

М. Ф. СЕМКО, Е. В. КРАСИЛЬНИКОВ, Ю. А. СИЗЫЙ,
М. Д. УЗУНЯН

ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ИЗНОСА ЕДИНИЧНЫХ АЛМАЗНЫХ ЗЕРЕН

(Представлено академиком Л. Ф. Верещагиным 25 III 1974)

В процессе резания режущие элементы алмазного шлифовального круга испытывают периодически повторяющуюся тепловую и динамическую нагрузку; при этом количество циклов нагружения до разрушения алмазного зерна достигает десятков и сотен тысяч. Время приложения нагрузки равно времени контакта зерна на один оборот круга и составляет около десяти микросекунд, т.е. зерно испытывает тепловой и динамический удар.

Авторы работ (1, 2) в своих исследованиях наблюдали образование и рост микротрещин в результате распространения волн деформаций при динамической нагрузке на кристалл алмаза. Можно предположить, что при большем количестве циклов распространения тепловых волн и волн деформаций образование микротрещин ведет к прогрессирующему разрушению. Для проверки этого было проведено электронно-микроскопическое исследование характера износа алмазных зерен при микрорезании на разных его стадиях.

Исследовался износ алмазных зерен марок АСВ250/200 и зерен из дробленого балласа АСВ250/200 при резании твердого сплава Т15К6. Зерно закреплялось на державке, завинченной в торец диска $\varnothing 180$ мм и осуществлялось резание при $v=26$ м/сек, $S_{np}=41$ м/мин, глубине резания 2–10 мкм.

Исследовалось исходное состояние рельефа алмазных зерен, начальная стадия износа (после 750–1000 циклов нагружения) и износ после продолжительного резания, составлявшего $(15-20) \cdot 10^3$ циклов.

Для электронно-микроскопического исследования поверхности испытываемых алмазных зерен готовили двухступенчатые коллодиево-угольные реплики по известной методике. Из микрофотографий исходного рельефа зерен марки АСВ250/200 (рис. 1а) видно, что он состоит как из относительно гладких площадок с незначительной развитостью поверхности, обусловленной ростом кристаллов алмаза в процессе синтеза, так и с отдельно выступающими частями, являющимися вершинами режущих кромок. На отдельных участках поверхности просматриваются трещины шириною в десятые доли микрона и единицы микрон, которые имеются в зернах еще до работы.

На рис. 1б изображена поверхность алмаза, полученная после начальной стадии износа. Изображенная поверхность несколько отличается от предыдущей более развитым микрорельефом и более выраженными трещинами. На ней имеются как участки, образованные сколом (отрывом), так и срезом. Согласно приведенной в работе (3) классификации, такой вид разрушения поверхности называют квазипотрывом (квазихрупкое скалывание) в отличие от чистого скалывания или среза. При этом на рисунке фасетки квазипотрыва обозначены маленькими стрелками, а ямки на поверхности, придающие ей «бугристый» вид, показаны большими.

В начальной стадии износа трещины, возникающие в теле алмазного зерна в результате тепловых и динамических ударов, не сильно развиты по глубине, а локализованы на поверхности, как наиболее нагруженной части зерна.

Рельеф у алмазных зерен после $(15-20) \cdot 10^3$ циклов нагружения отличается значительно от приведенных ранее поверхностей. Трещины, образованные в начальный период работы зерна, развиваются в глубину и охватывают все большие объемы. На рис. 1а приведена микрофотография поверхности алмазного зерна, на котором видна сильно развитая магистральная трещина (вдоль диагонали снимка); слева от нее — более мелкие трещины, такие же трещины ее пересекают. На этой стадии износа разрушение алмазного зерна происходит чрезвычайно интенсивно путем выпадения целых блоков и их агрегатов. Наблюдаются участки с явно выраженными блоками, разделенными развитыми трещинами (зона А). При этом обнаруживается участок поверхности с усталостными полосками. Расстояние между полосками и их высота составляют сотни ангстрем.

