

Шероховатость Al_2O_3 –TiC-керамики

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

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

УДК 666.3:546.62-31+546.82'261]:[621.923.4:621.921.34

ВЗАИМОСВЯЗЬ РЕЖИМОВ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ С СОСТОЯНИЕМ ПОВЕРХНОСТИ Al_2O_3 –TiC-КЕРАМИКИ

Приведены результаты исследования влияния режимов плоского шлифования алмазными кругами на состояние поверхности Al_2O_3 –TiC-керамики. Установлена взаимосвязь глубины шлифования, продольной и поперечной подач с шероховатостью, волнистостью и морфологией обработанной поверхности. Выявленные взаимосвязи планируется использовать для создания методологии нормирования точности керамических деталей и ее технологического обеспечения.

Ключевые слова: шлифование, Al_2O_3 –TiC-керамика, шероховатость, волнистость, морфология поверхностного слоя керамики.

ВВЕДЕНИЕ

Важной задачей конструкторско-технологической подготовки производства изделий является обоснованное нормирование точности элементов деталей, учитывающее их служебное назначение [1]. Допущенные ошибки приводят к негативным последствиям — искажают посадку соединений, повышают трудоемкость сборки, снижают точность изделий, увеличивают интенсивность отказов изделий, уменьшают их эффективность и эксплуатационный ресурс [2, 3].

Для высокоточных керамических деталей решение этой задачи затруднено ограниченным выбором и недостаточной изученностью методов их формообразования, а также сложным характером влияния нагрузок, генерируемых в процессе обработки, на точность и состояние их поверхностного слоя [4–6]. При этом существенные различия в структуре и свойствах перспективных керамических материалов не позволяют распространять закономерности, выявленные для одного вида керамики, на другие [7, 8]. Также недостаточная изученность процесса алмазного шлифования, наиболее распространенного метода окончательного формообразования высокоточных керамических деталей, не позволяет сформировать методологию нормирования их точности и обеспечить ее технологическое обеспечение [9, 10]. Это обстоятельство определяет актуальность исследования влияния параметров алмазного шлифования на параметры точ-

ности керамических деталей и их технологическое обеспечение.

В отношении Al_2O_3 –TiC-керамики эти исследования проводятся весьма активно. Показано [11–14], что шероховатость и волнистость поверхности увеличиваются, а точность обработки уменьшается при интенсификации режимов алмазного шлифования. Уменьшение зернистости алмазного круга приводит к снижению шероховатости поверхности и степени ее дефектности [15]. Сложный механизм образования дефектов в поверхностном слое Al_2O_3 –TiC-керамики при шлифовании проанализирован в работах [16, 17]. Однако результаты этих исследований не систематизированы, что затрудняет их использование при решении важной технологической задачи. В настоящей работе поставлена цель — изучить влияние режимов алмазного шлифования на шероховатость, волнистость и морфологию поверхностного слоя Al_2O_3 –TiC-керамики для создания методологии нормирования точности деталей и ее технологического обеспечения. Данная статья является продолжением работы [18].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Основные положения экспериментальной методики детально изложены в статье [18]. В настоящей работе исследовали образцы высокоплотной Al_2O_3 –TiC-керамики, структуру которой формируют зерна неправильной формы размерами 2–5 мкм с плоскими гранями (рис. 1). На границах соседних зерен имеются несплошности вытянутой формы размерами до 0,5 мкм. Образцы Al_2O_3 –TiC-керамики имели предел прочности при изгибе $\sigma_{изг}$ 650 МПа, трещино-



В. В. Кузин
E-mail: kyzena@post.ru

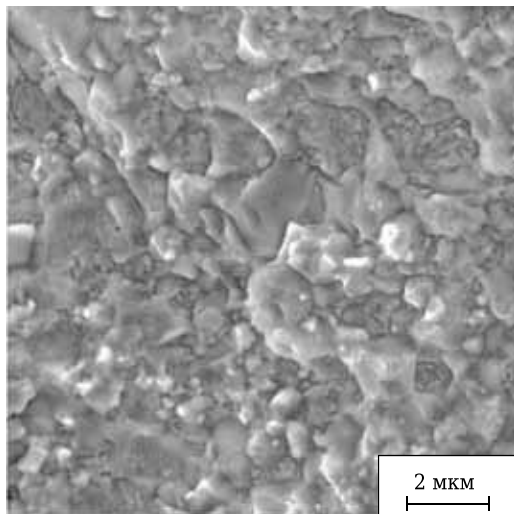


Рис. 1. Структура Al_2O_3 -TiC-керамики (однократное ударное нагружение)

