

## **ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ АЛМАЗНОГО КРУГА ПРИ ШЛИФОВАНИИ КЕРАМИКИ**

**Гусев В.В., Медведев А.Л., Савельев В.В.**

*(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)*

### **Введение**

Алмазное шлифование является наиболее эффективным способом съема материала припуска в керамических заготовках вследствие их высокой твердости. Выходные показатели технологической системы операции алмазного шлифования технической керамики – точность, качество обработанной поверхности, энергоемкость, производительность, расход инструмента определяются характеристикой инструмента и изменением состояния рабочей поверхности круга (РПК) в процессе обработки. После правки режущая способность алмазного круга непостоянна, со временем работы (увеличением объема удаленного материала) по упругой схеме шлифования она снижается [1,2]. Интенсивность этого снижения не одинакова в различные периоды работы круга. Сразу после правки независимо от условий последующей обработки производительность шлифования наибольшая. Уровень начальной производительности определяется подготовкой режущей поверхности круга, скоростью резания, давлением и другими факторами.

По мере удаления материала припуска происходит изменение состояния режущей поверхности круга. Слабо удерживаемые связкой зерна вырываются. Наиболее выступающие зерна круга, воспринимающие на себя нагрузку, глубже внедряются в обрабатываемый материал. Эти зерна в первую очередь разрушаются, рельеф круга выравнивается. Глубина внедрения зерен уменьшается, а сила, приходящаяся на каждое зерно, снижается. Производительность интенсивно уменьшается в течение 0,2-3 мин. По окончании начального периода процесс шлифования протекает с медленно снижающейся производительностью независимо от способа правки. Шероховатость обрабатываемой поверхности непосредственно зависит от того, какие механизмы разрушения материала припуска реализуются в тех или иных условиях шлифования [3], насколько быстро происходит процесс приспособляемости инструмента к обрабатываемому материалу. При увеличении сил резания, по мере затупления круга, возможен брак при изготовлении деталей из керамики вследствие скалывания краев и растрескивания пластин из керамики [4], увеличения глубины трещиноватого слоя. Чем больше хрупкость керамики, тем выше вероятность скалывания краев заготовки. Выбор рациональных условий алмазного шлифования невозможен без анализа изменения состояния РПК во времени.

**Цель** настоящей работы является выявление закономерностей изменения состояния РПК в процессе работы на основе системного анализа функционирования технологической системы алмазного шлифования керамики. Задачей настоящего исследования является установление связей между параметрами выходного вектора подсистемы шлифовального круга (ШК) и функционированием других подсистем алмазного шлифования керамики.

### **Содержание**

**Системный анализ технологической системы шлифования.** Функция системы проявляется в форме взаимодействия подсистем и отражает возможности системы.

Функционирование технологической системы шлифования определяется конструкцией станка, физико-механическими свойствами материала заготовки, ее формой, размерами и величиной припуска, характеристикой инструмента, кинематикой и динамикой процесса, алгоритмом управления. В соответствии с системным подходом [5] технологическая система шлифования имеет иерархическое строение. Декомпозиция технологической системы шлифования позволяет выявить роль каждой из подсистем по обеспечению требуемых параметров качества поверхности детали, найти правильный путь к выбору условий обработки, оценки влияния состояния РПК на формирование параметров качества поверхности детали.

Система алмазного шлифования состоит из следующих подсистем: заготовки, инструмента с механизмом правки, станка с приспособлением, СОТС и зоны контакта (рис. 1), которые в дальнейшем будем называть подсистемами. Выделение зоны контакта в отдельную подсистему условно, так как она представляет область взаимодействия алмазных зерен и обрабатываемого материала, в которой протекают сложные процессы, не присущие по отдельности ни инструменту, ни заготовке. При движении ШК поверхности алмазных зерен описывают поверхности резания.

