

ДЕФЕКТЫ В АЛМАЗАХ — ОСНОВА АДГЕЗИИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

*В.Ю. ПОПОВ, канд. техн. наук, доцент
А.С. ЯНЮШКИН, доктор техн. наук, профессор
А.Н. ХЛЫСТОВ, магистрант
(БрГУ, г. Братск)*

Поступила 16 декабря 2016
Рецензирование 17 января 2017
Принята к печати 15 февраля 2017

Попов В.Ю. — 665709, г. Братск, ул. Макаренко, 40,
Братский государственный университет,
e-mail: berkutoff@rambler.ru

Раскрытие природы образования засаленного слоя возможно только при комплексном исследовании в области материаловедения, технологии машиностроения, химии и физики твердого тела путем атомной визуализации ювенильных поверхностей. Для этого необходимо учитывать специфику синтеза искусственных алмазов, которая предыдущими исследователями не принималась во внимание. Однако крайне важно знать, какие алмазные кристаллы, с какими внутренними и поверхностными дефектами идут на изготовление современного шлифовального инструмента. Дефекты, возникающие в кристаллах алмаза при их синтезе, дают начало образованию более сложных дефектов, возникающих уже в процессе эксплуатации самих алмазов. При внешнем воздействии эти дефекты оказывают мгновенное и сильное влияние на эксплуатационные характеристики приборов, изделий или инструментов, содержащих алмазы. Разработанный на базе современных цифровых технологий и молекулярной динамики метод визуализации позволяет наглядно показать эти дефекты на атомном уровне.

Ключевые слова: комбинированная электроалмазная обработка, синтетический алмаз, адгезия, компьютерная визуализация, молекулярная динамика.

DOI: 10.17212/1994-6309-2017-1-30-39

Введение

Основным параметром, определяющим количественные, качественные и стоимостные характеристики современных технических проектов, является возможность проведения виртуального эксперимента. Это значительно дешевле, безопаснее и эффективнее физического эксперимента. Если в стремительно развивающейся индустрии быстрого прототипирования (RP) одним из ключевых критериев считается возможность визуализации модели в материале, то в моделировании методами молекулярной динамики (МД) критерием становится возможность визуализации атомного строения материала в модели. В то время как RP-модели предоставляют воз-

можность проведения особых экспериментов, которые в реальном мире провести затруднительно, то МД-модели дают возможность проведения экспериментов над атомной структурой создаваемого материала.

На сегодня машиностроение является тем высокотехнологичным сектором, который создает передовую наукоемкую продукцию. Современный переход российской промышленности на качественно новый научно-технический уровень возможен в тесной интеграции одновременно нескольких областей знаний. Особое значение имеет разработка и широкое применение материалов с улучшенными служебными характеристиками, созданных на базе фундаментальных и прикладных исследований.

В последние годы очевидна тенденция на стабильное увеличение интереса производства к алмазным шлифовальным кругам [1]. С их помощью обрабатываются многие ответственные детали. Подобная популярность может быть связана с тем, что инструмент из синтетического алмаза постепенно «завоевал» металлообрабатывающую отрасль промышленности, которая по достоинству оценила его уникальные возможности и теперь охотнее создает некоторые специфические условия для его эффективной работы.

Несмотря на свои прочностные характеристики, высокотехнологичный алмазный инструмент склонен терять в процессе шлифования режущие свойства путем изнашивания алмазных кристаллов или их адгезионного засаливания (ГОСТ 21445–84) [2]. Интенсивность этих процессов, а также создаваемые ими силы резания и трения могут быть так велики, что засаленный круг способен остановить вращающийся шпиндель шлифовального станка. Поэтому изучение процессов, протекающих в зоне контакта, описание причин потери работоспособности шлифовальных кругов с использованием компьютерных методов моделирования структуры и свойств материалов при их резании и предопределяют актуальность данной работы.

Засаленный слой на поверхности алмазного шлифовального круга образуется в несколько различных по своей природе этапов, протекание которых подтверждается современными научными представлениями об адгезии [3–5]. В каждом отдельном случае при обработке различных материалов, шлифовании различными абразивами могут преобладать различные механизмы адгезии, справедливые для конкретных термодинамических, фазовых и кинетических характеристик процесса [2–5]. Раскрыть суть этого процесса возможно только при комплексном исследовании в области материаловедения, технологии машиностроения, химии и физики твердого тела путем атомной визуализации ювенильных поверхностей [6]. Для этого необходимо учитывать специфику синтеза искусственных алмазов, которая предыдущими исследователями практически не учитывалась. Однако, как будет показано ниже, крайне важно знать, какие алмазные кристаллы, с какими внутренними и поверхностными дефектами идут на изготовление современного шлифовального инструмента.

В настоящее время в абразивном инструменте используются кристаллы «металл-синтетического» алмаза, которые образуются при высоких давлениях и температурах в металлических расплавах с растворенным в них углеродом. Это связано с тем, что ростовая среда на основе металлов катализаторов, например, таких как никель, хром или кобальт, хорошо растворяет графит. В момент своего роста в кристаллы алмаза в виде включений и примесей проникают все побочные фазы, которые находятся в реакционной камере [7–10]. Последующее воздействие на кристаллы может минимизировать некоторые дефекты алмаза. Оно заключается в различных видах радиационного воздействия, различных вариантах высокотемпературного отжига, а также сочетании различных комбинаций на их основе [11, 12].