стойкость K_{IC} 5,4 МПа·м^{1/2}, плотность $\sim 4,3$ г/см³ и твердость HRA 93. Эти образцы шлифовали при следующих режимах: продольная подача $S_{\text{пр}} = 5 \div 15$ м/мин, поперечная подача $S_{\text{поп}} = 0,5 \div 1,5$ мм/ход, глубина шлифования в диапазоне $t = 0,01 \div 0,05$ мм. Скорость круга во всех экспериментах оставалась постоянной, $v_{\text{кр}} = 30$ м/с.

Состояние поверхностного слоя шлифованных образцов Al_2O_3 -TiC-керамики характеризовали параметрами шероховатости Ra и волнистости Wa , а также морфологией, которую оценивали с использованием микрофотографий, полученных на сканирующем электронном микроскопе VEGA3 LMN. На них строили среднюю линию профиля, на которой выделяли характерные точки A и B (с разными индексами для соседних участков поверхности), причем поверхность $A-B$ считали впадиной, а поверхность $B-A_1$ — выступом (рис. 2, а). Количественную оценку рельефа поверхности образца Al_2O_3 -TiC-керамики выполняли с использованием средних значений ширины L_1 и L_2 впадин и выступов соответственно, а также глубины H_1 впадин и высоты H_2 выступов. Эти характеристики определяли по результатам измерений пяти разных впадин и выступов. При описании морфологии поверхностного слоя

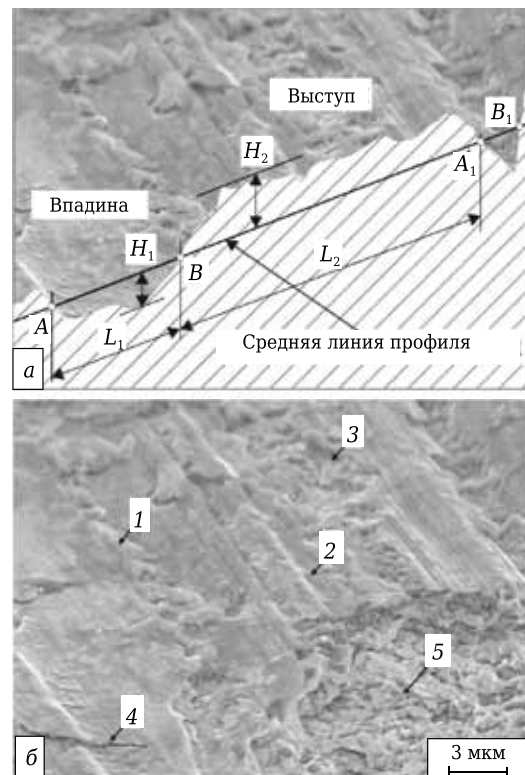


Рис. 2. Оценка морфологии шлифованной поверхности керамических образцов

шлифованных образцов использовали следующие понятия (рис. 2, б): волнообразный наплыв 1, продольная риска 2, углубление 3, трещина 4 и область локального разрушения 5.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние режима шлифования на Ra обработанной поверхности заготовок Al_2O_3 -TiC-керамики показано на рис. 3. Видно, что параметры режима шлифования существенно влияют на Ra . Интенсификация режима шлифования приводит к увеличению Ra обработанных поверхностей как в продольном направлении, так и в поперечном.

