

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ГУ.9  
ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА (ДОКТОРА) НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 21.09.2023 № 6

О присуждении **Попову Максиму Алексеевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Технологическое обеспечение качества поверхности прецизионных изделий из хладостойких сталей на основе магнитно-абразивной обработки режущего инструмента» по специальности 2.5.6. Технология машиностроения принята к защите 18.07.2023, протокол заседания №4, диссертационным советом ГУ.9 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России, 199106, Санкт-Петербург, линия 21-я В.О., дом 2, приказ ректора Санкт-Петербургского горного университета о создании диссертационного совета от 10.03.2023 № 312 адм.(с изм. от 13.07.2023 № 1090 адм, от 05.09.2023 № 1227 адм).

Соискатель, **Попов Максим Алексеевич**, 11 июля 1995 года рождения, в 2019 году с отличием окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» по направлению подготовки 15.04.02 Технологические машины и оборудование.

С 01.10.2019 года по настоящее время являлся аспирантом очной формы обучения кафедры машиностроения федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре машиностроения в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» Минобрнауки России.

Научный руководитель – **Максаров Вячеслав Викторович**, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», механико-машиностроительный факультет, декан.

Официальные оппоненты:

**Ямников Александр Сергеевич**, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет», кафедра технологии машиностроения, профессор;

**Помпеев Кирилл Павлович**, кандидат технических наук, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», факультет систем управления и робототехники, доцент; дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем машиноведения Российской академии наук (ИПМаш РАН)**, г. Санкт-Петербург, в своем положительном отзыве, подписанном руководителем лаборатории трения и износа, д.т.н. **Седаковой Еленой Борисовной** и утвержденном директором, д.т.н. **Полянским Владимиром Анатольевичем**, указала, что полученные результаты исследования могут быть применены на предприятиях машиностроительного, энергетического и др. комплексов, на которых осуществляется обработка изделий, в том числе из хладостойких сталей, с использованием режущего инструмента на основе режущей керамики. Применение разработанного способа предварительной подготовки режущего инструмента методом магнитно-абразивной обработки позволяет увеличить период стойкости инструмента и обеспечить высокое качество обрабатываемой поверхности изделий, а также сократить технологический процесс обработки деталей за счет упразднения шлифовальной операции.

Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 10 печатных работах, в том числе в 3 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 2 статьях – в издании, входящем в международную базу данных и систему цитирования Scopus.

Общий объем – 4,88 печатных листов, в том числе – 3,38 печатных листов соискателя.

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. **Попов, М.А.** Повышение износостойкости шарошечных долот путем нанесения плазменного безвакуумного тонкопленочного покрытия // Металлообработка. – 2019. – № 5 (113). – С. 34 – 41. (№ 1313 Перечня ред. 18.07.2019)

*Соискателем проведен анализ инновационных методов повышения износостойкости деталей горнодобывающей техники, применяемых в условиях агрессивной внешней среды, в том числе в условиях низких температур климатического холода, и предложен способ повышения ресурса и надежности шарошечных долот.*

2. Максаров, В.В. Влияние радиуса округления режущей кромки на повышение качества поверхностного слоя детали / В.В. Максаров, И.А. Бригаднов, **М.А. Попов** // Известия Тульского государственного университета. Технические науки – 2021. – №9(872). – С.637-644. (№ 1108 Перечня ред. 12.07.2021)

*Соискателем проведено исследование по выявлению закономерностей влияния радиуса округления режущей кромки инструмента на повышение качества поверхностного слоя детали, а также предложен метод магнитно-абразивной обработки для формирования радиуса округления режущей кромки на всей его протяженности.*

3. Максаров, В.В. Исследование влияния радиуса режущей кромки на шероховатость поверхности детали / В.В. Максаров, **М.А. Попов**, В.И. Болобов, В.Г. Куфаев // Металлообработка. – 2023. – №2 (122). – С. 31 – 42. (№ 1546 Перечня ред. 15.02.2023)