Таким образом, после синтеза практически каждый алмаз имеет наноразмерные несовершенства структуры и различные дефекты. Все авторы, чьи исследования посвящены проблемам физики и материаловедения синтетических алмазов, единодушны во мнении, что наличие дефектов в алмазах оказывает сильное влияние на их физические свойства (механические, магнитные, электрические и пр.) и особенно влияет на их прочность, а точнее, на термочувствительность после синтеза [11–16].

Поскольку свойства алмаза определяются этими дефектами, то от них напрямую зависят эксплуатационные характеристики алмазного инструмента (или приборов и изделий), содержащего алмазы. Так, в процессе шлифования инструмент испытывает какое-либо внешнее воздействие (давление, температуру, окисление, влияние электрического тока и пр.), и поведение алмаза, находящегося в инструменте, также зависит от характера этого воздействия. Соответственно моделирование процессов резания с учетом основных дефектов, встречающихся в синтетическом алмазе, будет более точным как с точки зрения фундаментальной науки, так и компьютерного моделирования объектов физики твердого тела [2].

Методика исследования

Объектом исследования является технология шлифования изделий машиностроения, сочетающая в себе комбинированное воздействие

нескольких видов энергии и обеспечивающая повышение качества обработанной поверхности – комбинированная электроалмазная обработка (КЭАО).

Методика экспериментальных исследований заключается в определении удельного расхода алмазных зерен (АЗ), q (мг/г) и определении режущей способности АЗ, K (мм³/мин)/Н после КЭАО поверхности образцов из инструментальных сталей; изображения поверхностей АЗ получены с помощью растровой электронной микроскопии (Carl Zeiss EVO® 50 XVP). Исследовались АЗ из алмазных чашечных кругов (АШК) на металлических связках, дефицитных зернистостей: АС6 80/63 М1 100 %, $D = 125$ мм, $b = 15$ мм; АС6 125/100 М1 100 %, $D = 125$ мм, $b = 10$ мм; АС6 80/63 А1 4 М1 $D = 150$ мм, $b = 10$ мм.

Исследование зависимости удельного расхода и коэффициента режущей способности

Исследование зависимости удельного расхода (рис. 1) и коэффициента режущей способности (рис. 2) АШК от технологических режимов КЭАО показало, что исходя из условий обоснованного минимального удельного расхода алмазов рациональными для затачивания инструментальных сталей следует считать следующие режимы резания: плотность тока правки $i_{пр} = 0,1 \dots 0,25$ А/см²; плотность тока травления $i_{тр} = 6 \dots 8$ А/см²; скорость резания $V = 35 \dots 47$ м/с; поперечная подача $t = 0,02 \dots 0,03$ мм/дв.ход; продольная подача $S = 1 \dots 1,5$ мм/мин.

При исследовании процесса шлифования, моделировании его закономерностей необходимо учитывать воздействие точечных и объемных дефектов внутри АЗ, так как именно они ответ-

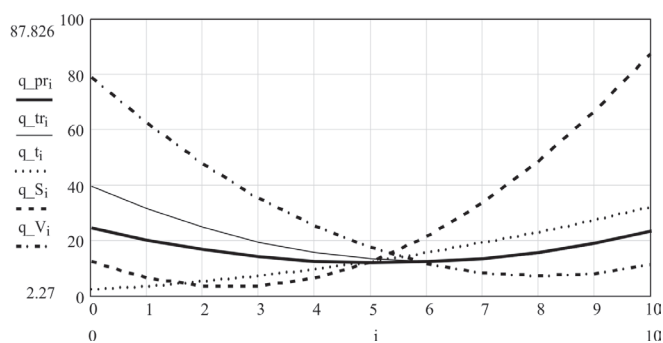


Рис. 1. Графическая зависимость удельного расхода АШК q от технологических режимов КЭАО

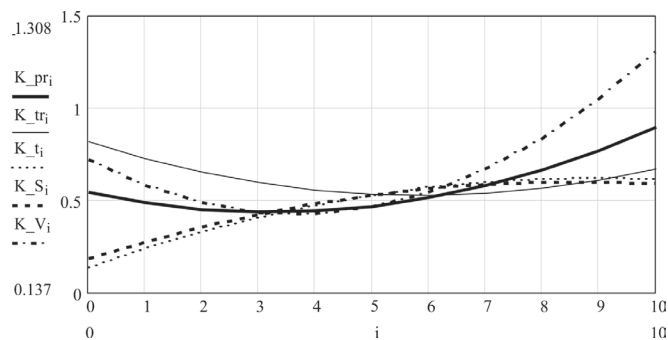


Рис. 2. Графическая зависимость коэффициента режущей способности АШК K от технологических режимов КЭАО

ственны за его разрушение и износ. Так, расчетная прочность алмаза с «идеальной» кристаллической структурой достигает 10 000 Н/мм², но, как показывает практика, прочность реального алмаза в 100...1000 раз меньше.

Воздействие точечных дефектов (микродефекты)

Основной примесью алмаза в кристаллической решетке является азот, который дает начало к образованию большого количества точечных дефектов [11–16]. Так, одиночные вакансионные дефекты (рис. 3, а), одиночные замещенные и межузельные атомы (рис. 3, б) при высокой температуре шлифования могут переходить в многовакансионные кластеры. Поскольку замещенные атомы принадлежат другому химическому элементу и имеют другой диаметр, то подобные переходы расширяют или сжимают кристаллическую решетку, накапливая в ней так называемую запасенную энергию, которая, высвобождаясь в процессе шлифования, может приводить к образованию в кристалле алмаза трещин, а значит, к снижению его прочностных характеристик.

