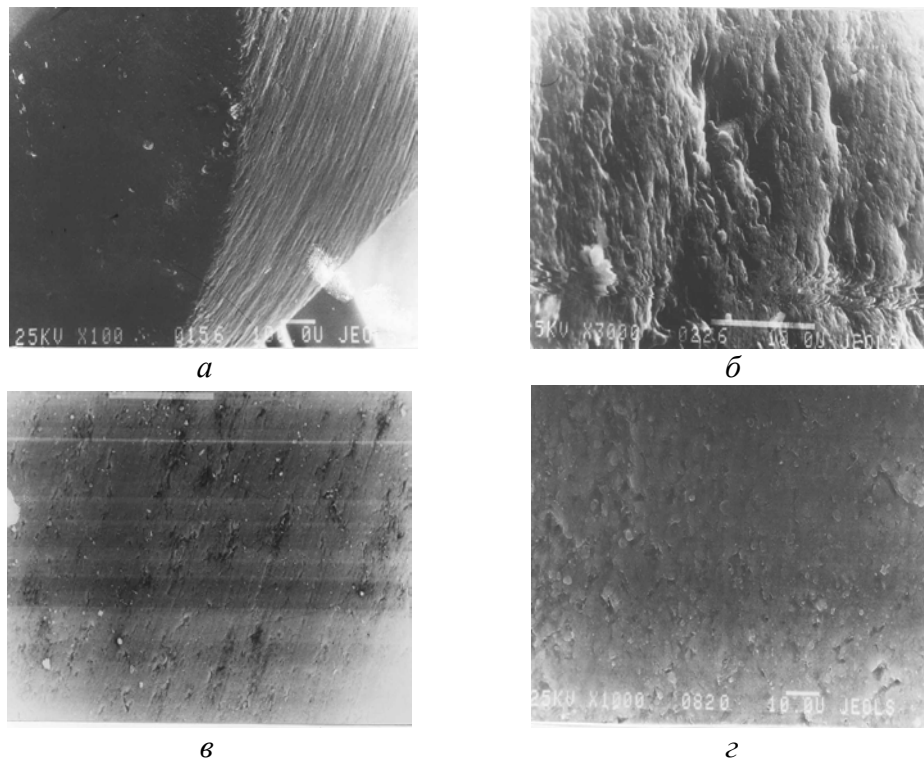


Рис. 1. Изменение морфологии поверхности алмазных заготовок в зависимости от длительности процесса шлифования: а – исходное; б – 2 мин.; в – 4 мин.; г – 6 мин. Исходное (а); 2 мин (б); 4 мин (в); 6 мин (г).

