

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 666.3:546.28'171]:[621.923.4:621.921.34

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ Si_3N_4 -КЕРАМИКИ С УЧЕТОМ ТРЕБУЕМОЙ ДЕФЕКТНОСТИ КРОМОК

Изучены особенности формирования морфологии кромок образцов Si_3N_4 -керамики при плоском алмазном шлифовании, определены виды и геометрические параметры выкрашиваний. На основе выявленной взаимосвязи глубины шлифования, продольной и поперечной подач с геометрическими параметрами этих выкрашиваний определена необходимость проектирования технологического процесса изготовления деталей и инструментов из Si_3N_4 -керамики с учетом дефектности кромок.

Ключевые слова: Si_3N_4 -керамика, алмазное шлифование, морфология и дефектность кромок, выкрашивание.

ВВЕДЕНИЕ

Рост объема применения керамики на основе нитрида кремния для изготовления деталей и инструментов определяет необходимость проектирования технологических процессов их обработки с учетом экономии материальных и энергетических ресурсов [1]. Решение этой задачи предполагает выбор режимных условий алмазного шлифования труднообрабатываемой керамики, обеспечивающих экстремальное значение одного из критериев оптимизации технико-экономического характера при выполнении ряда накладываемых технологических ограничений [2, 3].

Практика изготовления и эксплуатации деталей и инструментов из нитридной керамики показывает, что в качестве одного из критериев оптимизации следует использовать уровень дефектности кромок на изготовленных деталях [4]. В этой связи необходим детальный анализ технологической системы для применения многокритериальной оптимизации с возможностью изменения ее критериев при технологической подготовке производства инновационных керамических изделий [5–7]. Особую актуальность при этом приобретает построение модели алмазного шлифования высокотвердой и прочной нитридной керамики, в которой в деталях учтены факторы, влияющие на качество изготовленных изделий.

Для создания такой модели имеются многочисленные экспериментальные закономер-

ности [8–13]. Однако результаты этих исследований не учитывают дефектность кромок деталей из керамики на основе нитрида кремния после алмазного шлифования. В настоящем исследовании, являющемся продолжением работ [14, 15], поставлена цель — изучить влияние режимов алмазного шлифования на дефектность кромок образцов Si_3N_4 -керамики при плоском алмазном шлифовании для проектирования высокоэффективных технологических процессов.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальные исследования выполняли по известной методике [14]. Физико-механические свойства и структура этой керамики приведены в статье [10]. 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 Si_3N_4 -керамики после шлифования показало наличие на них многочисленных выкрашиваний шириной до 80 мкм, причем их границы на шлифованной поверхности (ШП) и боковой поверхности (БП) равноудалены от «идеальной» кромки. Угол скалывания β составляет 40–50° на всех исследуемых кромках, а интенсификация режима шлифования не приводит к его заметному изменению. Морфологический рисунок противоположных кромок № 1 / 2 или № 3 / 4 практически



В. В. Кузин
E-mail: kuzena@post.ru

одинаков, а перпендикулярных кромок (например, № 1 и 3) имеет многочисленные различия (рис. 1). Выкрашивания на кромках № 1 / 2 образцов Si_3N_4 -керамики после шлифования характеризуются более четкими контурами, чем на кромках № 3 / 4. Непосредственная близость выкрашиваний, образовавшихся на кромках образцов, с дефектами на ШП свидетельствует о высокой сложности процесса шлифования керамики и взаимосвязи физических явлений в ее поверхностном слое.

Установлено, что морфологический рисунок противоположных кромок № 1 / 2 формируется выкрашиваниями-сколами, образовавшимися в результате однократного действия нагрузки. Выделены два вида сколов: крупные сколы 1 ромбической формы и сколы 2 эллипсовидной формы, вытянутые в цепочки разной длины (см. рис. 1, а). Выкрашивания этих видов хаотично чередуются по всей длине кромок обработанных образцов, причем контуры этих выкрашиваний на ШП имеют четкий вид, а на БП — более плавные очертания.

Выкрашивания на кромках № 3 / 4 имеют разную форму, размеры и природу происхождения. Крупные выкрашивания 3, имеющие эллипсовидную форму и образовавшиеся в результате скола керамики, значительно превышают по ширине выкрашивания 4 вытянутой формы.

