

УДК 621.923

С. А. Астапчик, акад. НАН Беларуси, А.М. Кузей, д-р. техн. наук,
В. А. Зайцев

Государственный национальный университет «Физико-технический институт
НАН Беларуси», г. Минск

КОНТАКТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АЛМАЗ-АЛМАЗ ПРИ ШЛИФОВАНИИ КРИСТАЛЛА АЛМАЗА

The mechanism of wearing a crystal natural diamond has been investigated during polishing of abrasive diamond tool. It is established that the major wearing mechanism is contact interaction of flat grain tips with a flat crystal surface. The crystal surface wearing occurs during failure of nanodimensional irregularities of defective surface layer.

Введение

Эффективность применения инструмента из сверхтвердых материалов определяется качеством обработки поверхностей и режущих кромок. Основным видом обработки алмаза и сверхтвердых материалов является шлифование алмазоабразивным инструментом различных форм, в котором режущим элементом является единичное алмазное зерно.

Сведения о процессах контактного взаимодействия в системе алмаз–алмаз немногочисленны и в ряде случаев противоречивы, что отчасти обусловлено специфическими характеристиками взаимодействующих материалов, различными условиями обработки, влиянием связи, изменением механизмов износа [1–3]. Принято считать, что износ кристалла алмаза при шлифовании обусловлен массовым микрорезанием единичными алмазными зернами тончайшего поверхностного слоя кристалла. При внедрении острой вершины алмазного зерна в кристалл вокруг возникает область напряжений, в которой по мере увеличения нагрузки образуется множество микротрещин. В результате поверхностный слой хрупко разрушается, преимущественно по плоскостям спайности [4, 5]. В случае одновременного движения вершины зерна по поверхности, вершина упруго изгибает микровыступы на поверхности, что приводит к их разрушению [6]. При высоких нагрузках и скоростях нагружения зерна не исключены пластическая деформация в поверхностном слое и образование стружки [7]. Отличительной чертой алмаза является анизотропия свойств. Твердость в различных кристалло-графических направлениях различна, в связи с этим обработка ведется по «мягким» 110 , 001 направлениям [6, 8]. Алмазные зерна в композиционном материале расположены хаотично, и поэтому в процессе разрушения кристалла участвуют вершины с различной твердостью (большей, равной или меньшей), отличной от твердости кристалла, либо плоские поверхности граней. Результирующий механизм износа поверхности кристалла будет определяться совокупностью механизмов контактного взаимодействия алмазных зерен с обрабатываемой поверхностью. Этот механизм помимо производительности обработки будет определять морфологию поверхности, ее структуру и цветовые характеристики кристалла (бриллианта).

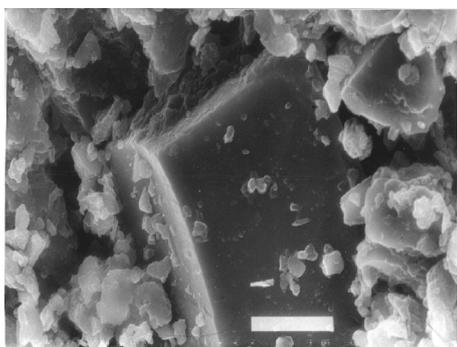
Методика экспериментов

Методами электронной сканирующей и атомно-силовой микроскопии изучен механизм контактного взаимодействия в системе алмаз–алмазосодержащий композиционный материал при шлифовании цилиндрических заготовок природного алмаза на операции шлифования рундиста бриллианта. Масса кристаллов алмаза – 0,4–0,5 карат. Характеристики исходных кристаллов Sawables 2-4Q.