В качестве управляющей подсистемы для шлифования выступает подсистема-станок-приспособление, на вход которой поступает вектор управляющей информации  $G^1(\tau)$ . Подсистема управления позволяет целенаправленно изменять условия обработки и взаимодействия остальных элементов системы шлифования. Внешние условия взаимодействия (настройку, кинематику, размеры заготовки) в наших исследованиях прием неизменными. Обмен информацией между системой шлифования и внешней средой осуществляется через все подсистемы за исключением зоны контакта, которая является внутренней подсистемой, через нее реализуется взаимодействие подсистем заготовки, СОТС и инструмента. В общем случае система шлифования не является строго иерархической системой, так как информация о состоянии подсистем ШК и заготовки может быть использована для сигналов адаптивного управления в подсистеме станок – приспособление. Это позволяет не учитывать подсистему управления, рассматривая ее воздействие как управляющее со стороны внешней среды  $G^1(\tau)$ .

Входные переменные, обозначаемые вектором  $X^j=(x^j_1, x^j_2, \dots, x^j_n)$  и подаваемые на вход  $j$ -ой технической подсистемы, в заданный промежуток времени работы подсистемы остаются неизменными. В процессе функционирования и взаимодействия подсистем с внешней средой на их выходе мы имеем результат, который характеризуется векторами выходных параметров подсистем  $Y^j(\tau)=(y^j_1(\tau), y^j_2(\tau), \dots, y^j_l(\tau))$ . Выходные параметры подсистем определяются параметрами состояния  $Z^j(\tau)$  и в общем случае могут быть описаны в зависимости от входных сигналов с помощью операторов сопряжения [5].

Каждая подсистема функционирует во времени  $\tau$  и находится в одном из возможных состояний  $z_i$ . В течение времени подсистемы переходят из одного состояния в другое, из множества возможных состояний системы, которые характеризуются совокупностью параметров состояния, задаваемых вектором  $Z^j(\tau)=(z^j_1(\tau), z^j_2(\tau), \dots, z^j_k(\tau))$ . Параметры состояния представляют собой реализации случайных функций, и состояние подсистемы  $Z^j(\tau)$  для произвольного момента времени  $\tau > \tau_0$  определяется по предыдущим состояниям случайным оператором  $H^j$  переходов  $j$ -ой подсистемы  $Z^j(\tau) = H^j \left[ Z^j(\tau_0), \tau \right]$ . Вектор  $\Omega^j(\tau)$  объединяет неконтролируемые, случайно изменяющиеся переменные, поступающие из среды на подсистему, а также случайные отклонения от заданных значений векторов  $X^j$  и  $G^j(\tau)$ .



Подсистема станка-приспособления обеспечивает взаимное перемещение заготовки и инструмента при формообразовании детали, определяет жесткость (динамическую и статическую) и собственные частоты системы. Подсистема станка-приспособления посредством выходной переменной  $y_1^1$  обеспечивает координаты относительного положения ШК и заготовки ( $x_1^3, x_1^4$ ). При включении станка его рабочие органы начинают перемещаться, изменяются координаты подсистем. Через узлы станка и приспособления от приводов передаются движущие силы и моменты на вход подсистем заготовки  $x_5^4$  и инструмента  $x_6^3$ . Перечень основных параметров состояния, входных и выходных переменных для всех подсистем приведены в таблице 1.

Подсистемы инструмента, заготовки и СОТС непосредственно следуют за подсистемой станок-приспособление. Подсистемы инструмента, заготовки и СОТС предшествуют зоне контакта. При сближении подсистем инструмента и заготовки вследствие упругих перемещений в системе появляется радиальное давление шлифовального круга на изделие, под действием которого алмазные зерна внедряются в обрабатываемый материал, возникает зона контакта. Пространственно-временное взаимодействие определяется схемой и режимами шлифования, от которых зависят форма и размеры зоны контакта, распределение по ней удаляемого припуска. Текущие координаты положения ( $z_1^3(\tau), z_1^4(\tau)$ ), скорости и ускорения движения инструмента  $z_2^3(\tau)$  (режущих кромок) и заготовки  $z_2^4(\tau)$  определяют состояние технологической обрабатывающей системы (ТОС) в момент времени  $\tau$ .

