

— — —
В. А. КОРОТКОВ

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

ПУТЕМ УПОРЯДОЧЕНИЯ ГЕОМЕТРИИ
ИСПОЛЬЗУЕМЫХ АБРАЗИВНЫХ ЗЕРЕН

(ii) «Инфра-Инженерия»

— — —

В. А. Коротков

**ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ
ПУТЕМ УПОРЯДОЧЕНИЯ ГЕОМЕТРИИ
ИСПОЛЬЗУЕМЫХ АБРАЗИВНЫХ ЗЕРЕН**

Монография

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2025

УДК 621.922.3

ББК 34.637.3

К68
7

Рецензенты:

д-р техн. наук *А. Л. Майтаков*;
д-р техн. наук *С. И. Петрушин*

Коротков, В. А.

К68 Повышение эксплуатационных показателей шлифовальных кругов путем упорядочения геометрии используемых абразивных зерен : монография / В. А. Коротков. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2025. – 232 с. : ил., табл.

ISBN 978-5-9729-2674-9

Рассматривается зависимость влияния формы и ориентации зерен на их геометрические, прочностные и стойкостные показатели, а также на эксплуатационные показатели шлифовальных инструментов и качество обрабатываемых ими поверхностей.

Для специалистов машиностроительного профиля – инженерно-технических работников, а также студентов, магистрантов, аспирантов и соискателей в практической деятельности и при выполнении научных исследований.

534 У61

УДК 621.922.3
ББК 34.637.3

БИБЛИОТЕКА
ФГАОУ ВО
Сибирский федеральный
университет

ISBN 978-5-9729-2674-9

© Коротков В. А., 2025

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2025

© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	6
1. Анализ состояния исследуемой проблемы	8
1.1. Эксплуатационные свойства шлифовальных зерен и изготавливаемых из них инструментов	8
1.2. Свойства компонентов шлифовальных кругов	12
1.2.1. Марки шлифовальных зерен и их характеристики	13
1.2.2. Разновидности связующих и наполнителей	21
1.2.3. Поры как элемент структуры шлифовальных инструментов	24
1.2.4. Упрочняющие элементы и их конструктивные особенности	24
1.3. Типовые технологии производства шлифовальных зерен	26
1.4. Существующие технологии производства шлифовальных кругов	28
1.5. Пути повышения эксплуатационных возможностей шлифовальных кругов технологическими способами	30
2. Принципы создания и рационального применения абразивных инструментов с заданной формой и ориентацией зерен	34
2.1. Алгоритм создания и рационального применения абразивных инструментов с заданной формой и ориентацией зерен	34
2.2. Способы оценки формы шлифовальных зерен	35
2.3. Разделение шлифовальных зерен по форме	39
2.4. Взаимосвязь формы зерен с площадью их поверхности и количеством в единице объема	41
2.5. Зависимость величин передних углов шлифовальных зерен от факторов их формы, пространственной ориентации в теле инструмента и износа	47
2.6. Методика и результаты оценки напряженного состояния зерен в процессе резания с учетом факторов их формы, пространственной ориентации и глубины заделки в связку	59
2.7. Влияние формы и ориентации зерен на их прочность	70
2.8. Износ зерен с разной формой и ориентацией	81
2.9. Выводы по главе	89
3. Проектирование и изготовление шлифовальных кругов из зерен с заданной формой и ориентацией	93
3.1. Типовая технология производства шлифовальных кругов на бакелитовой связке	93
3.2. Изготовление шлифовальных кругов с заданной формой зерен	95
3.2.1. Сепарация зерен по форме и приготовление формовочных смесей	95
3.2.2. Формование опытных шлифовальных кругов	96
3.2.3. Термообработка экспериментальных кругов	99
3.3. Изготовление шлифовальных кругов с контролируемой ориентацией зерен	101