*Соискателем проведено исследование по установлению закономерностей влияния радиуса скругления режущей кромки керамических режущих пластин, предварительно подготовленных методом магнитно-абразивной обработки, на шероховатость изделий из стали 45, а также даны рекомендации по выбору режимных параметров предварительной обработки инструмента.*

Публикации в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus:

4. Gorshkov, I.V. Influence of structural parameters of cutting ceramics on quality of processing of machine slideways of metal-cutting equipment in selective formation of instrumentation / I.V. Gorshkov, **М.А. Попов** // Key Engineering Materials. – 2020. – Volume 854. – pp. 64–734 (Горшков, И.В. Влияние структурных параметров режущей керамики на качество обработки направляющих станков металлорежущего оборудования при селективном формировании инструмента / И.В. Горшков, **М.А. Попов** // Key Engineering Materials. – 2020. – Том 854. – стр. 64-734).

*Соискателем проведен анализ современных методов обработки направляющих станин с обеспечением требуемых параметров точности и качества обрабатываемых поверхностей. Для повышения производительности обработки было предложено заменить операцию*

*чистового шлифования на чистовое фрезерованием с использованием керамических режущих пластин. Изучен метод замены технологических операций на примере обработки станины из серого чугуна марки «СЧ-20».*

5. Maksarov, V.V. Influence of magnetic-abrasive machining parameters on ceramic cutting tools for technological quality assurance of precision products from cold-resistant steels / V.V. Maksarov, **М.А. Попов**, V.P. Zakharova // Chernye Metally, – 2023 (1), – pp. 67–73 (Максаров, В.В. Влияние параметров магнитно-абразивной обработки на керамический режущий инструмент для технологического обеспечения качества прецизионных изделий из хладостойких сталей / В.В. Максаров, **М.А. Попов**, В.П. Захарова // Черные металлы, – 2023 (1), – с. 67-73.)

*Соискателем проведены экспериментальные исследования по выявлению режимных параметров магнитно-абразивной обработки керамического режущего инструмента, формирующих геометрию режущей кромки и снижающих шероховатость передней и задней поверхностей инструмента, а также проведены исследования по обеспечению технологического качества прецизионных изделий из хладостойких сталей с использованием предварительно подготовленных твердосплавных пластин марки ВОК-60.*

Публикации в прочих изданиях:

6. Халимоненко, А.Д. Технология машиностроения как составляющая часть базы технических знаний подготовки студентов / А.Д. Халимоненко, **М.А. Попов** // Сборник научных трудов III Всероссийской научной конференции «Современные образовательные технологии в подготовке специалистов для минерально-сырьевого комплекса», Санкт-Петербург, Горный университет. – 2020. – С. 742-746.

*Соискателем проведен анализ существующих учебных программ по направлению технология машиностроения и предложены инновационные методы обучения, повышающие вовлеченность учащихся в учебный процесс.*

7. Халимоненко, А.Д. Микроструктура режущей керамики, как фактор эффективности процесса механической обработки / А.Д. Халимоненко, Е.Г. Злотников, И.В. Горшков, **М.А. Попов** // Сборник научных трудов Международного семинара «Нанопизика и Наноматериалы», Санкт-Петербург, Горный университет. – 2020. – С. 398-401.

*Соискателем проведен анализ микроструктуры керамических режущих пластин марки ВОК-60 и определены факторы, оказывающие наибольшее влияние на процесс механической обработки и на качество получаемой поверхности заготовки.*

8. Горшков, И.В. Формирование инновационной образовательной

среды для подготовки молодых специалистов минерально-сырьевого комплекса / И.В. Горшков, **М.А. Попов** // Сборник научных трудов IV Всероссийской научной конференции «Современные образовательные технологии в подготовке специалистов для минерально-сырьевого комплекса», Санкт-Петербург, Горный университет. – 2021. – С. 291-293.