Воздействие объемных дефектов (макродефекты)

За адгезию сошлифованного материала к связке шлифовального круга, т. е. за сам факт засаливания, в большей степени отвечают дефекты, связанные с несовершенствами поверхности кристалла алмаза. Как правило, они представляют собой блоки кристаллической решетки (рис. 3, з), между которыми могут располагаться как обычные трещины (рис. 3, д), так и трещины, заполненные металлическими включениями

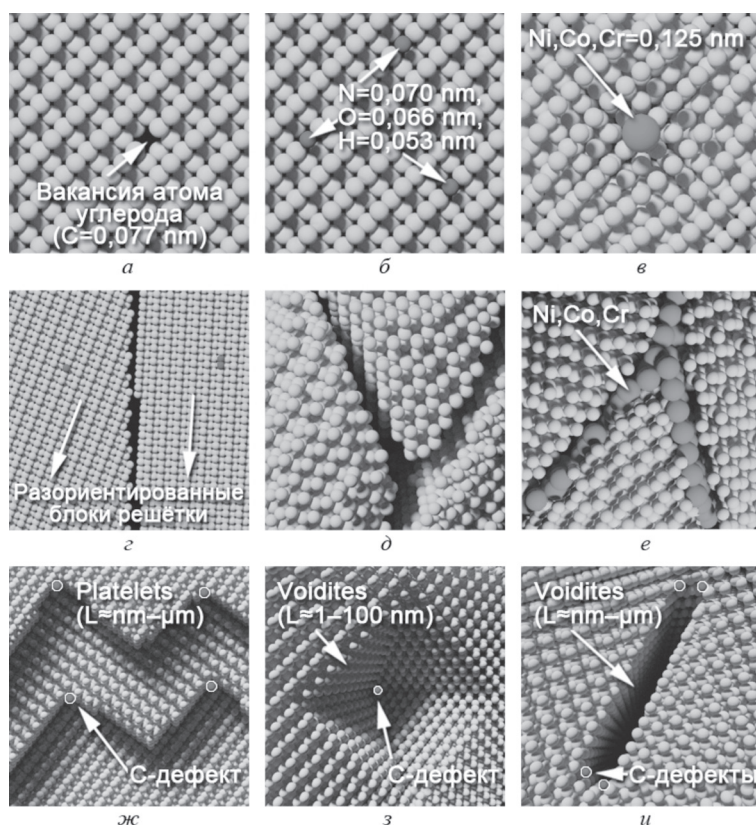


Рис. 3. Моделируемые дефекты синтетического алмаза с учетом внутренней морфологии кристалла:

точечные дефекты (микродефекты): а – вакансии; б – замещенные атомы (С-дефект); в – межузельные атомы; г – дислокации; объемные дефекты (макродефекты): д – трещины между блоками; е – металлические включения; ж – пластинчатые дефекты, так называемые Platelets; з – субмикроразрывы в форме октаэдра, так называемые Voidites; и – плоскостные субмикроразрывы

(рис. 3, е). Трещины с металлическими включениями могут располагаться как на поверхности кристалла, так и внутри его, имея протяженность от нанометров до нескольких микрометров. Эти дефекты при совокупном воздействии высокой температуры и увеличении сил резания взаимодействуют с обрабатываемой поверхностью на атомном уровне. Так, например, диффузия атомов углерода из обрабатываемой поверхности в кристалл алмаза наблюдается при температуре более 700 °С, а диффузия углерода из кристалла алмаза в обрабатываемую поверхность происходит при температуре более 800 °С.

Чем больше металлических включений, тем выше скорость окисления алмазных кристаллов. В условиях электроалмазного шлифования они могут взаимодействовать с электролитом, снижая, таким образом, режущие свойства алмазного шлифовального круга.

Поскольку точечные дефекты дают начало к образованию объемных, то в кристалле алма-

за одновременно располагаются как пластинчатые (рис. 3, ж), так и плоскостные дефекты (рис. 3, з, и). Они, как и точечные, могут располагаться на поверхности кристалла и внутри его, поэтому от внешнего воздействия сил резания, тепловых процессов напрямую зависит характер разрушения алмазного кристалла. Пластинчатые дефекты – *platelets* (рис. 3, ж) формируются из межузельных атомов углерода с примесью азота [14]. Наноразмерные субмикроразрывы – *voidites* могут иметь протяженность от одного нанометра (рис. 3, з) до нескольких микрометров (рис. 3, и) и располагаться между зернами той же ориентации, на их границах или вдоль линий дислокаций [17].

Результаты и обсуждение

При шлифовании большинство кристаллов алмаза шлифовального круга сохраняют свою форму и целостность (рис. 4, а). Однако существование в них точечных и объемных дефектов является причиной определенного характера их износа. Так, объемное разрушение вершины алмаза происходит в виде макроскола (рис. 4, б) или микроскола (рис. 4, в), по расположенным на поверхности кристалла микротрещинам. Следует отметить, что кристалл алмаза состоит из нанослоев (так называемых ступеней роста), имеющих размерность от 10 до 300 нм (рис. 4, д). Из этих нанослоев формируются последующие микрослои, которые имеют размерность от 0,2 до 4 мкм (рис. 4, е). Что характерно, подобное разделение износа на микро- и макроуровни наблюдается при разрушении тех режущих поверхностей или граней алмаза, которые входят в непосредственный контакт с обрабатываемой поверхностью.