Интересно отметить также наблюдаемое на снимке изменение ориентации усталостных полосок. Это могло произойти либо в результате пересечения усталостной трещиной границы субзерна, по которой развилась затем поперечная трещина, либо, что более вероятно, изменение ориентации произошло уже после прохождения усталостной трещины вследствие разворота отколовшегося блока алмазного зерна.

Характерным для данной стадии износа является наличие густой сетки микротрещин. При этом на поверхности алмаза возникают значительные нормальные напряжения и температуры, которые вызвали растрескивание поверхностных слоев алмаза и образование своеобразной мозаики.

Износ алмазного зерна после десятка тысяч циклов нагружения можно классифицировать как катастрофический, когда превышает предел усталостной прочности и зерно практически теряет свою целостность. Этот предел для каждого зерна различен, так как зависит от конкретной формы алмазного зерна, наличия зародышевых трещин, пор, включений, кристаллографической ориентации и т. д. Удалению микроблоков алмаза, образовавшихся в результате растрескивания, способствуют силы адгезии и их циклический характер. Известно ⁽⁵⁾, что в начальный период резания в контакте на поверхностях трения возникает интенсивная адгезия. Этому способствуют высокие давления и непрерывное движение свежесформированных поверхностей обрабатываемого материала относительно режущей поверхности зерна. Удаление инструментального материала с контактных поверхностей режущего инструмента происходит вследствие среза и отрыва, вызванных адгезионными явлениями. Сам по себе адгезионный износ не исключает усталостного характера разрушения.

Необходимо также отметить, что некоторая доля износа приходится, по-видимому, на графитизацию. О наличии графитизации свидетельствует тот факт, что при изготовлении отпечатков с поверхности алмазных зерен репки извлекали черный порошок, который также наблюдался в работе ⁽⁶⁾ и трактующий там (на основе выполненного анализа) как графит.

Исходная поверхность алмазных зерен марки АСВ250/200 (рис. 1б) имеет несколько иной характер, чем зерен АСВ250/200. Необходимо помнить, что зерна АСВ являются продуктами дробления, т. е. исходная поверхность формируется вследствие разрушения более крупных фракций и, следовательно, микрорельеф поверхности должен отражать морфологию поверхностей разрушения. Действительно, изображенная поверхность имеет ступеньки скола. Как известно ⁽⁷⁾, разрушение сколом может происходить по параллельным плоскостям спайности, в результате расщепления по плоскости двойника, по иррациональной поверхности. Таким образом, вид исходной поверхности алмазных зерен из дробленного балласа АСВ обусловлен сколом по параллельным плоскостям спайности, в отличие от участков износа алмазных зерен марки АСВ, образованных сколом по иррациональной поверхности.

Образованные ступени скола имеют относительно гладкий рельеф. Высота их, как следует из приведенных снимков, составляет десятые доли микрона, а ширина до десятка микрон; толщина пачек, возникших при

