

если бы все они имели, хотя бы приблизительно одинаковую геометрию и расположение на поверхности инструмента, способствующее процессу срезания стружки.

Геометрия зерна, в свою очередь, формируется двумя факторами – формой зерна и его расположением в теле инструмента. Если разработать методы по упорядочиванию формы и расположению зерен в шлифовальных инструментах, то можно значительно улучшить их эксплуатационные свойства. Таким актуальным исследованием и посвящена данная диссертация.

2. Структура и содержание работы

Структура и содержание диссертации находятся в логическом единстве и соответствуют поставленной цели исследования. Цель исследований: повышение эффективности шлифования путем проектирования, создания и применения абразивных инструментов с заданной формой и ориентацией зерен, обладающих повышенными эксплуатационными возможностями за счет упорядочения формы и управляемой геометрии режущей части. Выдвигаемые соискателем теоретические и методологические положения, а также, полученные результаты и сформулированные на их основе выводы являются новыми.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и приложений. Она изложена на 362 страницах машинописного текста, содержит 124 рисунка, 7 таблиц, список литературы из 313 наименований.

Во введении отражена актуальность темы диссертации, степень разработанности, цель работы и задачи исследований, объект и предмет исследований, научная новизна и практическая значимость работы, теоретическая значимость работы, методология, методы и средства исследования, результаты, полученные автором и выносимые на защиту, соответствие диссертации паспорту научной специальности, достоверность

полученных результатов, производственное внедрение, апробация и публикации работы, структура и объем работы.

В первой главе приведен анализ литературных источников по теме диссертации, сформулирована цель данной работы и намечены задачи по ее достижению.

Во второй главе отражена специфика проектирования, создания и рационального применения абразивных инструментов с заданной формой и ориентацией зерен. На начальном этапе изучается геометрия зерен и находится взаимосвязь величин передних углов от их формы и ориентации; устанавливается зависимость максимальных напряжений в зернах от факторов их формы и ориентации; выполняется совместный анализ полученных зависимостей для проектирования шлифовальных инструментов под конкретные задачи и условия обработки. В главе приведены результаты исследований взаимосвязи формы и ориентации зерен с их геометрическими и эксплуатационными характеристиками. Для решения этой задачи разработано соответствующее программное обеспечение.

Выбран способ разделения абразивной массы по упорядочиванию формы зерен, основанный на вибрационном принципе. Установлена взаимосвязь площади поверхности зерен и их количество в единице объема. Получены зависимости передних углов шлифовальных зерен от их формы, пространственной ориентации и износа. Разработана методика оценки передних углов зерен с учетом их износа. Установлено, что с ростом коэффициента формы передние углы радиально-ориентированных зерен увеличиваются.

Для оценки зависимости передних углов шлифовальных зерен от их формы предложен программный комплекс из 4-х программ, который позволяет поворачивать изображение зерен под требуемым углом относительно плоскости резания и определять передний угол во всех случаях из контура.

Исследования, проведенные в главе 2 позволили уяснить общий механизм влияния факторов формы и ориентации зерен на их геометрические, прочностные и стойкостные показатели и установить, что:

– для достижения максимальных передних углов у зерен и, соответственно, максимальной режущей способности шлифовальных инструментов необходимо применять игольчато-пластинчатые зерна (с наибольшими Кф) и располагать их в инструментах под углами ориентации $\Theta=22,5^\circ\div 90^\circ$ (в особенности $\Theta=22,5^\circ\div 45^\circ$);

– для обеспечения максимальной стойкости инструментов, при прочих равных условиях, целесообразно использовать зерна изометрической формы (с минимальными Кф), а также ориентировать зерна в тангенциальном направлении ($\Theta=0^\circ$).

