

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу Короткова Виталия Александровича «Повышение эффективности шлифования сталей путем создания и применения абразивных инструментов с заданной формой и ориентацией зерен», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.5 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»

Актуальность темы

Операции шлифования занимают значимое место в технологических процессах современного автоматизированного интегрированного производства. Эффективность операций шлифования зависит от применяемого оборудования, характеристик шлифовальных кругов, средств контроля и диагностики процесса. Режущая способность шлифовальных кругов определяется рядом показателей, прежде всего абразивным материалом, зернистостью, связкой и другими. Стандартные шлифовальные круги характеризуются тем, что абразивные зерна имеют произвольную форму и неупорядоченное расположение в теле шлифовального инструмента. Форма зёрен изменяется в широком диапазоне от изометрических до пластинчатых разновидностей, что обусловлено спецификой типовых технологических процессов их изготовления. Поэтому лишь относительно небольшая группа зёрен на рабочей поверхности шлифовального круга имеет благоприятную геометрию своих режущих частей и обладает высокой режущей способностью. Как следствие – снижение производительности и качества обработки на финишных операциях технологического процесса.

Ориентация зерен в теле инструмента также оказывает существенное влияние на режущую способность шлифовального круга в целом. Вместе с тем для большинства видов шлифовальных инструментов отсутствуют технологии их изготовления с управляемой ориентацией зёрен относительно рабочей

поверхности. Отсутствуют также технологии производства шлифовальных инструментов, где одновременно регламентируется и форма, и ориентация зёрен. Неупорядоченная форма и произвольная ориентация зёрен, кроме ухудшения условий и результатов шлифования, служат источником возникновения дефектов внутреннего строения абразивных инструментов, что отрицательно влияет на разрывную прочность, допустимую скорость шлифования.

В этой связи не вызывает сомнений **актуальность диссертации** Короткова В.А., в которой поставлена цель и рассмотрены задачи, направленные на повышение эффективности шлифования на основе методологии создания абразивных инструментов с заданной формой и ориентацией зёрен, эффективного способа разделения зёрен по форме, разработки способов и оборудования для проведения комплексных лабораторных испытаний шлифовальных кругов, разработки рекомендаций по управлению эксплуатационными показателями с применением разработанных шлифовальных кругов.

Новизна научных положений и результатов, сформулированных в диссертации

К новым научным положениям, полученным автором диссертации, и обладающим высокой значимостью, следует отнести следующие:

1. Разработанную методологию как совокупность методов создания и изготовления шлифовальных кругов с заданной формой и ориентацией зёрен, позволяющую упорядочить внутреннее строение абразивного инструмента и геометрию его зёрен, что обеспечивает повышение эксплуатационных показателей и эффективность процесса шлифования.

2. Математические зависимости, обобщающие установленную взаимосвязь формы и ориентации зёрен с размером площади их поверхности, количеством в единице объёма шлифовального круга, значениями их передних углов, напряжениями в зёрнах с их прочностью, износом и стойкостью инструмента.

3. Подтвержденное влияние формы и ориентации зёрен на эксплуатационные показатели: режущую способность, коэффициент шлифования, мощность и температуру шлифования, а также на твёрдость, микроструктуру поверхностного слоя и шероховатость обработанных поверхностей.

К новым результатам, полученным в диссертации и имеющим высокую **практическую значимость**, относятся следующие.

1. Разработанные технологии и технологическая оснастка для изготовления шлифовальных кругов с заданной формой и ориентацией зёрен, стенды, установки и приспособления для изучения характеристик зёрен и проведения комплексных испытаний новых конструкций кругов на прочность, режущую способность, износ, мощность резания.

2. Разработанные способы и программные продукты для оценки формы зёрен в пространстве, площади поверхности зёрен и их количества в единице объёма шлифовального круга, передних углов и напряжений в зёрнах с учётом их формы, ориентации, условий обработки и параметров силового нагружения.

3. Разработанные рекомендации по изготовлению и рациональному применению шлифовальных кругов с заданной формой и ориентацией зёрен и практическом использовании полученных в диссертации научных результатов на машиностроительных предприятиях.

