

*Морфология дефектов высокоплотной керамики при алмазной обработке*

Д. т. н. **В. В. Кузин** (✉), к. т. н. **С. Ю. Фёдоров**, д. т. н. **С. Н. Григорьев**

ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет «Станкин»,  
Москва, Россия

УДК 666.3:[621.923.4:621.921.34]

## УРОВЕНЬ ДЕФЕКТНОСТИ КРОМОК ОБРАЗЦОВ Y-TZP-КЕРАМИКИ ПОСЛЕ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ

На основе изучения особенностей формирования морфологии кромок образцов Y-TZP-керамики при плоском алмазном шлифовании определены основные виды и геометрические параметры выкрашиваний. Выявлена взаимосвязь глубины шлифования, продольной и поперечной подачи с геометрическими параметрами выкрашиваний.

**Ключевые слова:** Y-TZP-керамика, алмазное шлифование, морфология кромок, шлифованная поверхность (ШП), боковая поверхность (БП).

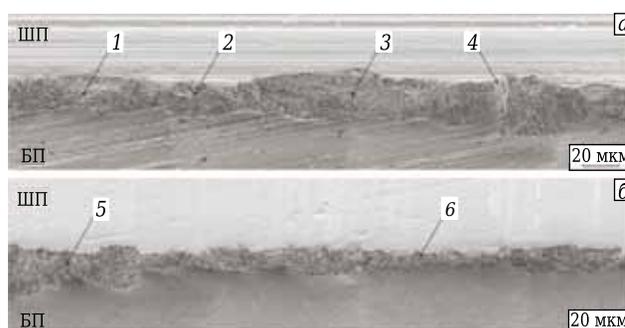
**В** настоящем исследовании, являющемся продолжением работы [1], поставлена цель — изучить влияние режимов алмазного шлифования на дефектность кромок образцов Y-TZP-керамики при плоском алмазном шлифовании для создания методологии нормирования точности деталей и ее технологического обеспечения.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальные исследования выполняли по методике, изложенной в статье [2]. Физико-механические свойства и структура этой керамики приведены в статье [1]. В работе принята следующая нумерация кромок образцов: кромки, расположенные параллельно направлению продольной подачи стола станка, — № 1 (ближняя к оператору) и № 2 (дальняя от оператора), кромки, расположенные параллельно направлению поперечной подачи, — № 3 (справа от оператора) и № 4 (слева от оператора).

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследование кромок образцов Y-TZP-керамики после шлифования показало наличие многочисленных выкрашиваний, ширина которых изменяется в диапазоне от 9 до 30 мкм (рис. 1). Эти выкрашивания, образовавшиеся в результате локального разрушения объемов керамики на пересечении перпендикулярных поверхностей, распределены по всей длине кромки и имеют четко очерченные границы на шлифованной



**Рис. 1.** Морфология кромок № 1 / 2 (а) и № 3 / 4 (б) образцов Y-TZP-керамики после шлифования

поверхности (ШП) и боковой поверхности (БП). Угол скалывания  $\beta$  для этих выкрашиваний составляет 40–60°, причем режим шлифования не приводит к его существенному изменению.

Выявлена практическая идентичность морфологического рисунка противоположных кромок № 1 / 2 или № 3 / 4 на керамических образцах после шлифования. При этом морфология перпендикулярных кромок (например, кромок № 1 и 3) имеет специфические особенности. Рельеф кромок № 1 / 2 имеет следующие виды выкрашиваний: малые сколы эллипсоидной 1 и округлой 2 форм; крупные сколы 3 неправильной формы, образованные совокупностью малых сколов (см. рис. 1, а). Поверхностный рельеф крупных сколов имеет более развитую морфологию, чем малые сколы. Выкрашивания расположены практически симметрично относительно «идеальной» кромки; угол  $\beta$  изменяется в диапазоне 40–50°. Развитость морфологии крупных сколов подчеркивает конфигурация их границ на ШП и БП, а также присутствие ступенчатых выступов 4. Образование этих выступов происходит в результате перекрытия двух соседних малых сколов.



В. В. Кузин  
E-mail: kuzena@post.ru

Внешний вид выкрашиваний на кромках № 3 / 4 свидетельствует о том, что их образование связано с вырывом конгломератов зерен из керамического каркаса (см. рис. 1, б). Эти локальные разрушения представлены крупными 5 и малыми 6 выкрашиваниями, хаотично распределенными по всей длине кромок. Крупные выкрашивания расположены несимметрично относительно «идеальной» кромки за счет большей вытянутости выкрашивания вдоль БП; угол  $\beta$  изменяется в диапазоне 50–60°. Пересечение крупных выкрашиваний с ШП имеет весьма развитые границы, а малые выкрашивания пересекаются с ШП по более плавным линиям.