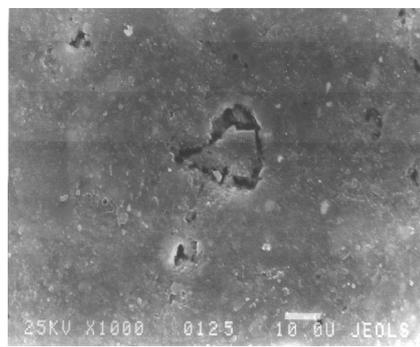
Шлифование проводили на станке ШП-3 при скорости вращения заготовки 3000 об./мин и скорости вращения алмазного шлифовального круга (1А1, 150x5x6x32, АС 63/50, 150 об.%) 200 об./мин. Давление шлифования – 10 и 3 МПа. Анализ морфологии поверхности алмазных зерен проводили на четырех противоположных участках алмазосодержащего слоя шлифовального круга длиной по 50 мм.

Обсуждение результатов и выводы

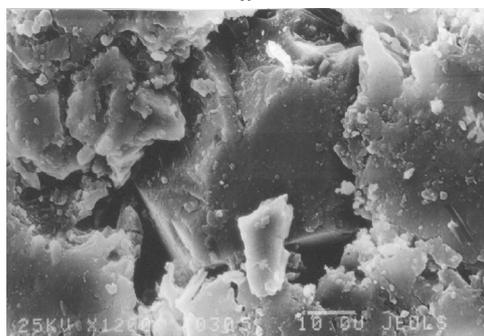
После вскрытия алмазосодержащего слоя шлифовального круга количество зерен, ориентированных вершинами в направлении обработки, составляет 25–30 %, гранями – 30–45 %, плоскостями – остальное. После шлифования в течение 2-х мин доля острых вершин зерен не превышает 15 %, остальные зерна в различной степени изношены (рис. 1). Независимо от давления шлифования на установившейся стадии можно выделить следующие наиболее характерные виды разрушения алмазных зерен: зерно с частично изношенной вершиной (гранью), с сильно изношенной вершиной (гранью), частично разрушенное с изношенной гранью, полностью разрушенное, с разрушенной площадкой износа поверхности (рис. 1).



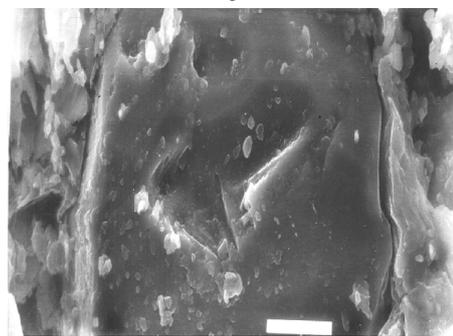
а



б



в



г

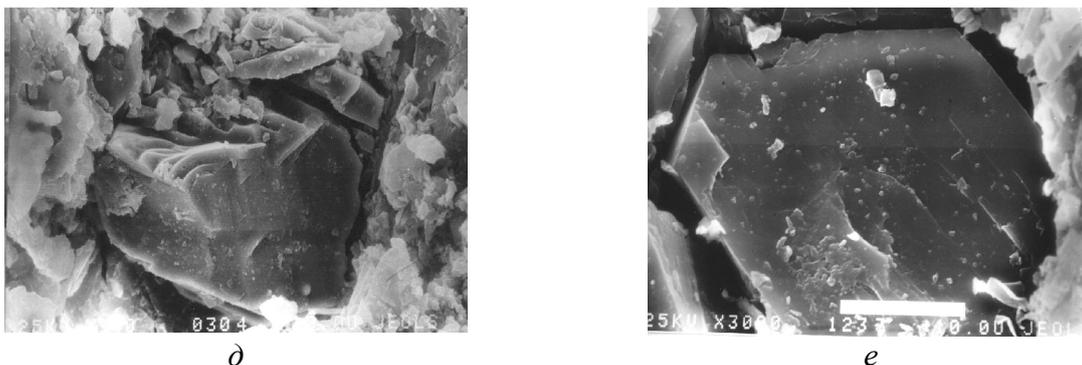


Рис. 1 Микроструктура поверхности алмазобразивного инструмента: а – после шлифования в течение 2 мин; б–е – после 4 мин шлифования в течение 4 мин; давление – 3 МПа (а–г – $\times 1000$; д, е – $\times 300$)

