

УДК 621.891.923

А. М. Кузей¹, докт. техн. наук; В. Е. Бабич¹, канд. техн. наук; В. Г. Кудрицкий²

¹Физико-технический институт НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

²Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель

ВЛИЯНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АЛМАЗОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ НА МОРФОЛОГИЮ ПОВЕРХНОСТИ ИЗНОСА КРИСТАЛЛОВ АЛМАЗА

Изучено влияние производительности шлифования алмазоабразивным инструментом на морфологию поверхности износа обрабатываемых кристаллов алмаза. С повышением концентрации алмазных зерен в алмазосодержащем композиционном материале повышается производительность шлифования, формируется однородный микрорельеф на поверхности полуфабрикатов (бриллианта). Морфология поверхности износа коррелирует со структурой дефектного поверхностного слоя алмазного полуфабриката.

Ключевые слова: алмазоабразивный инструмент, композиционный материал, производительность шлифования, износ, морфология поверхности, сканирующая электронная микроскопия.

Высокая твердость, а также анизотропия твердости кристаллов алмаза предопределили основные технологические приемы механической обработки, используемые в гранильном производстве: алмазоабразивное шлифование (распиливание) вдоль «мягких» ([110], [001]) кристаллографических направлений [1; 2]. Анизотропия твердости алмаза обуславливает образование овального (вместо круглого) профиля заготовки бриллианта даже при ее шлифовании вдоль «мягких» направлений.

Физические методы обработки (электронно-лучевая, электроискровая, лазерная) позволяют обрабатывать алмаз без ограничений, накладываемых анизотропией твердости кристалла. Подобного эффекта можно достичь также благодаря высокой производительности алмазоабразивной обработки, нивелирующей изменения твердости поверхности. Производительность алмазоабразивной обработки определяется силовыми, скоростными, динамическими параметрами процесса. Однако помимо этого производительность зависит от состава и структуры алмазосодержащего композиционного материала.

В работе методами сканирующей электронной микроскопии и энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного анализа изучили морфологию поверхностей износа кристаллов алмаза после алмазоабразивного шлифования.

Материалы и методика эксперимента

Объектами исследования являлись полуфабрикаты бриллиантов из кристаллов алмаза октаэдрического габитуса массой 0,5–0,55 карат с характеристиками *BRN St. (Industrial Series)*. Обработывали полуфабрикаты (круглое шлифование) на шлифовальном станке ШП-6 при частоте вращения шлифовального круга (1А1, 200×10×5×76) 200 об/мин. Скорость вращения кристалла составляла 2,3 м/мин. Шлифовали кристаллы алмазными кругами с концентрацией алмазного порошка 100; 150; 175; 200%. Размеры алмазных порошков составляли 100/80 и 80/65 мкм. Травили поверхность кристаллов в расплаве состава нитрат калия – 20 мас.%, гидроксид натрия – остальное при температуре 625 К. Некруглость заготовки определяли как D0 – D1, где D0 – максимальное, D1 – минимальное значение диаметра полуфабриката.

Результаты экспериментов и их обсуждение

При повышении концентрации алмазного порошка в композиционном материале при прочих равных условиях повышается производительность шлифования. Повышение содержания алмазного порошка фракции 100/80 мкм в алмазосодержащем композиционном материале сопровождается повышением производительности шлифования с 0,048 карат/мин (при 100 отн.%) до 0,059 карат/мин (при 150 отн.%), 0,065 карат/мин (при 175 отн.%) и 0,071 карат/мин (при 200 отн.%). Удельный расход алмаза снизился с 82 карат/карат при содержании алмазного порошка 100 отн.% до 74 карат/карат (при 150 отн.%), 62 карат/карат (при 175 отн.%) и 51 карат/карат (при 200 отн. %). Повышение концентрации алмазного порошка в алмазосодержащем композиционном материале влияет на морфологию поверхности алмазных полуфабрикатов (рис. 1).