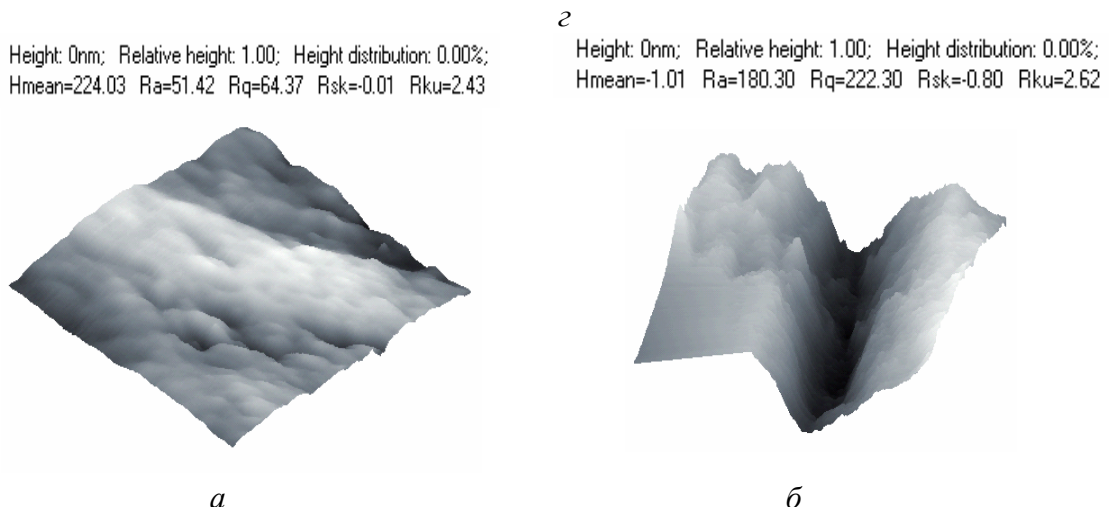


Рис. 2. Морфология поверхности алмаза после 4 минут шлифования: микровыступ (а); царапина (б).

Процесс шлифования алмаза алмазно-абразивным инструментом описывается как массовое царапание обрабатываемой поверхности кристалла алмазными зернами [4, 5]. При наличии на поверхности кристалла микрорельефа на первой стадии процесса происходит их разрушение. Разрушение микровыступов на поверхности кристалла может происходить как в результате многократных сжатий микрорельефа под воздействием алмазного зерна, так и многократных изгибов (деформации) микровыступов и их разрушения [2, 5]. При внедрении вершины алмазного зерна в поверхностный (дефектный) слой кристалла в нем возникают области напряжений, приводящие к массовому образованию микротрещин и отделению микрообъемов поверхностного слоя [5, 6]. Режущая вершина быстро изнашивается, образуя на поверхности след – постепенно сужающуюся царапину [2, 4].

Быстрое сглаживание исходного микрорельефа ($R_a = 0,86$ мкм, $R_q = 0,67$ мкм) в начальный период шлифования свидетельствует об интенсивном разрушении дефектного поверхностного слоя, который представляет собой совокупность борозд и впадин, совпадающих с направлением шлифования. Стационарный режим шлифования устанавливается после 4–5 мин обработки. Однако и после этого на поверхности кристалла фиксируются следы воздействия единичных зерен в виде сужающихся царапин и более крупных (1–3 мкм) углублений. Подобная морфология поверхности свидетельствует об импульсном (ударном) воздействии вершин алмазных зерен на обрабатываемую поверхность [1, 2, 4]. Вершины алмазных зерен под воздействием ударных нагрузок глубоко (1–2,5 мкм) внедряются в кристалл и одновременно разрушаются. Форма углублений (см. рис. 1 б, в, г). Импульсный характер взаимодействия алмазных зерен с поверхностью кристалла обусловлен наложением собственных и вынужденных колебаний шлифовального станка и вращающихся кристалла и круга.

Следовательно, при стационарном режиме шлифования на поверхности кристалла образуются и исчезают углубления (1–2,5 мкм), царапины и округлые микровыступы, образующие микрорельеф (см. рис. 1). Наиболее вероятно, что микровыступы (0,1–0,3 мкм) представляют собой бездефектные участки поверхности. Анализ морфологии поверхности на наномасштабном уровне показал, что микровыступы имеют развитый рельеф (см. рис. 2, а, б, рис. 3). Более развитый на наномасштабном уровне рельеф в направлении параллельном направлению шлифовального круга по сравнению с перпендикулярным свидетельствует об интенсивном разрушении кристалла и интенсивном износе алмазного зерна (см. рис. 2, а). Подобная закономерность отмечается и в царапине. Рельеф на ее дне в направлении, совпадающем с направлением вращения круга, более развит (см. рис. 2, б).