Параметры процесса стружкообразования зависят от текущего состояния ШК, определяемого вектором параметров его состояния ( $Z^J(\tau) = \Phi_I(\tau)$ ), режимов резания и схемы шлифования

$$z_3^2(\tau) = \Phi_C(\Phi_I(\tau), u_3, V_K, V_n).$$

Состояние подсистемы алмазного инструмента определяется его размерами, формой режущих кромок, их числом, распределением кромок на рабочей поверхности инструмента. Размеры и форма рабочей части инструмента определяются интенсивностью износа и неравномерностью ее линейного износа  $\Delta L(\tau)$  вдоль образующей ШК. Системный подход к анализу процессов образования поверхностей керамики алмазным шлифованием позволяет выявить особенности их формирования, одна из которых – непрерывное изменение состояния инструмента. При работе алмазного круга имеют место четыре процесса, оказывающих влияние на его работоспособность и состояние рабочей поверхности круга ( $z_4^3(\tau)$ ): истирание зерен по обрабатываемой поверхности с образованием площадок, хрупкое разрушение микроскалыванием зерен, вырывание зерен из связки, вышлифовывание связки стружкой, которая совместно с СОТС образует абразивный поток. Формирование канавок впереди и сбоку от алмазного зерна хорошо видно на рис.2. За зерном образуется спинка.

В основе формирования эксплуатационных свойств детали лежат физические и химические процессы и явления, возникающие между режущими элементами инструмента и обрабатываемой поверхностью, которые определяют силовое взаимодействие между зернами круга и удаляемым припуском. Сила резания на зерне зависит от параметров процесса стружкообразования (размеров и формы единичных срезов обрабатываемого материала) ( $z_3^2(\tau)$ ) и комплекса физико-механических свойств керамики ( $x_3^2$ ), которые будем считать в первом приближении неизменными для зоны контакта, и соответствующими входным свойствам заготовки.

Таблица 1. Основные входные переменные, параметры состояния и выходные переменные операции алмазного шлифования

Под-система №	Входные переменные, начальные условия X	Параметры состояния Z	Выходные переменные Y
Станок-при-способ-ление 1	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Начальное расположение деталей станка.</li> <li>2. Начальные технические данные станка-приспособления (жесткость, собственные частоты).</li> <li>3. Геометрические параметры схемы шлифования</li> <li>4. Параметры настройки станка (режимы резания)</li> <li>5. Начальная температура узлов станка</li> <li>6. Силы реакций инструмента</li> <li>7. Силы реакций заготовки</li> <li>8. Тепловой поток от инструмента.</li> <li>9. Тепловой поток от заготовки</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Текущие технические данные станка-приспособления (жесткость, собственные частоты)</li> <li>2. Текущие характеристики пространственного положения узлов</li> <li>3. Скорости и ускорения движения деталей</li> <li>4. Силы и реакции в системе станок-приспособление</li> <li>5. Текущая температура узлов и деталей</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Пространственное положение исполнительных механизмов</li> <li>2. Тепловой поток в среду.</li> <li>3. Износ узлов и деталей станка, приспособления.</li> <li>4. Расход электроэнергии и материалов.</li> <li>5. Движущие силы на заготовке.</li> <li>6. Движущие силы на инструменте.</li> </ol>
Зона контакта 2	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Пространственное положение заготовки.</li> <li>2. Скорости движения заготовки.</li> <li>3. Физико-механические и химические свойства обрабатываемого материала.</li> <li>4. Размеры, форма, число, распределение единичных рисков.</li> <li>5. Влияние СОТС на процессы зоны контакта.</li> <li>6. Пространственное расположение инструмента.</li> <li>7. Скорости движения инструмента и режущих кромок.</li> <li>8. Свойства материалов зерна и связки.</li> <li>9. Размеры, форма инструмента, число, форма, распределение режущих кромок.</li> <li>10. Силы, действующие от инструмента на заготовку.</li> <li>11. Силы, действующие от заготовки на инструмент.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Форма и размеры зоны.</li> <li>2. Текущие скорости перемещения режущих кромок в обрабатываемом материале.</li> <li>3. Параметры процесса стружкообразования, размеры и форма единичных срезов.</li> <li>4. Текущие размеры, форма, число и распределение поверхностей резания.</li> <li>5. Параметры процессов пластических, упругих и температурных деформаций, сколов обрабатываемого материала на алмазных зернах.</li> <li>6. Реакции на зерно, связку, обрабатываемый материал, СОТС.</li> <li>7. Параметры теплового поля.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Силы реакций на инструмент.</li> <li>2. Силы реакций на заготовку.</li> <li>3. Тепловой поток в инструмент, заготовку, стружку, СОТС.</li> <li>4. Скорость съема материала.</li> <li>5. Форма и размеры единичных стружек.</li> <li>6. Изменение химического состава СОТС.</li> <li>7. Изменение размеров, формы, микрорельефа поверхности, физико-механических свойств материала поверхностного слоя заготовки.</li> </ol>
ШК 3	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Начальное пространственное положение.</li> <li>2. Начальная геометрия рабочей поверхности круга, физико-механические и химические</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Координаты положения.</li> <li>2. Скорости и ускорения движения инструмента и режущих кромок</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Координаты положения относительно заготовки.</li> <li>2. Скорости движения инструмента и режущих</li> </ol>