Считается [3–5, 18–32], что в зависимости от режимов обработки, физико-химических свойств обрабатываемого материала характер износа алмазов подразделяется на абразивный (рис. 4, ж), адгезионный (рис. 4, з), диффузионный и тепловой (рис. 4, е). Однако комплексное исследование состояния поверхности шлифовального круга показало [18–20, 32], что вне зависимости от условий обработки на одном

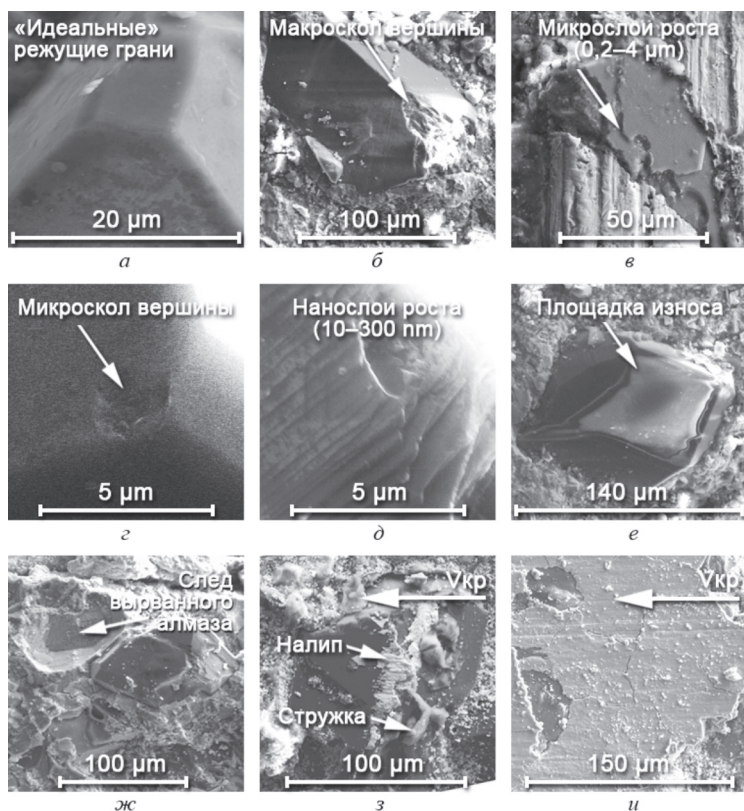


Рис. 4. Кристаллы алмаза с характерными для шлифования видами износа (разрушения режущих граней):

а – режущая грань алмаза до шлифования; *б* – объемное разрушение вершины алмаза в виде макроскола; *в* – износ режущей поверхности алмаза по микрослоям роста; *г* – объемное разрушение вершины алмаза в виде микроскола; *д* – износ режущей поверхности алмаза по нанослоям роста; *е* – истирание режущей поверхности алмаза с образованием гладкой площадки износа; *ж* – вырывание алмаза из связки шлифовального круга; *з* – образование налива на режущей грани алмаза; *и* – алмазы, полностью покрытые засаленным слоем

уровне над связкой круга могут одновременно наблюдаться кристаллы со всеми видами износа (рис. 4, *и*). Очевидно, это объясняется тем, что дефекты создают в кристаллах неравномерные напряжения. В процессе шлифования возникает деформация, вызывающая сближение точечных С-дефектов, а частицы сошлифованного материала, попадая в микротрещины, распирают их, провоцируя тот или иной вид износа.

Исходя из вышесказанного большинство дефектов в алмазе берет свое начало от наличия в своей кристаллической решетке всего лишь одного постороннего атома (N, H, O, Ni, Cr, Co и др.) либо отсутствия одного атома углерода и развиваются затем под воздействием высоких температур и давления в зоне резания [14]. Вероятно, синтез бездефектных алмазов может быть

одним из перспективных путей предотвращения процесса засаливания алмазных шлифовальных кругов на металлической связке [16]. Однако, пока исследования в этом направлении продолжаются, уже сегодня возможно существенно минимизировать негативное влияние засаленного слоя путем:

- образования на поверхности круга защитных пленок;
- замены стандартных электролитов на альтернативные смазывающе-охлаждающие жидкости;
- разработки и внедрения в эксплуатацию новых прогрессивных конструкций шлифовальных кругов;
- активной правки шлифовального круга во время шлифования по технологии комбинированной электроалмазной обработки;
- комбинированного сочетания вышеупомянутых методов.

Выводы

1. Выдвинута, теоретически обоснована и экспериментально подтверждена гипотеза о начале адгезионно-диффузионного взаимодействия ювенильных поверхностей в точечных и объемных дефектах кристаллической решетки синтетического алмаза.
2. Наличие различного вида дефектов в алмазах оказывает сильное влияние на их физические свойства, а через них на эксплуатационные характеристики абразивного инструмента, что, в свою очередь, отражается на качестве обрабатываемой поверхности.
3. Трещины, образуемые после синтеза на поверхности кристалла или внутри его, как и трещины, заполненные металлическими включениями, дают начало адгезионно-диффузионному засорению абразивного слоя шлифовального инструмента элементами обрабатываемого материала.
4. Аналитически и экспериментально исследованы технологические режимы КЭАО, в результате чего были получены графические зависимости удельного расхода АШК q и коэффициента режущей способности АШК K . Это позволило научно обоснованно подходить к назначению условий реализации КЭАО.