При увеличении $S_{\text{пр}}$ в диапазоне 5–15 м/мин ($S_{\text{поп}} = 1$ мм/ход, $t = 0,04$ мм) Ra шлифованной поверхности образцов Al_2O_3 -TiC-керамики воз-

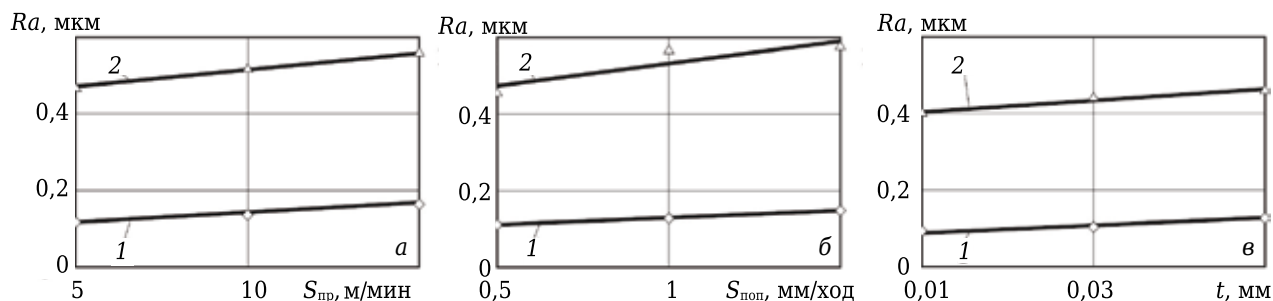


Рис. 3. Влияние $S_{\text{пр}}$ (а), $S_{\text{поп}}$ (б) и t (в) на Ra шлифованной поверхности керамических образцов в продольном (1) и поперечном (2) направлении

растает от 0,11 до 0,17 и от 0,47 до 0,56 мкм в продольном и поперечном направлении соответственно (см. рис. 3, а). Увеличение $S_{\text{поп}}$ в диапазоне 0,5–1,5 мм/ход ($S_{\text{пр}} = 10$ м/мин, $t = 0,04$ мм) приводит к возрастанию Ra от 0,1 до 0,15 и от 0,46 до 0,58 мкм соответственно (см. рис. 3, б). При увеличении t в диапазоне 0,01–0,05 мм ($S_{\text{пр}} = 10$ м/мин, $S_{\text{поп}} = 1$ мм/ход) Ra возрастает соответственно от 0,09 до 0,13 и от 0,4 до 0,46 мкм (см. рис. 3, в). Все полученные зависимости с высокой точностью аппроксимируются прямыми линиями.

Установлено, что интенсификация режима шлифования приводит к увеличению параметра Wa обработанной поверхности образцов Al_2O_3 –TiC-керамики (рис. 4). При увеличении $S_{\text{пр}}$ в диапазоне 5–15 м/мин ($S_{\text{поп}} = 1$ мм/ход, $t = 0,04$ мм) Wa возрастает от 0,7 до 2,5 мкм (см. рис. 4, а). С увеличением $S_{\text{поп}}$ в диапазоне 0,5 – 1,5 мм/ход ($S_{\text{пр}} = 10$ м/мин, $t = 0,04$ мм) Wa возрастает от 0,5 до 1,9 мкм (см. рис. 4, б). Увеличение t в диапазоне 0,01–0,05 мм ($S_{\text{пр}} = 10$ м/мин, $S_{\text{поп}} = 1$ мм/ход) приводит к росту Wa от 0,8 до 1,6 мкм (см. рис. 4, в). Столь существенное влияние режима шлифования на параметры Ra и Wa шлифованных поверхностей Al_2O_3 –TiC-керамики связано с изменением толщины среза и количества режущих зерен, приходящихся на единицу обрабатываемой поверхности.

В результате анализа экспериментальных данных выявлено существенное влияние режима алмазного шлифования на морфологию шлифованной поверхности (рис. 5). Видно, что шлифованная поверхность Al_2O_3 –TiC-керамики характеризуется совокупностью впадин и выступов, многочисленными дефектами и пластически деформированным слоем толщиной до 1,2 мкм. Формирование этого специфического морфологического рисунка можно связать с одновременным действием механизмов хрупкого и пластического разрушения при удалении припуска.