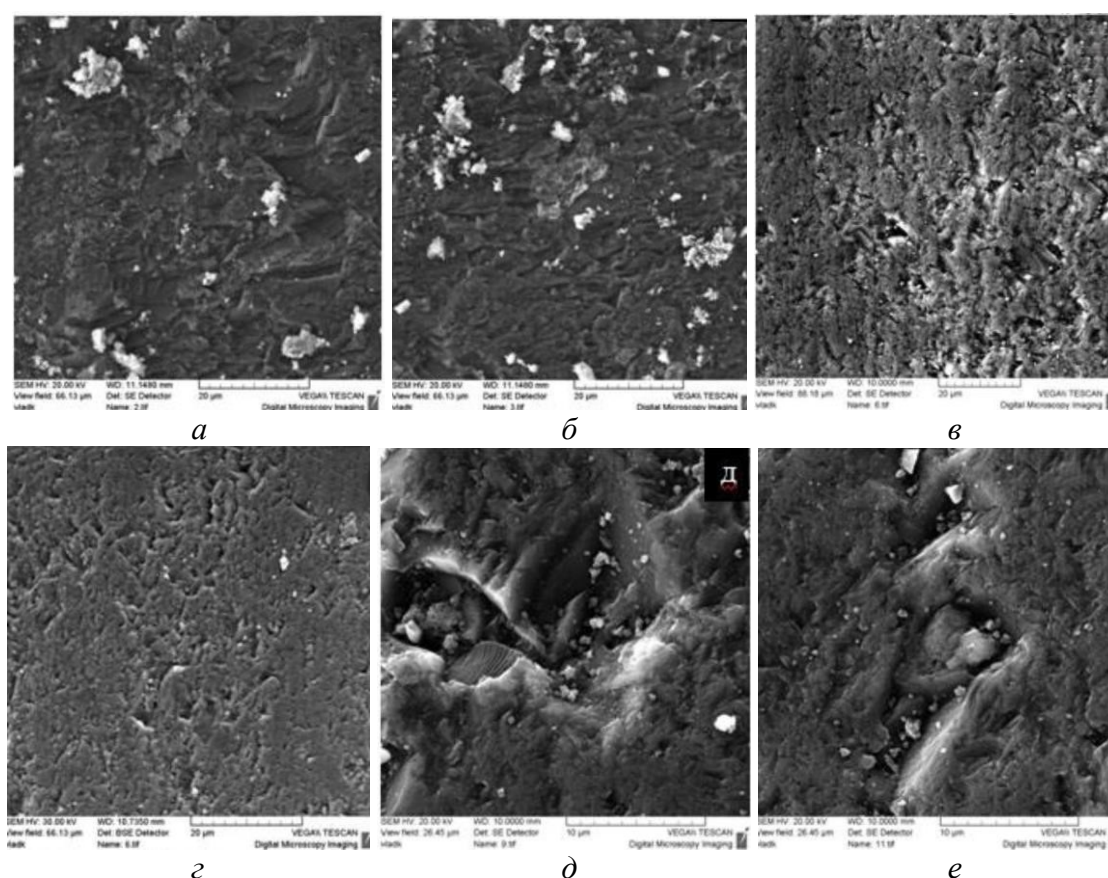


Рис. 1. Морфология поверхности алмазных полуфабрикатов при длительности шлифования алмазобразивным инструментом с алмазным порошком фракции 100/80 мкм 4 мин и концентрации алмазного порошка: а – 100 отн.%; б – 150 отн.%; в, д – 175 отн.%; з, е – 200 отн.%

При шлифовании полуфабрикатов алмазобразивным инструментом с концентрацией 100 отн.% алмазного порошка фракции 100/80 мкм на его поверхности формируется микрорельеф, состоящий из выступов с острыми вершинами и впадин, на фоне которых расположены впадины с плоским дном. Повышение концентрации алмазного порошка в алмазобразивном инструменте сопровождается сглаживанием микрорельефов поверхности полуфабрикатов. При концентрации алмазного порошка в алмазобразивном инструменте до