Продолжение таблицы 1.

1	2	3	4
3	<p>свойства зерна и связки</p> <p>3. Начальная температура</p> <p>4. Движущие силы</p> <p>5. Тепловой поток из зоны контакта.</p> <p>6. Силы реакции</p> <p>7. Химическое и механическое воздействие СОТС</p> <p>8. Охлаждающее воздействие СОТС.</p>	<p>3. Текущие размеры, форма инструмента, число, форма, распределение режущих кромок</p> <p>4. Скорости изнашивания и разрушения режущих кромок.</p> <p>5. Текущая температура.</p>	<p>кромки.</p> <p>3. Размеры, форма инструмента, число, форма, распределение режущих кромок.</p> <p>4. Физико-механические, химические свойства материалов связки и зерна.</p> <p>5. Расход инструмента.</p> <p>6. Силы реакций на станок, приспособление.</p> <p>7. Тепловой поток в СОТС, станок, среду.</p> <p>8. Силы, действующие от инструмента на заготовку.</p>
Заготовка 4	<p>1. Начальное пространственное положение.</p> <p>2. Начальная температура.</p> <p>3. Начальные параметры геометрии, физико-механические и химические свойства обрабатываемого материала, структура дефектов.</p> <p>4. Охлаждающее, смазывающее и химическое действие СОТС на заготовку.</p> <p>5. Движущие силы.</p> <p>6. Силы реакций.</p> <p>7. Тепловой поток из зоны контакта.</p> <p>8. Изменение размеров, формы, микрорельефа поверхности, физико-механических свойств материала поверхностного слоя заготовки.</p>	<p>1. Текущие координаты положения.</p> <p>2. Скорости и ускорения движения заготовки.</p> <p>3. Текущие параметры геометрии, физико-механические и химические свойства обрабатываемого материала.</p> <p>4. Текущая температура.</p>	<p>1. Координаты положения относительно инструмента.</p> <p>2. Скорости движения.</p> <p>3. Размеры, форма поверхности.</p> <p>4. Параметры микрорельефа поверхностного слоя.</p> <p>5. Тепловой поток в СОТС, станок, среду.</p> <p>6. Силы реакций на станок, приспособление.</p> <p>7. Силы, действующие от заготовки на инструмент.</p> <p>8. Физико-механические и химические свойства поверхностного слоя, структура дефектного поверхностного слоя.</p>
СОТС 5	<p>1. Начальный состав и свойства СОТС.</p> <p>2. Начальная температура СОТС.</p> <p>3. Тепловой поток от заготовки.</p> <p>4. Тепловой поток от инструмента</p> <p>5. Формы, число и размеры стружек, частиц абразива..</p>	<p>1. Текущие характеристики состава и свойства СОТС.</p> <p>2. Текущая температура СОТС.</p> <p>3. Размеры и форма потоков СОТС.</p> <p>4. Скорости потоков СОТС.</p> <p>5. Степень загрязнения СОТС</p>	<p>1. Охлаждающее, смазывающее и химическое действие СОТС на заготовку.</p> <p>2. Влияние СОТС на процессы зоны контакта.</p> <p>3. Охлаждающее, смазывающее, механическое и химическое действие СОТС на инструмент.</p> <p>4. Расход СОТС.</p> <p>5. Тепловой поток в</p>

