

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»  
ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»

ЮУрГУ

Проект Ленина, 76, Челябинск, Россия 454080, тел./факс (351)267-99-00, e-mail: info@susu.ru, www.susu.ru  
ОКПО 02066724, ОГРН 1027403857568, ИНН/КПП 7453019764/745301001

№ \_\_\_\_\_

На № \_\_\_\_\_

с г. \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ

первый проректор-

проректор по научной работе

ФГАОУ ВО «Южно-Уральский

государственный университет

(национальный исследовательский университет)»

д-р техн. наук, доцент

А.В. Коржов

\_\_\_\_\_ 2022 г.



### ОТЗЫВ

ведущей организации

о диссертационной работе Каменова Рената Уахитовича на тему  
«Повышение качества изделий из керамических материалов путем применения высоко-  
скоростного шлифования»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической  
и физико-технической обработки

#### Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Р.У. Каменова посвящена повышению качества изделий из керамических материалов (КМ), предназначенных для работы в тяжело нагруженных парах трения, и в качестве уплотнений различного назначения.

Для машиностроительных предприятий, производящих изделия из КМ, наряду с вопросами уровня производительности обработки и низкой шероховатости, актуальной является проблема обеспечения отсутствия дефектов обработанной поверхности в виде микротрещин, микролунок и других дефектов хрупкого происхождения. Существующие методы обработки КМ (шлифование, гидроабразивная и электроэрозионная обработка и т.д.) не позволяют достигнуть требуемых параметров качества обработанной поверхности. После обработки данными методами удается достичь шероховатости поверхности  $Ra = 0,32$  мкм, также на обработанной поверхности зачастую присутствуют дефекты обработки – микролуночки и микротрещины. В связи с этим обеспечение требуемых параметров качества достигается путем применения последующих доводочных и полировальных операций, которые значительно повышают трудоемкость изготовления и стоимость изделий из КМ.

Учитывая специфику физико-механических свойств КМ, можно констатировать, что к настоящему времени рассмотрены лишь отдельные вопросы повышения качества операций шлифования, суперфиниширования, доводки и полирования таких изделий.

В связи с вышеизложенным, актуальность темы диссертационной работы Р.У. Каменова, посвященной разработке научных основ повышения эффективности абразивной обработки изделий из высокотвердой керамики, на основе определения рациональных режимов обработки при высокоскоростном шлифовании, не вызывает сомнений. Решение описанной выше проблемы вносит значительный вклад в развитие страны.

### **Структура и содержание диссертации**

Представленная диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений. Диссертационная работа изложена на 144 страницах машинописного текста и состоит из введения, четырех глав, выводов и списка литературы из 99 наименований, а также содержит 62 иллюстраций и 12 таблиц.

**В введении обоснована** актуальность темы диссертации, ее научная новизна и практическая ценность, приведены основные положения, выносимые автором на защиту.

**В первой главе** приведен анализ литературы и практического опыта существующих методов и способов обработки КМ, который показал, что производство изделий из КМ реализуется в три этапа: заготовительный (формование и спекание); предварительная обработка (шлифование, гидро- и электроэрозионная обработка) и финишная обработка (доводочные и полировальные операции).

На этапе предварительной обработки формируются большие остаточные напряжения в поверхностном слое детали, что в свою очередь приводит к трещинообразованию. Финишная обработка является малопродуктивной, что значительно повышает трудоемкость и, как следствие, стоимость обработки изделий из КМ. При этом именно на операциях механической обработки, составляющих порядка 70-80% от общей трудоемкости, формируются дефекты, приводящие к браку, который может достигать 50 %.

Показано, что перспективным направлением, способным решить данные проблемы, может стать высокоскоростное шлифование КМ со скоростями свыше 100 м/с. В тоже время, данные о влиянии высокоскоростного шлифования на качество обработанной поверхности КМ в литературе практически отсутствуют. Отсутствие данных о механизме разрушения КМ при переходе к высокоскоростному шлифованию и возможном влиянии его на качество обработанной поверхности определило основное направление проведенных исследований.