175 и 200 отн.% на поверхности появляются борозды, ориентированные в направлении обработки (рисунок 1, в, з). микрорельефы на поверхности алмазных полуфабрикатов представляют собой совокупность углублений различной формы и размера (0,5–5,0 мкм), на фоне которых располагаются борозды, ориентированные в направлении обработки (рис. 1, в, з). Увеличение концентрации алмазного порошка в алмазобразивном инструменте влияет и на морфологию углублений на поверхности алмазных заготовок (рис. 1, д, е). При концентрации алмазного порошка 100 и 150 отн.% углубления четко выражены и имеют острые края и плоские склоны.

В области более высокой концентрации алмазного порошка (175 и 200 отн.%) в инструменте на поверхности алмазных полуфабрикатов образуются углубления с пологими склонами и сглаженными, без острых кромок, краями (рис. 1, е). При повышении концентрации алмазного порошка фракции 80/63 мкм в алмазобразивном инструменте, так же как алмазного порошка фракции 100/80 мкм, повышается производительность шлифования и снижается удельный расход алмаза.

Производительность шлифования алмазных полуфабрикатов алмазобразивным инструментом при 100 отн.% алмазного порошка фракции 80/63 мкм составляет 0,048 карат/мин, при 150 отн.% – до 0,053 карат/мин, при 175 отн.% – 0,058 карат/мин и при 200 отн.% – 0,071 карат/мин. Удельный расход алмаза снижается с 91 карат/карат при содержании алмазного порошка 100 отн.% до 79 карат/карат (при 150 отн.%), 67 карат/ карат (при 175 отн.%) и 54 карат/ карат (при 200 отн.%).

Повышение концентрации алмазного порошка в инструменте сопровождается изменением морфологии поверхности износа алмазных полуфабрикатов (рис. 2).