			среду.
--	--	--	--------

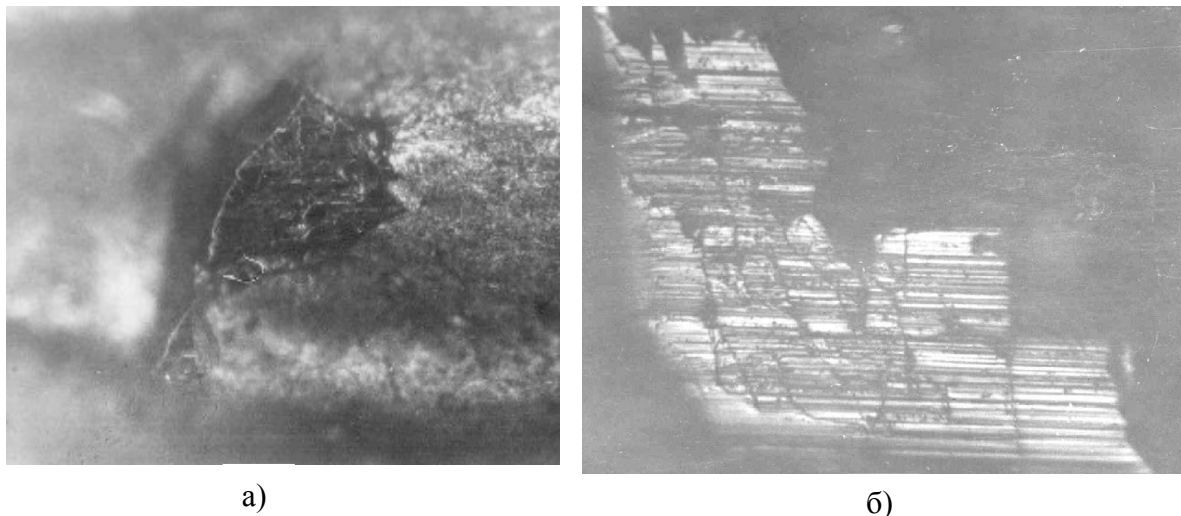


Рис. 2. Алмазное зерно при шлифовании ситалла АС – 418 кругом 1А1 200х32х10х3 А 315/250 – 4 – М2-01 при продольном круглом глубинном шлифовании с режимами

$$V_k = 33 \text{ м/с}; t = 1 \text{ мм}; V_o = 1 \text{ м/с}; S_{\text{прод}} = 6,4 \text{ мм/мин};$$

а) алмазное зерно с площадкой износа при увеличении  $\times 200$  раз;

б) вид площадки износа на алмажном зерне при увеличении  $\times 500$  раз

Образование площадок износа на вершинах режущих кромок зерен вследствие абразивного и адгезионного изнашивания (см. рис. 2), скалывание микрочастиц абразивных зерен и вырывание целых абразивных зерен (или оставшейся их части) из связки приводят к изменениям формы алмазных зерен и распределения их по высоте на рабочей поверхности круга. На микрофотографии отчетливо видны бороздки, появившиеся в результате такого механизма воздействия материала на разогретую поверхность площадок износа. На задней поверхности алмаза возникают значительные нормальные напряжения, которые вызывают растрескивание поверхностных слоев алмаза с образованием своеобразной мозаики. На поверхности зерна также виден износ с явно выраженными сколами алмазного зерна. Происходит исчезновение отдельных участков площадок износа в результате сколов кромок зерна. Разрушению микросколами и выкрашиванию предшествует зарождение и развитие трещин в зерне.

