



Душко О.В., Мышлинская И.Х.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ ВЫСОКОТВЁРДОЙ КЕРАМИКИ ДЛЯ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ ПАР ТРЕНИЯ

В статье показано, что один из способов получения беспористых керамических материалов на основе карбида кремния состоит в добавке оксида алюминия. Предложена методика прогнозирования оценки качества высокотвердых и хрупких керамических материалов по критерию их поверхностной хрупкости.

Ключевые слова: карбид кремния, оксид алюминия, микровдавливание, горячее прессование (спекание), поверхностная хрупкость, алмазная обработка, высокотвёрдая керамика, беспористые материалы.

Из практики проектирования и создания машин и механизмов следует, что дальнейшее развитие научно-технического прогресса невозможно без применения высокоэффективных технологий, высокопрочных и износостойких материалов и оригинальных инженерных решений.

Особенно остро вопрос повышения надёжности и долговечности отдельных узлов, агрегатов и целых комплексов стоит в нефтегазовой и химической промышленности, а также в строительной отрасли, где оборудование работает в крайне неблагоприятных условиях: агрессивные среды, абразив, высокие контактные температуры и т.п. Наиболее перспективным материалом, по нашему мнению, для применения в этих отраслях промышленности можно считать керамику.

Проведённые нами исследования показали высокую эффективность использования изделий из высокотвёрдой керамики в тяжело нагруженных узлах (парах трения). Однако, надёжность и долговечность изделий из керамики во многом определяются качеством рабочей поверхности, сформировавшейся на конечном этапе механической обработки изделия.

Из практического опыта известно, что в процессе снятия стружки при алмазном шлифовании керамики участвуют отдельные алмазные зерна в совокупности со связкой круга. Но в основном съём припуска с поверхности заготовки определяется действием самих алмазных зерен, которые играют главную роль в процессе диспергирования материала [1 – 2]. Нами были проведены исследования по изучению резания-царапания единичным алмазным зерном в виде алмазной пирамиды, а также необработанным алмазным зерном естественной геометрии с исходным субмикрорельефом.

Было установлено, что зерно в начале и в конце царапины оставляет четкий след без явных сколов по его краям, а зона скольжения, предшествующая внедрению алмазного зерна, отсутствует (рис. 1.). Обладая высокой твердостью, алмазное зерно, начинает срезать стружку сразу же при контакте с материалом, средняя же часть царапины имеет по краям значительные вырывы на всем своём протяжении так, что края царапины очерчены ломаной линией в средней части.

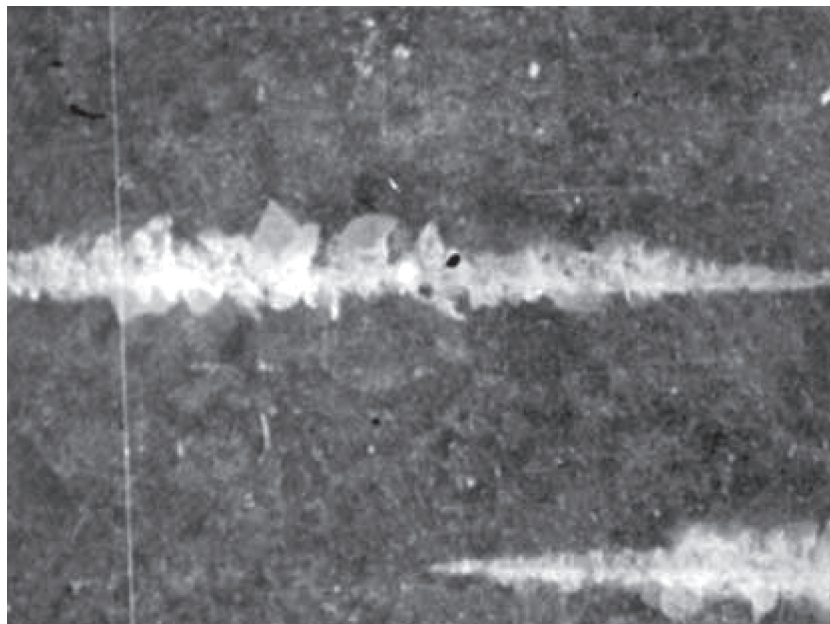


Рис. 1. Вид царапины на поверхности карбидкремниевой керамики при резании $V_{пр} = 38$ м/с единичным алмазным зерном, $\times 300$

При достижении определенной глубины внедрения зерна появляются сколы. Это можно объяснить тем, что с увеличением глубины резания, в работу вступают все новые кромки алмазного зерна, и при этом силы микрорезания возрастают в зоне его контакта с материалом образца: наблюдаются крупные участки вырывов и образование высокодисперсной стружки.

