

УДК 621.923: 539.4

ВЛИЯНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ОБРАБОТКИ КЕРАМИКИ НА ЕЕ ПРОЧНОСТЬ ПРИ ИЗГИБЕ

Новоселов Ю.К., Гусев В.В.

Рассмотрены закономерности формирования структуры поверхностного слоя при алмазном шлифовании конструкционной керамики и комбинировано дефектных ситаллов, установлено значительное влияние ориентации трещин на прочность при изгибе. Сделан вывод об анизотропии структуры обработочных дефектов после шлифования.

Вопросу о влиянии направления вектора скорости при алмазном шлифовании конструкционной керамики относительно плоскости действия изгибающего момента посвящено большое количество экспериментальных исследований [1-3]. Однако до настоящего времени не объяснен эффект снижения прочности образца при изменении схемы шлифования, например, при изменении направления плоского шлифования периферией круга с вдоль оси образца на перпендикулярно оси. Определяющая роль дефектности на прочностные свойства керамики общепризнанна [1]. В работе [2] была сделана попытка объяснить снижение прочности после алмазного шлифования комбинировано дефектных по сравнению с однородно дефектными ситаллами. Однако при этом ориентация дефектов была принята постоянной для каждого из видов ситаллов.

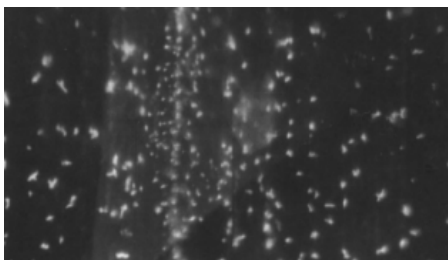
Для оценки влияния механической обработки на формирование обработочных дефектов и прочность на изгиб выполнены экспериментальные исследования по шлифованию конструкционной керамики из Si_3N_4 и комбинировано дефектного ситалла АС-418 кругами 1А1 200х20х32 АС6 – 4 – М2-01 зернистостью 315/250 и 125/100. В качестве СОЖ использовался 3%-ный раствор кальцинированной соды. Круг правился электроэрозионным методом.

Экспериментально определяемыми параметрами дефектности поверхностного слоя являются: поверхностная плотность дефектов p , линейные размеры (полудлина l) и угол ориентации α дефектов по отношению к действию нагрузки. Для исследования структуры нарушенного обработкой слоя материала использовали люминесцентный микроскоп ЛЮАМ И-3, снабженный фотоаппаратом В качестве проникающего индикатора применяли жидкость ЛЖ-6А, которая позволяет определять дефекты с раскрытием около 1 мкм [2].

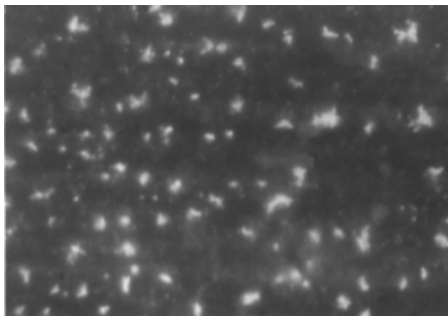
Фотографии дефектности поверхности заготовки показаны на рисунке 1. Дефекты группируются вдоль направления движения зерна. Различная глубина внедрения зерен приводит к неравномерному распределению дефектов. Некоторые дефекты сливаются друг с другом, нарушая достоверную оценку качества поверхностного слоя. После стравливания рельефного слоя структура дефектов хорошо проявляется и видны направление и размеры трещин (рисунок 1,б).

В общем случае распределение дефектов определяется плотностью $f(l, \alpha,)$ двухмерного распределения вероятностей случайных величин: полудлины трещины l , и угла их ориентации α .

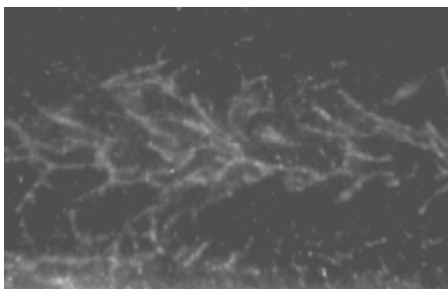
Обработкой фотографий (рисунок 1.) может быть определен закон распределения случайной дискретной величины l при условии, что другая случайная величина α принимает значения в определенном интервале $\alpha_i \leq \alpha \leq \alpha_r$,



а



б



в

Рисунок 1 - Обработочная дефектность поверхности:

- а) образца из Si_3N_4 . Увеличение $\times 60$. Режим обработки: скорость круга $V_k=49\text{м/с}$, скорость детали $V_d=3,2\text{м/мин}$, глубина резания $t=0,13\text{мм}$;
- б) образца из Si_3N_4 .(после удаления рельефного слоя $0,01\text{мм}$). Увеличение $\times 60$. Режим обработки: $V_k=49\text{м/с}$, $V_d=3,2\text{м/мин}$, $t=0,13\text{мм}$;
- в) образец из ситалла. АС-418 Увеличение $\times 150$. Режим обработки: $V_k=32\text{м/с}$, $V_d=32\text{м/мин}$, $t=0,05\text{мм}$.

$$f(l_i) = \sum_j f(l_i, \alpha_j) \cdot$$

Аналогично можно получить условные плотность распределения дефектов по ориентации.