Список литературы

1. Попов В.Ю., Янюшкин А.С. «Ключевая» популярность электроалмазной обработки // Механика XXI века. – 2016. – № 15. – С. 50–57.
2. Попов В.Ю., Янюшкин А.С., Хлыстов А.Н. О разрушении алмазных зерен при шлифовании // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2016. – № 4. – С. 16–23. – doi: 10.17212/1994-6309-2016-4-16-23.
3. Янюшкин А.С., Шоркин В.С. Контактные процессы при электроалмазном шлифовании. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 230 с. – ISBN 5-94275-092-0.
4. Худобин Л.В., Унянин А.Н. Минимизация засаливания шлифовальных кругов. – Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 298 с. – ISBN 978-5-89146-982-2.
5. Rowe W.B. Principles of modern grinding technology. – 2nd ed. – Oxford: Elsevier, 2014. – 480 p. – ISBN 978-0-12-810166-7.
6. Попов В.Ю., Хлыстов А.Н., Бондин А.В. Атомная визуализация алмазного резания // Компьютерные исследования и моделирование. – 2016. – Т. 8, № 1. – С. 161–172.
7. Солопова Н.А. Кристаллизация алмаза в карбонатных расплавах минералогического значения (эксперимент при 5,5–84,0 ГПа): дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 25.00.05 / Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет». – М., 2014. – 112 с.
8. Включения в кристаллах синтетических алмазных высокопрочных порошков / Н.В. Новиков, Г.П. Богатырева, Г.Д. Ильницкая, Г.Ф. Невструев, Г.А. Петасюк, В.Н. Ткач, Р.К. Богданов, А.М. Исонкин, А.П. Загора, И.Н. Зайцева // Физика и техника высоких давлений. – 2009. – Т. 9, № 2. – С. 48–53.
9. Влияние прочностных характеристик алмазных шлифпорошков на работоспособность бурового инструмента / Н.В. Новиков, Г.П. Богатырева, Р.К. Богданов, Г.Д. Ильницкая, А.М. Исонкин // Сверхтвердые материалы. – 2009. – № 6. – С. 75–80.
10. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении / П.В. Зыбинский, Р.К. Богданов, А.П. Загора, А.М. Исонкин. – Донецк: Норд-Пресс, 2007. – 244 с.
11. Фундаментальные и прикладные исследования микро- нанополикристаллических алмазных агрегатов и их практическое применение / В.А. Петровский, А.Е. Сухарев, В.П. Филоненко, С.Н. Виноградов // Минералого-технологическая оценка месторождений полезных ископаемых и проблемы раскрытия минералов: сборник статей по материалам V Российского семинара по технологической минералогии. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2011. – С. 190–196. – ISBN 978-5-9274-0460-5.
12. Винс В.Г. Оптически активные дефекты в алмазе – закономерности образования и взаимной трансформации: дис. ... д-ра физ.-мат. наук: 01.04.07 / Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. – Барнаул, 2011. – 252 с.
13. Зависимость прочности алмазных шлифпорошков от структуры кристаллов алмаза / Н.В. Новиков, Г.П. Богатырева, Г.Ф. Невструев, Г.Д. Ильницкая, И.Н. Зайцева // Физика и техника высоких давлений. – 2007. – Т. 17, № 2. – С. 96–99.
14. Ширяев А.А. Дефекты и микровключения в алмазах как индикаторы условий кристаллообразования и постростовых изменений: дис. ... д-ра хим. наук: 02.00.21 / Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет». – М., 2013. – 251 с.
15. Влияние обработки высоковольтным электрическим разрядом на морфометрические характеристики алмазных порошков / Г.П. Богатырева, О.Н. Сизоненко, Н.А. Олейник, Г.А. Петасюк, Г.Д. Ильницкая, В.С. Шамраева, Г.А. Базалый, Э.И. Тафтай, А.Д. Зайченко, А.С. Торпаков, Е.В. Липян // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сборник научных трудов. – Киев: Изд-во ИСМ им. В.М. Бакуля НАН Украины, 2011. – Вып. 14. – С. 272–277.
16. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Термодинамика и молекулярная физика. – М.: Физматлит, 1970. – 565 с.
17. Voidites in polycrystalline natural diamond / J.H. Chen, D. Bernaerts, J.W. Seo, G. Van Tendeloo, H. Kagi // Philosophical Magazine Letters. – 1998. – Vol. 77 (3). – P. 135–140. – doi: <http://dx.doi.org/10.1080/095008398178561>.
18. Popov V.Yu., Yanyushkin A.S., Zamashchikov Y.I. Diffusion phenomena in the combined electric diamond grinding // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 799–800. – P. 291–298. – doi: [10.4028/www.scientific.net/AMM.799-800.291](http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.799-800.291).
19. Popov V.Y., Yanyushkin A.S. Adhesion-diffusion interaction of contact surfaces with the treatment diamond grinding wheels // Eastern European Scientific Journal. – 2014. – N 2. – P. 301–310. – doi: [10.12851/EESJ201404ART46](http://dx.doi.org/10.12851/EESJ201404ART46).
20. Popov V.Yu., Yanyushkin A.S. Combined electro-diamond grinding of high speed steels // International Journal of Advances in Machining and Forming Operations. – 2012. – Vol. 4, N 1. – P. 91–102.
21. Иванцовский В.В., Скиба В.Ю., Пушкин В.Н. Методика назначения режимов обработки при совмещении операций абразивного шлифования и поверхностной закалки ТВЧ // Обработка металлов