Глубина внедрения алмазного зерна, при которой начинают появляться сколы по бокам царапины, зависят от многих факторов. Она определяется прочностными свойствами обрабатываемого материала и состоянием его рабочей поверхности при прочих равных условиях. То есть, при одинаковой скорости резания характеристики алмазного зерна не должны зависеть от глубины резания, не считая ничтожного влияния незначительного изменения переднего угла при заходе и изменении угла резания. Для проверки этого положения провели измерения длины рисок царапин $l_{ш}$ (рис. 2) на предварительно шлифованных образцах и $l_{п}$ на предварительно отполированных образцах, и длины среднего участка рисок со сколами $l_{2ш}$ на предварительно шлифованных и $l_{2п}$ на предварительно отполированных образцах. По этим данным были рассчитаны фактическая глубина риски $t_{ш}$ ($t_{п}$) и глубина внедрения зерна, при которой появляются сколы t_2 (t_3) по формулам:

$$t_{ш,п} = R - \frac{\sqrt{4R^2 - l_{ш,п}^2}}{2};$$

$$t_{2,3} = \frac{\sqrt{4R^2 - l_{2ш,2п}^2} - \sqrt{4R^2 - l_{ш,п}^2}}{2}.$$

Результаты расчетов представлены в табл.1 и табл. 2.

В процессе проведения дисперсионного анализа для определения значимости полученных результатов было выявлено действие двух факторов: первый – глубина микрорезания – глубина внедрения индентора в царапаемую поверхность (фактор A), второй – состояние царапаемой поверхности – шлифованная или полированная (фактор B). Фактор B имеет два уровня, для фактора A было принято 16 уровней – общий диапазон глубины рисок-царапин на шлифованной и полированной поверхностях. Значения глубины залегания бесколовой части рисок-царапин при входе и выходе зерна из контакта с царапаемой поверхностью считали параллельными наблюдениями.

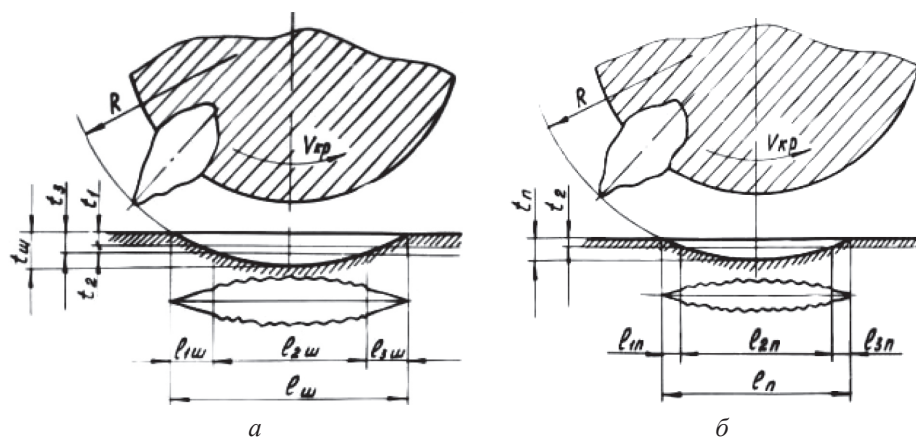


Рис. 2. Схема резания-царапания единичным алмазным зерном, соответствующая плоскому шлифованию периферией алмазного круга: a – на предварительно прошлифованных образцах; b – на предварительно отполированных образцах

Таблица 1. Результаты определения бесколовой глубины рисок при микрорезании шлифованной поверхности керамики

Глубина рисок-царапания, мкм	Глубина залегания бесколовой части рисок-царапины	
	на входе, мкм	на выходе, мкм
13,1	12,3	11,3
22,2	6,4	12,7
20,1	17,6	13,3
25,3	19,9	17,9
20,6	9,9	20,2
20,8	9,5	16,9
32,7	23,6	12,3
21,8	14,5	13,2
11,0	8,1	9,2
16,0	7,4	7,6
24,0	9,1	23,2
17,9	11,1	12,9
15,2	14,7	9,5
38,2	9,3	17,2
45,6	18,2	4,5
57,8	4,8	30,1
50,4	20,0	23,2
44,2	24,1	20,2

Таким образом, данная задача представляет собой классический образец для применения двухфакторного дисперсионного анализа, с оценкой эффекта взаимодействия факторов A и B .

Таблица 2. Результаты определения бессколовой глубины риск при микрорезании полированной поверхности керамики

Глубина риски-царапания, мкм	Глубина залегания бессколовой части риски-царапины	
	на входе, мкм	на выходе, мкм
11,7	6,2	6,2
48,3	3,3	3,3
47,6	3,2	4,6
42,9	3,3	3,3
34,2	3,2	3,4
26,3	3,0	3,2
21,2	2,4	2,4
14,5	5,6	5,5
7,0	5,2	5,1
14,2	3,2	3,1
11,9	5,0	3,0
9,9	1,8	1,5
20,7	3,1	3,0
16,0	3,5	3,3
15,2	5,7	5,8
16,9	1,8	2,2
27,6	2,9	2,3
26,8	2,0	2,4

Порядок сравнения дисперсий выполнили в соответствии с рекомендациями по критерию Фишера:

$$F_{\text{эмп}} = \frac{\sigma_{x^2}}{\sigma_{y^2}},$$

где σ_{x^2} и σ_{y^2} – дисперсии первой и второй выборки соответственно.