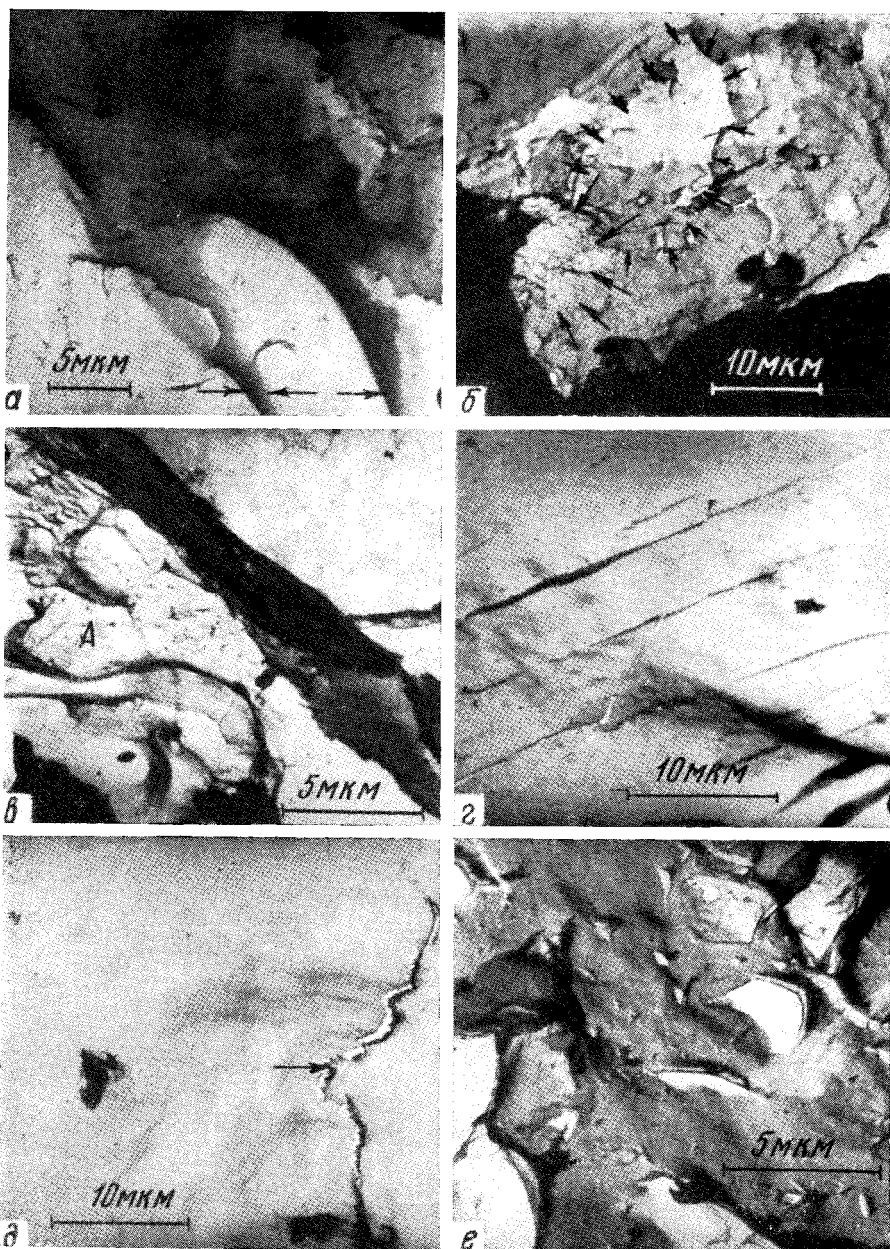


Рис. 1

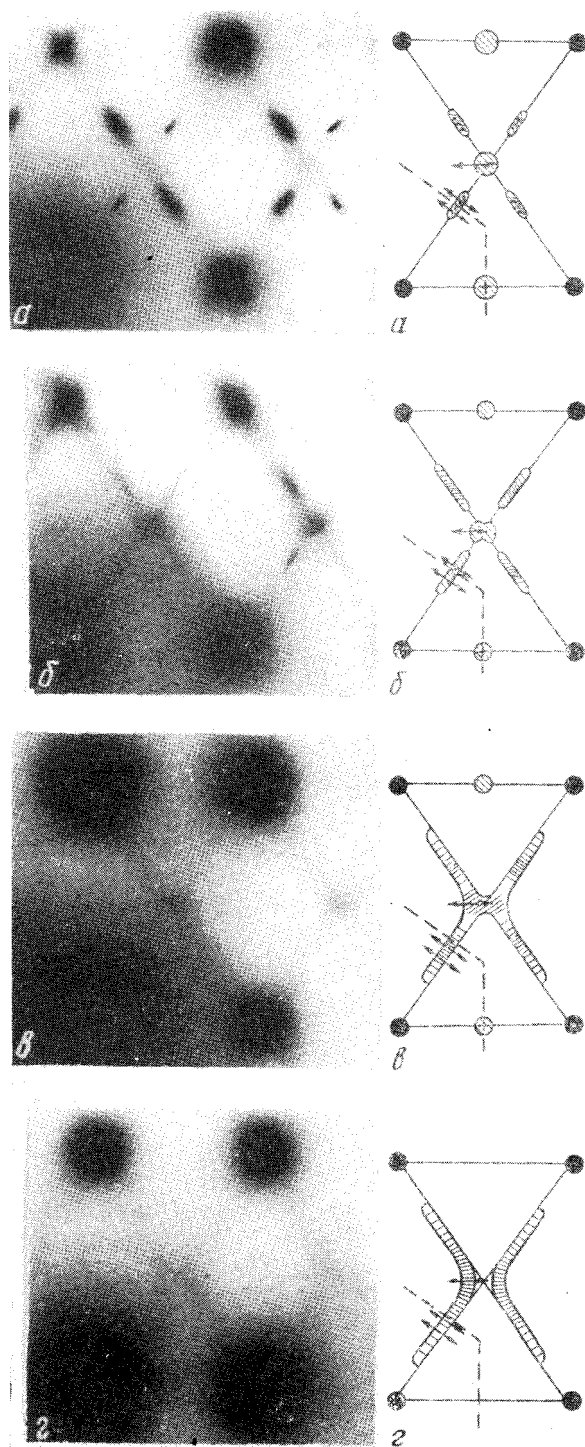


Рис. 1. Микродифракционные картины (плоскость (110) обратной решетки) и схематические изображения спектров волн смещений для сплавов Ti-Nb: а - 22 ат.% Nb, б - 27 ат.% Nb, в - 30 ат.% Nb, г - 33 ат.% Nb. Стрелками показаны направления поляризационных векторов, пунктиром - граница зоны Бриллюэна

расслаивании по плоскостям спайности, составляет единицы микрон. Образование таких больших ступеней скола возможно, как следует из работы (7), вследствие взаимодействия развивающейся трещины с границами субзерен, включениями, в результате поперечного скольжения. Мелкие же ступени могут образовываться при пересечении трещиной винтовых дислокаций, всегда присутствующих в кристалле алмаза в исходном состоянии, либо образованных в нем в результате пластической деформации до раскола или вершинной распространяющейся трещины в процессе разрушения зерна.

По-другому, по сравнению с зернами марки АСВ, происходит и износ алмазных зерен и дробленных балласов. Можно выделить следующие характерные особенности износа:

