

МЕХАНОХИМИЧЕСКОЕ ШЛИФОВАНИЕ МОНОКРИСТАЛЛОВ АЛМАЗА

¹Кузей А.М., ¹Филимонов В.А., ²Князян Н.Б., ²Манукян Г.Г.

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

²Институт общей и неорганической химии АН Армении, anatkuzei@mail.ru

Исследования механизмов износа монокристаллов (МК) алмаза актуальны, поскольку преимущественным механизмом износа алмаза определяются такие существенные эксплуатационные характеристики шлифовальных кругов и другого алмазоабразивного инструмента, как скорость резания, расход алмаза. В работе показано, что при контактном взаимодействии монокристалла алмаза с алмазоабразивным композиционным материалом (КМ), содержащим оксиды переходных металлов, основной механизм износа алмаза – хрупкое разрушение – заменяется адгезионным и химическим механизмами. Это достигается при динамическом (фрикционном) взаимодействии алмаза и алмазосодержащего КМ, который состоит из частиц металла, окислителя, алмазных зерен, объединенных прослойками термически неустойчивого оксидного стекла. Адгезионное взаимодействие алмаза с поверхностью частиц металла (железа и его сплавов) приводит к повышению температуры на поверхности алмаза. Последующие контакты алмаза с поверхностью частиц окислителя (КМ на основе CuO, нитратов), связующего приводят к его окислению и повышению температуры поверхностного слоя. Сочетание двух механизмов износа – адгезионного и химического – поддерживает высокую (975 – 1200 К) температуру на поверхности алмаза при контактах с алмазными зернами (микropорошками), входящими в состав КМ, что изменяет физико-механические характеристики поверхностного слоя алмаза: твердость – снижается, пластичность – повышается. Конвенционный механизм износа алмаза – хрупкое разрушение, приводящее к образованию дефектного слоя – подавлен. Износ алмаза в этих условиях может протекать по нескольким механизмам одновременно – адгезионному, химическому, абразивному. Превалирующий механизм износа будет определяться составом, структурой КМ и параметрами фрикционного взаимодействия с инструментом. Это позволяет варьировать производительность и вид обработки (шлифование, полирование, доводка) вне зависимости от кристаллографической ориентации обрабатываемой поверхности и подавить образование нарушенного слоя (НС).

Объектами исследования являлись монокристаллы синтетического алмаза и композиционные материалы Fe – Fe₂O₃ – фосфатное стекло и Fe – CuO – фосфатное стекло. Концентрация Fe в композиционных материалах составляла 53 об. %, Fe₂O₃ и CuO – 20 об. %, фосфатного стекла – 27 об. %. На основе композиционных материалов были изготовлены два шлифовальных круга формы 1A1 (150x5x6x32). Кристаллы обрабатывались на станке ШП-3 при скоростях вращения круга 200 об/мин и кристалла 3000 об/мин. Усилие шлифования составляло 1 и 4 Н.

В исходном состоянии, после алмазоабразивного шлифования, морфология поверхности кристаллов алмаза представляет собой совокупность выступов и впадин, на фоне которых расположены борозды и гребни, направление которых, в свою очередь, совпадает с направлением шлифования (рис. 1). Углубления не имеют четко выраженной формы, некоторые из них ориентированы в направлении шлифования (рис. 1, б). Травление поверхности монокристалла в растворе-расплаве нитрата калия в гидроксиде калия выявляет структуру НС (рис. 1, в). Элементами микроструктуры НС являются и углубления, образовавшиеся после алмазоабразивной обработки. Структура НС представляет собой совокупность блоков (0,5-2 мкм), разделенных микротрещинами, среди которых расположены и углубления, образовавшиеся при алмазоабразивном шлифовании.