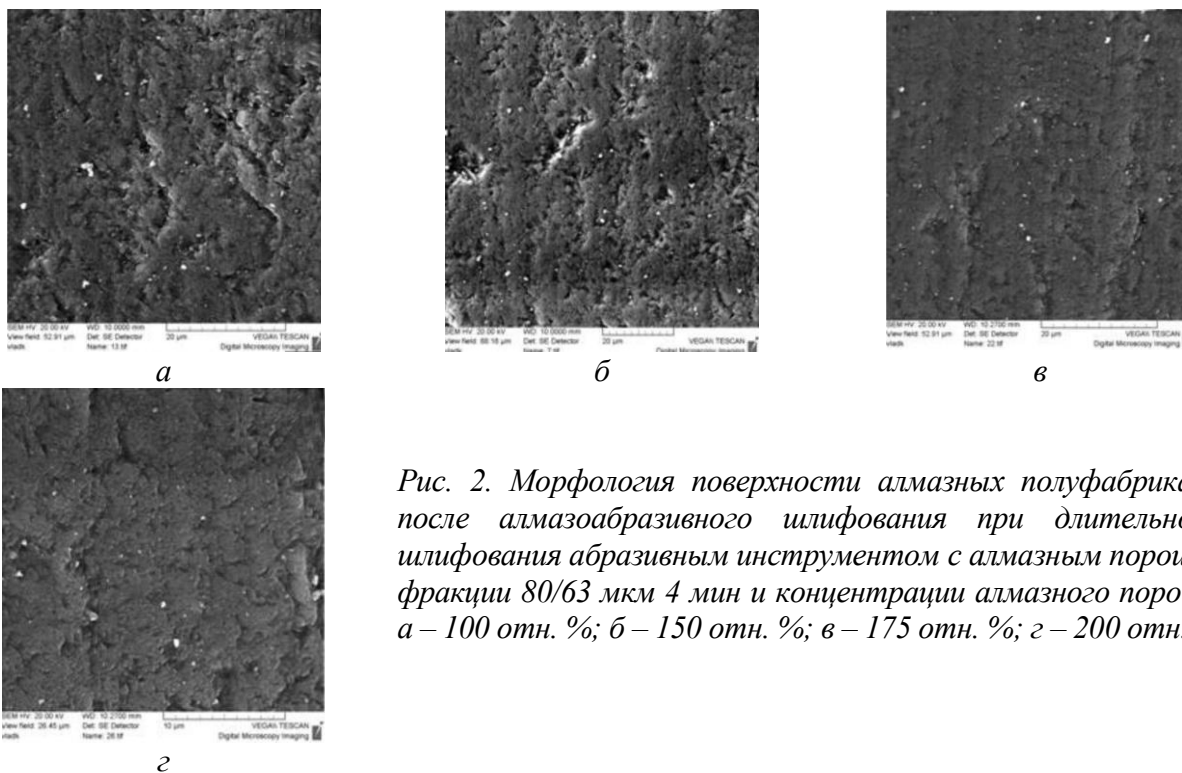


Рис. 2. Морфология поверхности алмазных полуфабрикатов после алмазобразивного шлифования при длительности шлифования абразивным инструментом с алмазным порошком фракции 80/63 мкм 4 мин и концентрации алмазного порошка: а – 100 отн. %; б – 150 отн. %; в – 175 отн. %; з – 200 отн. %

Микрорельеф, образующийся на поверхности алмазного полуфабриката после шлифования алмазобразивным кругом с концентрацией 100 отн.% алмазного порошка фракции 80/63, представляет собой совокупность углублений в форме кратеров и борозд. Вершины выступов между бороздами сглажены (рис. 2, а). При более высокой концентрации алмазного порошка в инструменте (150 и 175 отн.%) образующийся на поверхности микрорельеф состоит из множества углублений, часть которых образует борозды, ориентированные в направлении обработки (рис. 2, б).

Микрорельеф на поверхности полуфабриката после шлифования алмазобразивным инструментом с концентрацией 200 отн.% алмазного порошка фракции 80/63 образован совокупностью микровпадин, разделяющих поверхность на выступы со сглаженными вершинами (рис. 2, в).

Некруглость полуфабрикатов (диаметр 5,1; 5,2 мм) после обработки алмазными кругами с концентрацией алмазного порошка 100 отн.% достигает 0,13; 0,11 мм для алмазных порошков фракций соответственно 100/80 и 80/63 мкм. При использовании алмазобразивных кругов с концентрацией алмазного порошка (фракции 80/63 и 100/80 мкм) 150, 175, 200 отн.% некруглость полуфабрикатов снижается до 0,11; 0,09 мм (при 150 об.%), 0,08; 0,05 мм (при 175 об.%) и 0,05; 0,04 мм (при 200 об.%).

Воздействие расплава смеси нитрата калия и гидроксида натрия на алмазные полуфабрикаты изменяет морфологию их поверхности (рис. 3).

