

# ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗНОСА ОДНОСЛОЙНЫХ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНЫХ КРУГОВ И ИХ СТОЙКОСТЬ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Шепелев А.А., Сороченко В.Г. (ИСМ НАНУ, г.Киев, Украина)

*The basic regularities of wear development of one-layer diamond-abrasive tools are considered. Physical and chemical effects that take place in case of contact of diamond-abrasive tool and processed polymeric composite material are studied. Explanation of mechanical and adsorption mechanism of wear of diamond wheels is given.*

В процессе механической обработки полимерных композиционных материалов (ПКМ) однослойные алмазно-абразивные инструменты неизбежно изнашиваются. Для правильного понимания физической сущности явлений, протекающих при контактном взаимодействии рабочей поверхности инструмента с обрабатываемым материалом, в частности, установления оптимальных режимов резания и назначения критерия затупления алмазсодержащего слоя инструмента, важно знать закономерности развития износа инструмента и его природу, которые во многом определяют эффективность поиска рациональных условий обработки.

До настоящего времени как в Украине, так и в ближнем и дальнем зарубежье публикации по вопросам комплексного изучения закономерностей износа алмазно-абразивного инструмента и его стойкости при алмазно-абразивной обработке ПКМ крайне ограничены по количеству и не выходят за рамки частных исследований. Анализ работ [1,2,7,9-11], в которых рассматриваются вопросы износа и стойкости абразивного и алмазного инструмента при обработке ПКМ и других материалов на основе синтетических смол, показал, что, во-первых, первопричиной износа инструмента является механический фактор. До сих пор часть исследователей [7,9] причину интенсивного износа режущих инструментов объясняют абразивным воздействием обрабатываемого материала на режущий инструмент, независимо от того, содержит он или не содержит твердые, царапающие инструментальный и абразивный материалы, наполнители. Они считают, что режущие инструменты как из быстрорежущих и легированных сталей, так и твердых сплавов изнашиваются при резании полимерных материалов "...вследствие абразивного истирания...", а алмазные - "...абразивно- механически". В частности, причиной износа абразивных инструментов при шлифовании ПКМ по нашему мнению являются: разрушение и выпадание из связки зерен абразивов, забивание межзеренного пространства инструмента стружкой обрабатываемого материала и продуктами его деструкции [6]. Основной причиной прогрессивного падения износостойкости абразивных инструментов является уменьшение объема межзеренного пространства и увеличение температуры в зоне контакта, приводящие к деструкции стружки с образованием веществ, обладающих адгезионными свойствами, которые заполняют впадины между зернами и прилипают на режущие кромки абразивных зерен. Особого внимания заслуживают работы Харьковской школы [8,12], выполненные под руководством проф. М.Ф.Семко и развиваемые в настоящее время его учениками. Опираясь на современные представления фундаментальных наук о взаимодействии полимера с металлами и на приближающиеся к молекулярному уровню методы экспериментального исследования процесса резания пластмасс, В.И.Дрожжин впервые показал и убедительно доказал, что причина аномально интенсивного износа режущего инструмента как стального и твердосплавного, так и инструмента, оснащенного сверхтвердыми материалами, заключается как в действии механического, так и действии физического и химического факторов. Поэтому установление влияния физических и химических факторов на изнашивание однослойных алмазных кругов позволит выявить физическую сущность этих

процессов и предложить на их основе ряд практических мер, направленных на снижение интенсивности их изнашивания.

Приведенными в этой статье результатами исследований мы стремились решить следующие задачи: 1) установить закономерности развития износа однослойных алмазно-абразивных кругов; 2) предложить объяснение механизма износа алмазных кругов.

#### Закономерности развития износа инструмента.

Закономерности развития износа рабочей поверхности однослойных алмазно-абразивных инструментов изучали и устанавливали при шлифовании ПКМ. Несмотря на значительно больший коэффициент теплопроводности у синтетических алмазов в сравнении с обычными абразивными материалами, в зоне резания, как было показано нами в [4], возникают высокие температуры, приближающиеся при неблагоприятных условиях обработки к 800...1000 К. Они несомненно будут заметно влиять на интенсивность течения механохимических явлений при контактном взаимодействии инструмента с обрабатываемым материалом, а следовательно и на износ алмазодержащего слоя инструмента.

В связи с тем, что стойкость однослойных алмазно-абразивных кругов, как показал опыт их промышленного внедрения [8], очень высока по сравнению со стойкостью абразивных и лезвийных режущих инструментов, целью наших опытов было получение сравнительных показателей износа алмазов, а не определение работоспособности их за весь срок службы. Износ алмазов контролировался после каждого 1500 м пути резания, при этом суммарный путь резания равен 7,5 тыс.м. Предварительно проведенные опыты показали, что указанный объем испытаний дает вполне надежные и сопоставимые результаты.