*Соискателем проведено исследование и предложены инновационные образовательные технологии и методы, позволяющие подготавливать студентов к реальным задачам производства и сокращающие период адаптации и интеграции выпускников в производственный процесс.*

9. Халимоненко, А.Д. Обработка изделий цилиндрической формы методом магнитно-абразивной обработки с предварительным травлением нанослоя поверхности заготовки / И.В. Горшков, **М.А. Попов** // Сборник научных трудов Международного семинара «Нанозифика и Наноматериалы», Санкт-Петербург, Горный университет. – 2021. – С. 318-326.

*Соискателем предложен современный метод обработки цилиндрических изделий с использованием метода магнитно-абразивной обработки с предварительным травлением нанослоя поверхности заготовки.*

10. Халимоненко, А.Д. Формирование микрорельефа при магнитно-абразивной обработке режущих керамических пластин / **М.А. Попов**, А.С. Кузьмина // Сборник научных трудов Международного семинара «Нанозифика и Наноматериалы», Санкт-Петербург, Горный университет. – С. 325-331.

*Соискателем проведено комплексное исследование по определению влияния магнитно-абразивной обработки на формирование микрорельефа керамических режущих пластин.*

Патент:

11. Патент № 212068 U1 Российская Федерация, МПК В23Q 3/06 (2006.01), МПК В23Р 15/28 (2006.01). Устройство для крепления режущих пластин: №2022103148: заявл. 09.02.2022: опубл. 05.07.2022 / Максаров В.В., Кексин А.И., Халимоненко А.Д., **Попов М.А.**; заявитель Санкт-Петербургский горный университет. – 9 с.: ил.

*Соискателем проведен патентный поиск, а также разработано устройство для крепления режущих пластин с целью их предварительной подготовки методом магнитно-абразивной обработки в промышленных масштабах.*

Апробация работы проведена на научных конференциях с докладами: III Всероссийская научная конференция «Современные образовательные технологии в подготовке специалистов для минерально-сырьевого

комплекса» (Санкт-Петербург, 5-6 марта 2020 г.), Международный семинар «Нанофизика и Наноматериалы» (Санкт-Петербург, 25-26 ноября 2020 г.), IV Всероссийская научной конференции «Современные образовательные технологии в подготовке специалистов для минерально-сырьевого комплекса» (Санкт-Петербург, 4-5 марта 2021 г.), Международный симпозиум «Нанофизика и Наноматериалы» (Санкт-Петербург, 24-25 ноября 2021 г.), Международный симпозиум «Нанофизика и Наноматериалы», (Санкт-Петербург, 23-24 ноября 2022 г.).

В диссертации **Попова Максима Алексеевича** отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: начальника конструкторского отдела по выполнению ГОЗ Инженерного центра АО «Завод «Универсалмаш», к.э.н. **А.С. Скоробогатова**; начальника СКТО ПК «ЦНТУ «Прометей», к.т.н. **Н.Г. Шведова**; профессора кафедры Е2 Технологии и производство артиллерийского вооружения ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», д.т.н., профессора **В.М. Петрова**; доцента Высшей школы машиностроения ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет», к.т.н., доцента **С.А. Любомудрова**, профессора кафедры «Технология и оборудование машиностроительных производств» ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», д.т.н. **В.М. Свинина**; директора по персоналу ПАО «ОДК-Сатурн», к.т.н. **С.И. Жуковой**.

В отзывах дана положительная оценка проведенных исследований, отмечена актуальность темы, степень проработки вопроса и профессиональный подход к решению поставленных задач, однако имеется ряд замечаний:

1. Из текста автореферата следует, что соискателем рассматривалось шаржирование абразивными частицами при проведение финишной операции шлифование как проблема при механической обработке прецизионных изделий из хладостойких сталей, однако не уточнено, что данный эффект (шаржирование абразивными частицами) происходит только при нарушении режимов механической обработки (**к.э.н. А.С. Скоробогатов**);

2. На стр.9 автореферата указано, что с использованием инструмента, предварительно подготовленного методом магнитно-абразивной обработки, качество поверхности обработанных хладостойких сталей достигает значения шероховатости  $Ra = 0,8$  мкм. Непонятно, почему