3.3.1. Анализ способов ориентации зерен в шлифовальных инструментах	101
3.3.2. Предлагаемый способ ориентации зерен и конструкции шлифовальных инструментов, изготавливаемых на его основе	103
3.3.3. Изготовление шлифовальных кругов с заданной ориентацией зерен	107
3.4. Шлифовальные круги повышенной прочности	109
3.4.1. Анализ возможных путей повышения прочности шлифовальных кругов	109
3.4.2. Предлагаемый способ повышения прочности шлифовальных кругов и его реализация	111
3.5. Выводы по главе	114
4. Влияние формы зерен на эксплуатационные показатели шлифовальных кругов	116
4.1. Анализ динамических методов оценки разрывной прочности шлифовальных кругов	117
4.2. Стенд для прочностных испытаний шлифовальных кругов динамическим методом	119
4.3. Статический способ оценки прочности шлифовальных кругов	121
4.4. Результаты оценки прочности шлифовальных кругов с заданной формой зерен	126
4.5. Методика, оборудование и материалы для проведения испытаний опытных шлифовальных кругов на операциях шлифования.....	129
4.5.1. Методика проведения испытаний и обработка опытных данных	129
4.5.2. Оборудование и заготовки для проведения испытаний.....	132
4.6. Исследование эксплуатационных показателей шлифовальных кругов из зерен 13AF30 с заданной формой при различных схемах обработки.....	136
4.6.1. Определение рациональных режимов резания и режущей способности кругов из зерен 13AF30 с заданной формой	136
4.6.2. Коэффициент шлифования и эффективная мощность резания кругов из зерен 13AF30 с заданной формой	140
4.6.3. Общие затраты электроэнергии при шлифовании кругами из зерен 13AF30 с заданной формой на различных схемах обработки.....	144
4.6.4. Температура при резании, микротвердость и микроструктура заготовок, а также шероховатость обрабатываемых поверхностей после шлифования кругами из зерен 13AF30 с контролируемой формой	147
4.7. Исследование эксплуатационных показателей шлифовальных кругов из зерен 53CF54 с заданной формой при различных схемах обработки.....	152
4.7.1. Определение рациональных режимов резания и режущей способности кругов из зерен 53CF54 с заданной формой.....	153

4.7.2. Коэффициент шлифования и эффективная мощность резания кругов из зерен 53CF54 с заданной формой	155
4.7.3. Общие затраты электроэнергии при шлифовании кругами из зерен 53CF54 с заданной формой на различных схемах обработки	159
4.7.4. Шероховатость обрабатываемых поверхностей после шлифования кругами из зерен 53CF54 с заданной формой	161
4.8. Исследование эксплуатационных показателей шлифовальных кругов повышенной прочности с заданной формой зерен у посадочного отверстия	164
4.8.1. Определение рациональных режимов резания и режущей способности шлифовальных кругов повышенной прочности	164
4.8.2. Коэффициент шлифования и эффективная мощность резания шлифовальных кругов повышенной прочности, энергозатраты на обработку	166
4.8.3. Температура при резании, микротвердость и микроструктура заготовок после обработки кругами повышенной прочности	169
4.9. Взаимосвязь эксплуатационных показателей шлифовальных кругов с величинами передних углов и прочностью шлифовальных зерен.....	172
4.10. Выводы по главе	174
5. Исследование эксплуатационных показателей шлифовальных кругов с заданной ориентацией зерен	181
5.1. Определение рациональных режимов резания и режущей способности шлифовальных кругов с заданной ориентацией зерен.....	182
5.2. Коэффициент шлифования и эффективная мощность резания шлифовальных кругов с заданной ориентацией зерен	186
5.3. Температура при резании, микротвердость и микроструктура заготовок, а также шероховатость обработанных поверхностей после шлифования кругами с заданной ориентацией шлифовальных зерен	191
5.4. Взаимосвязь эксплуатационных показателей шлифовальных кругов с ориентированными зернами с величинами передних углов и напряжений в них, прогнозирование эксплуатационных показателей шлифовальных инструментов на этапе проектирования	201
5.5. Выводы по главе и практические рекомендации	204
Заключение	211
Список литературы	214

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность процесса шлифования предопределяется работоспособностью абразивных инструментов. Анализ результативности применения этих инструментов показывает, что их потенциальные возможности используются частично. В число основных причин, обуславливающих этот недостаток, входят произвольность формы и хаотичность расположения абразивных зерен в теле инструментов. Основная масса зерен имеет произвольную форму, изменяющуюся в широком диапазоне от изометрических до игольчато-пластинчатых разновидностей. При этом абразивные зерна в большинстве шлифовальных инструментов не имеют заданной пространственной ориентации.