Распределение пластически деформированного слоя на поверхности керамики имеет определенные особенности. На поверхности впадин этот слой распределен равномерно, а на выступах поверхность имеет более развитую морфологию за счет волнообразных наплывов, продольных

рисок и углублений. Волнообразные наплывы образуются в результате пластического «выдавливания» материала из внутренних объемов впадин; продольные риски формируются в результате контактного воздействия алмазных зерен, расположенных на разном расстоянии от периферии алмазного круга; появление углублений связано с неоднородностью пластических деформаций. Сглаженность рельефа во впадинах нарушают многочисленные трещины (их число зависит от режима шлифования), распространяющиеся в поперечном направлении. Наибольшую развитость морфологии придают области локального разрушения, образованные в результате хрупкого скалывания объема керамики под действием нагрузок, генерируемых процессом шлифования.

Отмечено, что морфология шлифованной поверхности образцов Al_2O_3 –TiC-керамики имеет существенные отличия от морфологии поверхности образцов Al_2O_3 -керамики [18]. Эти отличия связаны как с разным уровнем свойств этой керамики, так и с существенными различиями в их исходной структуре. На поверхности образцов Al_2O_3 –TiC-керамики, имеющей высокоплотную и мелкозернистую структуру, отсутствуют поры после шлифования.

Проанализируем влияние параметров режима шлифования на морфологию обработанной поверхности образцов Al_2O_3 –TiC-керамики. Установлено, что $S_{\text{пр}}$ значительно влияет на морфологию шлифованной поверхности керамических образцов (см. рис. 5, а). На поверхности образцов Al_2O_3 –TiC-керамики, шлифованных при $S_{\text{пр}} = 5$ м/мин ($S_{\text{поп}} = 1$ мм/ход, $t = 0,04$ мм), имеются впадины шириной L_1 до 8 мкм и выступы шириной L_2 до 25 мкм. Глубина впадин H_1 и высота выступов H_2 имеют минимальные значения, что придает поверхности выровненный рельеф. На сглаженной поверхности впадин имеются трещины длиной 5 мкм. На поверхности выступов имеются отдельные волнообразные наплывы, продольные риски размером 10 мкм. На поверхности выступов имеются отдельные области локального разрушения размером 20 мкм.

После шлифования при $S_{\text{пр}} = 10$ м/мин ($S_{\text{поп}} = 1$ мм/ход, $t = 0,04$ мм) средняя ширина впа-

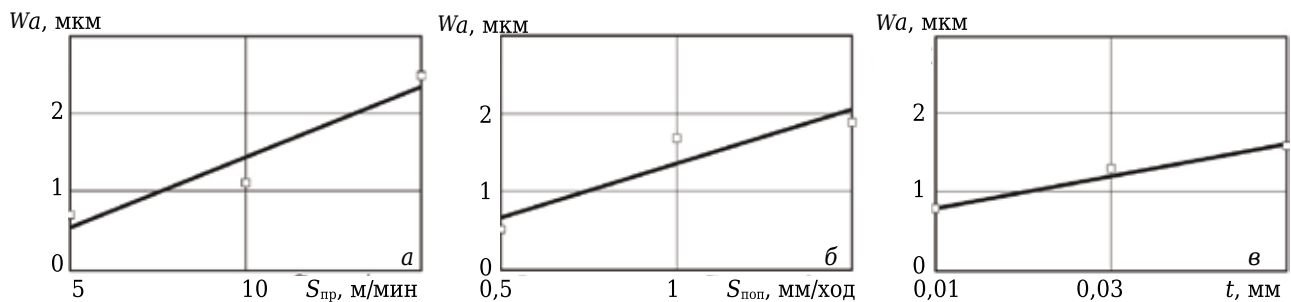


Рис. 4. Влияние $S_{\text{пр}}$ (а), $S_{\text{поп}}$ (б) и t (в) на Wa шлифованной поверхности керамических образцов