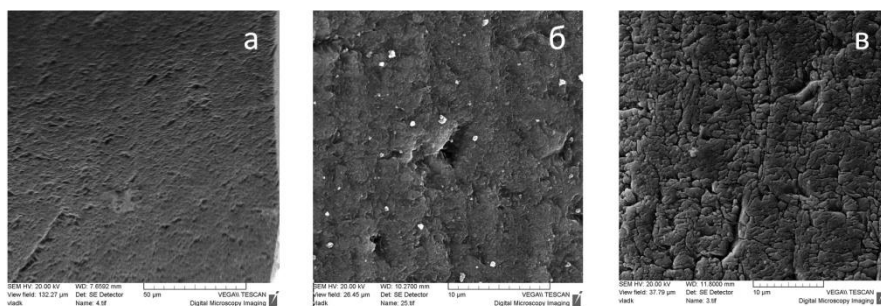


Рисунок 1 - Морфология поверхности (а, б) и микроструктура НС (в) монокристалла алмаза после алмазоабразивного шлифования

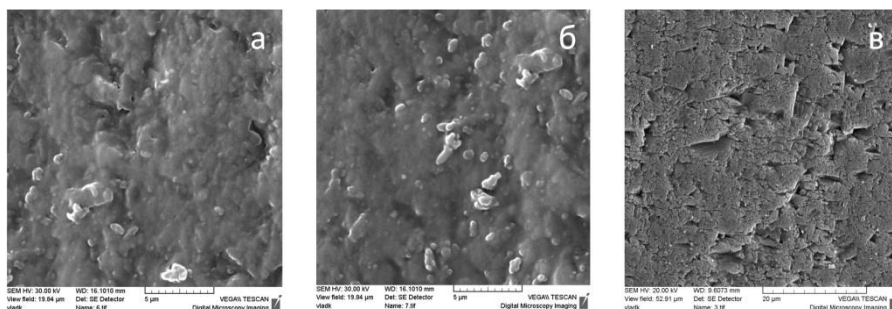


Рисунок 2 - Морфология поверхности монокристалла алмаза (а, б) и микроструктура НС (в) после шлифования КМ систем Fe – Fe₂O₃ – фосфатное стекло (а) и Fe – CuO – фосфатное стекло (б, в). Длительность шлифования 5 минут, усилие прижима 4 Н

Шлифование МК алмаза КМ систем Fe – Fe₂O₃ – фосфатное стекло и Fe – CuO – фосфатное стекло изменяет морфологию поверхности монокристалла алмаза (рис. 2). Поверхность МК после шлифования сглажена. Вершины гребней и выступов сглажены, размеры ямок, их глубина снизились. На поверхности МК присутствуют округлые частицы иной фазы, эти

частицы морфологически связаны с поверхностью МК. Шлифование МК алмаза с помощью КМ не привела к существенному изменению структуры НС (рис. 2). Микроструктура НС представляет собой совокупность блоков (0,5-3 мкм), разделенных канавками травления, среди которых расположены ямки травления и углубления, образовавшиеся при алмазоабразивном шлифовании монокристалла (рис. 1, 2 в). В отличие от структуры НС после алмазоабразивной обработки, в структуре НС после шлифования композиционным материалом системы железо – оксид меди – фосфатное стекло присутствуют крупные (4-6 мкм) ямки травления.

Шлифование МК алмаза сопровождается и изменением структуры самих композиционных материалов (рис. 3). В процессе шлифования МК алмаза частицы железа изнашиваются с меньшей скоростью, чем прослойки между ними. После 5 минут шлифования частицы железа выступают над прослойками из частиц оксидов и стекла. Продукты износа прослоек в форме округлых частиц присутствуют на поверхности частиц железа (рис. 3).

Морфология поверхностей износа МК алмаза, а именно присутствие борозд, ориентированных в направлении шлифования, углублений указывает, что основным механизмом износа монокристалла при алмазоабразивном шлифовании является абразивный износ и хрупкое разрушение. Микроструктура НС, в свою очередь, указывает на усталостный механизм разрушения монокристалла алмаза. Морфология поверхностей износа прослоек связки композиционных материалов систем железо – оксид железа – фосфатное стекло и железо – оксид меди – фосфатное стекло представляют собой совокупность выступающих над основой округлых частиц (рис. 4). Образование плоских, со сглаженной поверхностью участков связки отмечается только в композиционном материале системы железо – оксид меди – стекло (рис. 4, а).