При большом давлении шлифования (10 МПа) доля частично и полностью разрушенных зерен увеличивается по сравнению с нормальным давлением шлифования (3 МПа). Связка на границах частично разрушенных зерен с изношенными вершинами разрушена практически у всех зерен. Разрушение связки на границах с изношенными, частично разрушенными зернами с изношенными вершинами отмечается и при более низком давлении (3 МПа), однако доля таких зерен значительно меньше (рис. 1, б, в, г, е)

Морфология и шероховатость поверхности композиционного материала в течение цикла шлифования достаточно стабильны в отличие от морфологии и шероховатости поверхности кристалла алмаза (рис. 2, 3). В течение 1–2 минут шлифования удаляется грубый рельеф, созданный при предварительном шлифовании алмазным резцом. Затем удаляется дефектный подповерхностный слой и формируется рельеф рундиста бриллианта (рис. 4, 5).

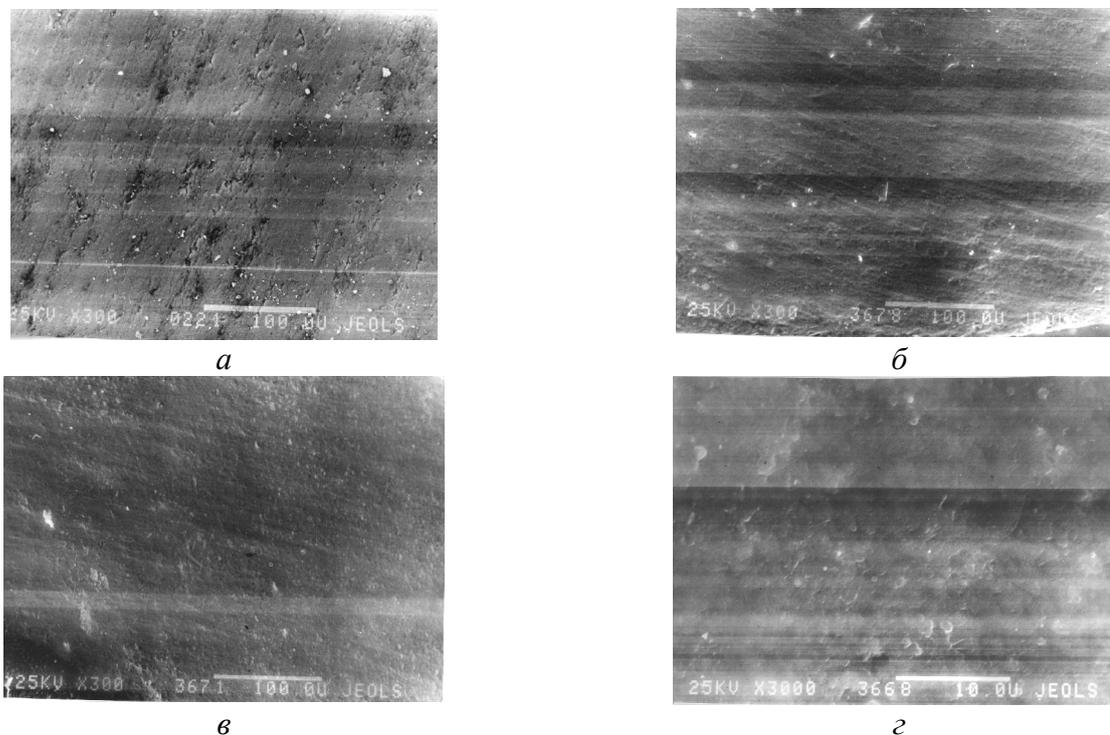


Рис. 2. Микроструктура поверхности рундиста бриллианта: а – длительность шлифования – 2 мин, давление – 3 МПа; б – длительность шлифования – 2 мин, давление – 10 МПа; в, г – длительность шлифования – 4 и 10 мин, давление – 3 МПа