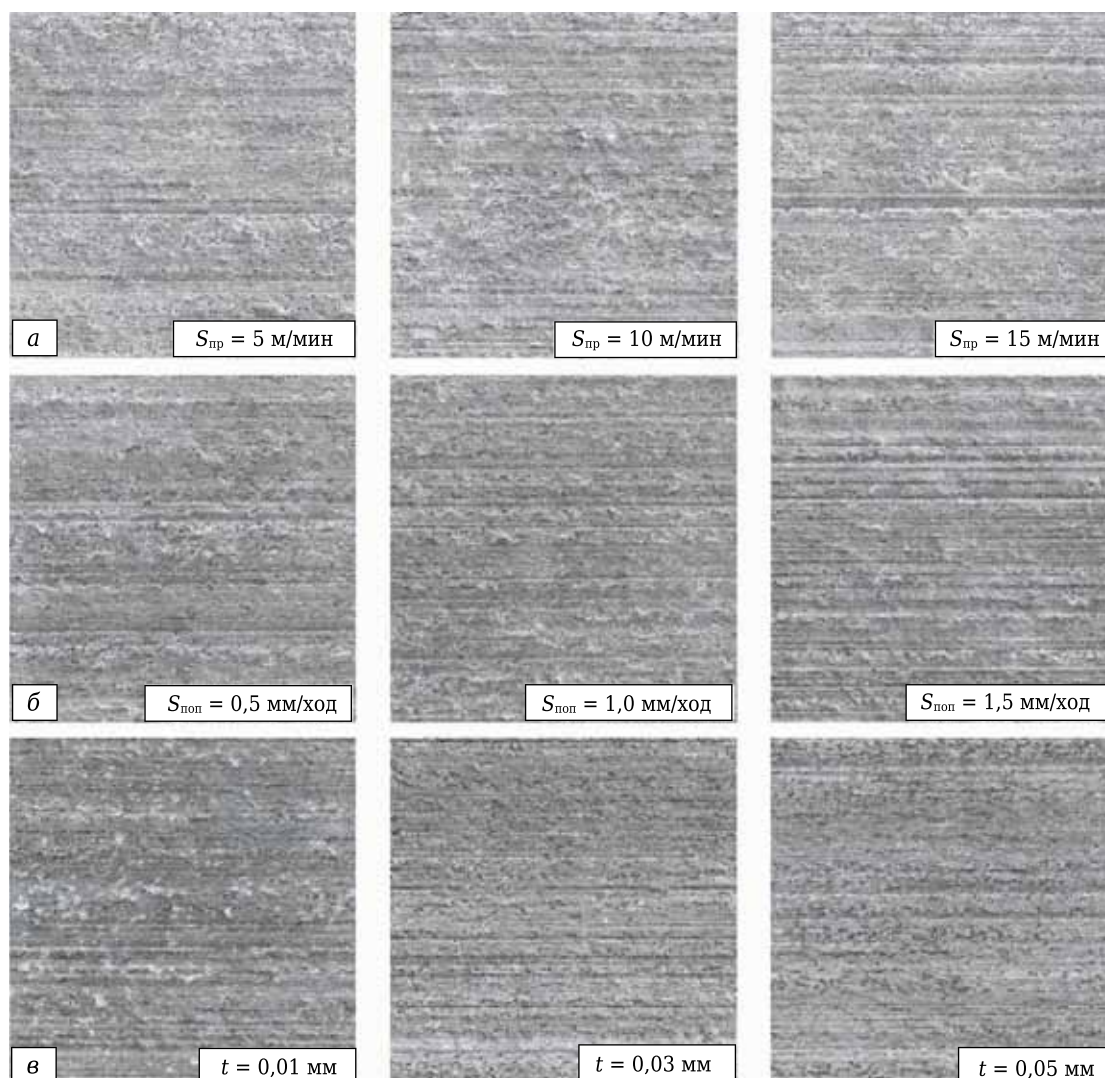


Рис. 5. Влияние $S_{пр}$ (а), $S_{поп}$ (б) и t (в) на морфологию шлифованной поверхности керамических образцов. $\times 1000$

дин L_1 и выступов L_2 увеличивается до 12 и 30 мкм соответственно. Глубина впадин H_1 практически не изменяется, а высота выступов H_2 увеличивается по сравнению с предыдущим режимом шлифования. Также увеличиваются число волнообразных наплывов; ширина продольных рисок до 4 мкм; размеры углублений до 15 мкм, приобретающих вытянутую в продольном направлении форму; длина трещин на поверхности впадин до 8 мкм. Число и размер областей локальных разрушений практически не изменяются по сравнению со шлифованием при $S_{пр} = 5$ м/мин ($S_{поп} = 1$ мм/ход, $t = 0,04$ мм). Установлено, что увеличение высоты выступов происходит в том числе за счет образования отдельных микровозвышенностей.