Основные опыты проводили сборным алмазным кругом АС 20 400/315 (рис.1), состоящим из цилиндрического корпуса диаметром  $D=250$  мм и шириной  $B=60$  мм, с 36-ю параллельными осями пазами, в которых закреплены винтами рабочие элементы, выполненные в виде призматических брусков размерами  $60 \times 16 \times 15$  (рис.2). Для сравнения применяли круги с алмазами АС15 и АС32. Режим резания: скорость резания 27 м/с; подача 0,27 м/с; глубина резания 1 мм. Ширина шлифования 30 мм.

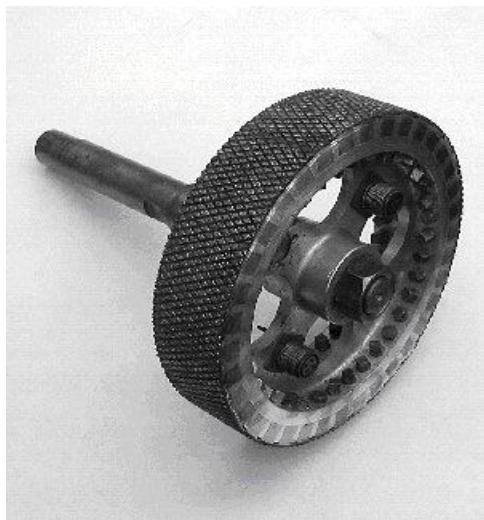


Рис.1. Конструкция сборного однослойного алмазного круга.

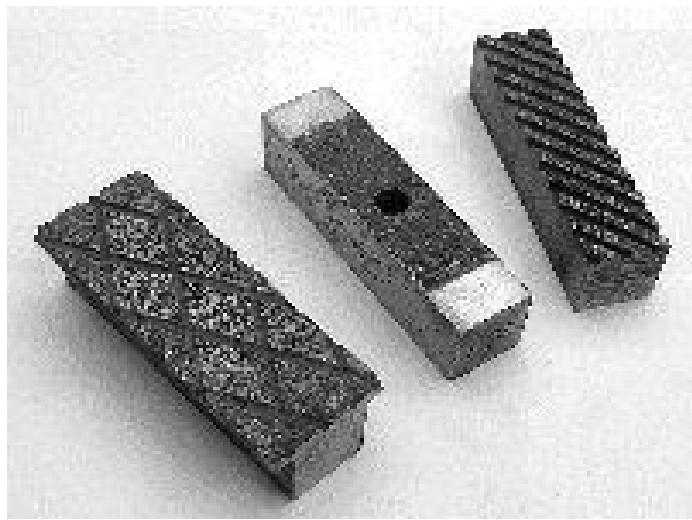


Рис. 2. Конструкция рабочего элемента сборного однослойного алмазного круга

Износ круга оценивали износом алмазов в круге, который измеряли вдоль образующей рабочего элемента (см. рис.2) на установке, состоящей из большого инструментального микроскопа и короткофокусного микроскопа МИН-9. Величину износа алмазов определяли по методу искусственных баз в 12-ти равноудаленных друг от друга точках,

задание которых обеспечивалось механической частью большого инструментального микроскопа с точностью  $\pm 0,1$  мм. За базовую линию отсчета принимались специально сделанные по краям рабочего элемента площадки, свободные от слоя связки и расположенные на расстоянии равном радиусу корпуса инструмента. Методика измерения величины износа алмазов в круге следующая. Рабочий элемент круга устанавливали на предметный столик большого инструментального микроскопа. Затем перемещением маховиков в продольном и поперечном направлении устанавливали рабочий элемент таким образом, чтобы в поле зрения микроскопа МИН-9 находился край его, свободный от связки. При достижении максимальной резкости изображения производили отсчет по шкале микронной головки. Затем маховиком продольного перемещения рабочий элемент последовательно перемещали в фиксированные точки, в которых путем последовательного фокусирования на вершины алмазов производили отсчет по микронной головке микроскопа МИН-9. Разность этих величин при фокусировании на вершины алмазов и участки свободные от связки на корпусе рабочего элемента составляла величину износа алмазов в круге.

Для визуального наблюдения и измерения величины износа алмазов применяли цилиндрические вставки диаметром 5,6 мм. Таким образом, обеспечивался постоянный контроль одних и тех же участков рабочей поверхности круга. Цилиндрические вставки служили также объектом фотографирования как непосредственно на установке, так и на электронных сканирующих микроскопах «САМЕВАС» (Франция) и «CAMSCAN» (Англия).

При наблюдении рабочей поверхности круга за макроразрушение зерен принимали объемное разрушение, при котором высота выступания алмазов над поверхностью связки уменьшалась на треть и более первоначальной величины, а менее пятой части – микроразрушение. Вырванными считались зерна алмазов, полностью удаленные из связки.