– шлифовальные инструменты с повышенной режущей способностью и одновременно с достаточно высокой стойкостью можно изготовить, ориентируя шлифовальные зерна под углами близкими к направлению вектора силы резания P , действующей на инструмент в процессе эксплуатации;

– исходя из того, что соотношение составляющих силы резания P_y и P_z для различных операций шлифования, как правило, варьируется в интервале от 1,2:1 до 10:1, то рациональные углы ориентации зерен соосно силе резания находятся в диапазоне $\Theta=50^\circ\div 84^\circ$;

– для шлифовальных кругов, изготавливаемых из зерен нормальных электрокорундов и используемых для обработки конструкционных сталей, при эксплуатации которых радиальная составляющая силы резания P_y в 3÷5 раз превосходит тангенциальную составляющую P_z , может быть рекомендован рациональный угол ориентации зерен порядка $\Theta=65^\circ\div 75^\circ$.

Полученные результаты и зависимости ((1)...(20)) позволили автору перейти к этапу конструирования инструментов с заданной формой и ориентацией зерен.

В третьей главе приводится описание разработанного способа изготовления шлифовальных инструментов с ориентированными зернами (патент РФ на изобретение №2369474), суть которого состоит в том, что исходные зерна (обычные, либо с упорядоченной формой) смешивают с увлажнителями, связующими и наполнителями и образующую полусухую формовочную абразивную смесь начинают просеивать через вибрирующее сито. Абразивные гранулы, падая вниз в прессформу в виде множества отдельных частиц, попадают в зону действия электростатического поля, создаваемого электродами, ориентируются в нем наибольшими осями вдоль силовых линий поля и постепенно заполняют прессформу. Электроды из тонкого листового металла собраны в единую конструкцию с помощью корпуса из диэлектрика и могут иметь различное расположение, в зависимости от требуемой ориентации зерен: кольцевое – для радиальной ориентации зерен, радиальное расположение – для тангенциальной ориентации зерен, наклонное – для ориентации зерен в теле инструмента под некоторым углом.

Предлагаемая технология позволяет изготавливать твердотельные шлифовальные инструменты (круги, бруски, сегменты, головки) с различными направлениями ориентации зерен (радиальным, тангенциальным, наклонным), на разных типах связок, обеспечивает высокую размерную точность изделий, наличие в них, при необходимости, упрочняющих элементов и повышает эксплуатационные возможности инструментов.

В соответствии с описанной технологией изготовлены опытные партии кругов различных конструкций, которые в дальнейшем прошли комплексные испытания в лабораторных, а, затем, в производственных условиях, где продемонстрировали свои преимущества по отношению к стандартным инструментам.

В четвертой главе описаны способы и средства контроля одного из наиболее важных эксплуатационных показателей шлифовальных кругов – их

прочности, влияющей на безопасность работы, допустимую скорость работы и, как следствие, - на производительность и качество шлифования. Приведено описание статического способа прочностных испытаний шлифовальных кругов (патент РФ на изобретение №2292032). Способ основан на нагружении посадочных отверстий кругов в неподвижном состоянии равномерно распределенным давлением, которое вызывает в теле инструментов тангенциальные растягивающие напряжения, характер распределения и величины которых соответствуют напряжениям во вращающемся круге.

В пятой главе проведены комплексные испытания отрезных шлифовальных кругов с заданной формой зерен по схеме резания с постоянным усилием прижатия заготовок и по схеме круглого врезного шлифования.

Проведенные испытания и анализ их результатов показали, что эксплуатационные показатели шлифовальных кругов могут быть существенно улучшены путем задания определенной формы используемых абразивных зерен.

В шестой главе представлены результаты исследований эксплуатационных показателей опытных шлифовальных кругов с ориентированными зёрнами.

Показано, что управление ориентацией зерен, наряду с упорядочением их формы, открывает перспективу повышения эксплуатационных возможностей шлифовальных инструментов.

Совместный анализ результатов исследований геометрических, прочностных и стойкостных показателей зерен в зависимости от их формы и ориентации, а также эксплуатационных показателей шлифовальных кругов с заданной формой и ориентацией зерен позволил разработать рекомендации по повышению эффективности различных видов шлифования.