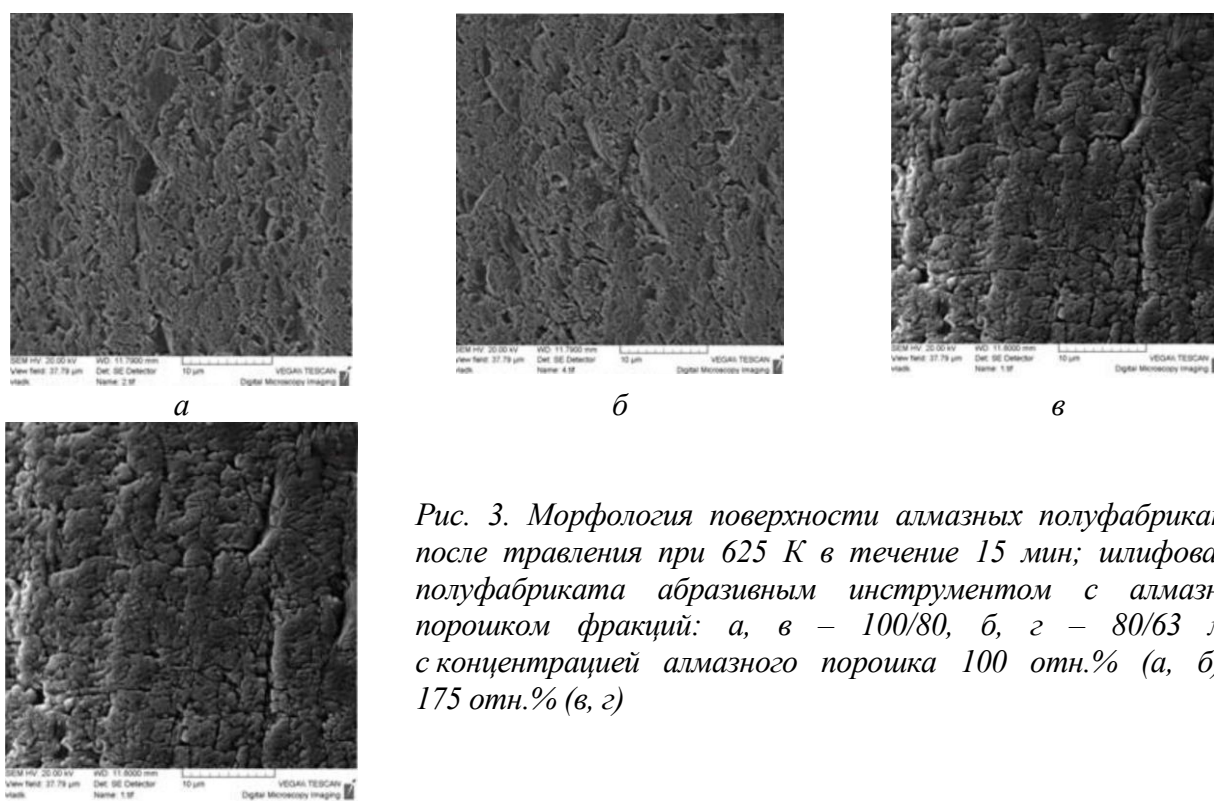


Рис. 3. Морфология поверхности алмазных полуфабрикатов после травления при 625 К в течение 15 мин; или шлифование полуфабриката абразивным инструментом с алмазным порошком фракций: а, в – 100/80, б, г – 80/63 мкм с концентрацией алмазного порошка 100 отн.% (а, б) и 175 отн.% (в, г)

Морфология поверхности полуфабрикатов после их травления представляет собой совокупность блоков, разделенных канавками, ямками травления и углублениями в форме ямок и борозд (рис. 3). Последние элементы морфологии поверхности наследовались от исходной морфологии поверхности после алмазобразивной обработки (рис. 1, 2).

Результаты исследования и их обсуждение

С повышением концентрации алмазного порошка в алмазосодержащем композиционном материале (и инструменте) повышается производительность шлифования полуфабрикатов и снижается удельный расход алмаза. Увеличение концентрации алмазного порошка в алмазосодержащем композиционном материале изменяет характер взаимодействия алмазных зерен с поверхностью полуфабрикатов. Чем выше концентрация алмазных зерен в алмазосодержащем композиционном материале, тем больше площадь, занимаемая зернами, и меньше нагрузка на алмазное зерно.

Снижение нагрузки на алмазные зерна компенсируется увеличением количества алмазных зерен, контактирующих с обрабатываемой поверхностью. Уменьшение удельного расхода алмаза при повышении концентрации алмазных зерен в алмазосодержащем композиционном материале обусловлено снижением нагрузки на алмазные зерна. В свою очередь, со снижением нагрузки на алмазные зерна снижается скорость их износа и стабилизируется режим шлифования, снижается силовое воздействие зерна на обрабатываемую поверхность (рис. 1, 2). Следствием этого является изменение морфологии поверхности полуфабрикатов.