Количественно макроразрушения и вырыв алмазных зерен из связки определяли процентным отношением их к общему количеству зерен, расположенных на контролируемой площади круга.

Интенсивность развития износа кругов из алмазов AC15 400/315, AC20 400/315 и AC32 400/315 при шлифовании ПКМ (стеклопластик типа Т10-80) показана на графике (рис.3).

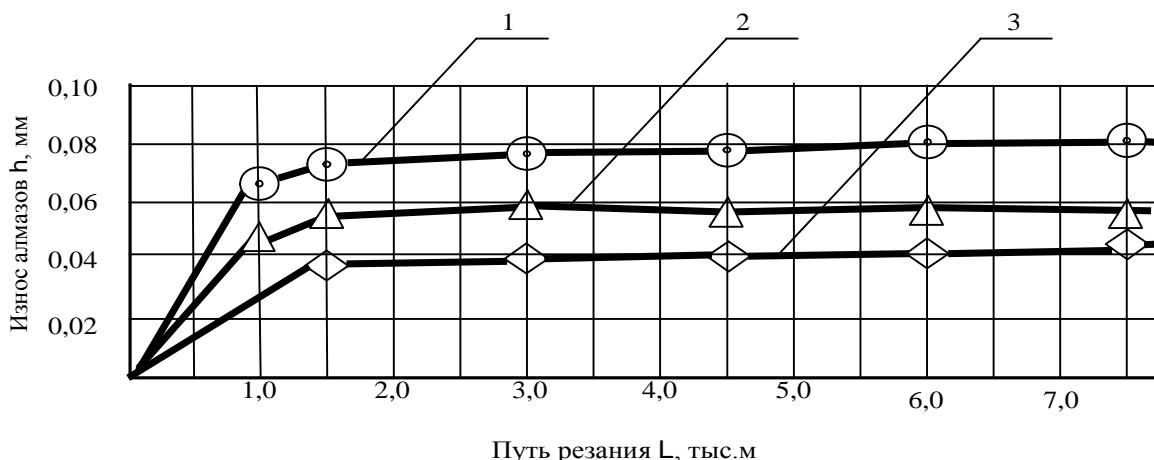


Рис.3. Изменение величины износа алмазов в круге в зависимости от пути резания: 1 – AC15 400/315; 2 – AC20 400/315; 3 – AC32 400/315.

Установлено, что износ алмазов в круге происходит неравномерно и протекает в два периода: период приработки и период пропорционального износа. Период приработки кругов AC20 400/315 заканчивается после 1,0 – 1,5 тыс.м пути резания. В табл. 1 представ-

лены данные развития износа алмазов в круге AC20 400/315 в период его приработки. Контролировали 36 алмазсодержащих площадок площадью 100  $\text{мм}^2$  каждая.

Таблица 1 - Развитие износа алмазов в круге AC20 400/315 в период приработки

Показатели износа	Среднее арифметическое, шт/100 $\text{мм}^2$	Среднее квадратическое отклонение $S$ , шт/100 $\text{мм}^2$	Доверительный интервал среднего арифметического, шт/100 $\text{мм}^2$	Количество зерен алмазов на площади 100 $\text{мм}^2$
Выпало алмазов из связки	12	1,1711	11-13	217
Алмазы с крупными трещинами	17	1,1212	16-18	217
Макросколы алмазов по высоте	19	1,5223	18-20	217
$n = 36$ ; $t_{kp}=2,0281$ ; $P = 0,95$				

Анализ данных, приведенных в табл. 1 показывает, что в период приработки примерно 20 - 25 % (22 %) алмазов в круге подвергаются полному или частичному разрушению, проявляющемуся как в вырывании алмазов из связки круга, так и в их макроразрушении. Величина износа этих алмазов не превышает 35...43 мкм. Остальные алмазы (80 - 75 %) на рабочей поверхности не претерпевают видимых изменений. Установлено, что наибольшее количество зерен, вырванных из связки и имеющих макроразрушения и крупные трещины, приходится как раз на участки, прилегающие к передней кромке рабочего элемента прерывистой алмазсодержащей поверхности круга. Полученные результаты хорошо согласуются с данными А.В.Якимова [10] и др. исследователей, изучающих износ абразивных и алмазных прерывистых кругов.

Развитие износа алмазов AC15, AC20 и AC32 протекает практически одинаково (см. рис.3). После периода приработки, соответствующего 1,0 – 1,5 тыс.м пути резания, износ алмазов в круге во времени стабилизируется. Особенностью развития износа алмазов AC32 является отсутствие макросколов и излома зерен в период приработки.