**Во второй главе** представлено технологическое оборудование, позволяющее производить обработку КМ высокоскоростным способом шлифования при скоростях резания до 300 м/с, который реализован за счет модернизированной установки и разработанных шлифовальных кругов, с возможностью применения различных характеристик шлифовальных головок.

**В третьей главе** на основе анализа литературы выдвинута рабочая гипотеза об изменении механизма разрушения КМ с транскристаллитного на интеркристаллитный с повышением скорости резания и переходом на высокоскоростное шлифование. Это должно привести к повышению качества обработанной поверхности – снижению шероховатости, уменьшению количества и размеров микролунок и микротрещин, или их устранению.

Для подтверждения данной гипотезы проведено численное моделирование влияния скорости резания при шлифовании КМ на рост трещины, под которым понимается угол её направления и глубина залегания напряжений, а также механизма разрушения КМ и шероховатости обработанной поверхности.

Результаты численного моделирования методами перидинамики, дискретных элементов и сглаженных частиц позволили установить, что для достижения требуемых параметров качества обработанной поверхности необходимо повысить скорость резания до 300 м/с.

**В четвертой главе** представлены результаты экспериментальных исследований, подтверждающих результаты проведенного моделирования, эмпирическая зависимость отражающая влияние режимов обработки и размера абразивного зерна на шероховатость обработанной поверхности, а также практические рекомендации по использованию на производстве предлагаемого способа высокоскоростного шлифования для обеспечения требуемых параметров качества и повышения производительности обработки при изготовлении изделий из КМ.

Установлено, что требуемый диапазон шероховатости обработанной поверхности  $Ra$  менее 0,1 мкм с минимальными дефектами достигается при скорости резания  $V = 300$  м/с, глубине резания  $t = 0,003$  мм и продольной подаче  $S = 0,65$  м/мин.

**Приложения** содержат методику сравнительного анализа способов механической обработки изделий из КМ по технико-экономическим и качественным параметрам, патент на полезную модель, акт испытаний высокоскоростного шлифования на предприятии АО «ОДК-АВИАДВИГАТЕЛЬ» и акт внедрения результатов работы в производственную деятельность производственного комплекса «Салют» АО «ОДК».

### **Основные научные результаты и их значимость для науки и производства**

В рецензируемой диссертации можно выделить следующие наиболее существенные результаты, имеющие значение для науки и производства.

Основным научным результатом диссертации следует считать развитие представления о характере разрушения КМ и исследования явлений при переходе его с транскристаллитного на интеркристаллитный вследствие повышении скорости шлифования.

К результатам, обладающим научной новизной, относятся следующие отличительные черты выполненного исследования.

1. Результаты численного моделирования процесса роста трещин, характера разрушения КМ и шероховатости обработанной поверхности, позволившие выявить связь скорости шлифования с механизмом разрушения КМ и качеством обработанной поверхности.

2. Результаты экспериментальных исследований качества обработанной поверхности (шероховатость поверхности, наличие микротрещин и микролунок) КМ при высокоскоростном шлифовании.

3. Эмпирическая зависимость шероховатости обработанной поверхности КМ, устанавливающая ее связь с режимами резания и зернистостью шлифовального круга.

Основная практическая ценность работы состоит в повышении качества изделий из керамических материалов за счет определения рациональных режимов обработки при высокоскоростном шлифовании.

Также практическую ценность имеют следующие разработки:

1. Разработана конструкция шлифовального круга (Патент на полезную модель № RU 193951 РФ, МПК В24D 5/06, В24В 5/16, В24В 5/36. «Шлифовальный круг для высокоскоростной обработки»), позволяющего реализовать способ высокоскоростного шлифования КМ.

2. Модернизирован технологический комплекс для высокоскоростного шлифования изделий из КМ со скоростями шлифования до 300 м/с, за счет установки специально спроектированного и изготовленного скоростного шпинделя, генератора масляного тумана, системы охлаждения и устройства очистки сжатого воздуха.

3. На основе проведенных экспериментов по шлифованию изделий из КМ марки ВК94-1 и керамокомпозита *SiC-SiC* сформулированы технологические рекомендации для их эффективной обработки.