При повышении концентрации алмазных зерен в алмазосодержащем композиционном материале сглаживаются образующиеся микрорельефы на поверхности алмазных полуфабрикатов: уменьшаются количество и размеры борозд и углублений (рис. 1, 2). Однако на поверхности полуфабрикатов даже после их шлифования инструментом с концентрацией алмазного порошка 175 и 200 отн.% остаются углубления и борозды, ориентированные в направлении обработки, хоть и меньше, чем при шлифовании инструментом с более низкой концентрацией алмазных порошков (рис. 1, 2).

Морфология поверхности углублений свидетельствует о хрупком механизме разрушения поверхности алмаза (рис. 1, а, б, д). Однако углубления с характерными признаками хрупкого разрушения (острые кромки, плоские стенки и дно углублений) расположены среди выступов с округлыми сглаженными вершинами (рис. 1, в, г; рис. 2). Микрорельефы с подобной морфологией образуются по абразивному механизму износа [3, 4]. Образование таких рельефов на поверхности полуфабрикатов свидетельствует о значительном влиянии динамической составляющей силового воздействия алмазных зерен (вершин) на обрабатываемую поверхность.

В наибольшей степени динамический характер воздействия алмазных зерен на обрабатываемую поверхность проявляется при обработке инструментами с концентрацией алмазного порошка (фракция 100/80 мкм) в алмазосодержащих композиционных материалах 100 и 150 отн.% (см. рис. 1, а, б). Формирование микрорельефов на поверхности алмазных полуфабрикатов при алмазоабразивной обработке можно описать следующим образом. Выступающие над связкой композиционного материала алмазные зерна, соприкасаясь с поверхностью полуфабриката, воздействуют на нее с различной силой. Из-за разной высоты выступающих алмазных зерен над связкой более высокие, соударяясь с поверхностью полуфабриката, вдавливаются в нее [5, 6]. В зоне внедрения алмазного зерна (вершины) возникают напряжения, которые при усилении до некоторых значений нормальной силы, вдавливающей вершину в кристалл, могут охватить значительно большую область кристалла, чем зона внедрения вершины зерна в поверхность. Рост напряжений в этой области кристалла является предпосылкой возникновения микротрещин. Множественные соударения и внедрение вершин алмазных зерен в поверхность полуфабриката приводят к

образованию приповерхностного дефектного слоя. Этот слой представляет собой участки кристалла, разделенные сетью микротрещин (рис. 3).

Последующие соударения алмазных зерен с поверхностью полуфабриката приводят к выкрашиванию (скалыванию) бездефектных участков, разделенных микротрещинами и слабо взаимосвязанных. Износ поверхностного дефектного слоя сопровождается одновременным его образованием вследствие распространения сети микротрещин вглубь полуфабриката. Морфология поверхности полуфабриката после воздействия травителя, а именно присутствия множества цепочек из ямок травления, образующих вытянутые углубления, длинные оси которых совпадают по направлению с направлением обработки, показывает, что борозды образуются на поверхности полуфабриката при алмазоабразивном шлифовании в случае внедрения и перемещения вершины зерна в поверхностном дефектном слое. Крупные (10–15 мкм) углубления в поверхности полуфабрикатов образуются при ударе и внедрении вершины алмазного зерна в дефектный поверхностный слой полуфабриката. Дефектный приповерхностный слой образуется не за счет внедрения вершин алмазных зерен в полуфабрикат (кристалл), а вследствие множественных ударов алмазных зерен, выступающих из матрицы, по поверхности полуфабриката.

При низкой концентрации алмазных зерен в композиционном материале (100–150 отн.%) с обрабатываемой поверхностью контактирует связка, ее неоднородный износ приводит к различной высоте вершин алмазных зерен над связкой. Различная высота вершин алмазных зерен над связкой усиливает динамический (ударный) эффект их взаимодействия алмазных зерен с обрабатываемой поверхностью. При повышении концентрации алмазных зерен снижаются разноразмерность выступающих над связкой алмазных зерен и износ связки. Ударный характер воздействия алмазных зерен на обрабатываемую поверхность также обусловлен колебаниями в системе станок (ШП-6) – инструмент – полуфабрикат. На это указывает присутствие углублений на поверхности полуфабрикатов при их обработке инструментом с высокой (175 и 200 отн.%) концентрацией алмазных порошков.