Изменение формы зерна по высоте  $b_3(\tau) = C_b(\tau) \cdot u_3^{0,5}$  в период эксплуатации будем учитывать изменением коэффициента формы  $C_b(\tau)$  зерна от времени работы. Число режущих зерен  $n_3(\tau)$  на рабочей поверхности инструмента определяется интенсивностью выше перечисленных процессов, происходящих при работе круга. Плотность вероятности текущего распределения вершин алмазных зерен  $f(u, \tau)$  на рабочей поверхности инструмента в момент времени  $\tau$  будем определять через изменение параметров распределения. Таким образом, состояние рабочей поверхности инструмента (круга), может быть описано уравнением вида

$$Z_3^3(\tau) = \Phi_{II}(b_3(\tau), n_3(\tau), f(u, \tau), \Delta L(\tau)). \quad (1)$$

Износ и разрушение кромок зерен обуславливают изменение их числа, формы, распределения, что оказывает влияние на процессы в подсистеме зоны контакта и ее состояние ( $z_3^2, z_4^2$ ), силы резания ( $z_6^2$ ). Характеристики этого поля (форма, число, распре-



деление режущих поверхностей) относятся к параметрам зоны контакта. Состояние РПК оказывает непосредственное влияние на процессы в зоне контакта, а они, в свою очередь, посредством силового и теплового факторов оказывают обратное воздействие на изменение состояния рабочей поверхности. Проведем анализ изменения РПК при алмазном шлифовании технической керамики.

**Экспериментальное определение характеристик рабочей поверхности круга и силы резания.** Линейный износ круга  $\Delta L(\tau)$  измеряли с помощью специального стационарного приспособления в шести фиксированных точках по периферии и в трех точках вдоль образующей круга с точностью  $\pm 0,001$  мм. Удельный расход алмазного инструмента определяли согласно ГОСТ 16181-70 и работы [1].

Для проведения исследований по определению сил резания, измерения эксплуатационной характеристики алмазных кругов при шлифовании образцов из конструкционной керамики был создан исследовательский стенд на базе заточного станка модели 3672. Составляющие силы резания при шлифовании регистрировались через усилитель 8АНЧ-7М (погрешность 5%) самописцем НЗ38 – 4П (погрешность 4%). Перед проведением исследований систему измерений тарировали. Статическую тарировку проводили с помощью динамометра ДОСМ-0,5. Было установлено отсутствие взаимовлияния при измерении составляющих силы резания. Совокупная погрешность системы измерения составляющих силы резания, определенная вероятностным способом, не превышает 14,5%. Чувствительность измерения горизонтальной составляющей составила 2,5 Н/мм, а вертикальной – 5 Н/мм. Динамическую тарировку динамометрического стола проводили с помощью шарика, в соответствии с методикой, предложенной в работе [6]. Динамический коэффициент усиления измеряемого сигнала составил 0,15Н/мм. Собственная частота динамометрического стола составила 2,1кГц.

При проведении исследований в каждой экспериментальной точке число повторных измерений было не менее трех. С целью устранения влияния ширины образцов на полученные результаты для сопоставления обрабатываемости различных видов керамики силы резания приводились к единице ширины образца, т.е. определялись погонные значения сил резания при плоском врезном шлифовании периферией круга.

На кафедре ДонНТУ было разработано специальное устройство [7] для записи режущего профиля алмазного круга на металлической связке с выделением зерен из общего рельефа круга. Определение числа зерен на рабочей поверхности круга  $n_z(\tau)$  находили в соответствии с методом стереологической реконструкции поверхности круга [7] по профилограммам. Перед проведением исследований круг правился электроэрозионным методом с контролем его исходного состояния методом профилографирования.

