

**ЗАСЕДАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 99.2.001.02
26 декабря 2022 г.**

Повестка дня

**ЗАЩИТА ДИССЕРТАЦИИ Каменовым Ренатом Уахитовичем
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ
НАУК**

**«ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ИЗ КЕРАМИЧЕСКИХ
МАТЕРИАЛОВ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО
ШЛИФОВАНИЯ»**

Специальность:

**2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической
обработки**

Официальные оппоненты:

Носенко Владимир Андреевич – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология и оборудование машиностроительных производств» Волжского политехнического института (филиала) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»;

Рощупкин Станислав Иванович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Технология машиностроения» ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»;

Ведущая организация: ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск

ЗАСЕДАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 99.2.001.02
26 декабря 2022 г.

На заседании присутствовали члены Совета:

1. Табаков В.П.	д-р техн. наук, профессор	2.5.5 – технические науки
2. Веткасов Н.И.	д-р техн. наук, доцент	2.5.5 – технические науки
3. Булыжев Е.М.	д-р техн. наук, доцент	2.5.6 – технические науки
4. Денисенко А.Ф.	д-р техн. наук, профессор	2.5.5 – технические науки
5. Епифанов В.В.	д-р техн. наук, доцент	2.5.5 – технические науки
6. Киселев Е.С.	д-р техн. наук, профессор	2.5.6 – технические науки
7. Лобанов Д.В.	д-р техн. наук, доцент	2.5.6 – технические науки
8. Клячкин В.Н.	д-р техн. наук, профессор	2.5.5 – технические науки
9. Ковальногов В.Н.	д-р техн. наук, доцент	2.5.5 – технические науки
10. Носов Н.В.	д-р техн. наук, профессор	2.5.6 – технические науки
11. Унянин А.Н.	д-р техн. наук, доцент	2.5.5 – технические науки
12. Янюшкин А.С.	д-р техн. наук, профессор	2.5.5 – технические науки

Председатель

д-р техн. наук



Ученый секретарь

д-р техн. наук

В.П. Табаков

Н.И. Веткасов

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Уважаемые коллеги! К защите предлагается диссертация Каменова Рената Уахитовича на соискание ученой степени кандидата технических наук «Повышение качества изделий из керамических материалов путем применения высокоскоростного шлифования» по специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

На заседании совета из 15 членов присутствуют 12 человек, кворум имеется. Повестка дня у всех есть, все с ней знакомы. Есть какие-нибудь

вопросы, замечания? Если нет, то предлагаю утвердить. Кто за? Принято единогласно. По специальности защищаемой диссертации – 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки на заседании присутствуют 8 докторов наук, наше заседание правомочно. По новому положению должно быть не менее 3. Объявляется защита диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук Каменова Рената Уахитовича по теме «Повышение качества изделий из керамических материалов путем применения высокоскоростного шлифования». Работа выполнена в ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет».

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент, проректор по научной работе ГБОУ ВО «Альметьевский государственный нефтяной институт» Реченко Денис Сергеевич.

Официальные оппоненты:

Носенко Владимир Андреевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология и оборудование машиностроительных производств» Волжского политехнического института (филиала) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»;

Рощупкин Станислав Иванович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технология машиностроения» ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет».

Ведущая организация – ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

На защите присутствуют оба оппонента. Письменное согласие на оппонирование данной работы от них были своевременно получены.

Слово предоставляется ученому секретарю – доктору технических наук Веткасову Н.И. для оглашения личного дела соискателя.

Ученый секретарь – д-р техн. наук, доцент Веткасов Н.И.

Уважаемый председатель, уважаемые члены совета! В личном деле соискателя, Каменова Рената Уахитовича, имеются следующие документы, представленные к защите: заявление на имя председателя совета о принятии диссертации к защите; личный листок учета с места работы; нотариально заверенные копии диплома магистра; заключение научного руководителя Реченко Дениса Сергеевича; положительное заключение ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет», где выполнялась диссертация, принятое на расширенном заседании кафедры «Металлорежущие станки и инструменты», с рекомендацией, что данная работа может быть представлена к защите по специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки; удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов. Соискатель имеет 11 опубликованных работ по теме диссертации, в том числе 5 опубликованы в журналах, входящих в перечень ВАК. Имеется протокол заседания диссертационного совета о предварительном рассмотрении работы. Положительное заключение экспертной комиссии в составе докторов

Киселева Евгения Степановича, Епифанова Вячеслава Викторовича и Унянина Александра Николаевича, о возможности защиты диссертации в нашем диссертационном совете по специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки. Имеются протоколы заседания диссертационного совета о приеме диссертации на защиту. Список рассылки автореферата. Сведения о ведущей организации и официальных оппонентах, отзывы ведущей организации и официальных оппонентов. Представлены 11 пришедших отзывов на автореферат диссертации. Все необходимые документы были своевременно опубликованы на сайте университета и в Интернете. Все представленные документы оформлены должным образом в соответствии с требованиями ВАК.

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Есть ли вопросы по личному делу соискателя к ученому секретарю совета? Нет. Есть ли вопросы к соискателю по личному делу? Нет. Ренат Уахитович, Вам предоставляется слово для доклада основных положений Вашей диссертации.

Соискатель Каменов Р.У.

Добрый день, уважаемые председатель и члены диссертационного совета! Вашему вниманию представляется диссертационная работа на тему «Повышение качества изделий из керамических материалов путем применения высокоскоростного шлифования». На 1 слайде представлены цель и задачи работы. Целью данной работы является повышение качества изделий из керамических материалов (КМ) за счет определения рациональных режимов обработки при высокоскоростном шлифовании. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи. Во-первых, провести анализ существующих методов и способов обработки КМ с целью определения основных факторов, влияющих на качество обработанной поверхности изделия. Во-вторых, модернизировать технологическую систему, позволяющую производить высокоскоростное шлифование, обеспечивая требуемые параметры качества обработанной поверхности. В-третьих, смоделировать процесс шлифования с целью определения влияния скорости резания на процесс зарождения и роста трещин и разрушения хрупкого материала. И последнее – это экспериментально подтвердить результаты моделирования и получить зависимость шероховатости обработанной поверхности от режимов обработки.

Научная новизна работы (слайд 2) состоит в том, что, во-первых, были развиты представления о характере разрушения КМ и переходе его с интеркристаллитного на транскристаллитный при повышении скорости шлифования. Результаты численного моделирования роста трещин, характера разрушения КМ и шероховатости обработанной поверхности, полученной в ходе шлифования, которые позволили выявить связь скорости шлифования с механизмом разрушения КМ и качеством обработанной поверхности. Также научная новизна состоит в результатах экспериментальных исследований качества обработанной поверхности – это

шероховатость поверхности, наличие микролунок и микротрещин в КМ при высокоскоростном шлифовании. И четвертое – предложена эмпирическая зависимость шероховатости обработанной поверхности КМ от режимов резания и зернистости шлифовального круга (ШК).

Практическая значимость работы (слайд 2) состоит в том, что была разработана конструкция ШК, позволяющего реализовывать способ высокоскоростного шлифования КМ. Модернизирован технологический комплекс для высокоскоростного шлифования 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. Сформулированы технические рекомендации для эффективной обработки изделий из КМ марки ВК94-1 и керамокомпозита из карбида кремния.

Первая задача связана с проведением анализа существующих методов и способов обработки КМ с целью определения основных факторов, влияющих на качество обработанной поверхности изделия.

Развитие машиностроения неразрывно связано с созданием и применением новых материалов, которые бы могли работать в суровых условиях. Одним из таких материалов являются КМ. Данные материалы обладают высокой твердостью, коррозионной стойкостью, износостойкостью, однако имеют довольно низкую трещиностойкость. Перечисленные свойства хорошо влияют на их применение при изготовлении изделий, которые работают в суровых условиях, однако эти же свойства отрицательно влияют на их обрабатываемость. Так, например, требования, предъявляемые к тяжело нагруженным парам трения и уплотнительным элементам различного назначения, выполненным из КМ, являются достаточно жесткими. Так, шероховатость должна быть $Ra < 0,1$ мкм, на обработанной поверхности должны отсутствовать дефекты, такие как: микротрещины и микролуночки (слайд 5).

Анализ литературных данных и практического опыта показал (слайд 6), что изготовление изделий из КМ можно разделить на два этапа: этап формирования и этап последующей механической обработки. Именно на этап последующей механической обработки приходится порядка 70 % от общей трудоемкости и 60-80 % от общей стоимости изготовления изделия. Также на данный этап приходится порядка 50-60 % брака. Существующие методы обработки КМ имеют свои недостатки, которые не позволяют достигнуть требуемых параметров качества. Также анализ литературы показал, что наиболее перспективным является способ шлифования, но с повышением скорости.

Анализ отечественной и зарубежной литературы по исследованию высокоскоростного шлифования КМ показал (слайд 7), что повышение скорости положительно влияет на качество обработанной поверхности. Так в работах профессора Никиткова Н.В. показано, что при увеличении скорости от 0,002 м/с до 90 м/с значительно уменьшается глубина трещиноватого слоя при шлифовании, а в работах профессора Ping Li из Китая показано, что

повышение скорости резания значительно уменьшает дефекты типа микролунок на обработанной поверхности. Также в данных работах указано, что основное влияние на качество обработанной поверхности оказывает сила и время ее действия, нежели температура. Именно поэтому в дальнейшем в работе рассматривали влияние силовых аспектов на качество обработанной поверхности. Также в данных работах необходимо выделить то, что в среднем в них обработка проводится на скоростях резания порядка 90-150 м/с. Выше этих скоростей, как правило, не поднимаются. Это обусловлено тем, что на данный момент не существует технологических установок, которые бы позволили стабильно проводить обработку на скоростях резания порядка 300 м/с.

Именно поэтому вторая задача связана с модернизацией технологической системы, позволяющей производить высокоскоростное шлифование, обеспечивая требуемые параметры качества обработанной поверхности. Для решения этой задачи был модернизирован шлифовально-заточной станок модели ВЗ-326Ф4 (слайд 9). Модернизация заключалась в том, что на него был установлен специально спроектированный и изготовленный шпиндель, способный развивать скорость до 100 000 оборотов в минут. Была разработана система подачи масляного тумана, охлаждающая система шпинделя, устройство очистки сжатого воздуха, а также были сконструированы специальные ШК, которые бы могли проводить обработку на повышенных скоростях резания.

На слайде 10 показан спроектированный ШК, который представляет собой металлический диск, на торце которого выполнены технологические отверстия, в которые устанавливаются абразивные шлифовальные головки. ШК конструировали, изготавливали из различных материалов и испытывали на прочность в разрывной камере. На основе выполненных расчетов и обработки результатов в качестве материала корпуса ШК была выбрана сталь 30ХГСН2А.

Установлено (слайд 11), что на качество шлифованной поверхности оказывает влияние связка шлифовального инструмента и марка абразивных шлифовальных головок. Так, например, ряд зарубежных авторов в своих работах предлагает всю шлифовальную обработку проводить ШК на бакелитовой связке и отказаться от применения других видов связок. Предварительно проведенные эксперименты подтвердили данные рекомендации. Так при обработке на металлической и керамической связках на обработанной поверхности возникает сетка микротрещин, а при обработке на бакелитовой связке таких дефектов не наблюдается. Были проведены исследования по обработке с применением различных типов абразивного инструмента, лучшим из которых проявил себя абразивный инструмент из алмазного порошка АСН. В дальнейшей работе использовали шлифовальные головки на бакелитовой связке с марками алмазного порошка АСН.

Немаловажно, что с повышением скорости повышается и вибрационная составляющая. Именно поэтому в работе была произведена балансировка ШК (слайд 12). Балансировку проводили в 2 этапа: статическая на

высокоточной оправке, затем определяли динамическую неуравновешенность данного круга с помощью прибора Диана-2М. После чего посредством съема с бортов ШК определенного объема материала производили балансировку методом разгона-выбега, что позволило сократить амплитудно-частотные характеристики в 12-15 раз до значений менее 1 мкм. Это позволило определить наиболее рациональные зоны обработки, в которых отсутствуют резонансные частоты.

Третья задача связана с моделированием процесса шлифования с целью определения влияния скорости резания на процесс зарождения и роста трещин и разрушения хрупкого материала. Для исследования влияния скорости шлифования на угол направления трещин и глубину залегания напряжений при резании КМ единичным алмазным зерном было произведено моделирование методом перидинамики (слайд 14). Данный метод позволяет моделировать процесс зарождения и роста трещины в обрабатываемом материале. Результаты моделирования показали, что при обработке на скорости 30 м/с трещина проникает непосредственно вглубь обрабатываемого материала, она движется под углом 37° и проникает на глубину порядка 3,8 мкм. При обработке на скорости до 100 м/с угол направления трещины уменьшается до $28,5^\circ$, и глубина залегания напряжений также уменьшается до значений 2,25 мкм. При обработке на 300 м/с значение угла роста трещины практически равны 0° и глубина залегания напряжений равна глубине резания, что говорит о том, что напряжения вглубь заготовки не проникают. Результаты моделирования хорошо коррелируются с результатами экспериментальных данных профессора Ping Li из Китая. Так, на слайде 14, видно, что у профессора Li при скорости резания до 30 м/с имеются большие микролунки на обработанной поверхности, с повышением скорости они аналогично уменьшаются. Однако в работе профессора Li все ограничивается обработкой на скорости резания 150 м/с. Именно поэтому результаты моделирования позволили сформулировать гипотезу о том, что повышение скорости резания должно положительно сказаться на качестве обработанной поверхности и обработка на скоростях резания порядка 300 м/с должна привести к тому, что на обработанной поверхности либо совсем будут отсутствовать дефекты, либо их будет минимальное количество.

Для исследования влияния скорости резания на изменение механизма разрушения КМ было произведено моделирование обработки заготовки из КМ единичным алмазным зерном методом дискретных элементов (слайд 15). Данный метод позволяет представить заготовку как совокупность частиц, скрепленных между собой связкой, что само по себе позволяет смоделировать сам КМ, который имеет подобную структуру. В данном моделировании частицы задавались таким образом, чтобы повторить размер частиц, которые используются для изготовления изделий непосредственно на предприятии. Так, на предприятии при спекании керамики используют 10 % частиц с размером 1 мкм, 30 % с размером от 1,4 до 1,8 мкм, 60 % с размером от 3 до 3,2 мкм. Именно такие же показатели были использованы при

моделировании методом дискретных элементов. Результаты моделирования показали, что при обработке на скорости 30 м/с от материала отделяются крупные конгломераты зерен, при этом самого разрушения зерен не происходит, о чем говорит синий цвет частиц. При обработке на 100 м/с происходит повреждение частиц, о чем свидетельствует зеленый цвет частиц, то есть частицы повреждаются, но при этом не разрушаются полностью. При этом от материала так же отделяются конгломераты зерен, но они становятся меньше. При обработке же на 300 м/с происходит разрушение частиц, что говорит о том, что при таких скоростях резания происходит именно разрушение. Результаты моделирования позволили выдвинуть гипотезу об изменении механизма разрушения с интеркристаллитного на транскристаллитный при повышении скорости резания. На слайде 15 схематично представлен данный переход. При 30 м/с реализуется интеркристаллитный вид разрушения, который представляет собой разрушение по связке без разрушения зерна, с отделением крупных конгломератов. При шлифовании на 100 м/с происходит смешанное разрушение, которое подразумевает под собой как разрушение по связке, так и повреждение зерен, то есть их частичное разрушение. При обработке на 300 м/с происходит процесс транскристаллитного разрушения, при котором разрушается само зерно.