Согласно условию критерия величина числителя должна быть больше величины знаменателя, поэтому $F_{\text{эмп}}$ всегда будет равно или больше единицы.

Проведенный анализ показал значимость фактора B при незначительном влиянии фактора A и их взаимодействия:

$$\frac{nS_0^2}{S_2^2} = 1,13 < 2,1, F(0,95;15;32) = 2,1;$$

$$\frac{S_A^2}{S_0^2} = 0,55 < 1,6, F(0,95;15;15) = 1,6;$$

$$\frac{S_B^2}{S_0^2} = 85 \gg 1,8, F(0,95;1;15) = 1,8;$$

где S_0^2 – совместная дисперсия воспроизводимости и взаимодействия;

S^2 – дисперсия воспроизводимости;

S_A^2, S_B^2 – выборочные дисперсии.

Таким образом, нами была получена статистическая значимость влияния фактора способа подготовки поверхности (шлифование или полирование) на бесколовую глубину риски-царапины. При этом, статистической значимости влияния фактора — глубина царапины на тот же параметр не получили, что, в свою очередь, подтвердило высказанное выше предложение. Было установлено, что предельная глубина внедрения зерна, при которой образуются сколы по краям риски в случае шлифованных образцов составила в среднем 14 мкм, а в случае полированных — 4 мкм. Были проведены электронноскопическое изучение поверхностного слоя и определение его микротвёрдости на микротвердомере. Описанные выше исследования показали наличие в поверхностном слое шлифованных образцов дефектного слоя, (рис. 3), обладающего повышенной вязкостью и пониженной хрупкостью. В случае образца, у которого полированием удален внешний дефектный слой, предельная глубина сколообразования t_2 , в случае же шлифованных образцов она складывается из глубины дефектного слоя t_1 , материал которого в большей мере склонен к вязкому пластическому течению нежели к хрупкому разрушению и глубины внедрения в исходный материал t_3 , соответствующей t_2 для полированного образца. Из этих соображений была определена глубина дефектного слоя $t_1 = t_3 - t_2$, которая составила в среднем 10 мкм.

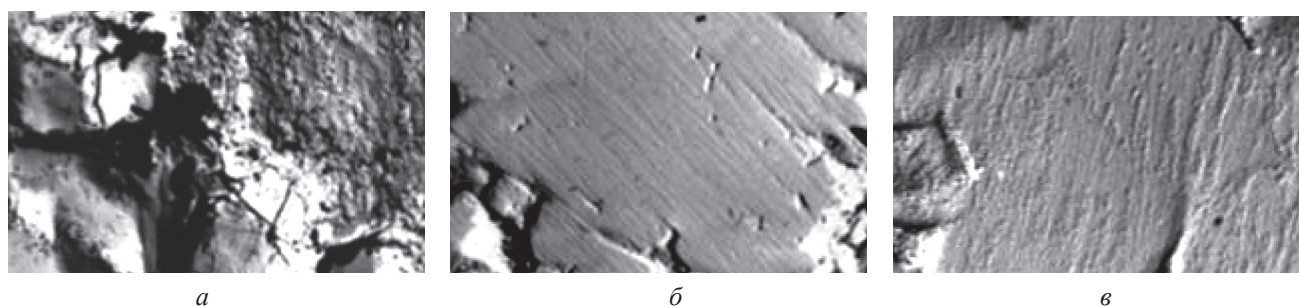


Рис. 3. Поверхность карбидкремниевой керамики после различных способов обработки поверхности:
а — после шлифования, х 7800; б — после полирования, х 7800; в — после полирования, х 7800

Таким образом, на основании критерия Фишера теоретически определена и практически установлена зависимость влияния фактора способа подготовки поверхности высокотвёрдой керамики (шлифование, полирование) на бесколовую глубину риски-царапания при алмазном шлифовании.

Предельная глубина внедрения зерна, при которой образуются сколы по краям следа для различных способов предварительной обработки поверхности керамики составляют 4 – 14 мкм, что вполне допустимо при изготовлении высокоточных деталей.

Литература

1. Душко О. В. Износостойкие керамические торцовые уплотнения для нефтехимической промышленности / О. В. Душко, Д. О. Пушкарев // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы. Шлифабразив – 2004 : сборник статей международной научно-технической конференции. – Волжский : ВИСТех (филиал) ВолгГАСУ, 2004. – С. 61 – 63.
2. Душко О. В. Оптимизация параметров алмазной обработки карбидкремниевой керамики / О. В. Душко, В. М. Шумячер, Д. О. Пушкарев // Наука и технологии : труды XXIV Российской школы. – : СГТУ, 2004. – С. 112 – 114.