**Результаты экспериментальных исследований.** Хорошо известно, что по мере удаления припуска различных по физико-механическим характеристикам материалов, режущая способность круга снижается, а силы резания возрастают [1,2]. При обработке керамики и ситаллов с увеличением удаленного материала припуска силы резания возрастают (таблица 2). В течение первых минут работы круга происходит резкое падение его режущей способности. По мере удаления материала сила резания возрастает примерно до 3-х раз.

Увеличение нормальной составляющей силы резания, как было показано в работе [8], приводит к увеличению размеров дефектов и глубины трещиноватого слоя в ситалле [9], что оказывает непосредственное влияние на снижение конструкционной прочности деталей из керамики.

По мере удаления материала припуска происходит изменение состояния рабочей поверхности ШК. В результате различных видов износа происходит изменение параметров распределения Вейбулла, характеризующих разновысотность зерен на рабочей поверхности круга, которые приведены в таблице 2.

Таблица 2. Изменения параметров рабочей поверхности круга 1А1 200х20х32 АС6-4-М2-01-125/100 при плоском врезном шлифовании периферией круга ситаллов и керамики с режимами резания:  $V_k = 24$  м/с;  $V = 0,1$  м/с;  $t = 0,1$  мм

Обрабатываемый материал	№	Объем материала см <sup>3</sup> /мм	Удельные силы резания, Н/мм		Глубина РПК $\Delta R$ , мкм	Линейный износ $\Delta L$ , мкм	Плотность зерен, $n_3$ шт/мм <sup>2</sup>	Параметры закона распределения Вейбулла		
			$P_H$	$P_T$				$\delta$	$\lambda$	$\chi^2$
Керамика Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Гп) K <sub>1c</sub> =4,2 МПа·м <sup>0,5</sup> , HV=14,9 ГПа	1	0	4,1	2	60	0	20	2,07	1220	4,14
	2	0,2	4,54	2,27	45	30	17,7	1,73	217	7,17
	3	0,7	5,3	3,15	35	51	15,8	1,69	234	7,1
	4	1,2	6,1	4,1	35	65	16,4	1,65	192	3,9
	5	2,2	8,6	5,3	35	108	16,5	1,61	130	1,68
Ситалл АС-370 K <sub>1c</sub> =2,1 МПа·м <sup>0,5</sup> , HV=8 ГПа	1	0	4	1,2	70	0	20,5	2,1	1648	8,68
	2	1,5	6,4	1,6	37	31	15	2,09	835	5,2
	3	3,2	7,2	1,9	40	81	15,8	2,01	513	5,35
	4	4,9	7,4	2,15	40	107	16,4	1,86	227	3,01
	5	5,8	7,8	2,25	40	125	16,5	1,71	190	2,1
	6	6,6	8,65	2,35	35	143	16,8	1,58	84	2,89

Плотность распределения алмазных зерен по высоте приобретает правостороннюю асимметрию ( $\delta = 1,58$ ;  $\sigma(\delta) = 0,01$  и  $\lambda = 84$ ;  $\sigma(\lambda) = 10$ ). С износом ШК уменьшается высота рабочего слоя ( $\Delta R$ ) с 75 мкм до 35 мкм ( $\sigma(\Delta R) = 2$ ) и среднее число алмазных зерен ( $n_3$ ) на единице рабочей поверхности с 21 шт/мм<sup>2</sup> до 17 шт/мм<sup>2</sup> ( $\sigma(n_3) = 1,5$ ).

Результаты расчета, в соответствии с методикой работы [10], показали, что число активных зерен по мере увеличения объема удаленного материала возрастает примерно на 20%. Это связано с изменением характера распределения вершин зерен на рабочей поверхности круга. При этом средние сечения среза на зерне уменьшаются на 40%. Последнее обстоятельство наряду с образованием площадок износа приводит к увеличению сил резания при шлифовании хрупких неметаллических материалов.