Данный переход механизма разрушения можно объяснить, применяя подход с использованием инкубационного времени (слайд 16). Под инкубационным временем понимается то время, которое необходимо материалу для того, чтобы разрушиться, при приложении на него нагрузок больше, чем он может выдержать. На слайде 16 показано, что были произведены расчеты критического напряжения разрушения в зависимости от параметров материала и связки зерна. На слайде 16 представлены параметры для связки и зерна. Впоследствии они были посчитаны по уже известной формуле, которая, как правило, используется для расчетов асфальтенов и асфальтов. При этом было определено, что при повышении скорости резания материал начинает разрушаться по одному механизму, то есть идет разрушение интеркристаллитное.

Для исследования влияния скорости резания на деформацию КМ было использовано моделирование методом сглаженных частиц (SPH) (слайд 17). При обработке на скорости резания 30 м/с в начальный момент удара напряжение концентрируется по всей заготовке. На следующем кадре Вы можете видеть начало формирования магистральной трещины, по которой в последствии происходит отделение крупного конгломерата и формирование обработанной поверхности. Также была разработана программа на языке программирования Python, которая позволяет оценить обработанную поверхность и рассчитать ее шероховатость. Так, на 30 м/с расчетная шероховатость $Ra = 0,3$ мкм. Также на слайде представлен график изменения внутренней энергии, на котором Вы можете увидеть момент удара. После удара происходит рост внутренней энергии до того момента, пока не начинает формироваться магистральная трещина, после чего идет спад. Сама

трещина начинает расти в 2 этапа. Поэтому на втором этапе так же начинается повышение внутренней энергии вплоть до отделения крупного конгломерата. После идет спад внутренней энергии.

На слайде 18 представлены результаты моделирования обработки заготовки из КМ единичным алмазным зерном методом SPH при обработке на скорости резания 100 м/с. Так же, как и при обработке со скоростью резания 30 м/с, мы видим, что напряжение распределяется по всей заготовке. Магистральная трещина появляется, но она появляется позже, нежели чем при 30 м/с. И расчетная шероховатость равна $Ra = 0,21$ мкм. В этом случае трещина появляется за один этап.

При обработке со скоростью 300 м/с (слайд 19) мы видим, что в начальный момент удара напряжение концентрируется в малом объеме материала, непосредственно вблизи места удара. Магистральная трещина не формируется в процессе обработки. И расчетная шероховатость поверхности равна $Ra = 0,07$ мкм. Сам график более гладкий, без резких спадов.

Интересная картина наблюдается также, если представить все три графика изменения внутренней энергии на одном (слайд 20). Из данного графика видно, что при скорости резания 300 м/с за меньший отрезок времени реализуется большее количество внутренней энергии, что так же подтверждает подход с использованием инкубационного времени.

Четвертая задача связана с экспериментальным подтверждением результатов моделирования и получением зависимости шероховатости обработанной поверхности от режимов обработки.

Для подтверждения результатов численного моделирования, полученных методом перидинамики, был проведен эксперимент по обработке оптически-активного материала с использованием высокоскоростной камеры (слайд 22). Данный эксперимент позволил определить, что с повышением скорости резания уменьшается угол распределения напряжений и уменьшается глубина залегания напряжений. Полученные результаты подтверждают результаты моделирования методом перидинамики.

На слайде 23 представлено экспериментальное подтверждение результатов численного моделирования, полученного методом дискретных элементов. На данном слайде представлены частицы, полученные при обработке КМ на различных скоростях резания. После обработки были собраны частицы, сколотые в процессе обработки, и на микроскопе был определен их средний размер. Из данных снимков видно, что при обработке на скорости резания 30 м/с средний размер частиц составляет порядка 2,4 мкм, при обработке на скорости резания 100 м/с средний размер составляет 1,37 мкм, а при обработке на скорости резания 300 м/с средний размер частиц составляет 0,93 мкм. При этом средний размер частиц при обработке на скорости резания 300 м/с значительно меньше, чем размер изначальных частиц, которые были использованы при изготовлении данного материала, что говорит о том, что при увеличении скорости резания начинают разрушаться непосредственно сами зерна, нежели при обработке на скорости

резания 30 м/с, когда идет отделение либо отдельных зерен, либо их крупных конгломератов. Данные результаты подтверждают результаты моделирования методом дискретных элементов.

Для экспериментального подтверждения результатов моделирования обработки заготовки из КМ единичным алмазным зерном методом SPH был проведен полный факторный эксперимент по обработке КМ марки ВК94-1 (слайд 24). На основе данного эксперимента была получена эмпирическая зависимость шероховатости от скорости резания, глубины резания, подачи и размеров абразивного зерна. Также было определено, что шероховатость $R_a < 0,1$ мкм достигается при скорости резания от 210 до 300 м/с, глубине резания от 1 до 3 мкм и подаче от 0,15 до 0,65 м/мин.

На слайде 25 представлены снимки обработанных поверхностей на различных скоростях резания. Так, при скорости резания 30 м/с шероховатость равна $R_a = 0,321$ мкм, при скорости резания 100 м/с шероховатость равна $R_a = 0,18$ мкм, при скорости резания 300 м/с шероховатость равна $R_a = 0,06$ мкм. При этом при обработке со скоростью резания 30 м/с на обработанной поверхности имеются микролунки, при 100 м/с замечены микротрещины, при обработке на 300 м/с на обработанной поверхности отсутствуют дефекты. Данные результаты хорошо согласуются с результатами расчетной шероховатости методом сглаженных частиц.

Полученные данные использовались для определения режимов резания при обработке изделия типа задвижка для компании АО «ОДК» (слайд 26). Было изготовлено специальное приспособление для обработки данной детали и были рекомендованы режимы резания. Для достижения шероховатости $R_a = 0,03 \dots 0,06$ мкм режимы резания должны быть: скорость резания $V = 300$ м/с, глубина резания $t = 3$ мкм и подача $S = 0,65$ м/мин.

Эти же данные были использованы для определения режимов резания при обработке керамокомпозита из карбида кремния для компании АО «ОДК-АВИАДВИГАТЕЛЬ» (слайд 27). При обработке со скоростью резания 30 м/с на поверхности данного материала присутствуют микротрещины и микролунки. При обработке со скоростью резания 100 м/с все еще присутствуют трещины на обработанной поверхности, несмотря на то что сама поверхность становится лучше. При обработке со скоростью резания 300 м/с полученная шероховатость составляет порядка $R_a = 0,06$ мкм и на обработанной поверхности отсутствуют какие-либо виды дефектов и повреждений.

В работе был проведен сравнительный экономический анализ различных способов обработки КМ (слайд 28), который показал, что высокоскоростной способ шлифования экономически выгоден при обработке изделий из КМ. Однако высокоскоростной способ шлифования только одним типом головок с зернистостью 20/14 может быть применен на единичном или мелкосерийном производстве. При крупносерийном или среднесерийном типе производства рекомендовано использовать высокоскоростное шлифование в два этапа головками 40/28 и 20/14 соответственно.

Положения, выносимые на защиту (слайд 29).

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Члены совета уже все прочитали. Давайте на этом закончим. У Вас там все?

Соискатель Каменов Р.У.

У меня следующий слайд - выводы. Если позволите не зачитывать.

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Члены совета, Вы все прочитали? Прочитали. Все. Вопросы, пожалуйста, к соискателю.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В. В.

14 слайд можно? Чем объясняется процесс стружкообразования? От чего зависит? От силы резания, от температуры, от физико-механических свойств материала?

Соискатель Каменов Р.У.

Данный характер зависит от режимов обработки. В нашем случае он зависит от скорости резания. Данные результаты так же подтверждаются и другими авторами, которые я привел на примере профессора Ping Li из Китая. У него так же с повышением скорости резания уменьшаются микрорунки.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В. В.

Но как это объяснить? Физико-механические свойства как-то влияют?

Соискатель Каменов Р.У.

Да, влияют. От физико-механических свойств материала напрямую зависит, какую необходимо развивать скорость резания для перехода механизма разрушения от интеркристаллитного к транскристаллитному.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В. В.

Это общие слова, а какие свойства-то?

Соискатель Каменов Р.У.

В данной работе свойства не учитывали, в работе была поставлена цель определения скорости резания для обработки КМ. Моделировали везде материал марки ВК94-1, как один из наиболее ярких представителей алюмооксидной керамики.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В. В.

Следующий вопрос: о повышении качества в заголовке диссертации. Фигурирует один параметр качества – шероховатость. Где остальные параметры? Одним параметром качество обобщать как-то нехорошо.

Соискатель Каменов Р.У.

В данной работе под качеством понимается, как Вы уже говорили, шероховатость обработанной поверхности и отсутствие дефектов, таких как микрорунки и микротрещины.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В. В.

А почему шероховатость, а не точность формы?

Соискатель Каменов Р.У.

Потому что для тяжело нагруженных пар трения основным параметром качества является шероховатость, так как благодаря ей обеспечивается герметичность.

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А. Ф.

То есть Вы привязались к конкретному изделию?

Соискатель Каменов Р.У.

К конкретной группе изделий, именно к парам трения.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В. В.

Тогда еще вопрос. У Вас 2 глава посвящена установке. А вот дальше написано, что проводилось шлифование на производственном комплексе Салют АО «ОДК». Значит, это оборудование уже в производстве есть?

Соискатель Каменов Р.У.

Скорее не на самом производственном комплексе, а для данного предприятия. Они нам давали заготовки, мы обрабатывали их на своем оборудовании и передавали им, чтобы они внедряли данные изделия. У себя они их обрабатывали классическим способом: сначала шлифовали, потом долго доводили и полировали.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В. В.

Здесь четко написано «на производственном комплексе Салют АО «ОДК»», как понять?

Соискатель Каменов Р.У.

Здесь внедряется не сама установка, а именно технология обработки.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В. В.

Хорошо, ну и последний вопрос. Вот я публикации смотрел в автореферате, напрямую к теме диссертации относится первая позиция. А остальные как?

Соискатель Каменов Р.У.

Вторая статья, которая называется «Влияние возникающих в технологической системе вибраций на качество обработки при высокоскоростном шлифовании», в ней исследуется вибрационное влияние на качество обработки именно керамических изделий, просто в названии этого не отражено. Если посмотреть саму статью, там именно приводится обработка керамических изделий.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В. В.

Достаточно.

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Еще вопросы? Пожалуйста, Д-р техн. наук Булыжев Е.М.

Д-р техн. наук, доцент Булыжев Е. М.

Вот у Вас есть ссылка на то, что используется в Вашей экспериментальной установке система охлаждения. А что эта система охлаждения делала, функция какая?

Соискатель Каменов Р.У.

Для данного шпинделя система охлаждения представляет собой подачу сжатого воздуха вместе с системой подачи масляного тумана.

Д-р техн. наук, доцент Булыжев Е. М.

А жидкость не использовалась у Вас совсем?

Соискатель Каменов Р.У.

Жидкость не использовалась.

Д-р техн. наук, доцент Булыжев Е. М.

А как у Вас удалялись продукты шлифования, воздухом сдувались?

Соискатель Каменов Р.У.

Вы про смазочно-охлаждающие жидкости в процессе обработки? Нет, при высокоскоростном шлифовании смазочно-охлаждающая жидкость не использовалась. Это обосновывается тем, что на таких скоростях небольшие температуры резания, что подтверждается и нами и другими учеными. На данном графике можно заметить то, что при достижении скорости 90 м/с температура шлифования становится приблизительно 300-400°C. Это расчетная температура, экспериментальная на самом деле намного меньше. И при достижении скорости 90 м/с температура прекращает свой резкий рост, и дальше идет даже если и рост, то незначительный. Поэтому в основной работе смазочно-охлаждающая жидкость не использовалась, так как она не приводит ни к размягчению керамики, то есть не достигаются последебаевские температуры, ни к выгоранию непосредственно бакелитовой связки, только мешает.

Д-р техн. наук, доцент Булыжев Е. М.

А стружка куда девается?

Соискатель Каменов Р.У.

Стружка сметается воздухом.

Д-р техн. наук, доцент Булыжев Е. М.

А чем воздух вызывается? Кроме тепла и удаления, еще масса механизмов у жидкости. Вы вообще с жидкостью пробовали шлифовать, не нужно это Вам?

Соискатель Каменов Р.У.

Не пробовали.

Д-р техн. наук, доцент Булыжев Е. М.

Тогда это утверждение чисто теоретическое, а если бы попробовали, может было бы лучше.

Соискатель Каменов Р.У.

При таких скоростях резания, при таких оборотах подача смазочно-охлаждающей жидкости в зону обработки достаточно затрудняется. Это вызвано повышенными воздушными потоками, которые все закручивают, и туда ничего не попадает. Надо либо под большим давлением это делать, но при этом для самой керамики противопоказано использование смазочно-охлаждающей жидкости при обработке, потому что она является хрупким материалом и при перепадах температуры может возникнуть трещинообразование на обработанной поверхности.

Д-р техн. наук, доцент Булыжев Е. М.

То, что подавать – плохо, это еще не означает, что нельзя. Честно говоря, меня Ваш ответ не удовлетворил.

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Д-р техн. наук Александр Федорович Денисенко пожалуйста.

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А. Ф.

У меня 3 вопроса к Вам. Они достаточно короткие. Вы все время говорите о скорости 300 м/с. По всем данным, которые Вы привели, например, численного эксперимента, результат, который Вы хотели достичь получается уже при 200 м/с. Какая необходимость двигаться дальше? Вот график 5 в автореферате, дальше идет пологая горизонтальная линия, на следующем графике, на рисунке 7 – то же самое. Почему и откуда возникла цифра именно 300 м/с?

Соискатель Каменов Р.У.

Я согласен. Шероховатость $R_a < 0,1$ мкм начинает достигаться при 200 м/с. Но при этом данный характер является непостоянным, то есть в отдельных местах мы замеряем, она равняется 0,1 мкм, в других местах - она уже этому не равняется. И среднее значение может быть поэтому выше требуемых значений. При повышении скорости резания именно до 300 м/с мы получаем среднее значение шероховатости, которое на всех участках меньше, чем это требуется.

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А. Ф.

А вот эту стабильность Вы оценивали?

Соискатель Каменов Р.У.

Нет, на это в работе акцент не делался, но из-за явления нестабильной шероховатости используется именно 300 м/с.

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А. Ф.