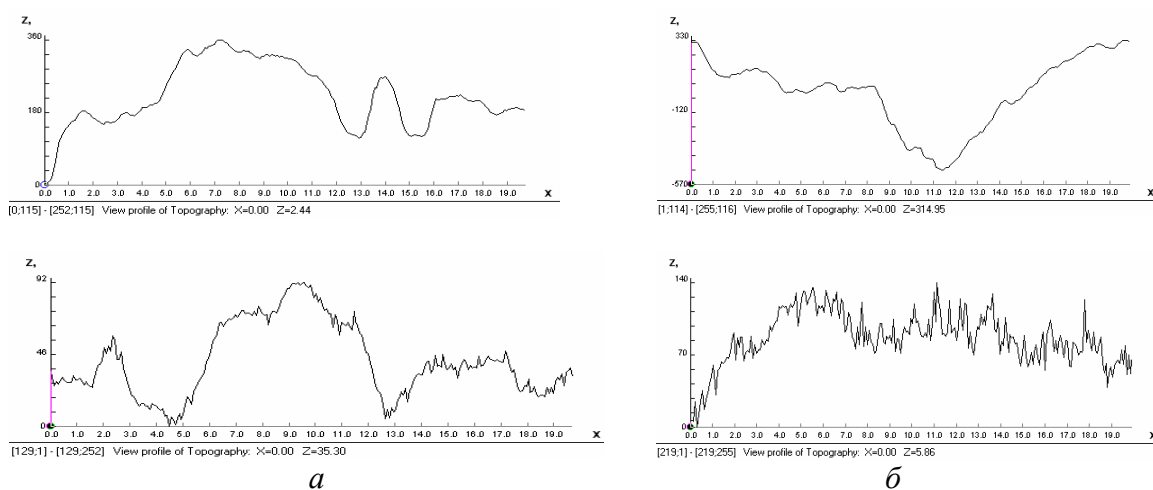


Рис. 3. Микрорельеф поверхности микровыступа (а) и царапины (б) в направлении, перпендикулярном направлению шлифования (верхняя часть рисунка), и направлении, параллельном направлению шлифования (нижняя часть рисунка).

Величина выступов, образующих рельеф, в направлении, совпадающем с направлением вращения круга (10–40 нм), коррелирует с размером частиц природного алмаза в отходах обработки. Содержание частиц природного алмаза, образующихся после обработки в порошке фракции – 1 мкм, достигает 30–35 % (по массе) при содержании фракции – 1 мкм в продукте обработки 10–15 % (по массе).

Анализ изменения морфологии поверхности кристалла природного алмаза в процессе шлифования показывает, что износ кристалла протекает следующим образом. Вершины алмазных зерен внедряются в поверхностный слой и интенсивно разрушаются, одновременно разрушая дефектный поверхностный слой и формируя при этом сеть микротрещин в приповерхностном слое. Износ кристалла алмаза происходит при хрупком разрушении дефектного поверхностного слоя и скалывания частиц размерами 5–40 нм.

Литература

1. Бочаров А. М., Климович А. Ф., Старовойтов А. С., Стежков В. В. Изнашивание монокристаллов алмаза. – Мн.: Беларуская навука, 1996. – 144 с.
2. Семенова Тянь-Шаньская А. С. Исследование сопротивления алмаза износу при шлифовании // Новые направления развития алмазной обработки. – М.: Гр. ВНИИ-Алмаза, 1981. – 102 с.
3. Антекман А. А., Демидивка В. П. Теоретическая модель износа алмазного инструмента на металлической связке при обработке кристаллов природного алмаза. // Состояние и перспектива развития бриллиантового производства на 1981 – 1985 гг. – М.: С. 52 – 55.
4. Семко М. Ф., Гребченко А. Н., Ходаревский М. Г. // Алмазное шлифование СТМ. – Харьков: Вища школа, 1978. – 232 с.
5. Новиков Н. В., Майстренко А. Л., Кулаковский В. Н. Сопротивление разрушению сверхтвердых композиционных материалов. – Киев: Наук. думка, 1993. – 220 с.
6. Грабченко А. Н., Пыжов Н. Н., Островерхов Е. В. Оптимизация процесса обработки сверхтвердых поликристаллов // Алмазы и сверхтвердые материалы. М.: НИИ-МАШ, 1980, Вып. 8, – С. 10 – 12.

Поступила 14.06.2006 г.