После шлифования с наибольшей продольной подачей при режиме $S_{пр} = 15$ м/мин ($S_{поп} = 1$ мм/ход, $t = 0,04$ мм) развитость рельефа шлифованной поверхности образцов Al_2O_3 -TiC-керамики заметно увеличивается. Ширина впа-

дин L_1 и выступов L_2 увеличивается до 18 и 35 мкм соответственно. Увеличиваются глубина H_1 отдельных впадин, находящихся друг от друга на расстоянии до 70 мкм, и число волнообразных наплывов на их поверхности. Увеличиваются также длина трещин до 10 мкм, размеры областей локального разрушения до 25 мкм, число углублений и продольных рисок.

Влияние $S_{поп}$ на морфологию шлифованной поверхности керамических образцов показано на рис. 5, б. Видно, что на поверхности образцов, шлифованных при режиме $S_{поп} = 0,5$ мм/ход ($S_{пр} = 10$ м/мин, $t = 0,04$ мм), образуются впадины и выступы шириной L_1 и L_2 до 5 и до 30 мкм соответственно. Малые значения H_1 и H_2 придают поверхности сглаженный рельеф. Трещин на поверхности впадин не обнаружено. На поверхности выступов имеются отдельные волнообразные наплывы, продольные риски шириной до 2 мкм, углубления округлой формы размером до 8 мкм и области локального разрушения размером до 20 мкм.

На поверхности образцов $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--TiC}$ -керамики, шлифованных при режиме $S_{\text{поп}} = 1$ мм/ход ($S_{\text{пр}} = 10$ м/мин, $t = 0,04$ мм), параметры выступов не изменяются по сравнению с предыдущим режимом. Однако увеличение L_1 до 10 мкм с одновременным возрастанием H_1 приводит к формированию более выраженного рельефа обработанной поверхности по сравнению с предыдущим режимом шлифования. При этом размеры и число продольных рисков, углублений и областей локального разрушения на выступах практически не увеличиваются. На поверхности выступов имеются многочисленные волнообразные наплывы, а на поверхности впадин — трещины длиной 8 мкм.

Увеличение поперечной подачи до $S_{\text{поп}} = 1,5$ мм/ход ($S_{\text{пр}} = 10$ м/мин, $t = 0,04$ мм) приводит к образованию наиболее рельефной морфологии поверхности образцов $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--TiC}$ -керамики. Ширина впадин L_1 увеличивается до 20 мкм с одновременным повышением глубины H_1 по сравнению с предыдущим режимом шлифования. На поверхности впадин образуются трещины длиной до 12 мкм. Параметры выступов не изменяются, однако число продольных рисков размерами 2–4 мкм на них заметно увеличивается. Размеры углублений увеличиваются до 12 мкм при изменении их формы (вытягиваются в продольном направлении), а размер областей локального разрушения возрастает до 30 мкм.

Влияние t на морфологию шлифованной поверхности керамических образцов показано на рис. 5, в. Установлено, что на поверхности образца $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--TiC}$ -керамики, шлифованной при $t = 0,01$ мм ($S_{\text{пр}} = 10$ м/мин, $S_{\text{поп}} = 1$ мм/ход), имеются впадины и выступы шириной L_1 и L_2 до 10 и до 25 мкм соответственно. В поверхностном слое впадин образуются трещины длиной до 8 мкм. На поверхности выступов имеются единичные волнообразные наплывы, продольные риски размером до 3 мкм, углубления размером до 10 мкм и области локального разрушения размером до 20 мкм.

