

В диссертационный совет 24.2.332.01  
на базе ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»  
Ученому секретарю совета Сотовой Е.С.  
127055, г. Москва, ГСП-4, Вадковский  
переулок, д. 1

### **ОТЗЫВ**

официального оппонента д.т.н., профессора Янюшкина Александра Сергеевича на диссертационную работу Короткова Виталия Александровича: «Повышение эффективности шлифования сталей путём создания и применения абразивных инструментов с заданной формой и ориентацией зёрен», представленную к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.5 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»

#### **Актуальность темы диссертационной работы**

Шлифовальные инструменты лишь частично используют свои эксплуатационные возможности. В числе причин, снижающих их работоспособность, входит произвольность формы и хаотичность расположения зерен в теле инструмента. Большая часть изготавливаемых зерен, в силу специфики их изготовления, имеет произвольную форму, которая изменяется от изометрических до пластинчатых и иглообразных разновидностей. Для оценки формы зерен предлагается их словесное описание такими терминами, как форма «изометрическая, осколочная, мечевидная, иглообразная и др.». Такое описание весьма неточное, оно дает лишь качественное и субъективное отражение формы зерен. Более точное описание можно получить путем введения, так называемого коэффициента формы, равного соотношению диаметров вписанных и описанных окружностей в контуры реальных зерен, проецируемых на некоторую плоскость ( $K_f = d_{оп}/d_{вп}$ ). Еще точнее форма зерна оценивается в трехмерной системе координат путем вписания и описания в контуры реальных зерен описанных или вписанных сфер. В этом случае оценивается соотношение диаметров сфер в трехмерной системе координат.

Кроме формы зерна на эффективность его работы сильное влияние оказывает конкретное положение зерна в теле инструмента. Редкие зерна на рабочей поверхности инструмента имеют благоприятное расположение, благодаря которому они способны срезать микростружку. Большая часть зерен скользит по поверхности металла, деформирует и нагревает его, не срезая.

Таким образом формируется проблема недоиспользования эксплуатационных возможностей отдельных зерен в связи с тем, что они имеют разную форму и произвольное расположение в инструменте.

Существует большой потенциал незадействованных возможностей, базирующийся на факте существования шлифовальных инструментов, обладающих произвольной формой и хаотичным расположением в теле этих

инструментов. Можно существенно повысить работоспособность отдельных шлифовальных зерен и инструментов в целом, если научно-обосновано подходить к проблеме выбора их формы и ориентации.

Актуальность этой проблемы подтверждается наличием финансовой поддержки Министерства науки и высшего образования Российской Федерации под данную тематику в рамках государственного задания в сфере научной деятельности (проект № FSFS-2025-0006). Кроме того, важность данной темы подтверждается наличием гранта по федеральной программе «Старт-06» «Новое поколение шлифовальных инструментов на основе зерен с заданной ориентацией и контролируемой формы». Решению проблем по данной тематике способствовали средства специального фонда Президента Российской Федерации и участие в выполнении финансируемого государственного контракта «Повышение ресурса отечественных деталей машин на основе совершенствования процессов механической обработки, создание новых инструментов, оптимизация технологических процессов и раскрытие закономерности технологического наследования состояния поверхностного деталей на стадии жизненного цикла» (номер гос. рег. 7.2398.2011).

Таким образом, тема данной диссертационной работы вполне актуальна, а ее решение обеспечивает повышение работоспособности как отдельных зерен, так и инструментов в целом.

#### **Основные научные результаты**

Укрупненно научная новизна диссертации состоит в разработке принципов создания абразивных инструментов с заданной формой и ориентацией зерен, базирующихся на учете влияния и научно-обоснованном выборе этих параметров, позволяющих упорядочить внутреннее строение таких инструментов и управлять геометрией его зерен, что обеспечивает повышение эксплуатационных возможностей инструментов и эффективности процесса шлифования.

Обеспечение сформулированных задач достигается путем: установления и математического описания взаимосвязи формы зерен с развитостью и размером площади их поверхности, а также с количеством зерен в единице объема; оценке 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; за счет установления влияния формы и ориентации зерен на эксплуатационные показатели шлифовальных инструментов: режущую способность, коэффициент шлифования, мощность и температуру резания; на основе изучения влияния формы и ориентации зерен на качество шлифуемых поверхностей: микротвердость и микроструктуру поверхностного слоя, а также шероховатость обрабатываемых поверхностей.