- (технология, оборудование, инструменты). – 2011. – № 4. – С. 19–25.
22. *Иванцовский В.В., Скиба В.Ю.* Совмещение операций поверхностной закалки и финишного шлифования на одном технологическом оборудовании // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты).* – 2006. – № 1 (30). – С. 16–18.
23. *Скиба В.Ю.* Актуальные проблемы в машиностроении: сборник материалов первой международной научно-практической конференции // *Хроники объединенного фонда электронных ресурсов Наука и образование.* – 2014. – № 11 (66). – С. 83.
24. Actual problems and decisions in machine building / ed. by V.Yu. Skeebea. – Pfaffikon: Trans Tech Publ., 2015. – 344 p. – (Applied mechanics and materials; vol. 788). – ISBN 978-3-03835-551-9. – doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.788.
25. Шлифовальный инструмент на основе силикокарбида титана / Г.И. Смагин, В.Н. Филимоненко, Н.Д. Яковлев, М.А. Корчагин, В.Ю. Скиба // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты).* – 2011. – № 1. – С. 27–30.
26. *Zamashchikov Y.I.* Duality in metal cutting: impact to the surface layer residual stress // *Materials and Manufacturing Processes.* – 2006. – Vol. 21, iss. 5. – P. 551–566. – doi: 10.1080/10426910500471706.
27. Integration of production steps on a single equipment / V. Skeebea, V. Pushnin, I. Erohin, D. Kornev // *Materials and Manufacturing Processes.* – 2015. – Vol. 30, iss. 12. – P. 1408–1411. – doi: 10.1080/10426914.2014.973595.
28. *Иванцовский В.В., Скиба В.Ю.* Повышение поверхностной микротвердости стали при интеграции поверхностно-термической и финишной механической обработок // *Научный вестник НГТУ.* – 2006. – № 3. – С. 187–192.
29. *Скиба В.Ю.* Повышение эффективности технологического процесса обработки деталей машин, при интеграции абразивного шлифования и поверхностной закалки ТВЧ: дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Новосибирский государственный технический университет. – Новосибирск, 2008. – 257 с.
30. Hybrid processing: the impact of mechanical and surface thermal treatment integration onto the machine parts quality / V.Yu. Skeebea, V.V. Ivancivsky, A.V. Kutyshkin, K.A. Parts // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* – 2016. – Vol. 126. – P. 012016. – doi: 10.1088/1757-899X/126/1/012016.
31. *Ivancivsky V., Parts K., Popov V.* Depth distribution of temperature in steel parts during surface hardening by high frequency currents // *Applied Mechanics and Materials.* – 2015. – Vol. 788. – P. 129–135. – doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.788.129.
32. Контактные процессы при алмазной обработке инструментальных материалов / В.Ю. Попов, А.С. Янюшкин, О.И. Медведева, В.Ю. Скиба // *Системы. Методы. Технологии.* – 2014. – № 3 (23). – С. 68–74.

OBRAOTKA METALLOV

(METAL WORKING AND MATERIAL SCIENCE)

N 1 (74), January – March 2017, Pages 30–39

Defects in diamonds as the basis adhesion grinding

Popov V.Y., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: berkutoff@rambler.ru

Yanyushkin A.S., D.Sc. (Engineering), Professor, e-mail: yanyushkin@brstu.ru

Khlystov A.N., Master's Degree student, e-mail: alexey.khlystov@gmail.com

Bratsk State University, 40 Makarenko st., Bratsk, 665709, Russian Federation

Abstract

The presented comprehensive study in the field of electrochemical grinding makes it possible to establish the rational regime of the combined electro-diamond grinding and to prove, on the atomic-molecular level, the possibility of effective grinding of high speed steels by metal-bonded diamond wheels. It is shown that the diffusive and adhesive phenomena in the contact zone depend essentially on the electrical regime of the combined electro-diamond grinding. The structural changes in the diamond-bearing layer are due to the phenomena associated with the high pressure and Van der Waals attracting forces occurring on the molecular level with high rates. Undesirable formation of the loaded layer on the diamond grinding wheel surface is a consequence of the phenomena. Disclosure of the nature formation of a loaded layer is possible only with an integrated research in the field of materials science, technology of machine building, chemistry and solid-state physics, through atomic visualization of juvenile surfaces. For that end, you must consider specifics of synthesis of synthetic diamonds, which was not considered by previous researchers. However,

it is important to know which diamond crystals, with some internal and surface defects are for the manufacture of modern grinding tools. Defects arising in diamond crystals during their synthesis, give rise to the formation of more complex defects that arise in the operational process of diamonds themselves. In the analysis obtained through scanning electron microscopy images shows that even on the surface not involved in the process of cutting the diamond grains and on their edges, there are characteristic traces disorders of the crystal structure, both micro and macro levels. When external action these defects and have immediate strong effect on production characteristics of devices, products or instruments containing diamonds. This is particularly manifested in the grinding of tough, ductile materials based on aluminum, magnesium or titanium. Developed on the basis of modern digital technology and molecular dynamics visualization method allows to show it at the atomic level.

Keywords

combined electro-diamond grinding, synthetic diamond, adhesion contact, computer simulation, molecular dynamics.