При увеличении t до 0,03 мм ($S_{\text{пр}} = 10$ м/мин, $S_{\text{поп}} = 1$ мм/ход) развитость рельефа шлифованной поверхности растет по сравнению с предыдущим режимом за счет повышения L_1 до 15 мкм с одновременным возрастанием H_1 . При этом длина трещин не изменяется. Ширина L_2 и высота H_2 выступов практически не изменяется, однако число волнообразных наплывов и продольных рисков размерами до 3 мкм на их поверхности значительно увеличивается. Возрастает также число углублений, размеры которых увеличиваются до 13 мкм, а размеры областей локальных разрушений до 25 мкм.

После шлифования с наибольшей глубиной $t = 0,05$ мм ($S_{\text{пр}} = 10$ м/мин, $S_{\text{поп}} = 1$ мм/ход) морфология поверхности керамических образцов приобретает более выраженный рельеф за счет

увеличения числа впадин, их размеров L_1 до 18 мкм и H_1 и длины трещин до 12 мкм. Наиболее значительно увеличивается число волнообразных наплывов, продольных рисков шириной 3–5 мкм и углублений размером 15 мкм. Размеры областей локального разрушения достигают 30 мкм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате экспериментальных исследований выявлена взаимосвязь продольной и поперечной подачи, а также глубины при плоском алмазном шлифовании образцов $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--TiC}$ -керамики с шероховатостью, волнистостью и морфологией обработанной поверхности. Увеличение $S_{\text{пр}}$ от 5 до 15 м/мин при шлифовании $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--TiC}$ -керамики приводит к возрастанию Ra в 1,54 в продольном направлении и 1,2 раза в поперечном направлении и Wa в 3,5 раза. Увеличение $S_{\text{поп}}$ от 0,5 до 1,5 мм/ход приводит к возрастанию шероховатости Ra в 1,5 раза в продольном направлении и 1,3 раза в поперечном направлении и Wa в 3,8 раза. Увеличение t от 0,01 до 0,05 мм при шлифовании Al_2O_3 -керамики приводит к возрастанию Ra в 1,4 раза в продольном направлении и 1,15 раза в поперечном направлении и Wa в 2 раза.

Морфология шлифованной поверхности образцов $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--TiC}$ -керамики характеризуется совокупностью впадин и выступов, на поверхности которых имеется пластически деформированной слой толщиной до 1,2 мкм. На поверхности впадин в поперечном направлении образуются трещины, а на поверхности выступов — волнообразные наплывы, продольные риски, углубления и области локального разрушения. Параметры режима шлифования существенно влияют на размеры и число этих элементов морфологии обработанной поверхности керамических образцов. Интенсификация режима шлифования приводит к увеличению ширины впадин L_1 и выступов L_2 , глубины впадин H_1 и высоты выступов H_2 , числа и размеров волнообразных наплывов, размеров углублений и областей локального разрушения. Выявленные взаимосвязи будут использованы для создания методологии нормирования точности керамических деталей и ее технологического обеспечения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках выполнения государственного задания в сфере научной деятельности (задание № 2014/105, проект № 1908).

Библиографический список

1. **Марков, Н. Н.** Нормирование точности в машиностроении / Н. Н. Марков, В. В. Осипов, М. Б. Шабалина, Ю. М. Соломенцев ; 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Высшая школа ; М. : Академия, 2001. — 335 с.

2. **Суслов, А. Г.** Инженерия поверхности деталей / А. Г. Суслов. — М.: Машиностроение, 2008. — 320 с.
3. **Ярославцев, В. М.** Разработка методологии поиска новых методов обработки и ее практическая реализация / В. М. Ярославцев // Вестник МГТУ. Машиностроение. — 2007. — № 2 (67). — С. 56–70.
4. **Jin, Y.** Study on High Precision Control Scheme of Ceramic Ferrule Concentricity Grinder / Y. Jin, H. Lin // Applied Mechanics and Materials. — 2014 — Vol. 635–637. — P. 1266–1270.
5. **Кузин, В. В.** Технология механической обработки деталей из высокоогнеупорной керамики на основе нитрида кремния / В. В. Кузин // Новые огнеупоры. — 2006. — № 8. — С. 19–24.
- Kuzin, V. V.** Technology for machining high-refractory ceramic parts based on silicon nitride / V. V. Kuzin // Refractories and Industrial Ceramics. — 2006. — Vol. 47, No. 4. — P. 204–208.
6. **Li, Z. L.** A Study of Computer Controlled Ultra-Precision Polishing of Silicon Carbide Reflecting Lenses for Enhancing Surface Roughness / Z. L. Li, W. B. Lee, B. C. F. Cheung [et al.] // Key Engineering Materials. — 2015. — Vol. 625. — P. 437–445.
7. **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.
8. **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.
9. **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. — 2012. — Vol. 496. Precision Machining. — P. 127–131.
10. **Li, S. H.** Research on optimal design and processing of high-speed ceramic ball bearings without inner rings