**Практическая значимость** работы заключается в:

1. Проектировании, изготовлении и комплексных испытаниях шлифовальных кругов с заданной формой и ориентацией зерен.

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

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

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

5. 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).

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

7. Освоении производства нового абразивного инструмента с заданной формой и ориентацией зерен и внедрении его на заводах машиностроительного профиля и предприятиях других отраслей.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

**Достоверность полученных результатов** обеспечивается сходимостью данных проведения 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, критерию Фишера и другим известным оценочным критериям.

### **Производственное внедрение**

Предлагаемые конструкции абразивных инструментов и другие технические решения прошли проверку в производственных условиях ряда промышленных предприятий (ООО ИК «Спецкомплектация», ООО «Восток-ПолимерХим», ООО «Агромаш», авторемонтных мастерских компании «Кузбассразрезуголь»), где доказали свою эффективность и пригодность.

### **Апробация работы и опубликование результатов**

Основное содержание работы было доложено на 20-ти Международных и 25-и Всероссийских конференциях: в период времени с 2003 по 2025 гг. В том числе:

- в г. Кемерово (в 2007, 2009, 2010–2013, 2016, 2017, 2021, 2023 гг.);

- в г. Комсомольске-на-Амуре (2015 г.);
- в г. Томске (2003, 2005–2007, 2013 гг.);
- в г. Москве (2016, 2019, 2025 гг.);
- в г. Новосибирске (2010–2013, 2016, 2017 гг.);
- в г. Севастополе (2015 г.); в г. Тюмени (2005 г.); в г. Юрге (2004, 2005, 2007 гг.); в г. Ульяновске (2003 г.).

Шлифовальные круги с контролируемой геометрией зерен экспонировались на специализированных выставках-ярмарках «Предпринимательство» и «Инновационная экономика» (г. Кемерово, 2007 г., 2010 г.), где были удостоены дипломов. Результаты работы обсуждались также на научных семинарах в Московском государственном технологическом университете «СТАНКИН» на кафедре «Высокоэффективные технологии обработки» в 2016–2025 гг., в Севастопольском государственном университете на кафедре «Технология машиностроения» в 2015 г., в Комсомольском-на-Амуре государственном техническом университете на кафедре «Технология машиностроения» в 2015 г., в Национальном исследовательском Томском политехническом университете на кафедре «Технология автоматизированного машиностроительного производства» в период с 2003 по 2016 гг., в Национальном исследовательском Иркутском государственном техническом университете на кафедре «Оборудование и автоматизация машиностроения» в 2008 и 2014 гг. и на кафедре «Технология и оборудование машиностроительных производств» в 2025 г. Отдельные фрагменты работы заслушаны в институте «Institut fuer Werkzeugmaschinen und Umformtechnik» Технического университета г. Кемнитц и техсовете фирмы по производству шлифовальных инструментов «Rottluff» GmbH (Германия) при прохождении там трех стажировок.

По материалам диссертации опубликованы 2 монографии в издательствах «Машиностроение» (2009 г.) и «Инфра-Инженерия» (2025 г.), 22 статьи, опубликованных в журналах перечня ВАК, 11 публикаций, входящих в список изданий Scopus и Web of Science, получено 3 патента РФ на изобретения, 9 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ. Общий список публикаций составляет 90 наименований.

### **Оценка содержания диссертации и автореферата**

Основное содержание работы отражено на 362-х страницах машинописного текста, содержит 124 рисунка, 7 таблиц и список литературы из 317 наименований.

Диссертация обладает внутренним единством, написана на высоком квалификационном уровне, содержит достаточное количество иллюстрационного и табличного материала, ссылки на работы других авторов, что соответствует п. 14 Положения о присуждении ученых степеней.

Автореферат в достаточной степени отражает содержание диссертационной работы и позволяет оценить основные результаты,

полученные лично автором, а также выводы и рекомендации, вытекающие из проведенных исследований.

Диссертация и автореферат оформлены аккуратно, написаны грамотным техническим языком, материал изложен логично и последовательно, отражает основные положения работы и доказательства их достоверности. Выводы позволяют оценить результативность выполненных исследований.