Так, хорошо. Второй вопрос связан с полным факторным экспериментом, который Вы проводили. Каким образом Вы получили такой вид зависимости, зная, что при полном факторном эксперименте регрессионная модель представляет собой степенную зависимость. А как у Вас показатели степени какие-то дробные получились? На 24 слайде это есть. Полный факторный эксперимент – это полином n-ой степени с взаимовлиянием. Да. А вот как такая получилась, у Вас ни в диссертации не объяснено, ни здесь ничего нет. Как можно получить такую модель?

Соискатель Каменов Р.У.

Данная модель была получена при занесении результатов полного факторного эксперимента в специальную программу, я сейчас, к сожалению, не вспомню, как она называется, и на выходе она давала такого вида зависимость.

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А. Ф.

Полный факторный эксперимент рассчитан на регрессионную модель степенную.

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Александр Федорович, при переводе натуральных значений факторов в кодированные регрессионная зависимость переходит в степенную.

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А. Ф.

Тогда нужно было сказать. И последний вопрос связан с тем, что у Вас вторая глава, по крайней мере в диссертации, посвящена большому анализу динамических моделей и так далее. Здесь это как-то не прозвучало. С какой

целью Вы разрабатывали динамические модели, анализировали, а все вылилось только в один график по выбегу? В чем суть второй главы?

Соискатель Каменов Р.У.

Сама по себе глава по модернизации оборудования была сделана для того, чтобы получить это оборудование, которое может производить стабильную обработку на 300 м/с.

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А. Ф.

Но там у Вас нет анализа, несколько моделей приведено и все. Ни результатов, ни расчетов по ним, ничего этого нет.

Соискатель Каменов Р.У.

В автореферате и в презентации основным является именно обработка КМ, не было цели акцентировать внимание на разработке технологического комплекса.

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А. Ф.

Все ясно, спасибо.

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Д-р техн. наук Николай Васильевич Носов, пожалуйста.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Скажите, пожалуйста, как влияет увеличение скорости шлифования на производительность? И повысилась ли производительность с увеличением скорости шлифования?

Соискатель Каменов Р.У.

В классической обработке КМ есть несколько этапов. Сначала они шлифуются, потом они полируются и доводятся. Именно операции полирования и доводки очень негативно влияют на производительность, то есть они ее сильно уменьшают.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Ну а вообще как измерить производительность? Вот Вы измеряли производительность полирования, производительность шлифования? Как я понимаю, производительность шлифования не зависит от скорости.

Соискатель Каменов Р.У.

Нет, чем выше скорость, тем можно больше ставить подачу. К тому же в этом случае исключается операция полирования.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Вот мне все же непонятно, как увеличение скорости резания привело к увеличению производительности. А какие припуски Вы задавали?

Соискатель Каменов Р.У.

На сторону - 0,1 мм.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Значит, мы делим его на 2/3 и 1/3. 2/3 - это черновые режимы шлифования. 1/3 – окончательные режимы шлифования. Что в этом случае, что в другом случае – одинаково, нет?

Соискатель Каменов Р.У.

Нет, у нас исключается второй этап, требуемое качество обработанной поверхности достигается сразу после шлифования.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

А выхаживания нет у Вас?

Соискатель Каменов Р.У.

Нет

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

А почему? Можно же при скорости 30...60 м/с сделать выхаживание и получить то же самое, или нет?

Соискатель Каменов Р.У.

Нет, так не получится, потому что не достигаются такие скорости резания, при которых бы реализовался транскристаллитный вид разрушения.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Тогда дальше идем. Итак, спеченные КМ. Я нигде не нашел, какая марка материалов, какие физико-механические свойства этих материалов? С чем сравнивали? С твердым сплавом? С металлокерамикой? Вот там у Вас металлы с чем Вы сравнивали? Что это за особый КМ везде? Вот, в конце только указывается про карбид кремния-карбид кремния – это что? Расскажите.

Соискатель Каменов Р.У.

Керамокомпозит из карбида кремния – это композиционный материал, который состоит из карбида кремния и который упрочнен волокнами из карбида кремния.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

А связка какая?

Соискатель Каменов Р.У.

Карбид кремния.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

А как частицы и связка спекаются?

Соискатель Каменов Р.У.

Изначально делаются нитевидные кристаллы, которые впоследствии так же заполняются карбидом кремния и спекаются.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

А пористость есть?

Соискатель Каменов Р.У.

Есть

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

А почему о ней ничего не сказано? И какая пористость? Потому что на всех Ваших картинках сказано, что это пористость, но какая она? 0,5-1%? Сколько?

Соискатель Каменов Р.У.

Пористость примерно 5 %

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Так, какую Вы закладывали в расчетную модель микротвердость этого материала?

Соискатель Каменов Р.У.

Данный материал не моделировался, а только обрабатывался.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

А вы-то знаете микротвердость этого материала? Какие свойства материала, с которым Вы работали?

Соискатель Каменов Р.У.

Микротвердость данного материала я не исследовал.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Итак, у Вас модель единичного резания алмазным зерном. Где Вы взяли эту модель геометрическую? Потому что я тоже алмазными зернами занимался, и я долго ими занимался. Такие углы резания, которые Вы представили на модели: -30° ... -40° , они практически никогда не встречаются на зернах алмазных. Мы же знаем, процесс шлифования идет при передних углах -60° ... -70° . Мы так к этому привыкли. Или у Вас особые зерна? Или это кристаллы, а не алмазные АСМ 20/14.

Соискатель Каменов Р.У.

Данная модель была взята на основе анализа зарубежной литературы, в которой так же проводится моделирование резания единичным алмазным зерном.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Дальше. У Вас этот процесс похож на эластичное шлифование или нет? Почему Вы взяли бакелитовую связку, а не керамическую или металлическую?

Соискатель Каменов Р.У.

Ряд зарубежных авторов в своих работах предлагают всю шлифовальную обработку проводить именно на бакелитовой связке. У нас также предварительно проведенные эксперименты показали, что обработка на металлической и керамической связках приводит к трещинообразованию, чего не происходит на бакелитовой.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Ну значит, это эластичное шлифование у Вас или нет? Или жесткое?

Соискатель Каменов Р.У.

Жесткое.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Эластичное, ну как же жесткое? Жесткое – были бы трещины. А Вы сделали эластичное шлифование, может быть и правильно с точки зрения технологии. А теперь дальше, переходя к эластичному шлифованию. Как Вы задавали глубину резания? Каким образом у Вас глубина резания 1 мкм, 3 мкм при припуске в 100 мкм?

Соискатель Каменов Р.У.

На оборудовании были установлены специальные оптические линейки, которые позволили производить перемещение до 1 мкм.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

А вот тогда скажите, при какой глубине резания возникает стружка?

Соискатель Каменов Р.У.

Там нет стружки.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Тогда при какой глубине резания происходит отделение элементов материала? При 1 микроне?

Соискатель Каменов Р.У.

Если достигаются нужные режимы резания, то при обработке КМ идет не стружкообразование, а процесс скола.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Процесс скола – это тоже стружкообразование, от этого никуда не денешься. И так, вот Вы определяли шероховатость. Это Вы какую определяли шероховатость? Продольную? Поперечную? Шероховатость профиля? Шероховатость поверхности? Вот, на слайде 17, Ra – это чего? Какого направления? Потому что у Вас условия формирования поверхности совершенно другие, нетрадиционные. Где у Вас продольная или поперечная шероховатость? Вы же торцом ШК шлифовали?

Соискатель Каменов Р.У.

Торцом. Но при этом при экспериментальных исследованиях шероховатость, что продольная, что поперечная при замере не отличаются, имеют одинаковые значения.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

У Вас вот все есть, но нет операционного эскиза, как расположен круг, как расположена деталь относительно круга? У Вас же двустороннее шлифование? То есть одной кромкой, режущей, и второй кромкой на обратном ходу. Нет?

Соискатель Каменов Р.У.

Да, все правильно.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Теперь к сравнительному экономическому анализу я хотел перейти. Интересно, вот эти экономические расчеты Вы сделали на какую программу выпуска деталей?

Соискатель Каменов Р.У.

Это было сделано для единичного и мелкосерийного производства.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Ну сколько? 1000? 2000? 500? Сколько деталей? Какая программа выпуска деталей?

Соискатель Каменов Р.У.

Затрудняюсь ответить.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Теперь вот полная стоимость шлифования, но мы не говорим: «полная стоимость шлифования», мы говорим: «себестоимость обработки». Или это какой-то другой термин? Полная стоимость указана в рублях. В рублях отнесенная к чему?

Соискатель Каменов Р.У.

На деталь.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Ну здесь не написано, что на деталь. А теперь дальше, а почему Вы при сравнительном экономическом анализе не учитываете стоимость инструмента, как главного источника Ваших побед?

Соискатель Каменов Р.У.

Стоимость шлифовального инструмента указана на слайде 28.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Но она у Вас не отличается, она одинаковая что ли? У Вас другой ШК? Или нет? Разные ШК, разные стоимости. Вы четко прослеживаете, чем больше скорость, тем меньше стоимость, правильно?

Соискатель Каменов Р.У.

Уменьшение стоимости идет именно из-за исключения доводочных и полировальных операций, а не из-за стоимости ШК.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Ну и последний можно вопрос. Когда я только получил автореферат, я прочитал, тут написано так: «повышение качества изделий». Что Вы понимаете под изделием в своей работе?

Соискатель Каменов Р.У.

Под изделием в своей работе я понимаю тяжело нагруженные пары трения, изготовленные из КМ. Но данные результаты могут быть получены и на других КМ.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Изделие – это же какая-то сборочная единица. Тут не изделие, тут детали. Вот отсюда недомолвки по работе такие. Вот здесь не так сказали, вот тут не так сказали. Ну все, у меня вопросов нет.

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Так, еще вопросы, пожалуйста. Д-р техн. наук Александр Николаевич Унянин, пожалуйста.

Д-р техн. наук, доцент Унянин А.Н.

У меня такой вопрос. Когда Вы моделировали процесс, например, 19 слайд, и когда проводили экспериментальные исследования, подачу минутную Вы сохраняли? Одна и та же была или меняли? Я имею в виду на 30 м/с и 300 м/с подача минутная одна и та же была или разная?

Соискатель Каменов Р.У.

В данном случае, при моделировании именно сама подача не учитывается. При данном моделировании жестко закреплена заготовка, а само зерно движется навстречу заготовке с различной скоростью.

Д-р техн. наук, доцент Унянин А.Н.

Зерно же какой-то слой материала снимает. Нужна подача. Можно рассчитать среднюю подачу на зерно. Без подачи нельзя никак моделировать.

Соискатель Каменов Р.У.

У меня здесь подача не была моделирована, была моделирована только скорость резания

Д-р техн. наук, доцент Унянин А.Н.

Произошел один акт срезания, потом следующий акт, с какой подачей? Нужно дать подачу.

Соискатель Каменов Р.У.

Я просто не совсем понимаю вопрос.

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Вот смотрите на слайде 17, вот же перемещается, так с какой подачей он перемещается?

Д-р техн. наук, доцент Унянин А.Н.

От подачи будет зависеть глубина внедрения зерна в заготовку. Она была одна и та же при моделировании?

Соискатель Каменов Р.У.

Глубина резания была одна и та же, перемещалось абразивное зерно с одной скоростью: 30, 100, 300 м/с.

Д-р техн. наук, доцент Унянин А.Н.

А при экспериментальных исследованиях минутная подача сохранялась?

Соискатель Каменов Р.У.

Минутная подача сохранялась.

Д-р техн. наук, доцент Унянин А.Н.

Значит, при экспериментальных исследованиях, если минутная подача сохранялась, подача на одно зерно была в 10 раз меньше при 300 м/с, так получается? Может эффект не столько от скорости резания, сколько от подачи на одно зерно? Второй вопрос у меня. Вот моделировали шероховатость поверхности, это отдельная тема, тут докторские диссертации посвящены этому. Какие технологические параметры были учтены? Можете кратко рассказать? Как получилась расчетная шероховатость на 17 слайде? Чтобы смоделировать шероховатость нужно знать функцию распределения вершин зерен, радиус закругления, очень много параметров нужно знать.

Соискатель Каменов Р.У.

В данном случае деталь разделялась на множество отдельных частей. После того как производилось моделирование, оставалась определенная поверхность. Был определен профиль данной поверхности вместе с его координатами. И на основании этих координат рассчитывается шероховатость. На основании полученного профиля поверхности.

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Д-р техн. наук Лобанов Д.В.

Д-р техн. наук, доцент Лобанов Д.В.

У меня еще пара вопросов в продолжение. Дело в том, что Вы рассматривали один композиционный материал и не рассматривали группу, к которой принадлежит данный композиционный материал. Отсюда сама схема моделирования, так как Вы ее не изобразили, непонятна, и отсюда и ограничения. Вы взяли сетку, определенный размер сетки. Вы не рассказали нам, исходя из чего Вы брали размер этой сетки, потому что зерна тоже имеют определенный размеры в композите, как и в матрице, и в наполнителе,

там должны быть определенные соотношения. Как выбиралась сетка неясно. Затем, крепления, которые ограничения вводят в систему, тоже не озвучены, потому что они фактически рождают вибрации, либо они есть, либо их нет. Бакелитовая связка говорит о том, что зерно можно рассматривать не как жестко закрепленное или абсолютно твердое тело, а как закрепленное с возможностью перемещения. Какая модель хрупкого разрушения Вами была использована, для того чтобы оценить эту систему целиком? Нет у меня определений пока, как скреплялось, где и какие ограничения наложены, размер сетки, зерна и какое разрушение, абсолютно хрупкое, какое Вы взяли при моделировании? Именно в Ansys Вы какую модель использовали? Метод конечных элементов?

Соискатель Каменов Р.У.

Нет, метод конечных элементов не использовали. Использовали метод перидинамики, метод дискретных элементов, метод сглаженных частиц.

Д-р техн. наук, доцент Лобанов Д.В.

Ну там же Вы сетку накладывали? Размер зерна Вы выбирали исходя из чего?

Соискатель Каменов Р.У.

Допустим при моделировании методом дискретных элементов мы разделяли заготовку по следующему соотношению: 10 % зерен были взяты размером 1мкм, 30 % зерен составляли от 1,4 мкм до 1,8 мкм и 60 % от 3мкм до 3,2 мкм. Данные соотношения и размеры были взяты из производства данных изделий. То есть какой порошок, какой дисперсности используется при изготовлении данных изделий. Именно поэтому в моделировании максимально приближенные размеры зерна использовались

Д-р техн. наук, доцент Лобанов Д.В.

Я правильно понимаю, что Ваша модель работает только при материале ВК94-1, на любой другой материал она не работает?

Соискатель Каменов Р.У.

Для другого материала необходимо закладывать другие размеры частиц, возможно, другую связку, сцепление зерен между собой. Но при этом все равно будет прослеживаться тенденция, что с повышением скорости механизм разрушения меняется. Даже если будут другие размеры зерен, даже если другой состав связки.

Д-р техн. наук, доцент Лобанов Д.В.

То есть Ваша задача была не материал апробировать?

Соискатель Каменов Р.У.

А именно посмотреть, как влияет скорость резания на механизм разрушения.