Изучению физико-механических и режущих свойств абразивных и алмазных инструментов и их компонентов посвящено множество работ отечественных и зарубежных ученых [19, 20, 28, 29, 32, 36, 66, 68, 70, 75, 79, 82, 85, 139, 141, 143, 144, 145, 150, 152, 155, 161, 168, 191, 212, 219, 225, 229, 237, 239, 241, 246, 256, 257]. В этих работах исследована взаимосвязь физико-механических показателей абразивных материалов, зернистости, типов связки, твердости, структуры, с эксплуатационными показателями шлифовальных инструментов. В частности, все исследования указывают на специфику процесса шлифования, который является результатом группового микрорезания множеством отдельных зерен. Эффективность такого процесса зависит от результатов работы каждого единичного зерна. Это обстоятельство выдвигает на первый план роль и значимость зерен, как режущих элементов, от которых в первую очередь зависят эксплуатационные возможности шлифовальных инструментов. Показано, что в число главных условий эффективной работы зерен входит обладание ими благоприятной, для конкретного случая обработки, геометрией, которая определяется формой и ориентацией зерен в теле инструмента.

Известны исследования и технологии, в которых раздельно упорядочивается форма, либо ориентация зерен: например, круги из сферо- и формокорундов, из овализованных зерен, шлифовальные шкурки и ленты с электростатической ориентацией зерен, технологии ускоренного охлаждения расплава электрокорунда, способствующие получению зерен игольчато-пластинчатых форм при дроблении абразивных слитков и др. Следует отметить, что подбор рациональной формы или направления ориентации зерен для конкретных типов шлифовальных инструментов под конкретные режимы резания и обрабатываемые материалы в большинстве случаев либо вообще не производится, либо осуществляется опытным путем без привлечения теоретических разработок. Недостаточно исследованы и разработаны также вопросы проектирования, создания и применения абразивных инструментов, в которых бы одновременно упорядочивались форма и ориентация зерен.

В связи с изложенным, в данной монографии представлено комплексное решение актуальной проблемы создания и применения новых отечественных абразивных инструментов из зерен с заданной формой и ориентацией, которые реализуют концепцию максимального использования режущих возможностей

каждого отдельного зерна и упорядочения внутреннего строения абразивного композита с целью повышения эксплуатационных возможностей инструментов по сравнению с существующими аналогами.

В монографии представлена методология создания и применения абразивного инструмента с заданной формой и ориентацией зерен, обладающего повышенными эксплуатационными возможностями за счет упорядочения внутреннего строения и управляемой геометрии режущих элементов и позволяющего повысить эффективность процесса шлифования.

Выполнен комплекс теоретических и экспериментальных исследований и решены следующие задачи:

- разработан алгоритм создания и применения абразивного инструмента с заданной формой и ориентацией зерен;

- разработаны способы и средства (в т. ч. программы для ЭВМ) для оценки формы зерен в трехмерном пространстве, для определения площади их поверхности, величин передних углов, напряжений и прочности, количества в единице объема и особенностей износа, определен эффективный способ разделения зерен по форме;

- разработаны и запатентованы способы, спроектировано и изготовлено оборудование и оснастка для изготовления шлифовальных кругов с заданной формой, а также кругов с заданной формой и ориентацией зерен;

- разработаны способы, приборы и устройства для проведения испытаний и оценки эксплуатационных показателей зерен с учетом их формы и ориентации, а также шлифовальных кругов с заданной формой и ориентацией зерен;

- изготовлены шлифовальные круги различных новых конструкций с заданной формой и ориентацией абразивных зерен;

- проведен комплекс лабораторных испытаний абразивных зерен с учетом их формы и ориентации, а также шлифовальных кругов с заданной формой и ориентацией зерен;

- на основе массива экспериментальных данных построены математических модели, отражающие взаимосвязь формы и ориентации зерен с развитостью и размером площади их поверхности, количеством в единице объема, величиной передних углов, напряжениями, прочностью и стойкостью зерен;

- построены математических модели, отражающие взаимосвязь формы и ориентации зерен с прочностью и рабочей скоростью шлифовальных кругов, с их режущей способностью, коэффициентом шлифования, мощностью и температурой резания, микроструктурой и микротвердостью металла заготовок и шероховатостью поверхностей после шлифования;

- разработаны рекомендации по рациональному применению инструментов с заданной формой и ориентацией зерен.

Полученные результаты и выявленные математические зависимости, а также разработанные способы изготовления шлифовальных инструментов с упорядоченной геометрией абразивных зерен позволяют прогнозировать и целенаправленно изменять эксплуатационные показатели новых инструментов в зависимости от поставленных задач по качеству и производительности обработки, а также стойкости инструментов.