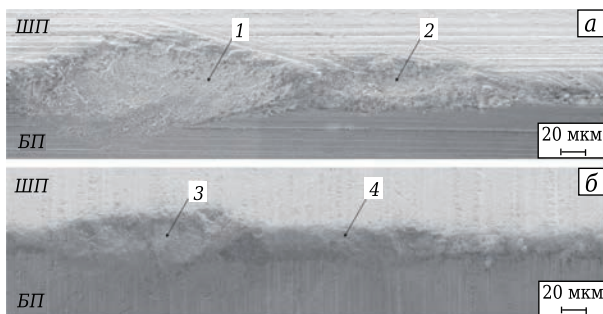


Рис. 1. Морфология кромок № 1 / 2 (а) и № 3 / 4 (б) образцов Si_3N_4 -керамики после шлифования

Образование этих выкрашиваний произошло в результате действия циклических нагрузок на локальные участки шлифованной поверхности. Природа образования этих выкрашиваний определяется вырывами конгломератов зерен из керамического каркаса. Округление границ между выкрашиваниями на ШП и БП придают морфологии кромок № 3 / 4 определенную сглаженность рельефа.

Анализ микрофотографий (рис. 2) показывает глубокую взаимосвязь процессов, протекающих на шлифуемой поверхности и кромках образцов под действием нагрузок, генерируемых в результате многочисленных ударных воздействий алмазных зерен на керамику. Видно, что крупные выкрашивания на кромках № 1 и 3 образовались в непосредственной близости от впадин и углублений, имеющих на ШП керамических образцов. Наиболее удаленный участок границы скола на кромке № 1 связан со впадиной 1, причем совокупность углублений 2 образована в результате роста трещин с поверхности керамики в ее внутренний объем (см. рис. 2, а). Можно предположить, что именно эти трещины инициируют скол керамики на кромке образца. Облегчает разрушение нитридной керамики присутствие поверхностного дефектного слоя 3, образовавшегося при шлифовании. Достаточно ровная поверхность скола 4, выходящая со стороны ШП в направлении БП, свидетельствует о скоротечности и стабильности этапа катастрофического роста образовавшихся трещин. Морфология крупного выкрашивания на кромке № 3 образца Si_3N_4 -керамики показана на рис. 2, б. Видно, что граница этого скола на ШП связана с углублениями 5 и 6. Многочисленные поперечные трещины, образовавшиеся в поверхностном слое ШП и растущие от ШП в направлении БП, образуют рельефную поверхность выкрашивания. Морфологический рисунок этой поверхности формируют многочисленные выступы 7 в центральной части выкрашивания и ступеньки 8 на БП.

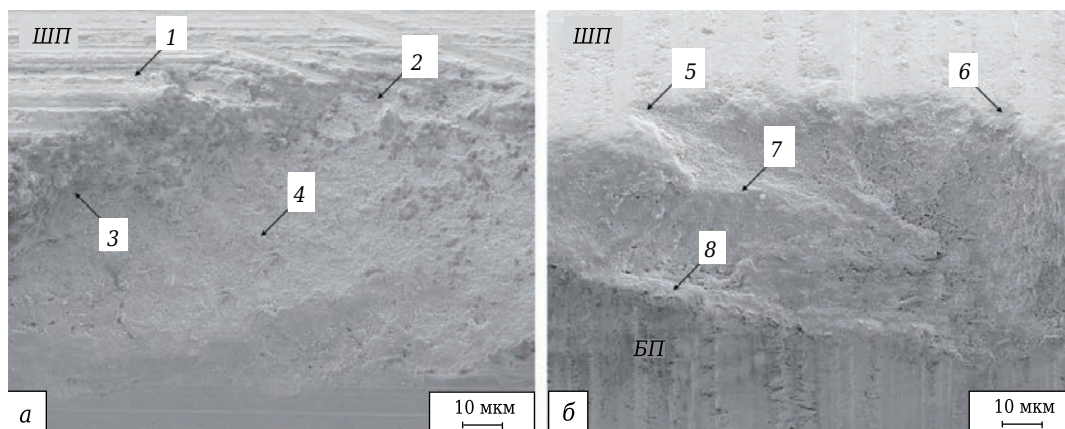


Рис. 2. Морфология поверхности выкрашиваний на кромках № 1 (а) и № 3 (б) образцов Si_3N_4 -керамики