Установлено, что выкрашивания на кромках образцов Y-TZP-керамики при шлифовании зарождаются во впадинах на ШП керамического образца, а наиболее удаленные участки на их границе совпадают с траекторией роста поперечных трещин. Анализ микрофотографий (рис. 2) свидетельствует о значительном влиянии дефектов, образовавшихся на ШП в результате микрорезания алмазными зернами, на характер образования выкрашиваний на перпендикулярных кромках № 1 и № 3 керамических образцов. Видно, что граница крупного скола на кромке № 1 проходит по дну впадины 1, причем в образовании этого скола участвовали поперечные трещины 2, которые сформировались под действием комплекса термомеханических нагру-

зок при шлифовании (см. рис. 2, а). Аналогично образуются рельефные поверхности соседних сколов 3 и 4.

Морфология выкрашивания на кромке № 3 показана на рис. 2, б. Видно, что граница крупного выкрашивания «привязана» ко дну соседних впадин 5, 6 и 7, а его поверхность 8 образуется в результате слияния поперечных трещин при их росте от ШП в направлении БП.

Влияние параметров режима шлифования на среднюю ширину  $a$  выкрашиваний на разных кромках образцов Y-TZP-керамики показано на рис. 3. Видно, что параметры режима шлифования существенно влияют на  $a$  на всех кромках образцов, причем интенсификация режима шлифования приводит к увеличению средней ширины выкрашиваний.

Установлено, что с повышением  $S_{\text{пр}}$  в диапазоне 5–15 м/мин ( $S_{\text{поп}} = 0,8$  мм/ход,  $t = 0,04$  мм)  $a$  увеличивается от 16 до 23, от 14 до 20, от 10 до 14 и от 9 до 12 мкм на кромках № 1 – № 4 соответственно (см. рис. 3, а). При увеличении  $S_{\text{поп}}$  в диапазоне 0,5–1,5 мм/ход ( $S_{\text{пр}} = 12$  м/мин,  $t = 0,04$  мм)  $a$  возрастает от 19 до 29, от 17 до 26, от 12 до 18 и от 11 до 16 мкм на кромках № 1 – № 4 соответственно (см. рис. 3, б). С повышением  $t$  в диапазоне 0,01–0,05 мм ( $S_{\text{пр}} = 12$  м/мин,  $S_{\text{поп}} = 0,8$  мм/ход)  $a$  увеличивается от 21 до 30, от 19 до 26, от 13 до 20 и от 12 до 18 мкм на кромках № 1 – № 4 соответственно (см. рис. 3, в). Сопо-

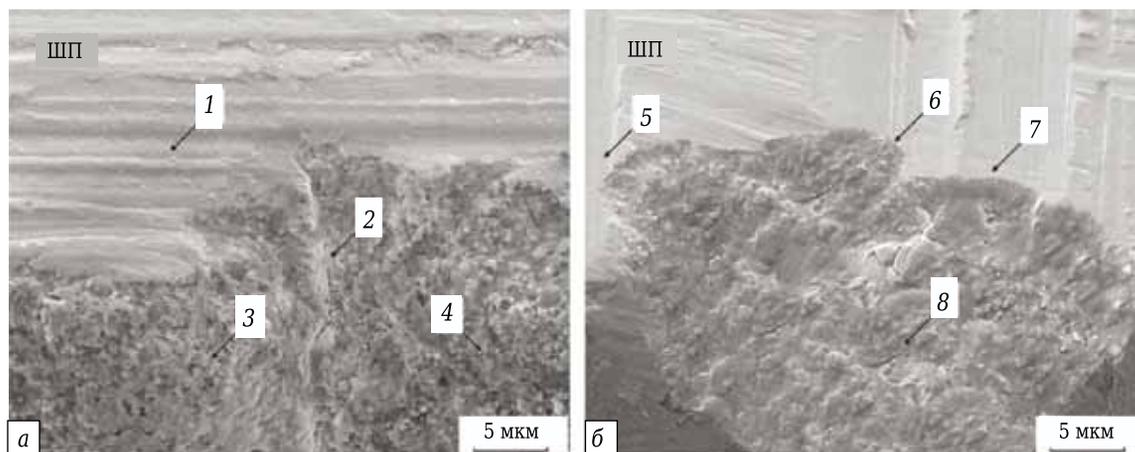


Рис. 2. Морфология поверхности выкрашиваний на кромках № 1 (а) и № 3 (б) образцов Y-TZP-керамики

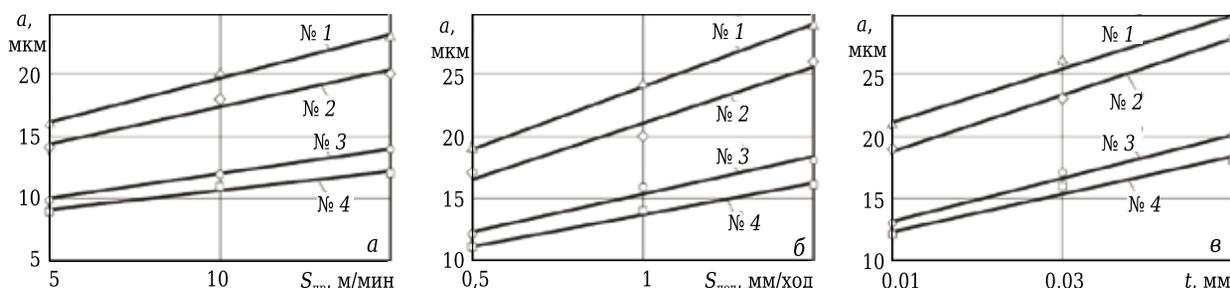


Рис. 3. Влияние  $S_{\text{пр}}$  (а),  $S_{\text{поп}}$  (б) и  $t$  (в) на среднюю ширину  $a$  выкрашиваний на кромках № 1 – № 4