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Так, еще вопросы? Профессор Ковальногов В.Н.

Д-р техн. наук, доцент Ковальногов В.Н.

Два вопроса провокационных. Первый вопрос. Вот у Вас в названии и в цели работы говорится о повышении качества изделий. К сожалению, в выводах не говорится о том, удалось ли повысить качество, если удалось, то

насколько. В связи с этим вопрос: удалось ли повысить качество изделий и завершена ли Ваша работа?

Соискатель Каменов Р.У.

Под качеством в данной работе подразумевалось достижение шероховатости $Ra < 0,1$ мкм и отсутствие дефектов на обработанной поверхности. В результатах работы были достигнуты данные показатели, поэтому работа завершена.

Д-р техн. наук, доцент Ковальногов В.Н.

А раньше такие показатели были недостижимы?

Соискатель Каменов Р.У.

При шлифовании не достигаются, а достигаются на операциях последующего полирования и доводки.

Д-р техн. наук, доцент Ковальногов В.Н.

Не совсем убедительно, но второй вопрос. Одна из задач Вашей работы, вторая – разработать технологическую систему, позволяющую реализовывать высокоскоростное шлифование. К сожалению, в докладе у Вас прозвучало только про ШК, как изготавливали, балансировали, готовили. Ну по крайней мере как меня учили, технологическая система – станок, приспособление, инструмент, заготовка.

Соискатель Каменов Р.У.

Еще был заменен шпиндель на шлифовальном станке, была проработана система его охлаждения, также для конкретной детали были разработаны приспособления, поэтому все вместе это говорит о модернизации технологической системы.

Д-р техн. наук, доцент Ковальногов В.Н.

Это четко не прозвучало. В связи с Вашим комментарием: Вы производили исследования на каком-то уникальном оборудовании?

Соискатель Каменов Р.У.

Да, это оборудование находится в нашей научной школе.

Д-р техн. наук, доцент Ковальногов В.Н.

Все понятно

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Д-р техн. наук Александр Сергеевич Янюшкин.

Д-р техн. наук, профессор Янюшкин А.С.

Мы много хотим от нашего соискателя. Я хочу ему помочь, но меня раздрает одна мысль – это механика процесса резания. Вот смотрите, что получается, Вы композиционный материал берете, у Вас размеры зерен там примерно 2,5-5 мкм. А теперь, чтобы получить шероховатость меньше 0,1 мкм, нужно или разрезать зерно композита, или разрушить его, или зачистить, или вообще затереть как угодно эту поверхность. Почему про выхаживание Вам вопрос-то и задавали. Вот попробуйте мне рассказать, что происходит с этим зерном, у которого размер 5 мкм, как Вы из него делаете шероховатость $Ra < 0,1$ мкм. Попробуйте, этого мне будет достаточно.

Соискатель Каменов Р.У.

Повышение качества обработанной поверхности, в частности шероховатости, достигается за счет следующего. При обработке на скорости резания 30 м/с происходит разрушение не самого зерна, а разрушение вдоль связки, на данной схеме это показано, могут отделяться крупные конгломераты, могут отделяться отдельные зерна, но при это само зерно не разрушается. Это приводит к тому, что на поверхности изделия, как, допустим, это можно увидеть на данном виде моделирования, формируются микролунки и микротрещины, которые отрицательно сказываются на качестве обработанной поверхности. При повышении скорости резания до 300 м/с происходит само разрушение зерен, которое не приводит к вырывам конгломератов зерен, что и объясняет улучшение шероховатости обработанной поверхности.

Д-р техн. наук, профессор Янюшкин А.С.

Ну хорошо, пусть будет так. А что там со смазочно-охлаждающими жидкостями? На производстве тоже не применяются СОЖ?

Соискатель Каменов Р.У.

Не применяются.

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Д-р техн. наук Николай Иванович Веткасов.

Ученый секретарь д-р техн. наук, доцент Веткасов Н.И.

Скажите, пожалуйста, из каких соображений Вы выбирали количество шлифовальных головок на торцовой поверхности ШК? И как это повлияло на результаты исследований?

Соискатель Каменов Р.У.

Да, я согласен, что при классических скоростях резания, что исследовалось у Носенко В.А., количество головок играет большую роль. Однако при повышении скорости резания до значений 300 м/с эта роль уменьшается.

Ученый секретарь д-р техн. наук, доцент Веткасов Н.И.

Скажите, пожалуйста, известны ли Вам результаты исследований со скоростью до 500 м/с?

Соискатель Каменов Р.У.

Я встречал подобные обзорные публикации. Однако, когда я пытался найти сами испытания, описания их, какое там оборудование, что это за установки, я в итоге приходил к тому, что там никакого описания нет. Я согласен, можно говорить об обработке и на 1000 м/с и на 1500 м/с, но там идут уже баллистические испытания, смотрят как разрушается материал. Не было, по крайней мере я не встречал, таких работ, где была бы установка, были бы проведены испытания на скоростях резания до 500 м/с.

Ученый секретарь д-р техн. наук, доцент Веткасов Н.И.

Скажите, пожалуйста, насколько достоверны результаты Ваших исследований? С какой погрешностью определяли в этих условиях шероховатость?

Соискатель Каменов Р.У.

В работе используется только погрешность измеряющего прибора?

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Есть ли еще вопросы? Если нет вопросов, то тогда, пожалуйста, садитесь. Так, технический перерыв будем делать? Все отказываются от технического перерыва. Продолжаем работу. Слово предоставляется научному руководителю д-ру техн. наук Реченко Д.С.

Д-р техн. наук, доцент Реченко Д.С.

Уважаемые председатели и члены диссертационного совета, спасибо за большое количество вопросов. По нашему соискателю, по Каменову Ренату Уахитовичу, могу сказать, что он 1994 года рождения. Он молод. Он с отличием закончил институт, с отличием закончил магистратуру Омского государственного технического университета по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» в 2018г. В 2019 году он поступил в аспирантуру, стал работать у нас на кафедре «Металлорежущие станки и инструменты». Достаточно быстро влился в научный коллектив, принимал участие в большом количестве работ при выполнении хоздоговорных тем. Он является одним из ключевых технических исполнителей этих работ. При этом в 2021 году по данному направлению работы он получил стипендию Президента РФ молодым ученым и аспирантам, которые осуществляют перспективные научные исследования. По его личным характеристикам можно отметить, что он достаточно целеустремленный, на мой взгляд, достаточно перспективный молодой ученый. Я уверен, что после защиты кандидатской диссертации, независимо от ее результата, он не перестанет заниматься научными исследованиями. Я глубоко убежден, что, скорее всего, это будущий доктор наук, потому как он, повторюсь, очень уперт, он способен ставить и, главное, решать очень сложные научно-технические задачи. При этом он всегда занимается теми исследованиями, которые ему действительно интересны. На данный момент он работает в научно-исследовательском отделе, то есть занимается сопровождением научной деятельности института. У него хорошо получается работать со студентами, у него неплохой опыт по ведению практических занятий, по чтению лекций. Я уверен, что он достаточно перспективный и что мы не ошибемся, если поддержим его. Спасибо.

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Спасибо. Слово д-ру техн. наук Веткасову Н.И. для оглашения заключения организации, где выполнялась работа, и отзыва ведущей организации.

Ученый секретарь д-р техн. наук, доцент Веткасов Н.И.

Заключение ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет». В заключении отмечается, что диссертация выполнена на кафедре «Металлорежущие станки и инструменты» Омского государственного технического университета. В период подготовки диссертации соискатель Каменов Р.У. работал в ОмГТУ в должности

инженера и младшего научного сотрудника кафедры «Металлорежущие станки и инструменты». В 2016 году окончил ОмГТУ с присуждением квалификации бакалавр по специальности «Металлорежущие станки и инструменты». В 2018 году окончил ОмГТУ с присуждением квалификации магистр по направлению подготовки «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств». В настоящее время проходит подготовку в аспирантуре. Срок окончания аспирантуры в 2023 году.

Научный руководитель – Реченко Денис Сергеевич, доктор технических наук, доцент, проректор по научной работе государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Альметьевский государственный нефтяной институт».

По результатам рассмотрения диссертационной работы было принято заключение, в котором отмечается, что содержание диссертации отвечает требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки. Отмечается личное участие соискателя в получении результатов, изложенных в диссертации, и, в частности, отмечается, что все основные научные и практические результаты, составляющие основу диссертационного исследования и выносимые на защиту, получены соискателем самостоятельно. В работах, опубликованных в соавторстве, личный вклад автора составляет не менее 85 %.

Отмечается степень достоверности результатов проведенных исследований. Результаты работы апробированы в печатных трудах и обсуждены на научных и научно-технических конференциях.

Отмечается научная новизна, в частности:

1. Развита представления о механизме разрушения КМ и перехода его с транскристаллитного на интеркристаллитный при повышении скорости шлифования;
2. Результаты численного моделирования роста трещин, механизма разрушения КМ и шероховатости обработанной поверхности, позволившие выявить связь скорости шлифования с механизмом разрушения КМ и качеством обработанной поверхности;
3. Результаты экспериментальных исследований качества обработанной поверхности КМ при высокоскоростном шлифования;
4. Предложена эмпирическая зависимость шероховатости обработанной поверхности КМ от режимов резания и зернистости шлифовального инструмента.

Практическая значимость работы заключается в следующем:

1. Разработана конструкция ШК, на которую получен патент на полезную модель.
2. Модернизирован технологический комплекс для высокоскоростного шлифования изделий из КМ со скоростями шлифования до 300 м/с.

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

Ценность научных работ соискателя ученой степени определяется полученным патентом, стипендией Президента Российской Федерации, докладами на научно-техническом семинаре кафедр «Металлорежущие станки и инструменты» и «Технология машиностроения» ОмГТУ, на расширенном заседании кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «НГТУ», на Международных и Всероссийских научно-технических конференциях.

Отмечается соответствие диссертации требованиям, установленным пунктом 14 Положения о присуждении ученых степеней. В частности, отмечается, что результаты исследований являются достоверными. Приведены ссылки на библиографические источники, включая собственные публикации автора, оформлены в соответствии с требованиями стандарта, а библиографический список характеризует серьезную глубину изучения автором рассматриваемого в работе научного направления.

Диссертация соискателя соответствует научной специальности 2.5.5 и может быть представлена к защите по этой специальности.

Полнота изложения материалов диссертации находит отражение 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.

Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы.

Материалы диссертации представлены формально-логическим способом. Рассуждения доказывают выдвинутые гипотезы и идеи. Диссертация «Повышение качества изделий из КМ путем применения высокоскоростного шлифования» по содержанию, объему исследований, их проработке, научной и практической ценности в полной мере соответствует критериям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный технический университет». На заседании присутствовало 13 человек. Выступили с положительной оценкой диссертации: д-р техн. наук, профессор Попов А.Ю. и канд. техн. наук, доцент Васильев Е.В.

Результаты голосования: «за» – 13 человек, «против» – 0 человек, «воздержалось» – 0 человек, протокол № 3 от «26» сентября 2022 г.

Заключение подготовлено и выдано в соответствии с Положением о подготовке и выдаче соискателю ученой степени заключения Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный технический университет», где

выполнялась диссертация, утвержденным приказом ректора университета от «14» июля 2020 г. № П ОмГТУ 81.21-2020.

Заключение подписали председатель расширенного заседания кафедры, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты» ФГАОУ ВО «ОмГТУ» Васильев Е.В. и секретарь, канд. техн. наук, доцент кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» ФГАОУ ВО «ОмГТУ» Попов П.Е. Заключение утверждено проректором по научной и инновационной деятельности ФГАОУ ВО «ОмГТУ» Фефеловым Василием Федоровичем 10.10.2022 г.

Ведущая организация – ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

Отзыв ведущей организации на диссертационную работу утвержден первым проректором-проректором по научной работе, д-ром техн. наук, доцентом А.В. Коржовым. В отзыве отмечается актуальность темы диссертации. Диссертационная работа посвящена повышению качества изделий из КМ, предназначенных для работы в тяжело нагруженных парах трения и в качестве уплотнений различного назначения. Делается заключение о том, что диссертационная работа Каменова Р.У. актуальна и может быть представлена к защите по специальности 2.5.5. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений. Диссертационная работа изложена на 144 страницах, содержит 62 иллюстраций и 12 таблиц. Во введении обоснована актуальность темы диссертации. В первой главе приведен анализ литературы и практического опыта, показано, что перспективным направлением, способным решить данные проблемы, может стать высокоскоростное шлифование со скоростями свыше 100 м/с. Во второй главе представлено технологическое оборудование, позволяющее производить обработку высокоскоростным способом шлифования. В третьей главе на основе анализа литературы выдвинута рабочая гипотеза об изменении механизма разрушения КМ с интеркристаллитного на транскристаллитный, что должно привести к повышению качества обработанной поверхности. Для подтверждения данной гипотезы проведено численное моделирование. Результаты численного моделирования 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 моделирования, эмпирическая зависимость, отражающая влияние режимов обработки. Установлено, что требуемый диапазон шероховатости обработанной поверхности $Ra < 0,1$ 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.

Отмечаются 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 перехода его с транскристаллитного на интеркристаллитный при повышении скорости шлифования.

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

1. Получены результаты численного моделирования 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. Предложена эмпирическая зависимость шероховатости обработанной поверхности КМ от режимов резания и зернистости ШК.

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

Также практическую ценность имеют конструкция ШК, разработанная соискателем; модернизация технологического комплекса для высокоскоростного шлифования. На основе проведенных экспериментов сформулированы технологические рекомендации по эффективной обработке изделий из КМ и керамокомпозитов. Проведены опытно-промышленные испытания на предприятии АО «ОДК-АВИАДВИГАТЕЛЬ».

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 КМ путем применения высокоскоростного шлифования.

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

Достоверность полученных результатов сомнений не вызывает.

Основные результаты диссертационной работы отражены в 11 публикациях.

Структура диссертации является логически стройной, отражает включенный в нее материал, главы равноценны; претензий к языку и стилю изложения нет.

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 ШК. 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 КМ справедливы сделанные автором выводы и получены результаты. Если да, то это следовало указать в работе.

Заключение:

Таким образом, считаем, что диссертация Каменова Рената Уахитовича, выполненная на тему «Повышение качества изделий из КМ 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 КМ.

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

Представленные теоретические и практические результаты позволяют заключить, что рассматриваемая работа соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении 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 утвержден на заседании кафедры «Технологии автоматизированного машиностроения» ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», протокол № 3 от «01» ноября 2022 г.

Отзыв подписали заведующий кафедрой «Технологии автоматизированного машиностроения», д-р техн. наук, профессор Гузев Виктор Иванович и профессор кафедры «Технологии автоматизированного машиностроения», д-р техн. наук, доцент Ардашев Дмитрий Валерьевич. Отзыв утвержден первым проректором-проректором по научной работе, д-ром техн. наук, доцентом Коржовым Антоном Вениаминовичем.