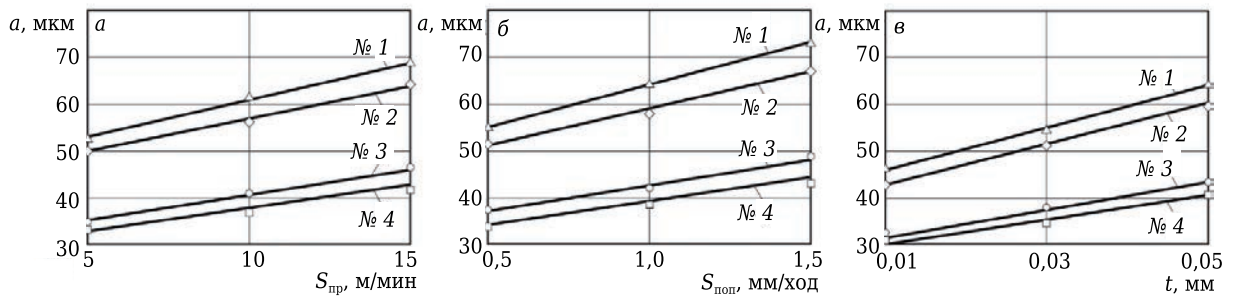


Рис. 3. Влияние $S_{пр}$ (а), $S_{поп}$ (б) и t (в) на среднюю ширину a выкрашиваний на кромках № 1 – № 4

Влияние параметров режима шлифования на среднюю ширину a выкрашиваний на разных кромках образцов Si_3N_4 -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 $S_{пр}$ в диапазоне 5–15 м/мин ($S_{поп} = 0,8$ мм/ход, $t = 0,04$ мм) a увеличивается от 53 до 69, от 50 до 64, от 35 до 46 и от 33 до 43 мкм на кромках № 1 – № 4 соответственно (см. рис. 3, а). При увеличении $S_{поп}$ в диапазоне 0,5–1,5 мм/ход ($S_{пр} = 12$ м/мин, $t = 0,04$ мм) a возрастает от 55 до 73, от 51 до 67, от 37 до 48 и от 34 до 44 мкм на кромках № 1 – № 4 соответственно (см. рис. 3, б). С повышением t в диапазоне 0,01–0,05 мм ($S_{пр} = 12$ м/мин, $S_{поп} = 0,8$ мм/ход) a увеличивается от 46 до 64, от 43 до 60, от 31 до 43 и от 29 до 41 мкм на кромках № 1 – № 4 соответственно (см. рис. 3, в). В основе этих зависимостей находится разный уровень критических локальных напряжений, сформированных комплексом внешних нагрузок при врезании алмазного круга в керамический образец и выходе с его поверхности.

Следует отметить, что средняя ширина выкрашиваний на образцах Si_3N_4 -керамики меньше, чем на образцах $(Al_2O_3 + TiC)$ -керамики, но больше, чем на образцах $Y-TZP$ -керамики [14, 15]. Сравнительный анализ зависимостей, выявленных в этих работах, позволяет утверждать о значительном влиянии структуры и свойств керамических материалов на уровень дефектности кромок изготовленных деталей. С использованием этих зависимостей определены основные требования к процессу алмазного шлифования Si_3N_4 -керамики, позволяющие

выбирать его рациональный режим на основе принципа системного единства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что при плоском алмазном шлифовании образцов из Si_3N_4 -керамики на их кромках образуются выкрашивания, определяющие морфологию кромок. Ориентация кромок образца относительно продольной и поперечной подачи стола станка при шлифовании влияет на размеры выкрашиваний. Среднее значение ширины выкрашиваний на кромках № 1 / 2 больше, чем на кромках № 3 / 4, в 1,5 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 керамического каркаса. Угол скалывания для выкрашиваний на кромках № 1 / 2 и № 3 / 4 составляет 40–50°.

С интенсификацией режима шлифования среднее значение ширины a выкрашиваний увеличивается на всех кромках образцов Si_3N_4 -керамики. С увеличением $S_{пр}$ от 5 до 15 м/мин и $S_{поп}$ от 0,5 до 1,5 мм/ход a повышается на всех кромках в 1,3 раза. Увеличение t от 0,01 до 0,05 мм приводит к возрастанию a в 1,4 раза на всех кромках образцов. Эти результаты наглядно демонстрируют необходимость проектирования технологических процессов изготовления деталей из Si_3N_4 -керамики с учетом требуемой дефектности кромок на основе принципа системного единства.

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).

Библиографический список

1. Григорьев, С. Н. Решение задач технологического перевооружения машиностроения / С. Н. Григорьев // Вестник МГТУ Станкин. — 2008. — № 3. — С. 5–9.
2. Zhang, B. High efficiency and precision grinding of Si_3N_4 ceramic balls aided by magnetic fluid support using diamond wheels / B. Zhang, T. Uematsu, A. Nakajima // JSME Int. J. Series C. — 1998. — Vol. 41, № 3. — P. 499–505.
3. Кузин, В. В. Технология механической обработки деталей из высокоогнеупорной керамики на основе нитрида кремния / В. В. Кузин // Новые огнеупоры. — 2006. — № 8. — С. 19–24.
4. Kuzin, V. V. Technology for machining high-refractory ceramic parts based on silicon nitride / V. V. Kuzin // Refractories and Industrial Ceramics. — 2006. — Vol. 47, № 4. — P. 204–208.