Опытно-промышленные испытания, выполненные на предприятии АО «ОДК-АВИАДВИГАТЕЛЬ» (г. Пермь), подтвердили повышение качества и производительности при обработке изделий из КМ высокоскоростным шлифованием с применением предложенных технологических рекомендаций.

Результаты диссертационной работы внедрены в производственную деятельность производственного комплекса «Салют» АО «ОДК».

Таким образом, в ходе выполнения диссертации автор получил научно-значимые для технологии механической обработки результаты, имеющие существенное значение в рамках соответствующей научной специальности.

### **Практическое значение результатов диссертации**

Сформулированы технологические рекомендации для эффективной обработки керамических материалов путем применения высокоскоростного шлифования.

Результаты работы могут быть рекомендованы к использованию на машиностроительных предприятиях, занимающихся изготовлением изделий из керамических материалов.

Достоверность полученных результатов сомнений не вызывает. Положения, выносимые на защиту, обоснованы корректным использованием современных методов математической и статистической обработки результатов лабораторных экспериментов и результатами производственных испытаний высокоскоростной шлифовальной обработки изделий из керамических материалов. Теоретические результаты подтверждаются сопоставлением данных, полученных автором в ходе экспериментальных исследований и результатами других исследователей.

Основные результаты диссертационной работы отражены в 11 публикациях, из них 5 опубликованы в журналах, входящих в перечень ВАК, 4 опубликованы в журналах, входящих в базы цитирования Scopus и Web of Science, получен 1 патент РФ на полезную модель.

Структура диссертации является логически стройной, отражает включенный в нее материал, главы равноценны; претензий к языку и стилю изложения нет. Диссертация написана ясным, технически грамотным языком.

Качество оформления диссертации является достаточно высоким, к нему имеются лишь небольшие замечания, на которые автору указано.

Автореферат и опубликованные работы отражают основное содержание диссертации.

### **Замечания по диссертационной работе**

1. Из работы неясно – для какой схемы шлифования выполнено моделирование и проведены экспериментальные исследования? При проектировании какого вида шлифования можно применять разработанные автором рекомендации?

2. В работе не учитывается износ рабочих зерен шлифовального круга. А этот фактор существенно влияет на работоспособность инструмента и обеспечение требуемого качества обработки.

3. В работе используются рабочие зерна конкретной фракции, круги на бакелитовой связке. Это существенно сужает область применения полученных автором рекомендаций. Неясно – каким образом можно распространить полученные результаты на другие зернистости и связки. И можно ли в принципе?

4. Также неясно для всех ли керамических материалов справедливы сделанные автором выводы и получены результаты. Если да, то это следовало обосновать в работе.

### Заключение

Таким образом, считаем, что диссертация Каменова Рената Уахитовича, выполненная на тему «Повышение качества изделий из керамических материалов путем применения высокоскоростного шлифования» является законченным научным исследованием, в котором решена важная научно-техническая задача, по доказательству возможности и обоснованию целесообразности применения высокоскоростного шлифования для обработки изделий из керамических материалов.

Результаты исследований вносят вклад в решение задачи повышения качества изделий из керамических материалов путем применения высокоскоростного шлифования.

Представленные теоретические и практические результаты позволяют заключить, что рассматриваемая работа соответствует требованиям пп. 9–14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор – Каменов Ренат Уахитович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.


Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры технологии автоматизированного машиностроения ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» 01.11.2022 г., протокол № 3.

Заведующий кафедрой технологии  
автоматизированного машиностроения,  
д-р техн. наук, профессор

 **Гузеев Виктор Иванович**  
29.11.2022

Научная специальность: 05.02.08 – Технология машиностроения

Профессор кафедры  
технологии автоматизированного машиностроения,  
доктор технических наук, доцент

 **Ардашев Дмитрий Валерьевич**  
29.11.22

Научные специальности: 05.02.07 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки, 05.02.08 – Технология машиностроения.

454080, г. Челябинск, пр. Ленина, д. 76, ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)»,  
кафедра «Технологии автоматизированного машиностроения».

Телефон: +7 (351) 267-92-73.

E-mail: guzeevi@susu.ru, ardashevsv@susu.ru