Износ связки круга в период приработки имеет свои особенности. Образующаяся в процессе резания стружка, перемещаясь в зазоре круга со значительной скоростью, интенсивно контактирует со связкой и удаляет ее часть, образовывая перед передней поверхностью алмазов и, обтекая их с боковых сторон, углубления в виде лунок (рис.4). На рис.5 показано наряду с истиранием связки, которое заключается в «пропахивании» на ее поверхности борозд, направленных параллельно вектору скорости, также ее растрескивание в непосредственной близости от алмазных зерен. Такой характер разрушения связки предопределяет в практике шлифования особые требования к эксплуатации алмазных кругов. Связаны эти требования с тем, что истирание связки круга происходит, главным образом, перед передней поверхностью алмазного зерна, что значительно уменьшает прочность удержания его в связке, а следовательно, может привести к преждевременному износу круга. Во избежание этого явления следует периодически переустановливать круг таким образом, чтобы переднюю поверхность алмазного зерна (см. рис.3) и противоположную ей поменять местами (период стойкости до переустановки определяли по результатам стойкостных испытаний, которые приведены в [8].

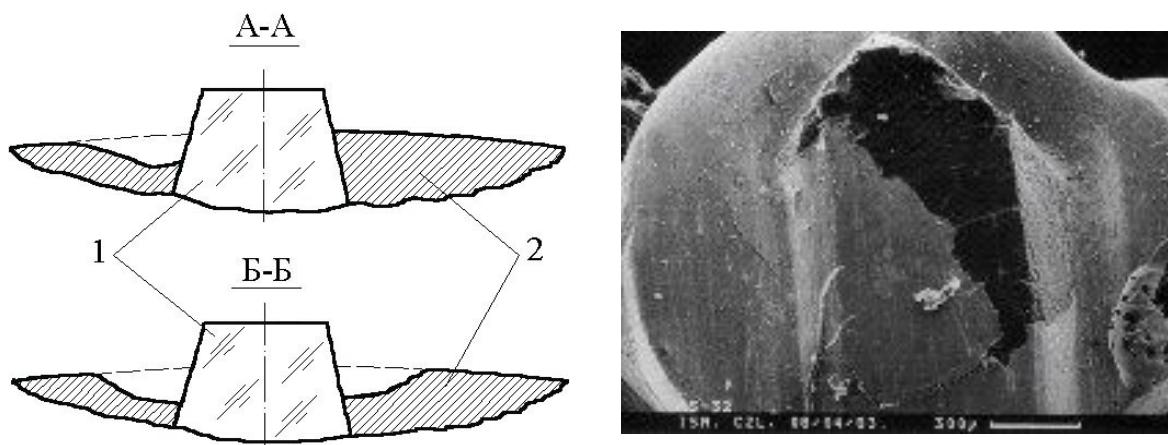


Рис.4. Схема (а) и вид износа (б) связки круга вокруг алмазного зерна в период приработки, (x63): 1 – алмазное зерно; 2 – связка круга

Период пропорционального износа, характеризующий второй период, сопровождается стабилизацией процесса изнашивания круга во времени. Выпадение целых зерен и их макроразрушение не наблюдались. Поверхностный износ алмазов в круге протекает в основном за счет отрыва микро- и тонкодисперсных частиц (рис.6) и абразивного истирания связки. Практически все зерна алмазов при шлифовании ПКМ продолжают резать до их полного вырыва из связки.

Оценку характера износа алмазов и связки круга проводили с помощью оптической и электронной растровой микроскопии [1-3]. Препарирование участков износа алмазодержащего слоя круга сводилось к удалению волоссяной щеткой продуктов обработки с последующей промывкой в ацетоне и обезвоженном спирте.

С помощью электронной микроскопии установлено, что поверхность алмазов пятнисто покрыта неровной полимерной пленкой (рис.7). Мы считаем, что налипшую на алмазы пленку из-за ее поверхностной неровности, как видно из рис.7, при малых увеличениях (x200...300) можно принять за «абразивную вспаханность» контактной поверхности алмазов. При больших увеличениях (x500...2000) неровности налипших полимерных пленок трудно принять за «абразивную вспаханность» (см.рис.7 в электронной рамке).