Производительность обработки алмазных полуфабрикатов косвенно зависит от структуры приповерхностного дефектного (нарушенного) слоя и скорости его образования и нарушения. Морфология поверхностей износа при прочих равных условиях зависит от структуры и состава алмазосодержащего композиционного материала.

Выводы

Результаты исследования влияния производительности алмазоабразивного шлифования алмазных полуфабрикатов на морфологию их поверхности показали, что при повышении производительности шлифования путем увеличения концентрации алмазных зерен в композиционном материале изменяется характер контактного взаимодействия алмазных зерен с обрабатываемой поверхностью. Вследствие этого на поверхности полуфабрикатов формируются более сглаженные микрорельефы. Морфология поверхности, формируемая при алмазоабразивном шлифовании алмазных полуфабрикатов, зависит от концентрации и размеров алмазных зерен. При повышении концентрации алмазных зерен в композиционном материале снижается динамическая составляющая взаимодействия алмазных зерен с обрабатываемой поверхностью и изменяются строение и размеры дефектного слоя. Дефектный слой морфологически связан с микрорельефом, образующимся на поверхности полуфабриката при алмазоабразивной обработке. При интенсивном динамическом воздействии алмазных зерен на обрабатываемую поверхность формируются структурно-неоднородные микрорельефы, содержащие структурные элементы (выступы,

впадины, борозды, углубления), причем некоторые из них имеют большие размеры, чем остальные.

Вивчено вплив продуктивності шліфування алмазобразивним інструментом на морфологію поверхні зносу оброблюваних кристалів алмазу. Підвищення концентрації алмазних зерен в алмазовміщуючому композиційному матеріалі призводить до підвищення продуктивності шліфування, формування однорідного мікрорельєфу на поверхні напівфабрикатів (діаманта). Морфологія поверхні зносу корелює зі структурою дефектного поверхневого шару алмазного напівфабрикату.

Ключові слова: алмазобразивний інструмент; композиційні матеріали; продуктивність шліфування; знос; морфологія поверхні; скануюча електронна мікроскопія

INFLUENCE OF PRODUCTIVITY DIAMOND ABRASIVE TREATMENT ON THE SURFACE MORPHOLOGY WEAR DIAMOND CRYSTALS

The effect of a grinding performance of diamond abrasive tools on a wear surface morphology of diamond crystals under processing is studied. Increasing the diamond grains' content in a diamond-containing composite results in increased grinding performance and in a uniform micro-relief formation at the surface of brilliant semi-finished products. The morphology of the wear surface is correlated with the defective structure of the surface layer of diamond semi-finished products.

Key words: diamond abrasive tools; composites; grinding performance; wear; surface morphology; scanning electronic microscopy

Литература

1. Бочаров А. М., Климович А. Ф., Старовойтов А. С., Снежков В. В. Изнашивание монокристаллов алмаза. – Мн.: Белорусская наука, 1996. – 144 с.
2. Семенова-Тян-Шанская А. С. Взаимосвязь микротвердости и износа алмаза в различных кристаллографических направлениях / Алмазы. – 1972. – № 8. – С. 12–13.
3. Вествуд А. Разрушение твердых тел. – М.: Металлургия, 1967. – 520 с.
4. Качалов Н. Н., Григорьев Л. Ф. О закономерностях процесса шлифования некоторых кристаллических материалов / Инженерно-физический журнал. – 1960. – Т. 3 – № 1. – С. 35–40.
5. Несмелов А. Ф., Меркулова Н. И. Некоторые зависимости, характеризующие процесс шлифования алмаза. Сб. трудов ВНИИ ГОЗНАКа. – 1971. – № 6. – С. 88–100.
6. Семенова-Тян-Шанская А. С. Исследования сопротивления алмаза износу при шлифовании / Новые направления развития алмазной обработки. – М.: Труды ВНИИ Алмаз. – 1981. – С. 19–24.

Поступила 16.07.16