В заключении подводятся итоги выполненных исследований разработок и формулируются рекомендации. В частности, предлагаемые в

диссертации решения позволяют повысить производительность операций шлифования по сравнению с использованием стандартного абразивного инструмента с неупорядоченной формой и ориентацией зерен в 1,2–1,3 раза, стойкость абразивных инструментов в 1,2–1,4 раза, их прочность и рабочую скорость в 1,1–1,2 раза, качество обрабатываемых поверхностей (снижение шероховатости) в 1,1–1,4 раза и глубины зоны термического влияния в 1,3–1,4 раза;

3. Соответствие содержания диссертации заявленной специальности 2.5.5 по теме диссертации

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.5.5. Технология и оборудование механической и физико-технической обработки в пунктах:

4. Создание, включая проектирование, расчеты и оптимизацию, параметров рабочего инструмента и других компонентов оборудования, обеспечивающих технически и экономически эффективные процессы обработки.

5. Создание оборудования и инструментов для новых технологических процессов механической и физико-технической обработки.

6. Исследование влияния режимов обработки на силы резания, температуру, стойкость инструмента и динамическую жесткость оборудования.

4. Соответствие автореферата диссертации ее содержанию

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации и требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления», а также требованиям п. 25 «Положения о присуждении ученых степеней».

5. Личный вклад соискателя в получении результатов исследования

1. Методология создания абразивного инструмента с заданной формой и ориентацией зерен.

2. Технологии изготовления шлифовальных кругов с заданной формой и ориентацией зерен (патенты РФ на способы изготовления шлифовальных инструментов №2349446, №2369474).

3. Способы и программное обеспечение для оценки геометрических, прочностных и стойкостных характеристик зерен (свидетельства о госрегистрации программ для ЭВМ №2006613051, №2007612468, №2008610817, №2008614244, №2011614263, №2011615114, №2011616506, №2015619877, №2017663831).

4. Установленные зависимости параметров формы и ориентации зерен с геометрическими, прочностными и стойкостными показателями зерен и с эксплуатационными показателями шлифовальных кругов, которые позволяют прогнозировать и целенаправленно управлять работоспособностью шлифовальных инструментов с учетом требований к их стойкости и режущей способности, а также к качеству обрабатываемых поверхностей.

5. Рекомендации по рациональному применению шлифовальных кругов с заданной формой и ориентацией зерен.

6. Степень достоверности результатов исследования обеспечивается сходимостью данных проведения многочисленных дублирующих экспериментов, итогами лабораторных и производственных испытаний и внедрением созданных разработок на ряде промышленных предприятий. Адекватность разработанных математических моделей подтверждается их проверкой по коэффициентам корреляции R^2 , критерию Фишера и другим известным оценочным критериям.

7. Теоретическая и практическая значимость, полученных автором диссертации результатов

Установлены, теоретически обоснованы и математически описаны взаимосвязи параметров формы и ориентации зерен с эксплуатационными

характеристиками самих зерен и изготавливаемых из них шлифовальных инструментов. Это позволяет прогнозировать и обоснованно управлять работоспособностью шлифовальных инструментов за счет регулирования параметров формы и ориентации зерен при изготовлении инструментов с учетом заданных требований к операциям шлифования.

Работа выполнена на базе теории шлифования материалов, основ проектирования абразивного инструмента с привлечением теории прочности хрупких тел, прочности вращающихся объектов, метода конечных элементов, теории вибрационного сепарирования частиц, методов математического моделирования, статистической обработки и корреляционно-регрессионного анализа результатов испытаний с широким использованием ЭВМ, на основе прикладных программ «Excel» и «Statistica», графических редакторов «Компас» и «Paint», программного комплекса «SolidWorks», а также специально разработанного и зарегистрированного программного продукта в составе 9 программ для ЭВМ.

Практическая ценность работы заключается в:

1. Разработке технологий и технологической оснастки для изготовления шлифовальных кругов с заданной формой и ориентацией зерен (патенты РФ на способы №2349446, №2369474).

2. Разработке способа испытания шлифовальных кругов на механическую прочность (патент РФ №2292032).