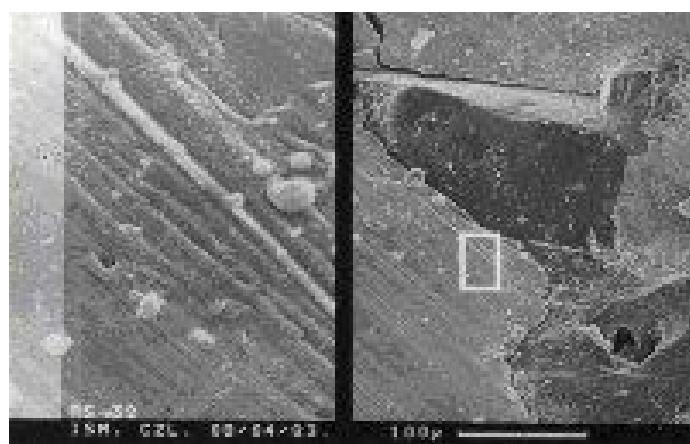
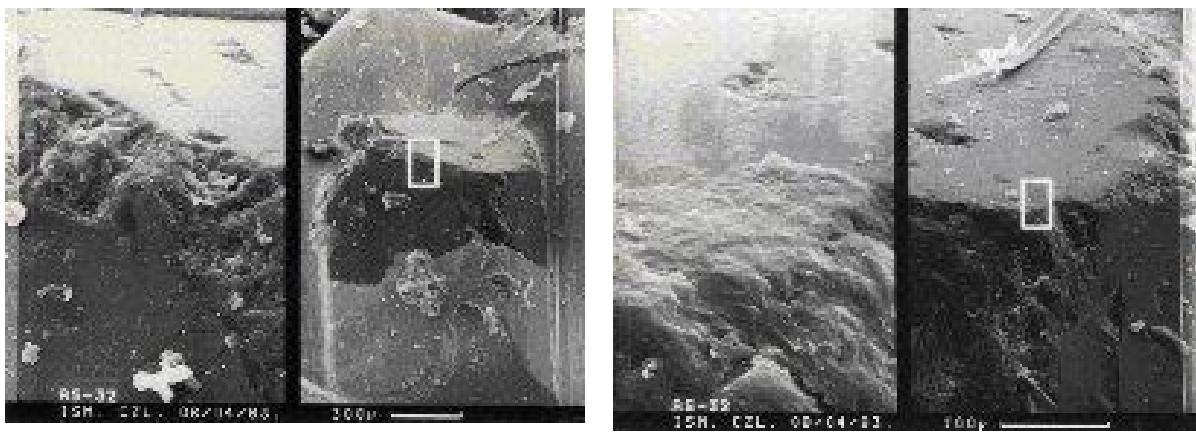


Рис.5. Вид износа связки алмазного однослойного круга («пропахивание» борозд параллельно вектору скорости и растрескивание связки вокруг алмаза), (x220, 1980).



а)

б)

Рис.6. Вид износа алмазного зерна и связки (а) и участка сопряжения передней и задней поверхности того же алмазного зерна (б): а – (х48, 480); б – (х220,2200).

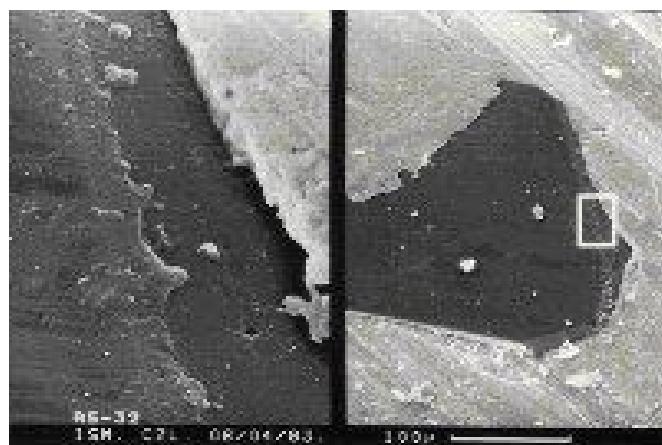


Рис.7. Вид поверхности алмаза с налипшей полимерной пленкой, (х210, 2100)

Никаких видимых следов абразивного износа алмазов при шлифовании ПКМ, в структуре которых могут находиться твердые абразивные частицы, мы не обнаружили.

Установленные факты позволяют утверждать, что при резании ПКМ, в составе которых могут находиться абразивные материалы, никаких признаков абразивного (микрорезания) воздействия их наполнителя и связующего полимера на алмазы в круге нет.

Поверхность алмазных зерен на участках износа, как показано на микрофотографиях, приобретает развитый рельеф, что свидетельствует о наличии хрупкого микроразрушения алмазов, вызванного действием как механического, так и механохимического факторов.

Для подтверждения этого научного положения и объяснения природы физических и химических явлений, протекающих на поверхности алмазодержащего слоя круга при взаимодействии с ПКМ, были проведены две серии экспериментов. Методика проведения экспериментов базировалась на современных представлениях фундаментальных наук о взаимодействии полимера с металлами и другими твердыми телами [5,13,14].

Первый эксперимент. Определяли степень влияния продуктов деструкции полимера на измельчаемость (разрушение) алмазов, из которых изготавливают однослойные алмазно-абразивные круги, предназначенные для шлифования древесно-фенольных композиций и им подобных материалов.

Необходимость проведения данного эксперимента по установлению влияния среды полимера на измельчение алмаза обусловлена, во-первых, тем, что при резании ПКМ в

зоне резания протекают интенсивные внутренние процессы, которые нельзя вскрыть с помощью традиционной методологии резания материалов, во-вторых, неоднозначностью толкования учеными природы взаимодействия полимера с алмазсодержащим слоем инструмента. Нужны сложные приемы препарирования, а иногда и моделирование процесса резания.