### Выводы

Рабочая поверхность круга в процессе удаления материала припуска претерпевает изменения, что, в свою очередь, оказывает влияние на условия формирования поверхностного слоя детали, которые отличаются от первоначальных. Происходит приспособляемость взаимодействующих поверхностей. Необходимо установление основных закономерностей, связывающих геометрические параметры рельефа режущей поверхности с параметрами процесса резания и критериями качества обрабатываемой поверхности, что позволит перейти к нормированию и контролю основных характеристик рельефа. Необходима разработка динамической модели ШК, которая учитыв-

вала бы изменение состояния рабочей поверхности в процессе удаления материала припуска.

**Список литературы:** 1. Попов С.А., Малевский Н.П., Терещенко Л.М. Алмазно-абразивная обработка металлов и твердых сплавов. – М.: Машиностроение, 1977. – 263 с. 2. Скоростная алмазная обработка деталей из технической керамики / Н.В. Никитков, В.Б. Рабинович, В.Н. Суботин, Н.Н. Шепилов. Под. ред. З.И. Кремня. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отд-ние, 1984. – 131 с. 3. Федорович В.А. Динамика изменения параметров рабочей поверхности круга при шлифовании СТПМ // Резание и инструмент в технологических системах - Харьков: ХГПУ, 2000. – Вып. № 56 – С.154-163. 4. Алмазная обработка технической керамики / Д.Б. Ваксер, В.А. Иванов и др. – Л.: Машиностроение, 1976. – 160 с. 5. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 400 с. 6. Танович М.Л. Рыжов Э.В. Изучение микрорезания керамических материалов // Сверхтвердые материалы. – 1994. – №1. – С. 49-53. 7. Гусев В.В., Молчанов А.Д. Определение параметров разновысотности зерен алмазного круга при шлифовании // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве. Труды 5-й международной научно-технической конференции, 28-29 мая 2002. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2002. – С. 175-179. 8. Гусев В.В. Силы резания и формирование дефектного слоя при алмазном шлифовании керамики // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ: ДДМА. – 2003. – Вип. №13. – С. 70-76. 9. Gusev V., Kalafatova L. The dependence of the defectness of the machined surface of the brittle non-metallic goods on the technological parameters of the grinding process // Kształtowanie materialow niemetalowych. Zbior prac. 6 konferencji Naukowo-Technicznej, politechnika Rzeszowska, Zakopane 2001, 39-45. 10. Гусев В.В. О распределении параметров срезов при глубинном круглом шлифовании периферией круга // Резание и инструмент в технологических системах: Межд. научн.-техн. сборник. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. – Вып.65. – С. 37-46.

#### ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІНИ СТАНУ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ АЛМАЗНОГО КРУГА ПРИ ШЛІФУВАННІ КЕРАМІКИ

Гусев В.В., Медведев А.Л., Савельев В.В.

На основі системного аналізу функціонування технологічної системи алмазного шліфування кераміки виявлені основні закономірності зміни параметрів робочої поверхні шліфувального круга, що впливає на умови формування поверхневого шару деталей.

#### ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ АЛМАЗНОГО КРУГА ПРИ ШЛИФОВАНИИ КЕРАМИКИ

Гусев В.В., Медведев А.Л., Савельев В.В.

На основе системного анализа функционирования технологической системы алмазного шлифования керамики выявлены основные закономерности изменения параметров рабочей поверхности шлифовального круга, что оказывает влияние на условия формирования поверхностного слоя деталей.

#### REGULARITIES OF STATE CHANGE OF WORKING SURFACE OF DIAMOND WHEEL AT GRINDING OF CERAMICS

Gusev V.V., Medvedev A.L., Saveljev V.V.

On the basis of system analysis of operation of the technological system of ceramics diamond grinding the main regularities of change of grinding wheel working surface parameters are detected, that renders influence on conditions of forming of surface layer of details.

*Рецензент: д.т.н., проф. Калафатова Л.П.*