3. Разработке способов и программного продукта для оценки формы зерен в трехмерном пространстве, площади поверхности зерен и их количества в единице объема, передних углов и напряжений в зернах с учетом их формы, ориентации, условий обработки и параметров силового нагружения, для оценки стойкости и характера износа зерен с контролируемой формой и ориентацией, для оценки эффективности ориентирования зерен в инструментах (свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ №2006613051, №2007612468, №2008610817,

№2008614244, №2011614263, №2011615114, №2011616506, №2015619877, №2017663831).

4. Разработке стендов, установок и приспособлений для изучения характеристик зерен и проведения комплексных испытаний новых конструкций кругов на прочность, режущую способность, износ, мощность резания.

5. Создании и комплексных испытаниях шлифовальных кругов с заданной формой и ориентацией зерен.

6. Разработке рекомендаций по изготовлению и рациональному применению шлифовальных кругов с заданной формой и ориентацией зерен.

7. Предпромышленном освоении производства новых абразивных инструментов с заданной формой и ориентацией зерен и внедрении их на заводах машиностроительного профиля и предприятиях других отраслей.

8. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Разработаны рекомендации по повышению эффективности различных видов шлифования на основе применения инструментов с двумя контролируемыми и управляемыми факторами – формой и ориентацией зерен, распространяющиеся в первую очередь на шлифовальные круги, а также другие абразивные инструменты. Рекомендации сведены в располагающуюся ниже таблицу:

Таблица

Вид обработки	Управление формой и ориентацией зерен		Достижимый эффект
	K_f	θ	
1	2	3	4
Скоростное шлифование	Увеличение K_f зерен в зоне посадочного отверстия кругов на полимерных связках	Тангенциальная ориентация зерен	Упорядочение внутреннего строения и преобразование поведения и развития трещин, взаимных разрыв кругов, повышение скорости шлифования
Силовое и обдирочное шлифование	Уменьшение K_f зерен	Тангенциальная ориентация зерен	Повышение прочности зерен и стойкости кругов, и в отовленных и новых, возможность эксплуатации инструментов при повышенных силовых нагрузках
Отрезное и глубинное шлифование	Увеличение K_f зерен	Радиальная и наклонная ориентация зерен	Повышение прочности и жесткости и снижение теплонапряженности шлифования
Чистовое шлифование	Уменьшение K_f зерен	Тангенциальная ориентация зерен	Уменьшение передних углов зерен и снижение за счет этого шероховатости обработанных поверхностей, снижение износа инструментов
Заточка инструментов и шлифование с низкими температурами	Увеличение K_f зерен	Радиальная и наклонная ориентация зерен	Снижение температуры резания, повышение режущей способности инструментов

Из таблицы следует, что:

– для повышения эффективности скоростного шлифования (увеличения прочности инструментов и скорости резания) целесообразно изготавливать и применять шлифовальные круги на полимерных связующих с увеличенными значениями коэффициентов формы в зоне посадочного отверстия и с тангенциальной ориентацией зерен;

– для повышения работоспособности инструментов, используемых для силового и обдирочного шлифования (повышения стойкости кругов и режимов резания), следует изготавливать их из зерен с малыми значениями K_f и тангенциальной ориентацией зерен в теле инструментов;

– повысить эффективность отрезного и глубинного шлифования (увеличить режущую способность инструментов, снизить температуру резания и деформации обрабатываемого материала) можно путем применения шлифовальных кругов с увеличенными значениями K_f зерен и их радиальной или наклонной ориентацией в теле этих инструментов;

– для повышения эксплуатационных возможностей шлифовальных инструментов (снижения шероховатости обрабатываемых поверхностей), применяемых для чистового шлифования, их следует изготавливать из зерен

с малыми значениями K_f и тангенциальной ориентацией, что дополнительно позволяет снизить износ инструментов;

– повышение эффективности заточных операций (снижение температуры резания и увеличение режущей способности инструментов), может быть реализовано путем использования шлифовальных кругов с большими значениями коэффициентов формы зерен и их радиальной или наклонной ориентацией.