- / S. H. Li, M. H. Feng, Y. H. Wu // Applied Mechanics and Materials. — 2014. — Vol. 446/447. — P. 513–517.
11. **Yamamoto, Y.** Investigation on high depth of cut of ultra-smoothness grinding of Al_2O_3 -TiC ceramic / Y. Yamamoto, H. Yasui, Y. Tanaka [et al.] // Proc. ASPE 2007 Annual Meeting. — 2007. — P. 394–397.
12. **Ling, Y.** High speed versus conventional grinding in high removal rate machining of alumina and alumina-titania / Y. Ling, H. Huang, K. Ramesh, T. Huang // International Journal of Machine Tools and Manufacture. — 2005. — Vol. 45. — P. 897–907.
13. **Ohbuchi, Y.** Warp in high precision cut-off grinding of Al_2O_3 -TiC ceramic thin plate / Y. Ohbuchi, T. Matsuo, N. Ueda // CIRP Annals – Manufacturing Technology. — 1999. — Vol. 48. — P. 285–288.
14. **Rupeng, Zhu.** Experimental research on grinding surface waviness of engineering ceramics / Zhu Rupeng, He Ning, Fu Yucan, Yang Changyong // Materials Science Forum Advances in Materials Manufacturing Science and Technology XV. — 2014. — Vol. 770. — P. 175–178.
15. **Zhang, B.** Grinding induced damage in ceramics / B. Zhang, B. X. L. Zheng, H. Tokura, M. Yoshikawa // Journal of Materials Processing Technology. — 2003. — Vol. 132. — P. 353–364.
16. **Matsuo, T.** High-precision surface grinding of ceramics with superfine grain Diamond Cup Wheels / T. Matsuo, M. Touge, H. Yamada // CIRP Annals – Manufacturing Technology. — 1997. — Vol. 46. — P. 249–252.
17. **Tanovic, L.** Mechanisms in oxide-carbide ceramic BOK60 grinding / L. Tanovic, P. Bojanic, M. Popovic // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. — 2011. — Vol. 58. — P. 9–12.
18. **Кузин, В. В.** Взаимосвязь режимов алмазного шлифования с состоянием поверхности Al_2O_3 -керамики / В. В. Кузин, С. Ю. Фёдоров // Новые огнеупоры. — 2016. — № 7. — С. 65–70. ■

Получено 15.08.16

© В. В. Кузин, С. Ю. Фёдоров, 2016 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



II научно-техническая конференция «Высокотемпературные керамические композиционные материалы и защитные покрытия»

Конференция состоится 15 декабря 2016 г. в ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ
по адресу: Москва, пр-т Буденного, 25а (территория № 2, вход со стороны 9-й ул. Соколиной Горы).

Основные темы докладов:

- ▷ получение композиционных материалов с использованием современных методов, практический опыт применения разработок тугоплавких керамических матриц, неорганических армирующих волокон и покрытий
- ▷ корреляция между микроструктурой композиционных материалов и их механическими свойствами
- ▷ физико-химическое взаимодействие между матрицей и армирующим наполнителем
- ▷ улучшение рабочих характеристик материалов путем применения инновационных технологических подходов, нанесения высокотемпературных защитных покрытий и др.

По итогам II научно-технической конференции будет выпущен сборник докладов (в электронном виде).

ОРГКОМИТЕТ:

(495) 365-56-52 Денисова
Валентина Сергеевна
(495) 366-72-65 Ваганова
Мария Леонидовна
(499) 263-89-17 Сумакова
Алла Витальевна

E-mail: mkm@viam.ru