ставление этих данных с результатами исследования дефектности кромок образцов  $Al_2O_3$ -TiC-керамики [1] показывает, что мелкозернистая структура Y-TZP-керамики и более высокий уровень ее свойств благоприятно влияют на дефектность кромок, что проявляется главным образом в уменьшении ширины выкрашиваний.

Разницу в размерах выкрашиваний на кромках образцов Y-TZP-керамики можно объяснить неоднородным строением поверхностного слоя, образующегося при шлифовании, а также причинами, выявленными в статье [1]. В основе этих причин находится разный уровень термических и силовых нагрузок, действующих в момент «врезания» алмазного круга в поверхность образца и выхода круга из контакта с поверхностью керамики на последнем проходе. В момент «врезания» в «холодную» кромку № 1 в поверхностном слое керамики формируются высокие неоднородности микронапряжений, что увеличивает вероятность появления и роста в ней трещин. После «врезания» температура в поверхностном слое керамики резко повышается и тепловой баланс в зоне шлифования стабилизируется. Выход алмазного круга по кромке № 2 происходит в условиях стабилизации теплового баланса, что снижает неоднородности микронапряжений в поверхностном слое, и процесс образования трещин минимизируется. Этот факт является причиной уменьшения ширины выкрашиваний на кромке № 2 по сравнению с кромкой № 1. Разница в значениях ширины выкрашивания на кромках № 3 и № 4 объясняется аналогичным образом.

#### Библиографический список

1. Кузин, В. В. Взаимосвязь режимов алмазного шлифования с состоянием поверхности керамики на основе диоксида циркония / В. В. Кузин, С. Ю. Фёдоров, С. Н. Григорьев // Новые огнеупоры. — 2016. — № 11. — С. 60–65.

Kuzin, V. V. Correlation of diamond grinding regime with surface condition of ceramic based on zirconium dioxide / V. V. Kuzin, S. Yu. Fedorov, S. N. Grigor'ev // Refractories and Industrial Ceramics. — 2017. — Vol. 57, № 6. — P. 625–630.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате экспериментальных исследований установлено, что при плоском алмазном шлифовании образцов из Y-TZP-керамики на их кромках образуются выкрашивания, определяющие морфологию кромок. На размеры выкрашиваний влияет ориентации кромок образца относительно продольной и поперечной подачи стола станка при шлифовании. Среднее значение ширины выкрашиваний на кромках № 1 / 2 больше, чем на кромках № 3 / 4, в 1,6 раза. Установлено, что на кромках № 1 / 2 выкрашивания имеют вид сколов разной формы, а выкрашивания на кромках № 3 / 4 образованы за счет вырывов крупных конгломератов зерен из керамической матрицы. Угол скалывания для выкрашиваний на кромках № 1 / 2 составляет 40–50°, на кромках № 3 / 4 50–60°.

С интенсификацией режима шлифования среднее значение ширины  $a$  выкрашиваний увеличивается на всех кромках образцов Y-TZP-керамики. С увеличением  $S_{пр}$  от 5 до 15 м/мин  $a$  увеличивается на кромках № 1 / 2 в 1,5 раза, а на кромках № 3 / 4 в 1,4 раза. Увеличение  $S_{пол}$  от 0,5 до 1,5 мм/ход и  $t$  от 0,01 до 0,05 мм приводит к возрастанию  $a$  в 1,5 раза на всех кромках образцов.

\*\*\*

*Настоящая работа поддерживается Министерством образования и науки Российской Федерации в рамках государственного задания МГТУ «СТАНКИН» в сфере научной деятельности (задание 9.1372.2017/4.6).*

2. Кузин, В. В. Закономерности формирования морфологии кромок образцов  $Al_2O_3$ -TiC-керамики при алмазном шлифовании / В. В. Кузин, С. Ю. Фёдоров, С. Н. Григорьев // Новые огнеупоры. — 2017. — № 5. — С. 63–67. ■

Получено 20.06.17

© В. В. Кузин, С. Ю. Фёдоров,  
С. Н. Григорьев, 2017 г.

#### НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



**ЕАМС — Европейский конгресс  
по высокотехнологичным материалам**

г. Стокгольм, Швеция  
22–24 августа 2017 г.

[www.vbripress.com/eamc](http://www.vbripress.com/eamc)