DOI: 10.17212/1994-6309-2017-1-30-39

References

1. Popov V.Yu., Yanyushkin A.S. “Klyuchevaya” populyarnost’ elektroalmaznoi obrabotki [“Keywords” popularity of electric diamond grinding]. *Mekhaniki XXI veku – Mechanical Engineers to XXI century*, 2016, no. 15, pp. 50–57.
2. Popov V.Y., Yanyushkin A.S., Khlystov A.N. O razrushenii almaznykh zeren pri shlifovanii [About a destruction of diamond grains in the grinding process]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) – Metal Working and Material Science*, 2016, no. 4, pp. 16–23. doi: 10.17212/1994-6309-2016-4-16-23
3. Yanyushkin A.S., Shorkin V.S. *Kontaktnye protsessy pri elektroalmaznom shlifovanii* [Contact processes with electric diamond grinding]. Moscow, Mashinostroenie-1 Publ., 2004. 230 p. ISBN 5-94275-092-0.
4. Khudobin L.V., Unyanin A.N. *Minimizatsiya zasalivaniya shlifoval’nykh krugov* [Minimization of grinding wheels loading]. Ul’yanovsk, UIGTU Publ., 2007. 298 p. ISBN 978-5-89146-982-2.
5. Rowe W.B. *Principles of modern grinding technology*. 2nd ed. Oxford, Elsevier, 2014. 480 p. ISBN 978-0-12-810166-7.
6. Popov V.Y., Khlystov A.N., Bondin A.V. Atomnaya vizualizatsiya almaznogo rezaniya [Atomic visualization diamond cutting]. *Komp’yuternye issledovaniya i modelirovanie – Computer Research and Modeling*, 2016, vol. 8, no. 1, pp. 161–172.
7. Solopova N.A. *Krystallizatsiya almaza v karbonatnykh rasplavakh mineralogicheskogo znacheniya (eksperiment pri 5,5–84,0 GPa)*. Diss. dokt. tekhn. nauk [The crystallization of diamond in carbonate melts mineralogical value (experiment at 5,5–84,0 GPa). Dr. eng. sci. diss.]. Moscow, 2014. 112 p.
8. Novikov N.V., Bogatyreva G.P., Il’nitskaya G.D., Nevstruev G.F., Petasyuk G.A., Tkach V.N., Bogdanov R.K., Isonkin A.M., Zakora A.P., Zaitseva I.N. Vkluycheniya v kristallakh sinteticheskikh almaznykh vysokoprochnnykh poroshkov [Inclusions in crystals of synthetic diamond high-strength powders]. *Fizika i tekhnika vysokikh davlenii – High Pressure Physics and Technics*, 2009, vol. 19, no. 2, pp. 48–53.
9. Novikov N.V., Bogatyreva G.P., Bogdanov R.K., Il’nitskaya G.D., Isonkin A.M. Vliyanie prochnostnykh kharakteristik almaznykh shlifporoshkov na rabosposobnost’ burovogo instrumenta [The influence of strength characteristics of diamond grits on drilling tool performance]. *Sverkhтвердые материалы – Journal of Superhard Materials*, 2009, no. 6, pp. 75–80. (In Russian)
10. Zybinskii P.V., Bogdanov R.K., Zakora A.P., Isonkin A.M. *Sverkhтвердые материалы v geologorazvedochnom burenii* [Superhard materials in exploration drilling]. Donetsk, Nord-Press Publ., 2007. 244 p.
11. Petrovskii V.A., Suharev A.E., Filonenko V.P., Vinogradov S.N. [Fundamental and applied study of micro-nanopolycrystalline diamond aggregates and their practical application]. *Mineralogo-tekhnologicheskaya otsenka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh i problemy raskrytiya mineralov: sbornik statei po materialam V Rossiiskogo seminara po tekhnologicheskoi mineralogii* [Proceedings of V Russian seminar on technological mineralogy “Mineralogical and technological evaluation of useful mineral deposits and problems in mineral opening”], Petrozavodsk, 2011, pp. 190–196. ISBN 978-5-9274-0460-5. (In Russian)
12. Vins V.G. *Opticheski aktivnye defekty v almaze – zakonomernosti obrazovaniya i vzaimnoi transformatsii*. Diss. dokt. fiz.-mat. nauk [The optically active defects in diamond – pattern formation and mutual transformation. Dr. phys. and math. sci. diss.]. Barnaul, 2011. 252 p.
13. Novikov N.V., Bogatyreva G.P., Nevstruev G.F., Il’nitskaya G.D., Zaitseva I.N. Zavisimost’ prochnosti almaznykh shlifporoshkov ot struktury kristallov almaza [Dependence of diamond grinding powder strength on

structure of diamond crystals]. *Fizika i tekhnika vysokikh davlenii – High Pressure Physics and Technics*, 2007, vol. 17, no. 2, pp. 96–99.

14. Shiryayev A.A. *Defekty i mikrovklyucheniya v almazakh kak indikator y uslovii kristalloobrazovaniya i postroystoykh izmenenii*. Diss. dokt. khim. nauk [Defects and micro-inclusions in diamonds as indicators of crystallization conditions and post-growth changes. Dr. chem. sci. diss.]. Moscow, 2013. 251 p.

15. Bogatyreva G.P., Sizonenko O.N., Oleinik N.A., Petasyuk G.A., Il'nitskaya G.D., Shamraeva V.S., Bazalii G.A., Taftai E.I., Zaichenko A.D., Torpakov A.S., Lipyan E.V. [The influence of high-voltage electrical discharge machining on morfomet-torical characteristics of diamond powder]. *Porodorazrushayushchii i metalloobrabatyvayushchii instrument – Tekhnika i tekhnologiya ego izgotovleniya i primeneniya: sbornik nauchnykh trudov* [Proceedings of the V. Bakul Institute for Superhard Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine “Rock cutting and metalworking tools – equipment and technology of its manufacture and use”], 2011, iss. 14, pp. 272–277. (In Russian)

16. Sivukhin D.V. *Obshchii kurs fiziki. Termodinamika i molekulyarnaya fizika* [General physics course. Thermodynamics and molecular physics]. Moscow, Fizmatlit Publ., 1970. 565 p.