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Спасибо. К Николаю Ивановичу есть вопросы? Нет. Тогда продолжаем. На автореферат диссертации поступило 11 отзывов, все они положительные. Есть предложение заслушать обзор. Возражений нет? Нет. Слово для обзора отзывов дается Веткасову Н.И.

Ученый секретарь д-р техн. наук, доцент Веткасов Н.И.

Уважаемые коллеги! Обзор предлагается не проводить. У каждого на столе имеется раздаточный материал, в котором приведен перечень замечаний на автореферат диссертации, а также ответы на эти замечания.

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Члены диссертационного совета согласны? Согласны. Слово для ответов по замечаниям в отзыве ведущей организации и отзывам на автореферат предоставляется соискателю.

Соискатель Каменов Р.У.

По первому замечанию ведущей организации:

В работе применялась схема плоского торцевого шлифования, однако разработанные рекомендации справедливы и для других схем шлифования.

По второму замечанию ведущей организации:

Исследованием износа рабочих зерен ШК при скоростном шлифовании занимались ученые Д.С. Реченко и Ю.В. Титов. В данных работах установлено, что при повышении скорости резания зерна ШК из-за изменения механизма изнашивания переходят в режим «самозатачивания», вследствие чего значительно уменьшается интенсивность изнашивания зерен.

По третьему замечанию ведущей организации:

С целью повышения качества изделий КМ ряд зарубежных авторов рекомендуют отказаться от применения шлифовальных инструментов на металлических и керамических связках из-за их высокой жесткости, а всю шлифовальную обработку проводить шлифовальными инструментами на бакелитовой связке. Предварительно проведенные эксперименты подтвердили данные рекомендации. При обработке шлифовальным инструментом на металлических и керамических связках на поверхности изделий из КМ образовывалась сетка микротрещин, чего не наблюдалось при применении бакелитовой связки. Предварительные эксперименты также показали, что обработка шлифовальными головками с маркой абразивного порошка АСН показывает наилучшие результаты по шероховатости обработанной поверхности. Зернистость 40/28 и 20/14 выбраны из соображений достижения требуемых параметров качества обработанной поверхности, при обработке зернистостью выше данные параметры не достигаются.

По четвертому замечанию ведущей организации:

В работе приведены исследования по обработке наиболее распространённого представителя алюмооксидной керамики и современного КМ на основе карбида кремния. Обработка других видов керамики показала

аналогичную тенденцию повышения качества обработанной поверхности с повышением скорости резания.

По ответам на замечания в отзывах на автореферат диссертации.

В целях экономии времени замечания и вопросы, содержащиеся в отзывах на автореферат, были разделены на 4 группы.

К первой группе отнесены замечания и вопросы, обусловленные ограниченностью объема автореферата, исчерпывающая информация по которым содержится в диссертации.

К этой группе замечаний относятся:

замечания профессора Артамонова Е.В., третье замечание профессора Зайдеса С.А., второе замечание доцента Шабалина Д.Н., замечание доцента Донцовой М.В., второе замечание доцента Янпольского В.В. и профессора Иванцовского В.В., замечание профессора Овсянникова В.Е., второе замечание профессора Душко О.В.

Ко второй группе отнесены замечания, носящие характер пожеланий, которые будут учтены в дальнейшей работе.

К ним относятся: первое замечание профессора Зайдеса С.А., первое замечание доцента Шабалина Д.Н., второе замечание научных сотрудников Бабаева А.С. и Промахова В.В.

К третьей группе относятся критические замечания, с которыми я согласен.

К ним относятся: первое замечание научных сотрудников Бабаева А.С. и Промахова В.В., первое замечание профессора Душко О.В.

На замечания четвертой группы нам хотелось бы ответить.

По второму замечанию профессора Зайдеса С.А. и первому замечанию доцента Янпольского В.В. и профессора Иванцовского В.В.:

Эксперимент по обработке органического стекла проводился с целью определения зависимости угла направления трещины и глубины залегания напряжений от скорости резания, что и было показано в работе

По третьему замечанию доцента Шабалина Д.Н.:

На рисунке 4 автореферата представлена принципиальная схема изменения механизма разрушения КМ при повышении скорости резания. В данной модели учтены размеры зерен и хаотичное их расположение, как в гетерогенном материале.

По первому замечанию профессора Козлова А.М. и второму замечанию профессора Зверовщикова А.Е.:

Научная новизна п. 3 обусловлена тем, что ранее исследования по обработке КМ на скоростях резания порядка 300 м/с не проводились. Полученные в работе результаты являются новыми.

По второму замечанию профессора Козлова А.М.:

Из исследований других авторов известно, что алмазные зерна имеют различную форму, близкую преимущественно к эллипсоиду, обеспечивающему передний угол в пределах $\gamma = -30^\circ \dots -60^\circ$, поэтому в работе принято зерно в форме конуса с радиусом округления при вершине.

По третьему замечанию профессора Козлова А.М.:

В работе приведены исследования по обработке наиболее распространённого представителя алюмооксидной керамики и современного КМ на основе карбида кремния. Обработка других видов керамики показала аналогичную тенденцию повышения качества обработанной поверхности с повышением скорости резания.

По четвертому замечанию профессора Козлова А.М.:

Приведенные выводы обобщают результаты, полученные в диссертационной работе по экспериментальному подтверждению результатов численного моделирования и предложении режимов резания, позволяющих получать требуемые параметры качества обработанной поверхности изделия

По первому замечанию профессора Зверовщикова А.Е.:

Под качеством поверхности в работе подразумевается шероховатость $R_a < 0,1$ мкм и отсутствие дефектов (микролунок и микротрещин) на обработанной поверхности. Именно это и заложено в тему и цель диссертационной работы.

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Спасибо. Слово для отзыва представляется официальному оппоненту д-ру техн. наук, профессору Носенко Владимиру Андреевичу.

Официальный оппонент - д-р техн. наук, профессор Носенко В.А.

Добрый день. Первое – это по актуальности работы. Уже неоднократно говорили, но все-таки я хотел бы подчеркнуть. Во-первых, то, что соискатель замахнулся на такую скорость как 300 м/с, это ну, наверное, самая грандиознейшая задача. Я всю жизнь занимаюсь шлифованием, доходили до 80 м/с. 60 м/с – это уже считается приемлемая скорость. Но когда это приближается к скорости звука, там осталось чуть-чуть (331 м/с – это скорость звука), то есть сам факт вот этот имеет уже колоссальнейшее значение.

Ну и КМ, которые соискатель обрабатывает, я потом немного скажу далее о них, здесь действительно проблемная обработка. На обычных скоростях они трещат, выламываются кристаллики. Соискатель приводит пример, у него отдельные кристаллики около 3 мкм, и, если один такой кристаллик вывалится, ну пусть даже он пополам сидит, там уже дыра около 1,5 мкм гарантировано получается. То есть он переходит к другому механизму образования поверхности. В этом смысле соискатель касается двух важных моментов – это высокоскоростное шлифование и переход от одного механизма образования поверхности к другому.

Структура и основное содержание классическое. Страницы я не буду зачитывать. Первая глава – введение – это актуальность, про которую я уже сказал. Вторая – это литературный анализ, достаточно обширный. Во второй главе описано технологическое оборудование. Я тоже, когда читал вот эту часть, которая составляет здесь львиную долю, то есть все исследования проведены на этом оборудовании, заметил, что он ее действительно смял. То есть не показал, как можно работать на скорости 300 м/с. Действительно, это ведь уникальная вещь. Третья глава посвящена моделированию. В четвертой

главе приводятся результаты экспериментальных исследований, потом я в выводах о ней расскажу, где он подтверждает ход от интеркристаллитного на транскристаллитный механизм. Кстати, во всей диссертации и автореферате заметил, что везде написан переход с транскристаллитного на интеркристаллитный. Я у него спросил, перепутал ли он. Соискатель ответил, что да, что-то щелкнуло. И вот это щелканье прошло по всей диссертации и автореферату. Но я тоже на это смотрю, как на чисто случайную вещь, что одно с другим спутать можно только в состоянии экстаза написания диссертации. И заключение, где приводятся выводы. В целом, материалы диссертации написаны грамотно. Мне много приходится оппонировать, и грамматических ошибок куча, а здесь с этим все-таки достаточно хорошо. С печатными работами тоже все нормально. Автореферат соответствует тому, что написано в диссертации, грамотно, полно и объективно отражает содержание диссертации.

Научная новизна. Развита представления о характере разрушений КМ. Вот здесь бы я хотел немного пояснить, там есть один интересный материал – это карбид кремния в карбиде кремния, у него еще дополнительно нити из карбида кремния. Я как-то года 4-5 назад совместно с наших абразивным заводом занимался изготовлением силицированного карбида кремния. Это для защиты танков делаются пластины, в которых, когда ударяет с высокой скоростью пуля, остается лишь темное пятнышко, даже вдавливания пули нет, настолько это твердый материал. Технология его получения, я не знаю как для этого материала, в принципе очень сложная. Это специальное оборудование. В начале на бакелитовой связке получают инструмент из карбида кремния, затем специальная установка, где внизу находится кремний, температура поднимается в вакууме до порядка 1800-2000°C. Кремний парит, при такой температуре в связке остается углерод. Затем происходит взаимодействие углерода и кремния и появляется новый карбид кремния, уже как связка. Это, конечно, не первоначальный карбид кремния, структура у них разная, но это очень твердое, очень хрупкое соединение. По крайней мере в броневых плитах содержится 1 % пор, все остальное заливается вот этим силицированным карбидом кремния. У него, как он говорит, чуть-чуть побольше, но, наверное, это какие-то похожие материалы, твердость у него вообще сумасшедшая.

В результате численного моделирования он показывает переход от одного механизма разрушения к другому и поднимается до скорости 300 м/с, глубина залегания снижается в 2,5 раза, угол трещины 37°, шероховатость снижается в 3 раза. То есть только при шлифовании он получает поверхность, которую трудно достигнуть даже на операции полировки, потому что полировать такой материал, обладающий колоссальной твердостью, я смутно представляю, сколько времени занимает, чтобы заполировать углубление в 1,5 мкм и привести его к десятым долям. Ну, наверное, время очень большое. На основании метода полного факторного эксперимента у него установлены эмпирические зависимости. Он показал влияние скорости шлифования, скорости продольной подачи стола и

глубины шлифования, ну и немного показал значение зернистости. Определены рациональные условия шлифования, обеспечивающие значение $Ra < 0,1$ мкм и минимальные дефекты (микролунки, микротрещины). Вот здесь о том, что подтверждено опытно-промышленным испытанием, вопрос был задан. На заводе такого оборудования нет. Он брал образцы, на этом оборудовании, о котором он рассказывал очень скромно во второй части, дорабатывал, получал детали, передавали их назад, там проверяли и говорили, что все хорошо.

Теоретическая значимость работы. Здесь он опять говорит о том, что действительно обосновал механизм разрушения композиционного материала, когда в зависимости от скорости он переходит от интеркристаллитного к транскристаллитному механизму разрушения. Модернизирован технологический комплекс, и на основании проведенных экспериментов при шлифовании материала марки ВК94-1 и керамокомпозита SiC-SiC разработаны практические рекомендации.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Ну и хотелось бы вкратце остановиться на замечаниях. Возникли следующие замечания:

1. Соискатель исследует влияние режимов шлифования и характеристик абразивного инструмента на качество обработанной поверхности. По форме рабочей поверхности инструмент, используемый в работе, относится к сегментным ШК. Сегментами являются цилиндрические алмазные головки, закрепленные на наружной или торцовой поверхности. В автореферате есть рисунок не только на наружной поверхности, но и на торцовой поверхности. Важнейшими характеристиками этого сегмента абразивного инструмента, кроме основных, кстати здесь задавались вопросы, как раз именно количество головок, что было пропущено. Возможно, действительно, когда переходим к скорости от 200 до 300 м/с, то неважно, стоит там 6 головок или 4. По крайней мере он меня убедил, что важность их снижается, но сказать, что они совершенно не влияют, нельзя, так же, как и концентрация алмаза в алмазных головках, но она тоже соискателем не учитывается. То есть влияние этих составляющих: режима и характеристик абразивного инструмента, не рассмотрено. Но вообще-то объем работы такой большой, что если бы он обратил и на это внимание, то написание диссертации затянулось бы еще на несколько лет.

2. При описании методики дана ссылка в приложение А, где коэффициент шлифования определен как частное отношение объема изношенной части абразивного слоя на объем снятого обрабатываемого материала. Формула 2.1. Он назвал ее коэффициентом шлифования.

3. Ну и замечание, что принят был угол конуса 60° , а на каком основании, четкого объяснения нет. Также радиус закругления при этом принят за 1 мкм. С точки зрения такой скорости, они, наверное, должны играть роль. И другое дело, что если мы идем от классического понимания резания в этом случае, то есть рассматриваем взаимодействие зерен как удар, что он здесь и сделал, то может эти факторы с увеличением скорости имеют

другие численные значения. Но мы пока привыкли только к классическому шлифованию.

4. В таблицах он часто употребляет такое понятие как размер, параметр А. Иногда говорит, что это размер зерна, иногда, что это зернистость абразивного материала. Нет однозначного понятия, что это такое.

5. Последнее. То, что он перепутал понятия интеркристаллитный и транскристаллитный. Я привожу здесь конкретные страницы.

В целом диссертационная работа является научно квалификационной. Содержит решение актуальной задачи повышения качества изделий из КМ путем применения высокоскоростного шлифования. Работа выполнена на хорошем научно-техническом уровне, имеет научную новизну, практическую значимость. Степень апробации работы считаю достаточной: 11 публикаций в журналах, входящих в перечень ВАК, Scopus и Web of Science. Есть патент на полезную модель. Так что содержание диссертации и ее тема соответствуют заявленной специальности, хотя в ряде случаев проходит по границам, но, думаю, что вполне обоснованно отнесена к специальности 2.5.5. – Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки.

По актуальности, научно-техническому уровню, сделанных выводах, значений для теории и практики предъявляемых в кандидатской диссертации привожу пункты из положения о присуждении ученых степеней, считаю, что автор заслуживает присуждение ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки. Спасибо за внимание

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Спасибо, Владимир Андреевич. Ренат Уахитович, ответьте на замечания оппонента.

Соискатель Каменов Р.У.

С первым замечанием Владимира Андреевича согласен. Также согласен со вторым, третьим и пятым замечаниями.

На четвертое замечание Владимира Андреевича хотел бы ответить. В данной работе параметр а означает «размер абразивного зерна».

Также хотел бы выразить свою благодарность Владимиру Андреевичу за потраченное время и за уделенное внимание к моей работе.

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Спасибо, Ренат Уахитович. Владимир Андреевич, Вы удовлетворены ответами?

Официальный оппонент - д-р техн. наук, профессор Носенко В.А.

Да, полностью.

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Слово для отзыва предоставляется официальному оппоненту – канд. техн. наук, доценту Рощупкину Станиславу Ивановичу.

Официальный оппонент – канд. техн. наук, доцент Рощупкин С.И.

Добрый день, уважаемые председатель и члены диссертационного совета. Если можно я бы первую часть отзыва озвучил кратко.