4. **Кузин, В. В.** Повышение эксплуатационной стабильности режущих инструментов из нитридной керамики за счет оптимизации условий их заточки / В. В. Кузин // Вестник машиностроения. — 2003. — № 12. — С. 41–45.

Kuzin, V. V. Increasing the operational stability of nitride-ceramic cutters by optimizing their grinding conditions / V. V. Kuzin // Russian Engineering Research. — 2003. — Vol. 23, № 12. — P. 32–36.

5. **Pfeiffer, W.** Influence of grinding parameters on strength-dominating near-surface characteristics of silicon nitride ceramics / W. Pfeiffer, T. Hollstein // J. Eur. Ceram. Soc. — 1997. — Vol. 17. — P. 487–494.

6. **Кузин, В. В.** Технологические особенности алмазного шлифования деталей из нитридной керамики / В. В. Кузин // Вестник машиностроения. — 2004. — № 1. — С. 37–41.

Kuzin, V. V. Technological aspects of diamond grinding of the nitride ceramics / V. V. Kuzin // Russian Engineering Research. — 2004. — Vol. 24, № 1. — P. 23–28.

7. **Xie, Z.-H.** Role of microstructure in the grinding and polishing of α -sialon ceramics / Z.-H. Xie, R. J. Moon, M. Hoffman [et al.] // J. Eur. Ceram. Soc. — 2003. — Vol. 23. — P. 2351–2360.

8. **Kuzin V.** A model of forming the surface layer of ceramic parts based on silicon nitride in the grinding process / V. Kuzin // Key Engineering Materials. Precision Machining. — 2012. — Vol. 496. — P. 127–131.

9. **Zheng, Y.** Relationship between flexural strength and surface roughness for hot-pressed Si_3N_4 self-reinforced ceramics / Y. Zheng, J. M. Vieira, F. J. Oliveira [et al.] // J. Eur. Ceram. Soc. — 2000. — Vol. 20. — P. 1345–1353.

10. **Кузин, В. В.** Взаимосвязь режимов алмазного шлифования с состоянием поверхности Si_3N_4 -керамики / В. В. Кузин, С. Ю. Фёдоров, С. Н. Григорьев // Новые огнеупоры. — 2017. — № 1. — С. 67–70.

Kuzin, V. V. Correlation of diamond grinding regimes with Si_3N_4 -ceramic surface quality / V. V. Kuzin, S. Yu. Fedorov, S. N. Grigor'ev // Refractories and Industrial Ceramics. — 2017. — Vol. 58, № 1. — P. 78–81.

11. **Martin-Gil, M.** Mechanical grinding of Si_3N_4 to be used as an electrode in lithium batteries / M. Martin-Gil, M. E. Rabanal, A. Varez [et al.] // Materials Letters. — 2003. — Vol. 57. — P. 3063–3069.

12. **Kuzin, V.** Surface defects formation in grinding of silicon nitride ceramics / V. Kuzin, S. Grigoriev, S. Fedorov, M. Fedorov // Applied Mechanics and Materials. — 2015. — Vols. 752/753. — P. 402–406.

13. **Jiang, M.** On the finishing of Si_3N_4 balls for bearing applications / M. Jiang, R. Komanduri // Wear. — 1998. — Vol. 215. — P. 267–278.

14. **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.

15. **Кузин, В. В.** Уровень дефектности кромок образцов Y-TZP-керамики после алмазного шлифования / В. В. Кузин, С. Ю. Фёдоров, С. Н. Григорьев // Новые огнеупоры. — 2017. — № 7. — С. 63–65. ■

Получено 15.08.17

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

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

INTERNATIONAL CONFERENCE ON

SINTERING 2017

12-16 ноября 2017 г.

г. Сан-Диего, Калифорния, США

SINTERING 2017 — Международная конференция по спеканию 2017

ТЕМЫ:

- Фундаментальные аспекты спекания
- Моделирование спекания в нескольких масштабах
- Спекание многослойных материалов и систем
- Микроструктурная эволюция процессов спекания
- Новые процессы спекания (полевые, лазерные и т. д.)
- Явление спекания при производстве добавок
- Спектральное спекание (например, горячее прессование, горячее изостатическое прессование, спекание)
- Спекание наноструктурированных материалов
- Спекание электронных материалов
- Спекание в новых энергетических и биологических приложениях
- Химические взаимодействия при спекании
- Измерения in situ и анализ спекания
- Симпозиум в честь 50-летия профессора Рэндалла М. Германа, внесшего большой вклад в науку о спекании
- Другие темы, связанные со спеканием

www.ceramics.org