9. Новизна полученных результатов состоит:

1. В разработанной методологии создания абразивных инструментов с заданной формой и ориентацией зерен, базирующейся на учете влияния и научно-обоснованном выборе этих параметров, позволяющей упорядочивать внутреннее строение такого инструмента и управлять геометрией его зерен, что обеспечивает повышение эксплуатационных возможностей инструментов и эффективности процесса шлифования.

2. В установлении и математическом описании:

– взаимосвязи формы зерен с развитостью и размером площади их поверхности, а также с количеством зерен в единице объема;

– совместного влияния формы и ориентации зерен на величины их передних углов, на напряжения, возникающие в зернах при работе, а также на прочность и стойкость зерен;

– влияния формы и ориентации зерен на эксплуатационные показатели шлифовальных инструментов: режущую способность, коэффициент шлифования, мощность и температуру резания;

– влияния формы и ориентации зерен на качество шлифуемых поверхностей: микротвердость и микроструктуру поверхностного слоя и шероховатость обрабатываемых поверхностей.

10. Замечания по диссертационной работе

- Из текста диссертации не ясно в какой мере полученные в работе выводы и рекомендации могут касаться кроме шлифовальных кругов и

других разновидностей шлифовальных инструментов: шлифовальных головок, брусков, сегментов?

- Что будет с результатами испытаний, если шлифование предлагаемыми кругами будет вестись не «всухую», а с наличием СОЖ?

- Надо ли кардинально менять режимы шлифования при работе шлифовальными кругами с контролируемой формой и ориентацией зерен?

- Выводы и рекомендации поменяются, если вместо абразивных материалов будут применяться алмазные зерна/инструменты или зерна и инструменты из СТМ?

11. Заключение по диссертации о соответствии ее требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК

Диссертация Короткова Виталия Александровича на тему «Повышение эффективности шлифования сталей путём создания и применения абразивных инструментов с заданной формой и ориентацией зёрен», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.5. «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки» является квалификационной работой, в которой решена научно-техническая проблема, заключающаяся в повышении эффективности шлифования путем проектирования, создания и применения абразивных инструментов с заданной формой и ориентацией зерен, обладающих повышенными эксплуатационными возможностями за счет упорядочения формы зерен и управления их геометрией.

Диссертация Короткова Виталия Александровича написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку, что соответствует п. 9-11, 13 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор заслуживает присуждения ему учёной степени доктора технических наук по специальности 2.5.5. «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Отзыв рассмотрен, обсужден и одобрен на заседании кафедры «Технология и оборудование машиностроительных производств» ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» протокол №3 от 12 ноября 2025г. Результаты голосования: «за»- 23, «против»- 0; «воздержались»- 0.

Заведующий кафедрой «Технология и оборудование машиностроительных производств», д.т.н., профессор

А.Е. Пашков

Секретарь кафедры

Ю.Ю. Пискунова

Отзыв составил профессор кафедры «Технология и оборудование машиностроительных производств», доктор технических наук, профессор

В.П. Кольцов

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет»

Адрес: 664074 г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Телефон организации: (3952) 405-000, факс (3952) 405-100

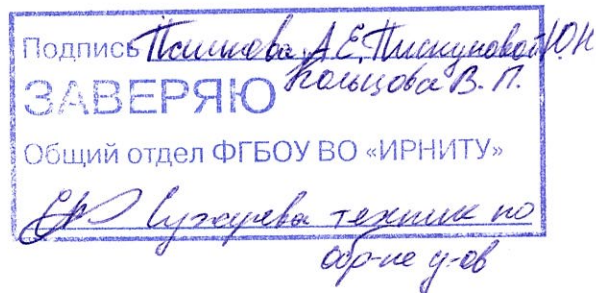
Адрес электронной почты: info@istu.edu

Адрес в сети Интернет: http://istu.edu

Подписи: Пашков А.Е.

Пискунова Ю.Ю.

Кольцов В.П.



Специалист по управлению персоналом 1 категории