В одну из двух реторт вибромельницы типа МОЛМ загружали только синтетические алмазы АС15 зернистостью 400/315 массой один грамм, во вторую – то же количество алмазов и дополнительно стружку древесно-фенольной композиции ДСП (П-3) массой 0,5 грамма. Мелющими элементами были шары диаметром 5 мм из стали ШХ 15 специально поверхностью покрытые слоем (примерно 0,05 мм) никеля гальваническим способом. Материал специально нанесенного поверхностного слоя шаров был родственным связке алмазно-абразивного круга. Помол проводили при комнатной температуре в среде воздуха при частоте вращения реторт  $2820 \text{ мин}^{-1}$  в течение 0,1 часа. Из образовавшегося шлама методом термохимического обогащения выделяли алмазные зерна и на большом инструментальном микроскопе измеряли их размеры после помола без полимера и с полимером. Результаты измерений после математической обработки сведены в табл. 2.

Таблица 2. Длина алмазных зерен АС15 400/315 после дробления без полимера и с полимером

Показатели эксперимента	Среднее арифметическое, мкм	Среднее квадратическое отклонение, мкм	Доверительный интервал среднего арифметического, мкм
Вибропомол без полимера	230	1,7509	229,80-230,18
Вибропомол с полимером	103	0,7981	102,20-103,80

На рис.8 показаны микрофотографии алмазных зерен АС15 400/315 после помола в вибромельнице без полимера (рис.8,а) и в присутствии полимера (рис.8,б). В присутствии полимера происходит большее измельчение зерен алмаза, чем без полимера. Из данных табл.2 следует, что величина дробленных зерен после вибропомола в присутствии деструктированного полимера в 2...3 раза меньше, чем при помоле алмазов без полимера. Это объясняется тем, что продукты деструкции полимера являются сильными поверхностно-активными веществами (ПАВ), очень сильно интенсифицирующие разрушение механически напряженных твердых тел, а том числе и алмаза [5,6, 13]. Это явление – эффект Ребиндера [13,14], предполагающий понижение поверхностной энергии твердым телом и, следовательно, механической прочности. То есть, при одной и той же затрате механической энергии на помол алмазов поверхностно-активные вещества существенно влияют на их диспергированность. По аналогии с приведенным экспериментом измельчение алмаза в среде полимера протекает и процесс шлифования ПКМ.

**Второй эксперимент.** Стремились показать, что полимер древесно-фенольной композиции, нанесенный на поверхность алмазов при нагревании до температуры 800 - 1000 К термически деструктируется.

При алмазном шлифовании древесно-фенольных композиций в зоне резания возникает значительно более высокая температура, чем можно было бы предположить, исходя из оценки их физико-механических и теплофизических свойств.

Для измерения температуры в малых объемах зоны резания при шлифовании древесно-фенольных композиций, нами модернизирована термопара «два встроенных сближенных электрода» (2ВСЭ) [4]. С ее помощью было установлено, что температура в тон-

ких контактных слоях (до 50 мкм) достигает 800 - 900 К, что превышает термостойкость фенольного полимера и органического наполнителя, а следовательно, приводит к термоокислительной деструкции поверхностного слоя обрабатываемого материала.

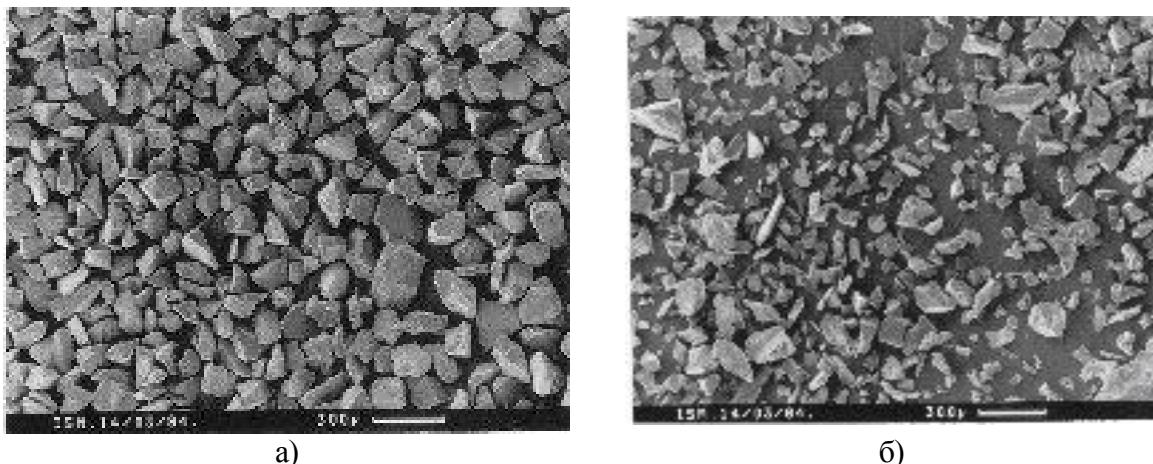


Рис.8. Вид алмазных зерен AC15 400/315 после помола в вибромельнице: а – без полимера, (х50); б – в присутствии полимера, (х50)