Актуальность работы сомнений не вызывает. Рынок КМ многомиллиардный и очень быстро растет по статистике, и единственным сдерживающим фактором остаются технологии их обработки. Как только они подтянутся, это позволит производить существенно больше деталей, так как особенные физико-механические свойства у них имеются.

То, что касается личного вклада автора. Он занимается этой тематикой уже 8 лет. Видно, что максимально погружен в тему. Очень много времени потратил и уделил, большой объем работы сделал, здесь даже никаких вопросов нет.

Структура. Работа построена достаточно логично и грамотно, на мой взгляд. Все, что было необходимо во всех главах, автор изложил. Замечания я зачитаю чуть позже.

Работа обладает необходимой научной новизной, теоретической и практической значимостью. Если можно, я зачитаю замечания, у меня их 12 штук.

Замечания:

1. Некорректно сформулированы задачи исследования. Так, например, п 2. начинается со слов «разработать технологическую систему». Что это означает? Технологическая система уже существует, речь идет не о разработке технологической системы, а о предложении на ее основе новых технологических решений. Поэтому, предлагаю данную задачу изложить следующим образом: «На основе анализа технологической операции высокоскоростного шлифования, разработать технологические решения, позволяющие обеспечить качество поверхности изделий из керамических изделий».

2. В диссертации отсутствуют такие понятия как «износ» и «стойкость» ШК. Непонятно, какая стойкость разработанного круга при предлагаемых режимах обработки.

3. На стр. 46 диссертации указано, что «конструкции ШК проектировались, рассчитывались и испытывались». Желательно привести фото изготовленного круга, который испытывался.

4. При моделировании алмазного шлифования единичным зерном методом DEM использовался материал *MAT_JOHNSON_COOK. Чем обусловлен выбор данной модели материала? Указанная модель применяется для исследования поведения пластичных материалов, как правило, металлов. Для моделирования хрупких материалов, к которым относится керамика, в LS_DYNA есть модель *MAT_JOHNSON_HOLMQUIST.

5. В диссертации указано, что температурные факторы не учитываются по причине того, что при высокоскоростном шлифовании температура находится в диапазоне 200-800°C и не приводит к размягчению керамики. Однако, указанные температуры могут оказать существенное влияние на бакелитовую связку. Считаю, что данный вопрос необходимо было исследовать.

6. В тексте диссертации часто встречаются фразы «предварительные эксперименты подтвердили». Однако в работе отсутствуют ссылки на результаты данных экспериментов.

7. Отсутствуют исследования влияния на вибрационные характеристики процесса режимов резания и характеристик ШК.

8. Неясно, что автор понимает под «рациональными режимами обработки» и что является критерием рациональности. Существуют критерии оптимизации и оптимальные режимы в рамках выбранного критерия оптимизации и технологических ограничений.

9. В 3 главе автор рассматривает механизм разрушения и моделирование процесса резания единичным абразивным зерном. В действительности зерна инструмента распределяются в круге неравномерно по его глубине. При работе часть зерен снимает материал, часть попадает «в след» впереди идущего зерна, часть срезает только гребни шероховатости. При этом ряд зерен изнашивается, часть выкрашивается, количество зерен не остается постоянным и изменяется с течением времени. Автор не учитывает эти явления при моделировании, что может привести к достаточно большим погрешностям в расчетах.

10. Эмпирические модели, полученные в работе, не учитывают фактор времени, поэтому не могут быть применены для расчетов в течение всего периода стойкости ШК.

11. В качестве пожелания хотелось бы увидеть фотографии реального оборудования, на котором проводились исследования, а также развернутые профилограммы исследуемых образцов.

12. Не сформулированы четкие рекомендации по практическому применению результатов диссертационной работы на промышленных предприятиях.

Отмечу, что данные замечания не снижают научной и практической значимости диссертационной работы. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на высоком научном уровне. В работе изложены результаты, которые следует квалифицировать как решение научной задачи повышения качества изделий из КМ путем применения высокоскоростного шлифования, внедрение которых имеет существенное значение для развития страны. Полученные автором теоретические и экспериментальные результаты хорошо согласованы, что говорит об их достоверности. Сформулированные выводы и заключения убедительны и обоснованы. Работа написана грамотно, с соблюдением всех необходимых требований и ГОСТов.

По актуальности, научной новизне, практическому значению и объему полученных результатов диссертационная работа Каменова Рената Уахитовича соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Каменов Ренат Уахитович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

На этом все. Спасибо.

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Спасибо Вам, Станислав Иванович. Соискатель, ответы на замечания, пожалуйста.

Соискатель Каменов Р.У.

По первому замечанию Станислава Ивановича:

В работе задача сформулирована таким образом, потому что в технологической системе разрабатываются ключевые узлы, которые применяются на базе шлифовально-заточного станка ВЗ-326Ф4.

По второму замечанию:

Исследованием износа алмазных зерен ШК при высокоскоростном шлифовании занимались ученые Д.С. Реченко и Ю.В. Титов. В данных работах определено, что при повышении скорости резания зерна ШК переходят в режим «самозатачивания», вследствие чего значительно уменьшается интенсивность изнашивания зерен.

По третьему замечанию:

Фотографии ШК приведены в презентации.

По четвертому замечанию:

Модель материала *MAT_JOHNSON_HOLMQUIST недопустима для элементов оболочки с 4 узлами, которые используются при моделировании методом DEM. Данная модель материала была использована при моделировании методом сглаженных частиц.

По пятому замечанию:

В работе на стр.28 говорится о том, что при повышении скорости резания до 300 м/с температура значительно снижается и не превышает 300° С, что установлено в работах К.В. Аверкова, Д.С. Реченко, Ping Li и др.

По шестому замечанию:

Речь идет о предварительно проведенных экспериментах, выполненных автором работы.

По седьмому замечанию:

В работе, в разделе 2.3, приведены результаты разгона-выбега высокоскоростного шпинделя, по которым определены наиболее благоприятные зоны частот вращения высокоскоростного шпинделя. В силу того, что масса ШК составляет порядка 8 кг, а шлифовальных головок порядка 40 грамм, процесс шлифования является стабильным на определенных режимах резания.

По восьмому замечанию:

Под «рациональными» понимаются такие режимы обработки, которые позволяют достигнуть требуемых параметров качества обработанной поверхности, при минимальной себестоимости операции и максимально возможной производительности.

По девятому замечанию:

Задачей моделирования процесса шлифования является определение влияния скорости резания на процесс зарождения и роста трещин и разрушения хрупкого материала, что и было выполнено в работе на

единичном зерне. Задачи моделирования процесса шлифования с учетом множества зерен в работе не ставилось. При этом считаю, что общая картина при моделировании с множеством зерен сильно не изменится, что подтверждается результатами натуральных экспериментов в части исследования обработанной поверхности КМ и отколотых в процессе высокоскоростного шлифования частиц КМ.

По десятому замечанию:

С учетом того, что при повышении скорости резания зерна ШК переходят в режим «самозатачивания», процесс шлифования остается стабильным на протяжении всего периода стойкости ШК. Шероховатость обработанной поверхности на протяжении всего периода стойкости ШК практически не изменяется, либо изменяется в пределах погрешности измерений.

С одиннадцатым замечанием согласен.

По двенадцатому замечанию:

В работе даны практические рекомендации по обработке композиционного материала с керамической матрицей, армированной нитевидными кристаллами и вакуумплотной керамики ВК94-1. Требуемые параметры качества (шероховатость обработанной поверхности $Ra < 0,1$ мкм, отсутствие микролунок и микротрещин) достигаются при скорости резания $V = 300$ м/с, глубине резания $t = 0,003$ мм и подаче $S = 0,65$ м/мин с использованием алмазных шлифовальных головок типа АW АСН 20/14 на бакелитовой связке В1-1.

Также хотел выразить свою признательность за потраченное время на мою работу.

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Станислав Иванович, Вы удовлетворены ответами соискателя?

Официальный оппонент – канд. техн. наук, доцент Рошупкин С.И.

Да, полностью удовлетворен.

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Хорошо. Тогда приступаем к процедуре обсуждения. Кто хочет выступить? Пожалуйста, д-р техн. наук Носов Н.В.

Д-р техн. наук, профессор Носов Н.В.

Во-первых, я бы хотел поздравить соискателя и всех шлифовщиков, что такая работа появилась, безусловно очень важная и актуальная. Мне приходилось в 80-х годах заниматься нитридом кремния для подшипников, в результате загвоздка получилась только потому, что не было технологии обработки. Сейчас мы видим, что в этом направлении продвинулась наука, появились такие работы, поэтому это очень замечательно. Но теперь конкретно по самой работе. Я задавал достаточно много вопросов и у оппонентов, и в ответах все совпадало, поэтому можно сказать, что безусловно работа без вопросов – это не работа, и мы, задавая вопросы такие, ориентируем его на дальнейшее изучение, исследование. Как сказал научный руководитель, он не остановится на достигнутом. Конечно, эта область, если он создал такие инструменты и такое оборудование, которыми возможно

будет обрабатывать с такими высокими скоростями, эта область не исследована, и безусловно в этом есть новизна этой работы.

Я как бывший конструктор посмотрел конструкцию ШК. Если бы я ее предложил своему учителю, Якову Моисеевичу Панку, он бы сказал: «Дорогой инженер, вот ты тут предлагаешь такое-то количество связей соединения, а я думаю, что они все ненадежные. Каждое увеличение количество связей увеличивает ненадежность работы этого изделия.» Я насчитал в конструкции этого ШК 5 размерных связей, а нужна одна. Это я на будущее. Вы должны совершенствовать эту конструкцию так, чтобы сомнений не было. И как сказал уважаемый оппонент, не мешало бы показать сам процесс, ролик, как Вы это делаете. Вот у меня сомнения, 300 м/с, как вращается такой металлический круг? Это такие огромные инерционные массы. Чтобы убрать биение, вибрации — это целая разработка конструкций шпиндельных узлов.

Непонятно мне также следующее. У Вас плоскошлифовальный станок? Я так и не понял. Не мешало бы просто показать сам процесс. Процесс интересный и он мне понятен, если его рассматривать с точки зрения эластичности шлифования. Я специально внимательно слушал научного руководителя, и я очень рад, что Вы выпускник «Конструкторско-технологического обеспечения»! Но я не совсем удовлетворён Вашими знаниями в экономической оценке Вашего технологического процесса. Я не случайно сказал, что нужно “плясать” от программы выпуска, программу выпуска Вы не знаете, а как тогда экономику считать? Я тут прикинул, сколько стоит Ваш круг. Если Вы делаете 2000 деталей в год, то Ваш круг будет стоить 16 рублей, но извините, один металл который Вы используете для изготовления этого круга не меньше 500-600 рублей стоит. Дальше у Вас есть в расчетах “Стоимость замен ШК”, что это такое я так и не понял, для чего его нужно заменять.

Вот такая сквозит некоторая небрежность в экономических расчетах. Я так понимаю, что соискатель все сделал, а вот на это кусочек сил не хватило довести его до нормального технологического раздела, где есть операции “до” и операции “после”, и сравнение этих двух операций. Это же классика сравнения экономической эффективности. А здесь нет экономической эффективности. Здесь я посмотрел себестоимость обработки классически и по Вашей технологии, они одинаковые. Но так не может быть. Или у Вас есть какой-то экономический эффект?

Но в целом я, конечно, буду голосовать – «за». Я, конечно, рад, что такие работы появляются. Здесь много чего нового и интересного сделал соискатель.

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Спасибо, Николай Васильевич. Кто еще хочет выступить? Д-р техн. наук Лобанов Д.В., пожалуйста.

Д-р техн. наук, доцент Лобанов Д.В.

Сама работа, конечно, интересная. Интересна с точки зрения того, что основное ее достоинство – это доказательство того, что с помощью

технологии высокоскоростного шлифования возможно обеспечить качество. Для этого предложены и теоретические решения, это цифровые двойники, которые позволяют оценить с определённой стороны эту технологию, и сам процесс получения качества, и конструкторские решения, с точки зрения инструментального обеспечения этой технологии, и технические решения – это рекомендации, которые имеются в работе для реализации этой технологии. Не хватает, конечно, тоже некоторых вещей, работа содержит, как и любая другая, некоторые недостатки. С одной стороны, если говорить о теоретических разработках, уважаемый оппонент отметил, что действительно должна быть модель хрупкого разрушения, а не пластического, то есть модель Холмквиста более уместна. Это бы привело к большей сходимости теоретических и практических результатов. С практической точки зрения, конечно, необходимо дорабатывать составляющую не только инструмента, но и оборудования, что позволило бы эту технологию реализовать в производственных условиях. Пока понятное дело, что это первые этапы и технология реализуется только на экспериментальной установке.

В целом работа интересная, работа позволяет развивать новое направление. Мне работа понравилась, и я буду голосовать – «за». Спасибо.

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Спасибо. Дальше, пожалуйста. Д-р техн. наук, доцент Епифанов В. В.

Д-р техн. наук, доцент Епифанов В. В.

Работа интересная. Заслуживает внимания то, что в начале работы соискатель по-научному подошел к ней, обобщил результаты всех предыдущих исследований по этой тематике и нашел свою гипотезу, которую в дальнейшем подтвердил. Хорошо то, что выполнено моделирование этих процессов и то, что результаты моделирования доказаны экспериментальными исследованиями.

Как и в любой работе объять все невозможно, но тем не менее, замечания остались. Во-первых, область применения работы, она как-то не определена. Смотришь, и кажется, что все сведено к одной детали. Надо показать, что это группа деталей, например, плоскостные, или из определённых материалов керамических. Сейчас на основе керамики будут, правильно сказали, с каждым годом все больше и больше изделий из КМ. Технологические рекомендации к одной детали выходит даны, и, как используются для изделий композиционных материалов, не совсем понятно.

Вопрос, о котором говорил уважаемый оппонент, что с завода на завод куда-то передавали, в автореферате четко написано «Для подтверждения результатов моделирования шероховатости исследования выполнены на производственном комплексе АО «ОДК»». Как это может быть? Куда, что передавали? Надо тогда писать как-то по-человечески. Непонятно, на чем шлифовали? На этом заводе? Совсем не ясно.

В целом соискатель показал себя как сложившийся специалист, и я буду голосовать – «за».

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Спасибо большое. Д-р техн. наук, профессор Янюшкин Александр Сергеевич.

Д-р техн. наук, профессор Янюшкин А.С.

Да, у меня остались вопросы, как и у Николая Васильевича. Но я считаю, что мы его начали «копать» слишком глубоко, он в принципе не мог нам ответить на эти вопросы, и это мы, как члены совета, должны принять и согласиться. Я думаю, что он воспримет все эти вопросы и замечания, которые остались у членов диссертационного совета. Вам придется по жизни отвечать на эти вопросы. Пока Вы не ответите, Вы еще не доктор, хотя Ваш руководитель уже Вас в доктора приписывает. Поэтому надо на это отреагировать.