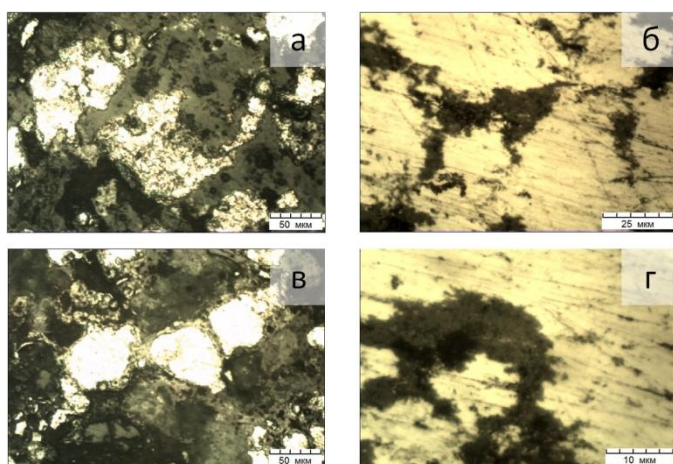


Рисунок 3 - Микроструктура композиционных материалов систем железо – оксид железа – фосфатное стекло (а, б) и железо – оксид меди – фосфатное стекло (в, г) в исходном состоянии (а, в) и после шлифования (б, г). Длительность шлифования 5 минут, усилие прижима 4 Н

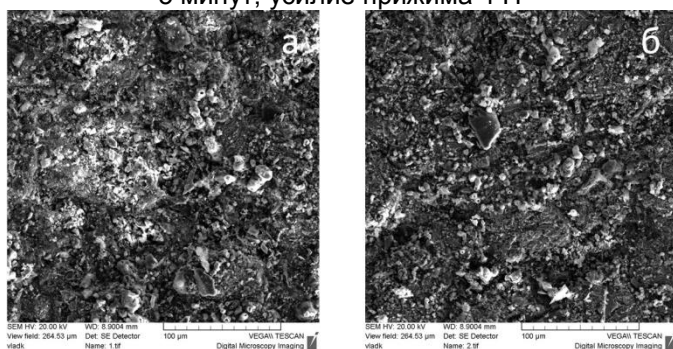


Рисунок 4 - Морфология поверхности износа прослоек связи. Шлифование монокристалла алмаза с усилием прижима 4 Н. а – композиционный материал системы железо – оксид железа – стекло; б – композиционный материал системы железо – оксид меди – стекло

Износ монокристалла алмаза происходит в результате множественных соударений вершин (граней) алмазных зерен с поверхностью монокристалла, возникновения областей напряжения – сжатия, образования единичных микротрещин и объемной сети микротрещин (НС) в приповерхностном слое монокристалла. Стадиями ведущего механизма износа являются: усталостное, хрупкое разрушение, абразивный износ. В композиционных материалах железо – оксид железа, меди – стекло отсутствуют твердые, хрупкие компоненты. Микроструктура композиционных материалов представляет собой сочетание «мягкой» и пластичной компоненты (HRB 4-6) и хрупкой компоненты (HRB 45-50) – связи из оксидов и фосфатного стекла.

Шлифование МК алмаза КМ сопровождается снижением массы и изменением морфологии поверхности МК (рис. 1, 2). Шлифование приводит к сглаживанию острых кромок, выступов и гребней, образуются округлые частицы, морфологически связанные с поверхностью монокристалла. При последующем травлении МК эти элементы морфологии поверхности растворяются в расплаве нитрата

калия, на что указывает снижение массы МК. Травление МК после шлифования КМ выявляет структуру приповерхностного слоя, элементами которой являются ямки травления, количество углублений в результате травления снижается (рис. 1, 2 в). Все это свидетельствует, что в процессе шлифования происходит фрикционное взаимодействие связок композиционных материалов и повышение температуры в зоне контакта, оплавление стекла и перенос продуктов взаимодействия на поверхность МК. Принимая во внимание, что температура начала перехода фосфатного стекла в вязко-пластичное состояние составляет 700-730 К, а образование жидкой фазы при 775-800 К, можно полагать, что температуры в зоне фрикционного контакта превышают 800 К.

Морфология поверхности МК алмаза после шлифования КМ свидетельствует об адгезионном механизме износа МК, однако снижение массы МК обусловлено химическим (трибохимическим) взаимодействием алмаза с фосфат-оксидной пленкой. Таким образом, ведущим механизмом износа, по морфологическим признакам, является адгезионный, который маскирует химическую составляющую взаимодействия.

Работа выполнялась в рамках договора Т17 Арм-016 с БРФФИ.