- 1) образовании площадок износа, имеющих диффузионный характер или полученных в результате графитизации (рис. 1*д*);
- 2) износ с образованием и выпадением тетраэдрических блоков, изображенных на рис. 1*е* и ранее отмеченных в работах (4, 8);
- 3) износ с образованием ранее отмеченной густой сети микротрещин с явно выраженными сколами алмазного зерна.

Харьковский политехнический институт
им. В. И. Ленина

Поступило
12 II 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ V. R. Howes, S. Tolansky, Proc. Roy. Soc., v. A230, № 1182, 287 (1955). ² J. E. Field. Proc. VI Intern. Congr. High-Speed Photogr. The Hague 1962, Haarlem, 1963, p. 514, 709, 757. ³ К. Д. Вичем, Р. М. Н. Пеллу, Прикладные вопросы вязкости разрушения, М., 1968. ⁴ Т. Н. Лоладзе, Г. В. Бокучава, Износ алмазов и алмазных кругов, М., 1967. ⁵ Ф. П. Боуден, Д. Тейбор, Механизм трения и смазка при обработке металлов, № 7 (1955). ⁶ Ф. П. Боуден, Д. Тейбор, Трение и смазка твердых тел, М., 1968. ⁷ Т. Екобори, Физика и механика разрушения и прочности твердых тел, М., 1971. ⁸ И. В. Никольская, П. Ф. Верещагин и др., ДАН, т. 182, № 1, 77 (1968).