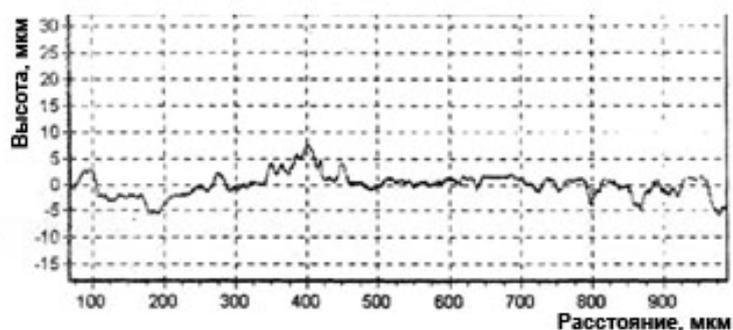


Рис. 3. Микрорельеф поверхности алмазобразивного круга после шлифования в течение 4 мин

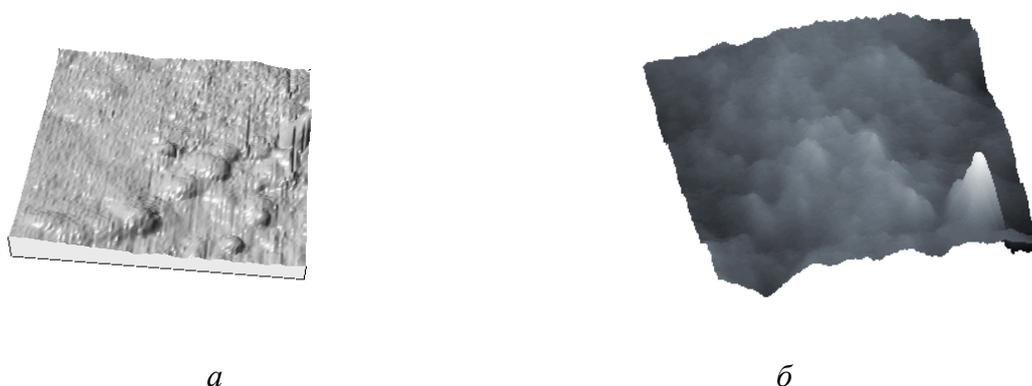


Рис. 4. Морфология поверхности рундиста бриллианта после шлифования в течение 4 мин (а) и 10 мин (б) ($\times 15000$)

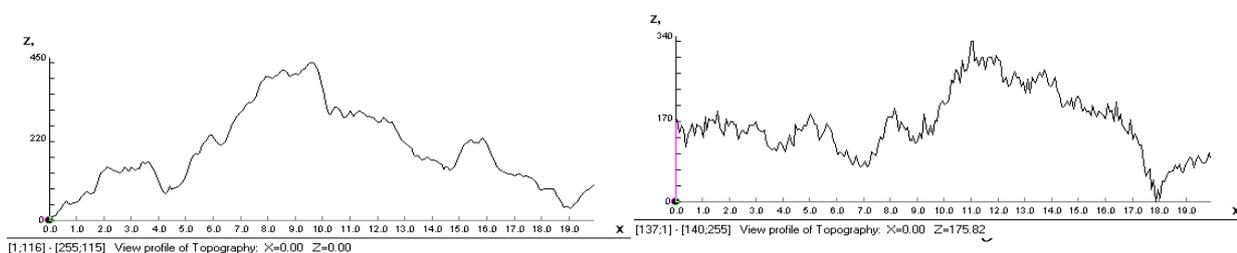


Рис. 5. Микрорельеф поверхности рундиста бриллианта при шлифовании в течение 4 мин: а – поперек направления шлифования; б – вдоль направления шлифования

На макроскопическом уровне (характерный масштаб – 50 мкм при увеличении $\times 10$) поверхность рундиста бриллианта представляется гладкой, но на микронаномасштабном уровне выявляется развитый рельеф (рис. 4, 5). Такие рельефы формируются на стационарной стадии шлифования и существуют при длительностях шлифования более 10 мин, т. е. являются установившимися, стационарными. При более длительном шлифовании рундист бриллианта из круглого превращается в овальный из-за анизотропии твердости в различных направлениях обработки [8].