Обработка большого массива экспериментальных данных показала [6], что условные плотности распределения дефектов по полудлине их размеров адекватно описываются упрощенным бета - распределением с одним параметром r (второй параметр оставался постоянным и равным 1) для всех интервалов изменения угла α . Плотность распределения дефектов по длине имеет вид

$$f_1(l) = \frac{r+1}{d_{\max}} \left(1 - \frac{l}{d_{\max}}\right)^r, \quad 0 \leq l \leq d_{\max},$$

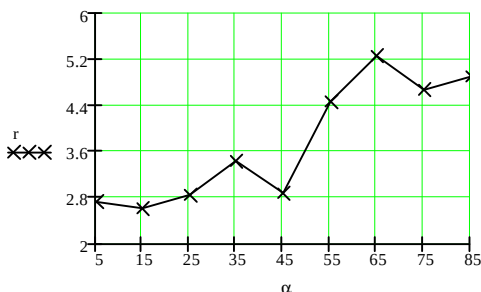


Рисунок 2 - Влияние ориентации дефектов (α , град) на параметр трещиноватости (r) в условной плотности распределения размеров дефектов (l)

где r - параметр трещиноватости;
 $d_{\max}=70\text{мкм}$ максимальная полу длина трещин для конструкционной керамики Si_3N_4 .

Значения параметра трещиноватости r при шлифовании нитрида кремния имеют два диапазона изменения своей величины (рисунок 2). В каждом из интервалов отличие коэффициентов от

среднего значения статистически не значимо. При изменении угла α от 0° до 50° его среднее значение r составляет 2,9, а при углах от 50° до 90° - 4,8. Это свидетельствует о том, что вероятностные размеры трещин в направлении вектора скорости резания больше.

Проанализируем условную плотность трещин с различной ориентацией. На гистограмме (рисунок 3) показана условная плотность относительной частоты распределения дефектов ω_α под различным углом к направлению шлифования. Интервалы изменения углов приняты, как и при определении условной плотности распределения дефектов по интервалам. Условная плотность дефектов во втором интервале (от 50° до 90°) практически не изменяется и может быть принята постоянной

$$f_2(\alpha) = \frac{C_2}{\pi/2 - \alpha_1} = 0,46.$$

В первом интервале условная плотность дефектов выше и уменьшается. В первом приближении примем линейно убывающий характер распределения

$$f_1(\alpha) = C_1 - \kappa_\alpha \cdot \alpha = 1,02 - 0,56 \cdot \alpha,$$

где α изменяется от 0° до 50° (0,87 радиан).

Эмпирические зависимости плотности распределения дефектов по ориентации $f_1(\alpha)$ и $f_2(\alpha)$ были получены с учётом условия нормировки.

Для установления взаимосвязи между полудлиной трещины и ее направлением выполнен

корреляционный анализ. Для всей совокупности данных значение коэффициента корреляции и корреляционное отношение составило соответственно $r_{\alpha l} = 0,16$ и $\eta_\alpha = 0,17$. При уровне значимости 0,05 критическое значение коэффициента корреляции

составляет 0,1. Таким образом, в общем случае значения полудлин трещин статистически зависимы от направления вектора скорости резания. Проанализируем

корреляционную связь отдельно для ранее указанных интервалов изменения угла ориентации трещин. Для первого интервала угла ориентации трещин (от 0° до 50°) отклонение значения коэффициента корреляции $r_{\alpha l} = 0,02$ от нуля случайно (критическое значение 0,12), т.е. линейная корреляционная связь отсутствует. Корреляционное отношение η равно $0,17 \pm 0,06$, что свидетельствует о наличии незначительной криволинейной корреляции, которую можно не учитывать, так как отношение $0,17 / 0,06 \leq 4$. Аналогичные результаты были получены и для второго интервала изменения углов ориентации трещин ($r_{\alpha l} = 0,02$; $\eta = 0,24 \pm 0,08$). Таким образом, можно считать, что для каждого из указанных интервалов угол ориентации и полудлина трещины являются независимыми величинами. Для независимых величин

$$f(l, \alpha) = f(\alpha) \cdot f(l).$$

Обработочные дефекты на поверхности ситалла АС-418 (рисунок 1, в) имеют ветвящуюся структуру с размерами до 200 мкм. Некоторые продольные трещины сливаются, образуя магистральные, направленные вдоль вектора скорости шлифования. Ориентация трещин находится в пределах от 0° до 60° , а распределение дефектов по углу ориентации равномерное. Следовательно, структура дефектного слоя определяется как физико-механическими свойствами, так и режимами алмазного шлифования керамики и ситалла.