значение шероховатости  $Ra = 0,8$  мкм невозможно получить на хладостойких сталях при механической обработке обычным инструментом (резцом), так как согласно ГОСТ Р 70117-2022 «Шероховатость поверхностей. Рекомендации по выбору» для чистового обтачивания с продольной подачей, по 6-му качеству, значение параметров шероховатости, как раз составляет  $Ra = 0,8$  мкм (к.э.н. А.С. Скоробогатов);

3. На стр.17 автореферата приведены режимы, в качестве рекомендаций по токарной обработке изделий из хладостойкой стали:  $V=350$  м/мин, глубина  $t=0,05$  мм, подача  $S=0,1$  мм/об. Стоит уточнить, каким образом получены параметры приведенных режимов (к.э.н. А.С. Скоробогатов);

4. В тексте не оговаривается причина выбора режущего инструмента марки ВОК-60 (к.т.н. Н.Г. Шведов);

5. При обработке керамических режущих пластин ВОК-60 с использованием метода магнитно-абразивной обработки автором выбран диапазон значений варьируемых параметров обработки, однако не приводится обоснования выбора именно данного диапазона значений (д.т.н. В.М. Петров);

6. В процессе магнитно-абразивной обработки керамических пластин в качестве режущего инструмента выступает магнитно-абразивный порошок марки «АЛВОПОЛ» (фракция  $\Delta = 180...250$  мкм), но сведения о причинах выбора именно данной марки и состава порошка в тексте диссертации недостаточно (д.т.н. В.М. Петров);

7. Почему не рассматривалась возможность использования магнитно-абразивного метода для прямой обработки изделий из хладостойкой стали 40Х2Н2МА после термической обработки, а не в качестве предварительной подготовки инструмента? (д.т.н. В.М. Петров);

8. В тексте автореферата не указано, на каком контрольно-измерительном оборудовании проводились измерения (к.т.н. С.А. Любомудров);

9. Почему в качестве инструмента для обработки хладостойких сталей были выбраны керамические пластины марки ВОК-60? (к.т.н. С.А. Любомудров);

10. Из текста автореферата не ясно, за счет чего сокращается время приработки инструмента (д.т.н. В.М. Свинин);

11. Нет однозначной информации, сохраняется ли подобная тенденция, описанная в тексте автореферата, при обработке других материалов и марок стали (д.т.н. В.М. Свинин).

12. К сожалению, из автореферата не ясно, почему авторы остановились на выборе магнитно-абразивного порошка «АЛВОПОЛ» (к.т.н. **С.И. Жукова**);

13. К сожалению, не для всех физических величин, приведенных в автореферате, указана размерность, что может затруднять сутевое понимание (к.т.н. **С.И. Жукова**);

14. Выводы 1, 9, 10 автореферата не имеют констатационный характер (к.т.н. **С.И. Жукова**).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается компетентностью оппонентов в соответствующей отрасли науки и наличием у них публикаций в сфере исследования, а также широкой известностью ведущей организации своими достижениями по соответствующей теме исследования отрасли наук и способностью определить научную и практическую значимость диссертационной работы.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработана** новая научная идея, заключающаяся в технологическом обеспечении качества прецизионных поверхностей изделий из хладостойкой стали при их обработке режущим инструментом, оснащенным сменными многогранными керамическими пластинами, предварительно подготовленными магнитно-абразивным методом и характеризующимися низкой шероховатостью передней и задней поверхностей, а также определенным радиусом скругления режущей кромки инструмента;

**предложены** оригинальные суждения по заявленной тематике и нетрадиционный подход по обеспечению высокого качества прецизионных поверхностей изделий из хладостойких сталей основанный на предварительной подготовке режущего инструмента методом магнитно-абразивной обработки;