Новизна предлагаемых автором технических и технологических решений подтверждена полученными патентами на изобретения и свидетельствами на регистрацию программ для ЭВМ.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Для обоснования цели, постановки задач диссертации и полученных результатов, автором систематизированы и проанализированы ранее полученные экспериментальные данные и многочисленные исследования авторитетных ученых и научных коллективов, занимающихся вопросами исследования физико-

механических и режущих свойств абразивных и алмазных шлифовальных кругов, и их компонентов. Для обоснования полученных результатов использованы положения теории резания материалов и шлифования, теории прочности, метода конечных элементов, математического моделирования, анализа статистических данных по известным оценочным критериям. Степень достоверности результатов, полученных в рамках диссертационных исследований, подтверждена применением системного подхода к решению поставленных задач, обеспечена за счет проведения большого количества экспериментов и испытаний, проведенных в лабораторных условиях, а также подтверждена актами испытаний разработанного инструмента и опробованием технических рекомендаций в производственных условиях на ряде промышленных предприятий.

Оценка содержания диссертации и автореферата, степени опубликования и апробации основных результатов

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и приложений. Диссертация изложена на 362 страницах текста, содержит 124 рисунка, 7 таблиц и списка литературы из 313 наименований. Автореферат диссертации изложен на 42 страницах текста и в полной мере отражает основное содержание диссертации. Диссертация и автореферат оформлены в соответствии с ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».

Во введении приведено обоснование актуальности проблемы повышения эффективности шлифования, описаны цель и задачи исследований, приведена информация о научной новизне, теоретической и практической значимости, степени достоверности и апробации результатов работы, а также научных положений, выносимых на защиту.

В главе 1 диссертации проведен анализ отечественных и зарубежных патентно-литературных источников, стандартов, нормативов, технических

условий и известных результатов изучения эксплуатационных характеристик абразивных зёрен, а также опыт производства и применения абразивных инструментов. Сформулирована цель диссертационной работы и намечены задачи по её достижению.

В главе 2 сформулирован общий подход по созданию и рациональному применению шлифовальных кругов с заданной формой и ориентацией зёрен, приведены критерии, на основании которых разработаны методы и программное обеспечение для оценки площади поверхности зёрен и их количества в единице объёма, получены зависимости и разработана методика по определению величин передних углов шлифовальных зёрен в соответствии с их формой, пространственной ориентацией в теле инструмента и степенью износа, обоснован общий механизм влияния формы и ориентации зёрен на их геометрические, прочностные и стойкостные показатели.

В главе 3 приведен анализ известных способов и технологий ориентации зёрен в шлифовальных инструментах, разработана технология изготовления шлифовальных инструментов на бакелитовой связке на примере отрезных шлифовальных кругов с заданной формой и ориентацией зерен. Изготовлены опытные партии кругов различных конструкций, которые в дальнейшем прошли комплексные испытания в лабораторных условиях, где показали преимущества по сравнению со стандартными шлифовальными кругами. Проведен анализ возможностей повышения эксплуатационных показателей шлифовальных кругов за счет упорядочения внутренней структуры и подбора определённой формы зёрен. Разработан способ повышения работоспособности шлифовальных кругов на бакелитовой связке за счёт применения зёрен игольчато-пластинчатых разновидностей мелких зернистостей, расположенных в наиболее нагруженной под действием центробежной силы зоне вблизи посадочного отверстия кругов.

В главе 4 проведен анализ способов и средств контроля прочности шлифовальных кругов, разработан стенд для динамических испытаний кругов по их предельной частоте вращения. Разработан статический способ прочностных

испытаний шлифовальных кругов, проведены динамические и статические испытания опытных кругов с контролируемой формой зёрен, которые показали возможность повысить разрывную прочность кругов на бакелитовой связке и их рабочую скорость.

В главе 5 приведены результаты комплексных испытаний отрезных шлифовальных кругов с заданной формой и ориентацией зёрен. Рассмотрены эксплуатационные показатели кругов по режущей способности, коэффициенту шлифования, эффективной мощности, показателям качества обработки.

Разработан и использован испытательный стенд для проведения экспериментов по схеме шлифования с постоянным усилием прижатия заготовки к кругу на базе универсально-заточного станка. Для проведения испытаний опытных отрезных кругов по схеме круглого врезного шлифования с постоянной подачей круга разработан и использован стенд на базе токарно-винторезного станка с установленным модулем для круглого шлифования.

Установлены условия, обеспечившие повышение прочности, рабочей скорости шлифовальных кругов, стойкости, снижение шероховатости обработанных поверхностей, температуры шлифования, глубины зоны термического влияния, энергозатрат.