На микроанализаторе МТВ 40-8 фирмы SETARAM (Франция) методом комплексного термического анализа ДТА-ДТГ-ТГ-Т в условиях программируемого нагрева со скоростью 5  $^{\circ}\text{C}$  в минуту устанавливали факт термоокислительной деструкции полимера и окисления зерен алмаза в среде воздуха, а также определяли абсолютные значения температуры, при которых протекают эти явления.

В навеску алмазов AC15 400/315 зернистостью 400/315 массой 10,5 мг при температуре 370 К вводили 2 мг расплава феноло-формальдегидной смолы резольного типа. При нагревании алмазного порошка с нанесенной на его зерна фенольной пленкой, полимер интенсивно термически деструктируется, начиная примерно с 500 К и продолжается до температуры приблизительно 800 К. Указанный интервал температур учитывает возможность структурирования полимера, что подтверждается убылью массы, нанесенной на алмазные зерна фенольной пленки. Алмаз также при этом заметно окисляется, что проявляется в убытке его массы при температуре выше 1100 К. На рис.9 приведена термограмма взаимодействия алмазного порошка AC15 400/315 с полимером в среде воздуха.

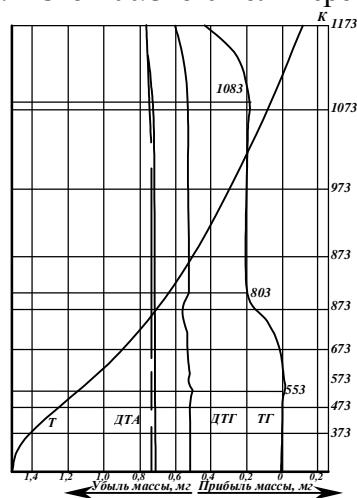


Рис.9. Термограмма взаимодействия алмазного порошка AC15 400/315 с полимером в среде воздуха

Сопоставление полученных термогравиметрированием данных о температуре деструкции полимера с экспериментально полученными нами данными о температуре в зоне резания при механообработке ПКМ [4] позволяет сделать важный вывод. Высокая температура зоны резания, практически всегда превышающая термостойкость полимера ПКМ, интенсифицирует течение механохимических процессов, которые неизбежно разрушают поверхностный слой как обработанной поверхности полимерной композиции, так и алмазодержащий слой инструмента.

Результаты проведенных опытов позволили нам характеризовать природу износа однослойных алмазно-абразивных кругов при шлифовании ПКМ как механо-механохимически-адсорбционную.

При движении одного твердого тела по другому при внешнем трении и особенно при внедрении одного твердого тела (режущего клина инструмента) в другое (обрабатываемый материал) оба они испытывают механические напряжения. На участках фактического касания инструмента с обрабатываемым материалом образуется деструктированный, с огромным числом свободных радикалов, обладающих значительной избыточной энергией, вязкотекущий (в микрообъемах) полимер. Его тончайшая полимерная пленка, пятнисто покрывающая рабочую поверхность инструмента, является энергетическим поверхностно-активным веществом. Мигрируя по поверхности алмазодержащего слоя и ее дефектам механически напряженного рабочего слоя инструмента деструктированный полимер понижает его поверхностную энергию и облегчает механический отрыв поверхностных микрочастиц инструментального материала. В инструменте при этом возникают новые поверхностные микротрещины, размыкаются и смыкаются уже существующие, по которым мигрирует деструктированная поверхностно-активная среда под действием механических напряжений и теплоты резания. Поверхностно-активные вещества, взаимодействуя с рабочими поверхностями инструмента, особенно с ювенильными, сильно снижают их поверхностную энергию (прочность), облегчая поверхностное микроразрушение твердого тела (инструмента). Этим и объясняется интенсивный износ инструмента из сверхтвёрдых материалов при резании сравнительно мягких и непрочных материалов как полимерные. Таков механизм механо-механохимически-адсорбционного износа однослойных алмазно-абразивных кругов при механической обработке резанием ПКМ.

### **Выводы.**

Развитие износа однослойных алмазно-абразивных кругов при механической обработке резанием ПКМ протекает за два периода: период приработки, составляющий примерно 10-15 % размера зерен шлифпорошков алмазов, применяемых в инструменте и период пропорционального износа, составляющий примерно 35-45 % размера зерна.