**доказана** перспективность использования новой идеи на практике по предварительной подготовке режущего инструмента методом магнитно-абразивной обработки, позволяющей увеличить срок службы инструмента, сократить технологический процесс и обеспечить требуемое высокое качества обработки прецизионных поверхностей изделий из хладостойких сталей на практике, наличие зависимостей геометрии инструмента, его шероховатости передней и задней поверхностей на качество обрабатываемых материалов;

**введены** измененные трактовки старых понятий, в частности, качества подготовки режущего инструмента перед обработкой прецизионных поверхностей из хладостойкой стали.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказаны** положения о способе магнитно-абразивной обработки кромок и рабочих поверхностей керамических режущих пластин марки ВОК-60, которые позволяют увеличить износостойкость и ресурс керамического режущего инструмента, а также снизить время его приработки за счет нивелирования дефектного слоя и следов предыдущей обработки, уменьшить шероховатость режущих поверхностей до  $R_a = 0,1$  мкм и сформировать радиус скругления режущей кромки  $\rho$  в диапазоне от 20 до 40 мкм; об регрессионных математических зависимостях для оценки эффективности варьируемых параметров системы и получения прогнозируемых значений шероховатости поверхности, удельного съема материала с единицы площади, радиуса скругления режущей кромки; о способе технологической обработки изделия с использованием предварительно подготовленного инструмента методом магнитно-абразивной обработки, позволяющем сократить количество проводимых операций, уменьшить период приработки инструмента, увеличить износостойкость инструмента в 2,7 раза, повысить устойчивость динамической системы обработки;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов)

**использован** комплекс существующих базовых методов исследования, в том числе экспериментальных методик;

**изложены** факты применения магнитно-абразивной обработки режущего инструмента и последующего его использования при обработке различных металлических материалов;

**раскрыты** существенные проявления теории: противоречия теории технологии обработки режущих кромок и поверхностей керамического режущего инструмента и дефектов поверхности после обработки;

**изучены** факторы, влияющие на формирование шероховатости передней и задней поверхностей режущего инструмента, радиус скругления его режущей кромки и удельный съем материала с единицы площади при магнитно-абразивной обработке керамических многогранных пластин, а также установлены связи данного процесса предварительной подготовки инструмента с получаемым качеством прецизионной поверхности изделий из хладостойкой стали в процессе чистового точения заготовки;

**проведена модернизация** существующих алгоритмов осуществления магнитно-абразивной обработки режущих кромок и поверхностей инструмента, обеспечивающих получение новых результатов по теме диссертации.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

**разработана и внедрена** технология предварительной подготовки режущего инструмента методом магнитно-абразивной обработки в учебный процесс подготовки бакалавров по направлению 15.03.01 – Машиностроение, программа подготовки «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств» Санкт-Петербургского горного университета; апробированы на промышленных предприятиях АО ВО «Электроаппарат» и АО «Завод «Энергия»;

**определены** пределы и перспективы практического использования теории предварительной подготовки режущего инструмента методом магнитно-абразивной обработки на практике для обработки прецизионных поверхностей изделий из хладостойких сталей;

**создана** система практических рекомендаций по предварительной подготовке инструмента и технологическому обеспечению качества прецизионных поверхностей изделий из хладостойких сталей;

**представлены** предложения по дальнейшему совершенствованию процесса предварительной подготовки инструмента магнитно-абразивным методом для обработки других марок материалов и совершенствования технологического процесса обработки.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ** результаты получены на сертифицированном оборудовании, исследования проводились согласно общепринятой теории планирования эксперимента, показана воспроизводимость результатов исследования в различных условиях;

**теория** построена на известных, проверяемых данных и фактах, согласуется с опубликованными данными по теме диссертации;

**идея базируется** на обобщении передового опыта технологии магнитно-абразивной обработки режущего инструмента для формирования новой геометрии режущей кромки и снижении шероховатости рабочих поверхностей;

**использованы** сравнения авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике;

**установлено** качественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике;

**использованы** современные методики сбора и обработки исходной информации в контексте поставленных и решенных в диссертации задач.