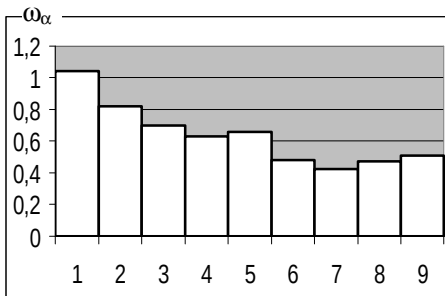


Рисунок 3 – Гистограмма условной плотности частоты распределения дефектов относительно направления движения алмазных зерен (интервалы изменения угла ориентации трещин выбраны 1-от 0° до 10° , 2-от 11° до 20° , ..., 9-от 81° до 90°)

Для анализа влияния распределения дефектов используем аналитическую зависимость, полученную в работе [4]. С учетом структуры дефектного слоя для образца заданного прямоугольного сечения средняя прочность при изгибе Si_3N_4 определяется по следующей зависимости

$$\sigma = \sigma_{\min} + \int_{\sigma_{\min}}^{\infty} \left[1 - \left\{ \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} f_1(\alpha) \cdot \left(1 - \frac{\sigma_{\min}^2 \cdot \varphi(\alpha)^2}{\sigma^2} \right)^{r_1+1} d\alpha + \int_{\alpha_2}^{\pi/2} f_2(\alpha) \left(1 - \frac{\sigma_{\min}^2 \cdot \varphi(\alpha)^2}{\sigma^2} \right)^{r_2+1} d\alpha \right\} \right]^n d\sigma, \quad (1)$$

где $\alpha_1 = \arcsin\left(\frac{K_{1c}}{1,11\sigma\sqrt{\pi d_{\max}}}\right)$; $\alpha_2 = 5 \cdot \pi/18$; $\sigma_{\min} = \frac{K_{1c}}{1,11\sqrt{\pi d_{\max}}}$; n - количество дефектов в нагружаемой области и при условии, что выполняется неравенство $\sigma \geq \frac{K_{1c}}{1,11\sqrt{\pi d_{\max}}}$; $\varphi(\alpha)$ - функция, определяющая влияние

направления дефектов на развитие трещин [1]; K_{1c} - величина сопротивления материала развитию трещин, МПа (для Si_3N_4 $K_{1c}=5$, ситалла АС-418 $K_{1c}=3,8$ [5]).

Используя зависимость (1), определим влияние направления обработки на среднюю прочность образцов при испытаниях на изгиб. Анализ зависимости показывает, что с увеличением числа дефектов в нагружаемой зоне образца, средняя прочность уменьшается. Средняя прочность снижается на 9...11% при изменении направления обработки с продольного на поперечное. Эти результаты говорят о хорошей сходимости экспериментальных и теоретических значений средней разрушающей нагрузки от направления обработки. Аналогичные расчеты были проведены для ситалла АС-418. Изменение направления обработки при плоском алмазном шлифовании с продольного на поперечное, приводит к снижению средней прочности ситалла на изгиб на 50...20%. Различие в прочности увеличивается с уменьшением плотности обработочных дефектов.

Полученные результаты свидетельствуют о преимущественной ориентации трещин в направлении вектора скорости резания и анизотропии структуры дефектов поверхности шлифованной керамики. Она оказывает непосредственное влияние на прочностные свойства поверхностного слоя конструкционной керамики после алмазного шлифования.

Библиография

1 Панасюк В.В. Механика квазихрупкого разрушения / В.В. Панасюк - К.: Наук думка, 1991. — 416 с.

2 Дубовик В.Н. Дефектность и уровни прочности ситаллов / В.Н. Дубовик, А.М. Райхель // Проблемы прочности. — 1984. — №7. — С. 79 – 84.

3 Гусев В.В. Влияние структурных и обработочных дефектов на прочность керамики / В.В.Гусев // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Сб. науч. тр. — Донецк: 2000. — Вып.10. — С. 63 – 71.

4 Витвицкий П.М. Прочность и критерии хрупкого разрушения стохастически дефектных тел / П.М.Витвицкий, С.Ю.Пожена. — К.: Наук думка, 1980. — 187 с.

Поступила в редакцию 20.11.2001 г.