По результатам проведенных исследований получены частные математические зависимости для рассмотренных кругов и схем шлифования, характеризующие эксплуатационные показатели кругов в зависимости от скорости шлифования, коэффициента формы, усилия разрушения, переднего угла зерен.

В главе 6 представлены результаты исследований эксплуатационных показателей опытных шлифовальных кругов с ориентированными зёрнами и разработаны рекомендации по повышению эффективности различных видов шлифования. Используются экспериментальные шлифовальные круги, изготовленные по разработанной технологии. Проведены сравнительные испытания трех конструктивных разновидностей кругов: с радиальной ориентацией, тангенциальной ориентацией и обычные круги без ориентации зерен. Проведенные

исследования подтвердили повышение эксплуатационных характеристик опытных кругов по сравнению со стандартными шлифовальными кругами.

В заключении по диссертации обобщены основные научные и практические результаты исследований. Сформулированы основные выводы по диссертационной работе, отмечено внедрение результатов на ряде промышленных предприятий.

Структура и содержание работы соответствует цели и задачам исследований. Каждая глава диссертации завершается соответствующими выводами. Структура диссертации имеет внутренне единство, написана грамотным литературно-техническим языком, снабжена достаточным количеством корректно оформленного иллюстративного материала.

Опубликованные работы отражают содержание диссертации. Основные результаты диссертации опубликованы в 2 монографиях, 21 статье в изданиях из перечня ВАК и их переводных версиях, а также в 9 статьях в изданиях, входящих в международные наукометрические базы «Scopus» и «Web of Science». Основные положения диссертации многократно доложены автором на профильных международных и всероссийских научно-технических конференциях.

В целом диссертационная работа и автореферат диссертации по структуре и оформлению соответствует установленным требованиям.

Замечания по диссертации

1. Процесс шлифования в современном производстве реализуется на операциях круглого, плоского, бесцентрового, профильного шлифования, а также на специализированных станках посредством применения соответствующих абразивных шлифовальных кругов. Отрезные шлифовальные операции не являются самыми проблемными в ряду перечисленных с точки зрения обеспечения высокой производительности и заданного качества обработки. Соискатель в диссертационной работе не привел веского обоснования, почему в качестве объектов исследований выбраны отрезные круги с заданной формой и ориентацией

зерен, а не шлифовальные круги для других, более значимых операций технологического процесса.

2. В диссертационной работе в качестве одного из эксплуатационных показателей рассмотрена режущая способность или производительность шлифования, характеризующая массу снятого материала заготовки в единицу времени (стр. 191). Производительность обработки на операции шлифования как количество деталей, протшлифованных в единицу времени, будет существенно отличаться от производительности шлифования за счет влияния стойкости и учета времени на правку или замену изношенного круга. Поэтому не ясно, является ли значимой связь производительности шлифования по скорости сошлифованного материала с производительностью операций круглого, плоского или других видов шлифования.

3. Не ясно, какие рекомендации по скорости процесса изнашивания шлифовальных кругов с заданной формой и ориентацией зерен следует учитывать. Разработанные круги работают в режиме самозатачивания или требуется принудительная правка круга? Если такие круги подвергать правке, то какое влияние правка окажет на ориентацию и форму зерен в поверхностном режущем слое круга?

4. В диссертационной работе проведены сравнительные исследования шероховатости обработанных поверхностей для кругов с тангенциальной, радиальной ориентацией зерен по сравнению с кругами без ориентации (рисунок 6.18, стр. 287) в диапазоне 5-6 классов ($Ra=1,9\div 4,4$ мкм) кругами средней зернистости при скорости шлифования 80 м/с. Вместе с тем, при уменьшении коэффициента формы зерен достигается шероховатость $Ra=0,68$ мкм, что соответствует 7 классу (рисунок 5.24, стр. 235). Не ясно, какими факторами можно управлять для изменения шероховатости в таком широком диапазоне? Какова целесообразность разработки и использования мелкозернистых кругов с заданной

формой и тангенциальной ориентацией зерен для обеспечения 7, 8 классов шероховатости обработанных поверхностей?