В целом получилась нормальная, классическая диссертация. Без моделирования, если бы его не было, наверное, и говорить не о чем было, потому что в практической плоскости вопросов действительно осталось много. Надо эти вещи конкретизировать начиная с материалов. Материал совершенно не обоснован. Что Вы взяли? Зачем взяли? Что за материал? Можно было хотя бы свойства этого материала показать, тогда может быть и вопросов не было бы. Потом тоже очень важный вопрос то, что касается области применения. Вы когда начинали работу должны были подумать, где и какой выход Вашей работы, где я ее буду использовать. Это Ваша перспектива, в конце концов, это Ваши деньги, которые потом «вылезут» в хоздоговора какие-нибудь и продолжение исследований. Может у Вас свои ученики появятся, это тоже надо иметь в виду, что в работе есть перспективная веточка.

Мне импонировал, во всяком случае, сам соискатель. Он много на себя берет, но, по сути, он отвечал практически все правильно, защищал себя, что тоже очень хорошо, молодец. Поэтому я желаю ему дальнейших успехов, и я поддержку и работу, и соискателя. Спасибо.

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Спасибо. Есть еще желающие выступить? Нет. Спасибо. Заключительное слово предоставляется соискателю.

Соискатель Каменов Р.У.

В первую очередь я хотел выразить свою огромную благодарность своему научному руководителю, который и сделал из меня того, кто я сейчас есть. Именно благодаря ему я сейчас нахожусь здесь. Также я хотел бы выразить свою благодарность оппонентам, которые работу рассмотрели, дали очень хорошие замечания по данной работе. Хотел бы также выразить благодарность диссертационному совету, который также оценил мою работу. Я каждое замечание для себя подчеркнул и буду над ними работать. Большое спасибо!

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Спасибо. Так, переходим к голосованию. Есть предложения по составу счетной комиссии. Есть предложение включить в состав счетной комиссии:

д-ров техн. наук Клячкина В.Н., Ковальногова В.Н. и Денисенко А.Ф. Председателем комиссии назначить Денисенко А.Ф.

Если возражений нет, прошу проголосовать. Кто за? Единогласно. Прошу счетную комиссию приступить к работе. Кто за то, чтобы объявить технический перерыв на голосование. Все за. Объявляется технический перерыв на голосование.

Счетная комиссия организует тайное голосование.

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Продолжаем нашу работу. Слово предоставляется председателю счетной комиссии для оглашения результатов тайного голосования.

Д-р техн. наук, профессор Денисенко А. Ф.

Уважаемые члены совета! Комиссия в составе Клячкина В.Н., Ковальногова В.Н. и Денисенко А.Ф. избрана для подсчета голосов при тайном голосовании по диссертации Каменова Р.У. на соискание ученой степени кандидата технических наук. Состав диссертационного совета утвержден в количестве 15 человек. Дополнительно в состав диссертационного совета введено 0 человек, присутствовало на заседании 12 членов совета, в том числе докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации 8 человек, роздано бюллетеней 12, осталось не розданных 3, оказалось в урне 12, результаты голосования по вопросу о присуждении ученой степени кандидата технических наук Каменову Ренату Уахитовичу. «За» - 12, «Против» - 0, недействительных - 0. Подписи председателя и членов счетной комиссии.

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Предлагаю утвердить результаты голосования. Кто за? Кто против? Воздержался? Утверждено.

Таким образом, на основании результатов тайного голосования (за – 12, против – нет, недействительных – нет) объединенный диссертационный совет 99.2.001.02 созданный при Ульяновском государственном техническом университете и Тольяттинском государственном университете признает, что диссертация Каменова Рената Уахитовича представляет собой научно-квалификационную работу, в которой содержится решение актуальной задачи повышения качества изделий из КМ путем применения высокоскоростного шлифования, имеющей существенное значение для повышения качества продукции, выпускаемой машиностроительными предприятиями. Диссертация соответствует требованиям установленным в разделе II Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и присуждает Каменову Ренату Уахитовичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Ренат Уахитович, мы Вас поздравляем с успешной защитой и желаем дальнейших успехов. Надеемся сбудется то, что сказал Ваш научный руководитель. Всего хорошего!

Соискатель Каменов Р.У.

Спасибо большое!

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

У членов совета имеется проект заключения по диссертации Р.У. Каменова. Предложения есть? Есть предложение принять его за основу. Нет возражений? Нет. Принимается.

Обсуждение заключения

Председатель – д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Есть предложение принять заключение в целом с учетом редакционных замечаний. Нет возражений? Принимается единогласно.

Заключение диссертационного совета объявляется соискателю

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ОБЪЕДИНЕННОГО ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
99.2.001.02, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «УЛЬЯНОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» И
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ТОЛЬЯТТИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета от 26.12.2022 № 75

О присуждении Каменову Ренату Уахитовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Повышение качества изделий из керамических материалов путем применения высокоскоростного шлифования», по специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки, принята к защите 25.10.2022 г., протокол №74, объединенным диссертационным советом 99.2.001.02, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения (ФГБОУ) высшего образования (ВО) «Ульяновский государственный технический университет», ФГБОУВО «Тольяттинский государственный университет», Министерства науки и высшего образования РФ, по адресу 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32, действующим на основе

приказов №123/нк от 17.02.2015 г., № 561 от 03.06.2021 и № 859/нк от 12.07.2022 г.

Соискатель Каменов Ренат Уахитович, 1994 года рождения, в 2016 г. окончил ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет» (ОмГТУ) с присуждением квалификации бакалавр по специальности «Металлорежущие станки и инструменты». В 2018 году окончил ОмГТУ с присуждением квалификации магистр по направлению подготовки «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств». В октябре 2019 года зачислен в очную аспирантуру ОмГТУ по специальности 05.02.08 «Технология машиностроения», где и обучается по настоящее время. Работает ведущим инженером научно-исследовательского отдела ГБОУ ВО «Альметьевский государственный нефтяной институт».

Диссертация выполнена в ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет» на кафедре «Металлорежущие станки и инструменты», Министерства науки и высшего образования РФ.

Научный руководитель – д-р техн. наук, доцент **Реченко Денис Сергеевич**, проректор по научной работе Государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования (ГБОУ ВО) «Альметьевский государственный нефтяной институт».

Официальные оппоненты:

Носенко Владимир Андреевич – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология и оборудование машиностроительных производств» Волжского политехнического института (филиала) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»;

Рощупкин Станислав Иванович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Технология машиностроения» ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», дали свои положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»**, г. Челябинск, в своем положительном заключении, рассмотренном на заседании кафедры технологии автоматизированного машиностроения ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», подписанном д-ром техн. наук, профессором В.И. Гузеевым, д-ром техн. наук, доцентом Д.В. Ардашевым и утвержденном первым проректором - проректором по научной работе д-ром техн. наук, доцентом А.В. Коржовым, указала, что диссертация Каменова Рената Уахитовича является законченным научным исследованием. В ней 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 решении задачи повышения качества изделий из керамических материалов путем применения высокоскоростного шлифования. Автор работы является сложившимся специалистом, способным ставить и решать задачи в области технологии

механической обработки материалов. Представленные теоретические и практические результаты позволяют заключить, что рассматриваемая работа отвечает требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», 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.

Соискатель имеет 11 опубликованных работ по теме диссертации, в том числе 5 статей в изданиях из перечня ВАК, 4 статьи в изданиях из базы цитирования Scopus и Web of Science и 1 патент РФ на полезную модель. Работы посвящены теоретическим и экспериментальным исследованиям высокоскоростного шлифования изделий из керамических материалов, оценке влияния режимов резания на параметры качества обработанной поверхности, вопросам балансировки технологической системы и др. Авторский вклад составляет 2,5 п.л. машинописного текста, в общем объеме научных изданий – 4,94 п.л.

Научные работы соискателя отражают результаты проведенного исследования и раскрывают основные положения, выносимые на защиту. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах. Научные труды представлены статьями в рецензируемых изданиях из перечня ВАК, из базы цитирования Scopus и Web of Science, материалах научных конференций. Наиболее значимые научные работы соискателя, из числа опубликованных в рецензируемых научных изданиях:

1. Каменов, Р. У. Моделирование роста трещины при сверхскоростном шлифовании керамических материалов методом перидинамики / Р. У. Каменов // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2022. – № 7. – С. 29–34.

2. Каменов, Р. У. Влияние возникающих в технологической системе вибраций на качество обработки при высокоскоростном шлифовании / Р. У. Каменов, Д. С. Реченко // Вестник МГТУ Станкин. – 2020. – № 4 (55). – С. 118–121.

3. Реченко, Д. С. Влияние остроты режущего инструмента на обработку стали 07X16H4B / Д. С. Реченко, Р. У. Каменов, Д. Г. Балова, А. К. Аубакирова, И. К. Черных // Омский научный вестник. – 2019. – №6 (168). – С. 10–14.

4. Титов, Ю.В. Влияние технологических режимов получения поверхностей, близких к ювенильным, и ультрадисперсных порошков высокоскоростной обработкой в криогенной среде / Ю.В. Титов, Р.У. Каменов, Д.Ю. Белан, А.И. Зинкин // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2018. – Т. 20, № 3. – С. 58–71. – doi: 10.17212/1994-6309-2018-20.3-58-71.

5. Титов, Ю.В. Классификация абразивного инструмента для получения ультрадисперсного порошка высокоскоростным методом / Ю. В.

Титов, Д. С. Реченко, К. К. Госина, Р. У. Каменов, А. Ю. Попов // Омский научный вестник. Серия: Приборы, машины и технологии. – 2015. – №1 (137). – С. 89–92.

6. Попов, А. Ю. Патент № RU 193951 U1 Российская Федерация, МПК В24D 5/06 (2006.01) В24В 5/16 (2006.01) В24В 5/36 (2006.01). Шлифовальный круг для высокоскоростной обработки : № 2019126903 : заявл. 27.08.2019 :опубл. 21.11.2019 / А. Ю. Попов, Д. С. Реченко, Ю. В. Титов, Р. У. Каменов, Д. Г. Балова. – 8 с. : ил.

7. Rechenko D. S., Kamenov R. U. Study of the machining quality of CMC ceramic composite during high-speed grinding // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2021. – Т. 1901. – №. 1. – С. 012095.

8. Rechenko D. S., Kamenov R. U. Development and Power Calculation of a Grinding Wheel Design for Ultra-High-Speed Grinding // EPJ Web of Conferences. – EDP Sciences, 2021. – Т. 248. – С. 04008.

9. Y.V. Titov Studying the structural-phase substance of solid and powder brass samples by X-ray diffractometry / Titov Y.V., Rechenko D.S., Kamenov R.U., Vyborov S.S., BelanYu.D. // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2019. – Т. 1260. – №. 1. – С. 062024.

10. Y.V. Titov The Influence of Technological Modes of Forming the Surface, Close to Juvenile and Ultrafine Powders with a High-Speed Method in a Cryogenic Environment / Y.V. Titov, R.U. Kamenov, D.Y. Belan, A.I. Zinkin // Metal Working & Material Science. – 2018. – Vol. 20. – № 3. – pp. 58 – 71.

11. Каменов, Р. У. Влияние скорости шлифования на качество обработки высокотвердой керамики / Р. У. Каменов // Молодежь, наука, творчество – 2020. Материалы XVIII Всерос. н.-п. конференции студентов и аспирантов. – Омск, 2020. – С. 520-524.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Отзыв ведущей организации – **ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»** подписанный д-ром техн. наук, профессором В.И. Гузеевым, д-ром техн. наук, доцентом Д.В. Ардашевым и утвержденный первым проректором - проректором по научной работе д-ром техн. наук, доцентом А.В. Коржовым. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 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 указать в

работе.

2. Отзыв официального оппонента – **Носенко Владимира Андреевича**, д-ра техн. наук, профессора, заведующего кафедрой «Технология и оборудование машиностроительных производств» Волжского политехнического института (филиала) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет». Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Соискатель исследует влияние режимов шлифования и характеристики абразивного инструмента на качество обработанной поверхности. По форме рабочей поверхности инструмента, используемый в работе, относится к сегментным шлифовальным кругам. Сегментами являются цилиндрические алмазные головки, закрепленные на наружной или торцовой поверхности базовой части инструмента. Важнейшими характеристиками сегментного круга, кроме основных параметров характеристики сегмента, являются концентрация алмазных зерен, количество сегментов и расстояние между ними. Тем не менее, влияние последних трех параметров в работе не рассмотрено. 2. При описании методики способов механической обработки изделий из КМ дана ссылка на Приложение А, где коэффициент шлифования определен, как частное от деления объема изношенной части абразивного слоя на объем снятого обрабатываемого материала (формула П1), что не является коэффициентом шлифования. 3. При моделировании процесса микрорезания вершиной единичного зерна форма вершины представлена в виде конуса (рис. 3.3), что широко используется в теории шлифования, угол конуса принят равным 60° . Без внимания остается радиус округления вершины конуса, оказывающий существенное влияние на процесс контактного взаимодействия. Тем не менее, на рис. 3.3 вершина конуса округление имеет. 4. В таблице 4.2 и формуле 4.14 параметр a имеет два названия: зернистость абразивного материала в мкм (табл. 4.2); размер абразивного зерна (формула 4.14). Что означает параметр a ? 5. На с. 6-8, 56, 61, 63, 90, 94, в заключении (с. 113), выводах диссертации транскристаллитный механизм разрушения назван интеркристаллитным и наоборот. Такие же несоответствия допущены в автореферате, в том числе, в выводах.

3. Отзыв официального оппонента – **Рощупкина Станислава Ивановича**, канд. техн. наук, доцента, доцента кафедры «Технология машиностроения» ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет». Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Некорректно сформулированы задачи исследования. Так, например, п 2. начинается со слов «разработать технологическую систему». Что это означает? Технологическая система уже существует, речь идет не о разработке технологической системы, а о предложении на ее основе новых технологических решений. Поэтому, предлагаю данную задачу изложить следующим образом: «На основе анализа технологической операции высокоскоростного шлифования, разработать технологические решения, позволяющие обеспечить качество поверхности изделий из керамических изделий». 2. В диссертации отсутствуют такие понятия как «износ» и

«стойкость» шлифовального круга. Непонятно, какая стойкость разработанного круга при предлагаемых режимах обработки. 3. На стр. 46 диссертации указано, что «конструкции шлифовальных кругов проектировались, рассчитывались и испытывались». Желательно привести фото изготовленного круга, который испытывался. 4. При моделировании алмазного шлифования единичным зерном методом DEM использовался материал *MAT_JOHNSON_COOK. Чем обусловлен выбор данной модели материала? Указанная модель применяется для исследования поведения пластичных материалов, как правило металлов. Для моделирования хрупких материалов, к которым относится керамика, в LS_DYNA есть модель *MAT_JOHNSON_HOLMQUIST. 5. В диссертации указано, что температурные факторы не учитываются по причине того, что при высокоскоростном шлифовании температура находится в диапазоне 200-800°С и не приводит к размягчению керамики. Однако, указанные температуры могут оказать существенное влияние на бакелитовую связку. Считаю, что данный вопрос необходимо было исследовать. 6. В тексте диссертации часто встречаются фразы «предварительные эксперименты подтвердили». Однако, в работе отсутствуют ссылки на результаты данных экспериментов. 7. Отсутствуют исследования влияния на вибрационные характеристики процесса режимов резания и характеристик шлифовального круга. 8. Не ясно, что автор понимает под «рациональными режимами обработки» и что является критерием рациональности. Существуют критерии оптимизации и оптимальные режимы в рамках выбранного критерия оптимизации и технологических ограничений. 9. В 3 главе автор рассматривает механизм разрушения и моделирование процесса резания единичным абразивным зерном. В действительности зерна инструмента распределяются в круге неравномерно по его глубине. При работе часть зерен снимает материал, часть попадает «в след» впереди идущего зерна, часть срезает только гребни шероховатости. При этом ряд зерен изнашивается, часть выкрашивается, количество зерен не остается постоянным и изменяется с течением времени. Автор не учитывает эти явления при моделировании, что может привести к достаточно большим погрешностям в расчетах. 10. Эмпирические модели, полученные в работе, не учитывают фактор времени, поэтому не могут быть применены для расчетов в течении всего периода стойкости шлифовального круга. 11. В качестве пожелания хотелось бы увидеть фотографии реального оборудования, на котором проводились исследования, а также развернутые профилограммы исследуемых образцов. 12. Не сформулированы четкие рекомендации по практическому применению результатов диссертационной работы на промышленных предприятиях.