**Во введении** представлена актуальность темы диссертации, указаны цель исследования, сформулирована научная новизна и практическая значимость работы, приведены сведения по апробации и опубликованию результатов работы.

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

**Во второй главе** изложены принципы проектирования, создания и рационального применения абразивных инструментов с заданной формой и ориентацией зерен. Они состоят в том, что на начальном этапе необходимо изучить геометрию зерен и установить зависимость величин передних углов от их формы и ориентации; установить зависимость максимальных напряжений в зернах от факторов их формы и ориентации; выполнить 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 позволили перейти к этапу конструирования инструментов с заданной формой и ориентацией зерен.

**В третьей главе** предлагается описание разработанного способа изготовления шлифовальных инструментов с ориентированными зернами (патент РФ на изобретение №2369474). Суть способа 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. В частности, приведено описание статического способа прочностных испытаний шлифовальных кругов (патент РФ на изобретение №2292032). Способ базируется 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.

Вместе с положительными сторонами, имеющими место и перечисленными выше в данной диссертации, следует отметить и наличие ряда замечаний по ее содержанию:

1. В диссертации для сортировки зерен по признаку формы применен вибрационный способ отсева. В чем преимущества этого способа в работе недостаточно обосновано.

2. Из диссертации неясно следует ли в обязательном порядке расширять характеристику шлифовальных инструментов новой конструкции в части, например, указания направления вращения круга, указания коэффициента формы, углов ориентации абразивных зерен и др.

3. После сортировки зерен по основной форме исходного абразива остается отход. В работе отсутствуют предложения по вторичному использованию оставшегося абразива или его утилизации.

4. Более высокие эксплуатационные характеристики шлифовальных кругов новых конструкций будут ли компенсировать добавочную стоимость по их изготовлению?

5. В работе целесообразно было бы показать методику расчета технико-экономического обоснования при применении инструментов с контролируемой формой и ориентацией зерен.

### **Заключение по диссертационной работе**

1. Диссертационная работа В.А. Короткова является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические и практические положения, по совокупности которых решена актуальная научная проблема, имеющая важное хозяйственное значение для машиностроительных предприятий страны, заключающаяся в повышении эффективности шлифования путем проектирования и применения абразивных инструментов с заданной формой и ориентацией зерен, обладающих повышенными эксплуатационными возможностями за счет упорядочения формы и ориентации зерен.

2. Тема, цель, задачи и содержание диссертации соответствует заявленной специальности: 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

3. Работа выполнена на достаточном научно-техническом уровне. Методики и средства выполненных исследований адекватны решаемым задачам.

4. Результаты теоретических и экспериментальных исследований, выполненных соискателем, достоверны и достаточны для обоснования сделанных выводов.

5. Диссертация имеет существенную практическую ценность, так как предложенная соискателем методика проектирования и применения абразивных инструментов с заданной формой и ориентацией зерен, математические и методические средства её реализации обеспечивают повышение эффективности операции шлифования.

6. Степень апробации результатов работы путем опубликования основных научных положений в печати, выступлений на научно-практических конференциях, семинарах и внедрения в действующее производство достаточно весомая. Подготовленность и научный потенциал соискателя соответствует сложившемуся уровню требований. Личный вклад соискателя достаточно существенен.

7. Общие выводы отражают в полном объеме полученные в ходе диссертационного исследования основные результаты работы.

Сделанные замечания не снижают важности полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

На основании вышеизложенного считаю, что рецензируемая диссертационная работа Короткова Виталия Александровича по актуальности, научно-техническому уровню, степени обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, их достоверности и новизне, значению для теории и практики **соответствует** требованиям ВАК «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора технических наук, а ее автор Коротков Виталий Александрович **заслуживает** присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

**Официальный оппонент**

Профессор кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»  
Доктор технических наук по специальности 2.5.5 (ранее 05.05.01) – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки», профессор



Янюшкин  
Александр Сергеевич  
Тел. 89083025352  
E-mail: yanyushkinas@mail.ru

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова»,  
428015, Россия, Чувашская республика, г. Чебоксары, Московский проспект, 15.

Подпись руки <i>Янюшкин А.С.</i> завещаю Начальник отдела делопроизводства ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И.Н. Ульянова» <i>И.А. Гордеева</i> <i>02 декабря</i> 20 <i>25</i> г.
---