5. На рисунке 3.11 (стр. 156) диссертации приведена гистограмма оценки процентного отклонения зерен от заданного радиального направления, где 60% зерен имеют отклонения 15° и менее, а 40% зерен имеют отклонение от радиального направления более 15° , соответственно. С другой стороны, в выводах по главе 2 на стр. 129, 130 сказано, для достижения максимальных значений передних углов у зерен и максимальной режущей способности необходимо применять игольчато-пластинчатые зерна с наибольшими коэффициентом формы под углами $\Theta=22,5^\circ\div 90^\circ$ (в особенности $\Theta=22,5^\circ\div 45^\circ$). Для обеспечения максимальной стойкости целесообразно использовать зерна изометрической формы с минимальными коэффициентом формы и тангенциальным направлением ориентации. Аналогичные результаты получены в главе 6 при испытании шлифовальных кругов, где большая режущая способность наблюдается при радиальной ориентации зерен, а меньший износ зерен и шероховатость обработанной поверхности отмечены при тангенциальном расположении зерен. Какой алгоритм предлагает соискатель для поиска компромиссного решения по ориентации и форме зерен?

6. Количественные соотношения, представленные в диссертации в виде графиков или математических уравнений, отражают влияние на эксплуатационные показатели и параметр шероховатости таких переменных как коэффициент формы зерна, усилие разрушения зерен, передний угол, скорость шлифования. Эти переменные, за исключением скорости шлифования, непосредственно не связаны с режимными параметрами на операциях шлифования поверхностей машиностроительных деталей. Каким образом можно учесть количественные результаты исследований при проектировании операций круглого, плоского шлифования?

7. В диссертационной работе не приведен пример проектирования операции отрезного шлифования в серийном производстве с применением

разработанных шлифовальных кругов. Из актов внедрения не просматривается возможность серийного производства таких шлифовальных кругов.

В целом, отмеченные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Объектом исследований диссертационной работы Короткова В.А. являются шлифовальные круги из зёрен с заданной формой и упорядоченной ориентацией в теле инструмента. Предметом исследования является разработка зависимостей влияния формы и ориентации зёрен на их геометрические, прочностные и стойкостные показатели, а также на эксплуатационные показатели шлифовальных кругов и качество обрабатываемых поверхностей.

Таким образом, по своему содержанию диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.5.5 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки», в частности по п.п. 3, 4: «Исследование механических и физико-технических процессов в целях определения параметров оборудования, агрегатов, механизмов и других комплектующих, обеспечивающих выполнение заданных технологических операций и повышение производительности, качества, экологичности и экономичности обработки»; «Создание, включая проектирование, расчеты и оптимизацию, параметров рабочего инструмента и других компонентов оборудования, обеспечивающих технически и экономически эффективные процессы обработки».

Заключение

Диссертационная работа Короткова В.А. в целом соответствует установленным требованиям.

В частности, подготовлена и написана самостоятельно, обладает единством, содержит новые научные результаты и положения, подтверждающие личный вклад автора в науку, и соответствует требованиям п. 10 «Положения о порядке присуждения ученых степеней».

Положения и выводы диссертации опубликованы в полном объеме в рецензируемых научных изданиях из перечня Министерства науки и высшего образования РФ, а также в изданиях, индексируемых в базах «Scopus» и «Web of Science» (всего более 90 публикаций по теме диссертации), 2 монографии, 3 патента РФ на изобретения, 9 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ. Результаты были представлены автором в виде докладов на различных международных и всероссийских конференциях. Таким образом, диссертация удовлетворяет требованиям, предусмотренным п.п. 11, 12 и 13 «Положения о порядке присуждения ученых степеней». При заимствовании материалов в диссертации содержатся необходимые ссылки на литературные источники. При использовании автором результатов научных работ, выполненных в соавторстве, имеются соответствующие упоминания в тексте диссертации. Таким образом, работа удовлетворяет требованиям п. 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней».

В диссертационной работе Короткова В.А. изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, направленные на повышение эффективности шлифования сталей на основе созданных абразивных шлифовальных кругов с заданной формой и ориентацией зерен, имеющие существенное значение для развития отечественной промышленности. Таким образом, диссертация соответствует п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013

№842, и требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.5 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

В целом, диссертация по теме «Повышение эффективности шлифования сталей путем создания и применения абразивных инструментов с заданной формой и ориентацией зерен» содержит обоснованные выводы и рекомендации, соответствует требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени доктора технических наук, а соискатель 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 –

заведующий кафедрой «Инструментальная техника и технологии»

доктор технических наук, профессор



Грубый Сергей Витальевич

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, строение 1

тел.: (499) 263 63 91 <http://www.bmstu.ru/>

E-mail: grusv_16@bmstu.ru

Подпись Грубого С.В. заверяю:



Аудиторский сертификат по персоналу:
Иванов Шагабудинов И. В.
 08.12.2025г.