4. Отзыв из **ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет»**, г. Тюмень, подписанный д-ром техн. наук, профессором, заведующим кафедрой «Станки и инструменты» Артамоновым Евгением Владимировичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. При обработке шлифованием возникают значительные тепловыделения,

однако в работе отсутствуют исследования на эту тему. 2. Остался нераскрытым вопрос, из каких соображений в качестве шлифовального инструмента назначена марка АСН зернистостью 40/28 и 20/14.

5. **Отзыв из ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»**, г. Иркутск, подписанный профессором кафедры «Материаловедение, сварка и аддитивные технологии», д-ром техн. наук, профессором Зайдесом Семеном Азиковичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. На рис. 4 автореферата приведена плотно упакованная структура материала. К сожалению, отсутствие структуры реального материала не позволяет оценить предложенную модель разрушения материала. 2. Некоторые эксперименты выполнены на органическом стекле, структура которого отличается от композита, поэтому достоверность напряженного состояния вызывает некоторые сомнения. 3. В работе не указан тип напряжений, которые исследовал автор.

6. **Отзыв из ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»**, г. Санкт-Петербург, подписанный доцентом высшей школы машиностроения, канд. техн. наук Шабалиным Дмитрием Николаевичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Вопросами разрушения керамики занимался профессор Никитков Н.В., процессы разрушения у него подробно рассмотрены. Рекомендуются ознакомиться с его работами. 2. Не объяснено, как работает высокоскоростной шпиндель. По рис. 1 не понятно, как проходит обработка на таких оборотах (вибрации и т.д.). 3. На рис. 4 – есть вопросы по структуре материала. Идеальные кристаллы или хаотичные образования?

7. **Отзыв из ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет»**, г. Томск, подписанный научным сотрудником лаборатории нанотехнологий металлургии, канд. техн. наук Бабаевым Артемом Сергеевичем и научным сотрудником научно-образовательного центра «Аддитивные технологии», канд. техн. наук Промаховым Владимиром Васильевичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. В работе было бы уместно показать влияние параметров высокоскоростного шлифования на точность формы обрабатываемой поверхности, которая также может влиять на герметичность соединений и представлять отдельный интерес для производства. 2. Параметр Ra определяет лишь среднее арифметическое отклонение профиля шероховатости, что не в полной мере описывает глубину отдельных микролунок, возникающих при шлифовании. Возможно, следует использовать дополнительные высотные и гибридные параметры шероховатости в дополнение к снимкам микроскопа.

8. **Отзыв из ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»**, г. Пенза, подписанный канд. техн. наук, доцентом кафедры «Технология машиностроения» Донцовой Мариной Владимировной. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Из

представленного материала неясно, какие автор делал допущения при составлении численной модели, результаты которой приведены на странице 9.

9. **Отзыв из ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»**, г. Новосибирск, подписанный канд. техн. наук, доцентом, заведующим кафедрой проектирования технологических машин Янпольским Василием Васильевичем и д-ром техн. наук, доцентом, профессором кафедры проектирования технологических машин Иванцовским Владимиром Владимировичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. В тексте автореферата (стр. 11, абзац 5) указано, что для подтверждения результатов моделирования по влиянию скорости шлифования на изменение угла направления возникающей трещины и глубину залегания напряжений были проведены экспериментальные исследования по обработке материала, обладающего пьезооптическим эффектом. Однако, при моделировании шлифования единичным алмазным зерном в качестве материала заготовки применялся КМ. Как тогда согласуются результаты моделирования с результатами натуральных экспериментов? 2. Из текста автореферата не ясно, почему в экспериментах применялись головки с зернистостью 40/28 и 20/14. Проводились ли экспериментальные исследования при других характеристиках головок, в частности, другой зернистости?

10. **Отзыв из ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»**, г. Липецк, подписанный д-ром техн. наук, профессором, заведующим кафедрой «Технология машиностроения» Козловым Александром Михайловичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. П. 3 научной новизны – «Результаты экспериментальных исследований качества обработанной поверхности (шероховатость поверхности, наличие микротрещин и микролунок) КМ при высокоскоростном шлифовании» в большей степени соответствует практической значимости работы. 2. На рис. 2 автореферата абразивное зерно представлено в виде конуса, расположенного перпендикулярно поверхности обрабатываемой детали. Однако реальный абразивный инструмент имеет произвольно расположенные в пространстве зерна, которые могут не резать материал, а вызывать ударные нагрузки. 3. На с. 12 автореферата указано, что результаты моделирования проверяли при шлифовании КМ марки ВК94-1 и шлифовальной головки с определенными параметрами абразива. Это снижает практическую значимость работы. 4. Выводы 4 и 5 (с. 16) только констатируют полученные результаты, но не обобщают их, т.е. выводами не являются.

11. **Отзыв из ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет»**, г. Курган, подписанный д-ром техн. наук, доцентом, доцентом кафедры «Машиностроение» Овсянниковым Виктором Евгеньевичем. Отзыв положительный со следующим замечанием: 1. В тексте автореферата на стр. 8 говорится о том, что была выполнена модернизация оборудования для высокоскоростного шлифования, в частности,

позволяющая устанавливать круги с диаметрами 250...300 мм. Однако, в чем заключается данная модернизация, не совсем понятно.

12. Отзыв из **ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»**, г. Волгоград, подписанный д-ром техн. наук, доцентом, первым проректором - директором института архитектуры и строительства ВолГТУ, заведующим кафедрой «Строительная механика» Душко Олегом Викторовичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. В зависимости шероховатости поверхности от режимов резания и размеров абразивного зерна следовало бы ввести показатели основных свойств керамического материала. 2. Автором весьма категорично делается вывод об отсутствии трещин при высокоскоростном шлифовании, что вызывает некоторые сомнения: при взаимодействии алмазного зерна и поверхности керамики однозначно будут появляться разного рода дефекты (стр. 15 автореферата).

13. Отзыв из **ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»**, г. Пенза, подписанный д-ром техн. наук, доцентом, заведующим кафедрой «Технология и оборудование машиностроения» Зверовщиковым Александром Евгеньевичем. Отзыв положительный со следующими замечаниями: 1. Тема и цель диссертационной работы сформулированы слишком широко, по сути, рассматриваются только те показатели качества изделий из керамических материалов, которые относятся к качеству их поверхности. 2. Вывод по пункту 3 научной новизны научной новизной не является, так как не содержит установленного нового научного факта или результата.

14. Отзыв из **ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»**, г. Йошкар-Ола, подписанный д-ром техн. наук, профессором, заведующим кафедрой «Машиностроение и материаловедение» Алибековым Сергеем Якубовичем. Отзыв положительный. Замечания отсутствуют.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что они являются ведущими специалистами в области моделирования процессов механической обработки и алмазного шлифования заготовок, имеют научные публикации по данным направлениям в рецензируемых научных изданиях, обладают достаточной квалификацией, позволяющей оценить новизну представленных на защиту результатов, их научную и практическую значимость, обоснованность и достоверность полученных результатов и выводов. В ведущей организации и организациях, в которых осуществляют свою деятельность официальные оппоненты, выполнен значительный объем научных исследований, связанных с изучением процессов, рассматриваемых соискателем в диссертационной работе.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая концепция повышения качества обработанной поверхности керамических материалов при использовании

высокоскоростного шлифования, позволившая выявить новые закономерности в механизме их разрушения;

предложена гипотеза об изменении механизма разрушения керамического материала с повышением скорости резания и перехода на высокоскоростное шлифование;

доказана эффективность применения высокоскоростного шлифования для повышения качества изделий из керамических материалов на основе результатов численного моделирования и экспериментальных исследований;

новые понятия **не вводились**.

Теоретическая значимость исследований заключается в том, что:

доказана гипотеза о влиянии скорости резания на переход с интеркристаллитного к транскристаллитному разрушению керамических материалов, расширяющая научные представления в области механики разрушения зернистого материала;

применительно к проблематике диссертации результативно **использован** комплекс существующих базовых методик, многофакторное планирование экспериментов для получения регрессионных зависимостей шероховатости обработанной поверхности изделий из керамических материалов от режимов резания;

изложены результаты численного моделирования роста трещин, характера разрушения керамических материалов и шероховатости обработанной поверхности, позволившие выявить связь скорости шлифования с механизмом разрушения керамических материалов и качеством обработанной поверхности;

раскрыты особенности механизма разрушения гетерогенного хрупкого керамического материала в зависимости от физико-механических свойств абразивного зерна и связующего, определяющие минимальную скорость резания для перехода от интеркристаллитного к транскристаллитному разрушению;

изучены связи и закономерности влияния режимов резания на параметры качества обработанной поверхности (шероховатость поверхности, наличие микротрещин и микролунок) керамических материалов при высокоскоростном шлифровании;

проведена модернизация существующих методов исследования процесса высокоскоростного шлифования гетерогенных хрупких материалов, обеспечивающих получение новых результатов по теме диссертации.

Значения полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны оригинальные конструкции шлифовальных кругов и элементы экспериментальной установки для исследования процесса высокоскоростного шлифования изделий из керамических материалов на базе шлифовально-заточного станка с применением электрошпинделя, позволяющие производить обработку со скоростью резания до 300 м/с; результаты исследований **внедрены** на производственном комплексе

«Салют» АО «ОДК» (г. Москва) при обработке пар трения из керамического материала ВК94-1;

определены перспективы практического использования полученных результатов диссертационного исследования для повышения качества изделий из керамических материалов путем применения высокоскоростного шлифования;

созданы технологические рекомендации для эффективной обработки керамических материалов способом высокоскоростного шлифования;

представлены и переданы для использования в производственных условиях «Салют» АО «ОДК» (г. Москва) и АО «ОДК-АВИАДВИГАТЕЛЬ» (г. Пермь) результаты выполненных исследований по повышению качества изделий из керамических материалов путем применения высокоскоростного шлифования.

Оценка достоверности результатов исследований выявила:

для экспериментальных работ применение современных измерительных средств и сертифицированного оборудования, достаточную статистическую воспроизводимость результатов исследований, полученных в лабораторных и производственных условиях;

теоретические исследования (теория) построены на известных проверяемых теоретических и экспериментальных данных и согласуются с опубликованными экспериментальными данными других исследователей по тематике диссертации;

идея диссертационного исследования построена на основе анализа практики обеспечения качества обработанной поверхности изделий, а также на обобщении передового научно-исследовательского и производственного опытов обработки изделий из керамических материалов;

использовано сравнение данных, полученных автором, с результатами, полученными ранее другими исследователями по тематике диссертации;

установлено качественное и количественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в научных работах по проблематике диссертации в независимых источниках периодической печати;

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации, сопоставление данных, полученных автором в ходе натуральных экспериментов, с производственными данными.

Личный вклад соискателя состоит в:

-включенном участии на всех этапах процесса, определении цели, задач, непосредственном участии в выполнении научных исследований, как теоретического, так и экспериментального характера, необходимых для решения поставленных задач и достижения цели диссертационной работы: разработка **конструкций шлифовальных кругов и элементов экспериментальной установки**, позволяющих производить обработку керамических материалов способом высокоскоростного шлифования, обеспечивая требуемые параметры качества обработанной поверхности; результаты **численного моделирования** роста трещин, характера

разрушения керамических материалов и шероховатости обработанной поверхности, позволившие выявить связь скорости шлифования с механизмом разрушения керамических материалов и качеством обработанной поверхности; результаты **экспериментальных исследований** влияния скорости шлифования на параметры качества обработанной поверхности заготовок из керамических материалов; **технологические рекомендации** по использованию на производстве способа сверхскоростного шлифования для обеспечения требуемых параметров качества и повышения производительности обработки при изготовлении изделий из керамических материалов.

- личном участии в опытно-промышленной апробации результатов исследования;

- обработке и интерпретации экспериментальных данных;

- подготовке основных публикаций по результатам выполненной работы.

Результаты исследований рекомендуется использовать:

на предприятиях машиностроительной отрасли, занимающихся механической обработкой заготовок из керамических материалов;

проектно-конструкторских и научно-исследовательских институтах, занимающихся высокоскоростным шлифованием хрупких гетерогенных материалов;

в высших учебных заведениях при подготовке бакалавров и магистров направления – «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств».

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи, логически построена, что подтверждается взаимосвязью поставленных задач и полученных результатов, содержит новые научные результаты, свидетельствующие о личном вкладе автора диссертации в науку.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены научные результаты.

Диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая содержит решение актуальной задачи повышения качества изделий из керамических материалов путем применения высокоскоростного шлифования, имеющей существенное значение для повышения качества продукции, выпускаемой машиностроительными предприятиями.

Работа соответствует критериям, установленным в разделе II Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

На заседании 26 декабря 2022 г. диссертационный совет принял решение присудить Каменову Ренату Уахитовичу ученую степень кандидата

технических наук по специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки).

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 8 докторов наук по специальности 2.5.5 - Технология и оборудование механической и физико-технической обработки, участвующих в заседании, из 15 человек, входящих в состав совета, дополнительно введенные в разовую защиту 0 человек, проголосовал: за присуждение учёной степени - 12 человек, против – нет, недействительных – нет.

Председатель д-р техн. наук, профессор Табаков В.П.

Ренат Уахитович, я еще раз Вас поздравляю с успешной защитой, желаю дальнейших успехов.

Уважаемые члены диссертационного совета! Объявляю защиту оконченной. Выражаю Вам благодарность. Всем большое спасибо!

Председатель
диссертационного совета,
д-р техн. наук



В.П. Табаков
11.01.2023

Табаков Владимир Петрович

Ученый секретарь
диссертационного совета,
д-р техн. наук

Н.И. Веткас
11.01.2023

Веткас Николай Иванович