Морфология поверхности алмазосодержащего композиционного материала свидетельствует об участии в процессе износа поверхности кристалла алмаза плоских поверхностей. Присутствие на поверхности композиционного материала алмазных зерен с гладкими площадками износа, существование площадок износа на частично разрушившихся зернах показывают, что острие вершин (и грани) зерен изнашивается с образованием ультрадисперсных частиц. Борозды на поверхности кристалла образуются вследствие внедрения вершин зерен в поверхность кристалла (рис. 2, б). При этом вершина, как и поверхность кри-

сталла, разрушается с образованием ультрадисперсных частиц размером 30–50 нм. При установившемся режиме шлифования (около 2–4 мин) алмазные зерна выступают над связкой не более, чем на 5–7 мкм (рис. 3).

Следовательно, глубина внедрения вершин зерна в поверхность кристалла невелика (около 1–2 мкм) и вершина абразивно изнашивается, а не хрупко разрушается. Малая высота вершин алмазных зерен, выступающих над поверхностью связки, значительно бóльшая доля алмазных зерен с площадками износа, чем с острыми вершинами, приводят к тому, что поверхность кристалла изнашивается вследствие контактного трения с плоскими вершинами (и гранями) алмазных зерен. На установившейся стадии шлифования износ поверхности кристалла обеспечивает динамическое взаимодействие микровыступов плоских вершин и поверхности кристалла. Вследствие механизма контактного взаимодействия плоских поверхностей на поверхности кристалла образуется глобулярный на микроскопическом уровне рельеф (см. рис. 2, в). Существование на установившейся стадии шлифования глобулярного микро-рельефа может быть вызвано динамической составляющей силового взаимодействия кристалл – алмазное зерно. Образование трещин и пор в связке вокруг изношенных зерен является следствием действия ударных нагрузок (см. рис. 1, б, в). Ударные нагрузки, возникающие в системе станок – привод – инструмент – деталь, приводят к разрушению алмазных зерен. Осколки зерен в момент разрушения площадки на зерне действуют так же как и острие вершины – внедряются в поверхность кристалла, разрушая ее и формируя в локальных участках удара объемную сеть микро(нано)трещин. Разрушение подповерхностного дефектного слоя и приводит к формированию наноразмерного рельефа на поверхности глобул (см. рис. 5).

Таким образом, контактное взаимодействие плоских вершин алмазных зерен с поверхностью кристалла алмаза вносит существенный вклад в абразивную способность алмазосодержащего композиционного материала, определяет морфологию и дефектную структуру обрабатываемой поверхности.

Литература

1. Семко М.Ф., Грабченко А.И., Ходоровский М.Г. Алмазное шлифование синтетических сверхтвердых материалов. – Харьков: Вища шк., 1978. – 232 с.
2. Бочаров А.М., Климович А.Ф., Старовойтов А.С., Снежков В.В. Изнашивание микрокристаллов алмаза. – Минск: Беларус. навука, 1996. – 144 с.
3. Грабченко А.Н., Пыжов Н.Н., Островерхов Е.В. Оптимизация процесса обработки сверхтвердых поликристаллов // Алмазы и сверхтвердые материалы. – М.: НИИМАШ, 1980, вып.8. – С. 10–12.
4. Федотов А.И., Малышев А.И., Козлов В.Н. Физические процессы при обработке алмаза. // Физико-химические явления процессов обработки. – Тбилиси: Миниераба, 1971. – С. 76–89.
5. 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 г. – М.: С. – 52–55.
6. Семенова Тянь-Шанская. Исследование сопротивления алмаза износу при шлифовании // Новые направления развития алмазной обработки. – М.: Труды ВНИИ Алмаз, 1981. – С. 19–24.
7. Zhou Ming, Ngoi V.K.A., Zhong Z.W., Chin C.S. Brittle-ductile transition in diamond cutting of silicon single crystals // Mater and Manuf. Processes. – 2001. –6, N 4. – P. 447–460.
8. Епифанов В.И., Песина А.Я., Зыкова Л.В. Технология обработки алмазов в бриллианты. – М.: Высш. школа, 1982. – 351 с.

Поступила 23.05.08