Моделированием износа алмазов установлено, что в среде полимера зерна измельчаются в 2-3 раза интенсивнее, чем без полимера. Это подтверждает известное положение о сильной интенсификации, за счет образования продуктов деструкции полимера, обладающих свойствами поверхностно-активных веществ, поверхностного микроразрушения твердых тел (алмазодержащего рабочего слоя).

Предложено объяснение механизма износа однослойных алмазно-абразивных кругов при механической обработке резанием ПКМ, в основе которого лежит положение о механо-механохимически-адсорбционной природе изнашивания твердых тел. Под действием механических напряжений, теплоты и окислительно-химических процессов в полимере происходят механохимические превращения с образованием поверхностно-активных веществ. В этой среде пребывают механически напряженные алмазы и металлическая связка инструмента, которые испытывают при этом сильное действие адсорбционного эффекта понижения поверхностной прочности; в результате этого сильно снижается поверхностная энергия алмазов и связки, что облегчает микро разрушение их поверхностного слоя.

**Список литературы:** 1. Инструменты из сверхтвёрдых материалов / Под ред.. Н.В.Новикова. – М.: Машиностроение, 2005. – 555 с.: ил. (Б-ка инструментальщика). 2. Сверхтвёрдые материалы. Получение и применение. Монография в 6 томах / Под общей ред..Н.В.Новикова. – Киев: ИСМ им.В.Н.Бакуля, ИПЦ «АЛКОН» НАНУ, 2005. Том 3:Композиционные инструментальные материалы /Отв. ред.. А.Е.Шило. – Киев: ИСМ им.В.Н.Бакуля, ИПЦ «АЛКОН» НАНУ, 2005. – 280 с. 3. Синтез, спекание и свойства сверхтвёрдых материалов: Сб. науч. тр./ Отв. ред.. Н.В.Новиков; НАН Украины. Ин-т сверхтвёрдых материалов им.В.Н.Бакуля. – К., 2005. – 255 с – (Сер. Материаловедение). 4. Шепелев А.А., Сороченко В.Г., Дрожжин В.И. Температура при алмазно-абразивном разрезании полимерных композиционных материалов // Наука і освіта: Збірник наукових праць (до 40-річчя співпраці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» та Мішкольцького університету). – Харків: НТУ «ХПІ», 2004. – С.144-150. 5. Дрожжин В.И. Физические особенности и закономерности процесса резания слоистых пластмасс. – Автореф. дис....докт.техн.наук. - Киев, 1983.-39 с. 6. Шепелев А.А., Сороченко В.Г. Механизм образования поверхностного слоя при алмазно-абразивной обработке полимерных композиционных материалов // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2004. Вып.28. – С.202-205. 7. Степанов А.А. Обработка резанием высокопрочных композиционных полимерных материалов. – Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние, 1987. – 176 с. 8. Шепелев А.А., Сороченко В.Г. Высокоэффективное шлифование полимерных композиционных материалов алмазно-абразивными кругами-барабанами // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний зб. наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2005. Вип.30. – С.246-255. 9. Подураев В.Н., Тихонова Л.Г. Резание пластмасс. – В кн.: Итоги науки и техники. (Резание металлов. Станки и инструменты). М.:ВИНТИ. 1979, т.5. С.306-309. 10. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения /Под общей редакцией Ф.В.Новикова и А.В.Якимова. В десяти томах. –Т.4. «Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов». – Одесса: ОНПУ, 2002. – 802 с. 11. Износ алмазов и алмазных кругов. Т.Н.Лоладзе и Г.В.Бокучава. М., «Машиностроение», 1967, 113 стр. 12. Семко М.Ф., Сустан Г.К., Дрожжин В.И. Обработка резанием электроизоляционных материалов. – М.: Энергия, 1974. -176 с. 13. Хайнеке Г. Трибохимия: Пер. с англ.. – М.: Мир, 1987. – 584 с. 14. Современные физические методы исследования полимеров: Справочник / Под ред.. Г.Л.Сломинского. – М.: Химия, 1982. -256 с.

Сдано в редакцию 17.05.06  
Рекомендовано д.т.н., проф. Матюха П.Г.

## ТЕРМОМАГНИТНАЯ ОБРАБОТКА – КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ДЕМПФИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СПЛАВОВ ЖЕЛЕЗА

**Шишкин В.М., Кондратов В.М., Скворцов А.И., Агапов А.И.**  
(ВятГУ, г. Киров, Россия)

*The thermomagnetic treatment of damping alloys on the basis of Fe have been developed. Their properties have been described. The methods of thermomagnetic treatment and the mechanism of magnetic-mechanical damping in Fe alloys are been discussed. Peculiarities of the alloys have been considered as well. From the structural point of view function of the thermomagnetic treatment of damping alloys on the basis of Fe are analyzed.*