17. Chen J.H., Bernaerts D., Seo J.W., Tendeloo G. van, Kagi H. Voidites in polycrystalline natural diamond. *Philosophical Magazine Letters*, 1998, vol. 77 (3), pp. 135–140. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/095008398178561>

18. Popov V.Yu., Yanyushkin A.S., Zamashchikov Y.I. Diffusion phenomena in the combined electric diamond grinding. *Applied Mechanics and Materials*, 2015, vol. 799–800, pp. 291–298. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.799-800.291

19. Popov V.Y., Yanyushkin A.S. Adhesion-diffusion interaction of contact surfaces with the treatment diamond grinding wheels. *Eastern European Scientific Journal*, 2014, no. 2, pp. 301–310. doi: 10.12851/EESJ201404ART46

20. Popov V.Yu., Yanyushkin A.S. Combined electro-diamond grinding of high speed steels. *International Journal of Advances in Machining and Forming Operations*, 2012, vol. 4, no. 1, pp. 91–102.

21. Ivancivsky V.V., Skeebe V.Yu., Pushnin V.N. Metodika naznacheniya rezhimov obrabotki pri sovmeshchenii operatsii abrazivnogo shlifovaniya i poverkhnostnoi zakalki TVCh [Methods of appointment processing conditions when combining the operations of abrasive grinding and surface induction hardening]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) – Metal Working and Material Science*, 2011, no. 4, pp. 19–25.

22. Ivantsivsky V.V., Skeebe V.Yu. Sovmeshchenie operatsii poverkhnostnoi zakalki i finishnogo shlifovaniya na odnom tekhnologicheskom oborudovanii [Combining the operations of surface hardening and finish grinding on the same processing equipment]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) – Metal Working and Material Science*, 2006, no. 1 (30), pp. 16–18.

23. Skeebe V.Yu. Aktual'nye problemy v mashinostroenii: sbornik materialov pervoi mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Proceedings of the First International scientific and practical conference “Actual problems in machine building”]. *Khroniki ob "edinennogo fonda elektronnykh resursov Nauka i obrazovanie – Chronicles of the Joint Fund of the Electronic Resources Science and Education*, 2014, no. 11 (66), p. 83.

24. Skeebe V.Yu., ed. *Actual problems and decisions in machine building. Applied mechanics and materials*. Vol. 788. Pfaffikon, Trans Tech Publ., 2015. 344 p. ISBN 978-3-03835-551-9. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.788

25. Smagin G.I., Filimonenko V.N., Yakovlev N.D., Korchagin M.A., Skeebe V.Yu. Shlifoval'nyi instrument na osnove silikokarbida titana [The grinding tool on a basis titan silicon carbide]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) – Metal Working and Material Science*, 2011, no. 1, pp. 27–30.

26. Zamashchikov Y.I. Duality in metal cutting: impact to the surface layer residual stress. *Materials and Manufacturing Processes*, 2006, vol. 21, iss. 5, pp. 551–566. doi: 10.1080/10426910500471706

27. Skeebe V., Pushnin V., Erohin I., Kornev D. Integration of production steps on a single equipment. *Materials and Manufacturing Processes*, 2015, vol. 30, iss. 12, pp. 1408–1411. doi: 10.1080/10426914.2014.973595

28. Ivancivsky V.V., Skeebe V.Yu. Povyshenie poverkhnostnoi mikrotverdosti stali pri integratsii poverkhnostno-termicheskoi i finishnoi mekhanicheskoi obrabotok [Increased surface microhardness of steel in the integration of surface-thermal and mechanical finishing treatments]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2006, no. 3, pp. 187–192.

29. Skeebe V.Yu. *Povyshenie effektivnosti tekhnologicheskogo protsessa obrabotki detalei mashin, pri integratsii abrazivnogo shlifovaniya i poverkhnostnoi zakalki TVCh*. Diss. kand. tekhn. nauk [Improving the efficiency of the technological processing machinery parts with the integration of abrasive grinding and surface hardening currents by high frequency currents. PhD eng. sci. diss.]. Novosibirsk, 2008. 257 p.

30. Skeebe V.Yu., Ivancivsky V.V., Kutyshkin A.V., Parts K.A. Hybrid processing: the impact of mechanical and surface thermal treatment integration onto the machine parts quality. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2016, vol. 126, p. 012016. doi: 10.1088/1757-899X/126/1/012016

31. Ivancivsky V., Parts K., Popov V. Depth distribution of temperature in steel parts during surface hardening by high frequency currents. *Applied Mechanics and Materials*, 2015, vol. 788, pp. 129–135. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.788.129

32. Popov V.Y., Yanyushkin A.S., Medvedeva O.I., Skeebe V.Yu. Kontaktnye protsessy pri almaznoi obrabotke instrumental'nykh materialov [Contact processes in diamond processing of tool materials]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii – Systems. Methods. Technologies*, 2014, no. 3 (23), pp. 68–74.

Article history

Received 16 December 2016

Revised 17 January 2017

Accepted 15 February 2017