

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.332.01,
созданного на базе Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования «Московский
государственный технологический университет «СТАНКИН» Министерства
науки и высшего образования Российской Федерации, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 26 декабря 2023 г. № 19

О присуждении Мустафаеву Энверу Серверовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени **кандидата технических наук**.

Диссертация на тему «Повышение эксплуатационных показателей концевых твердосплавных микрофрез за счет плазменно-пучковой модификации поверхности» по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки» принята к защите 26 октября 2023 г., протокол № 16, диссертационным советом 24.2.332.01, созданным на базе ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 127994, ГСП-4, г. Москва, Вадковский переулок, д. 3а, приказом от 01.04.2013 г. № 156/нк.

Соискатель, Мустафаев Энвер Серверович, 1995 года рождения, в 2019 году с отличием окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН» Минобрнауки России по направлению подготовки «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» с присвоением квалификации МАГИСТР.

В 2023 году окончил очное отделение аспирантуры федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН». Справка об обучении в аспирантуре с указанием сведений о сдаче

кандидатских экзаменов выдана в октябре 2023 года ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН».

В период подготовки диссертации Мустафаев Энвер Серверович с июня 2020 года по настоящее время работает младшим научным сотрудником кафедры высокоэффективных технологий обработки федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН».

Диссертация была выполнена на кафедре высокоэффективных технологий обработки федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, г. Москва.

Научный руководитель – Метель Александр Сергеевич, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры высокоэффективных технологий обработки федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», г. Москва.

Официальные оппоненты:

Галиновский Андрей Леонидович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой СМ12 «Технологии ракетно-космического машиностроения» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва,

Вайнштейн Дмитрий Львович, кандидат технических наук, заместитель директора общества с ограниченной ответственностью Научно-техническое внедренческое предприятие «Поверхность», г. Москва, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский университет науки и технологий», г. Уфа, в своем положительном отзыве, подписанном Рамазановым

Камилем Нуруллаевичем, доктором технических наук, доцентом, заведующим кафедрой «Технология машиностроения», и утвержденном Агеевым Георгием Константиновичем, кандидатом технических наук, доцентом, проректором по инновационной деятельности, указала, что диссертация Мустафаева Энвера Серверовича является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей существенное значение в области физических процессов модификации режущих кромок микрофрез высокоэнергетическими частицами, вследствие чего повышается стойкость инструмента при их дальнейшей обработке. Диссертационная работа Мустафаева Энвера Серверовича направлена на решение актуальной задачи повышения эксплуатационных характеристик фрез диаметром меньше 1 мм. Предложена комплексная плазменно-пучковая обработка твердосплавных микрофрез, состоящая из обработки инструмента пучками быстрых атомов аргона с энергией 5 кэВ в течение 180 минут для заострения режущих кромок и последующего нанесения износостойких покрытий TiB₂ толщиной 3 мкм методом магнетронного распыления. Разработана модель для расчета силовых параметров при фрезеровании твердосплавными микрофрезами деталей из латуни. Проведены сравнительные испытания фрез без покрытия и с комплексной обработкой. Разработанная технология позволяет повысить стойкость инструмента в 2 раза.

Диссертация Мустафаева Энвера Серверовича, соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (с изменениями, внесенными Постановлением Правительства РФ от 21 апреля 2016 г. № 335), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор, Мустафаев Энвер Серверович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки).

Соискатель имеет 20 опубликованных работ по теме диссертации (общий объём – 196 с., авторских – 34,3 с.), из них 2 статьи (общий объём – 8 с., авторских – 2 с.) в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки, и 12 публикаций (общий объём – 153 с., авторских – 25 с.) в наукометрических

базах данных Web of Science и Scopus; получены 6 патентов Российской Федерации на изобретения.

Научные работы по теме диссертации:

1. Метель, А.С. Нагрев инструмента пучком быстрых атомов, формируемым погруженной в плазму сеткой / А.С. Метель, Э.С. **Мустафаев**, Х.А. Нэй // Вестник МГТУ «СТАНКИН». – 2019. – № 4(51). – С. 38-40.

2. Метель, А.С. Метод упрочнения инструмента покрытием из нитрида титана, синтезируемым при испарении титана в тигле-аноде тлеющего разряда / Ю.А. Мельник, А.С. Метель, Э.С. **Мустафаев**, Х.А. Нэй // Вестник МГТУ «СТАНКИН». – 2018. – № 4(47). – С. 94-98.

3. Grigoriev, S.N. Micro End Mill Capability Improvement Due to Processing by Fast Argon Atoms and Deposition of Wear-Resistant Coating / S.N. Grigoriev, A. Metel, **E. Mustafaev**, Y. Melnik, M. Volosova // Metals. – 2023. – Vol. 13, No. 8. – P. 1404.

4. Metel, A.S. Removal of Wear-Resistant Coatings from Cutting Tools by Fast Argon Atoms / A.S. Metel, M.A. Volosova, Y.A. Melnik, S.N. Grigoriev, **E.S. Mustafaev** // Coatings. – 2023. – Vol. 13, No. 6. – P. 999.

5. Grigoriev, S. Specific features of the structure and properties of arc-PVD coatings depending on the spatial arrangement of the sample in the chamber / S. Grigoriev, **E. Mustafaev**, A. Vereschaka, V. Zelenkov, N. Sitnikov, J. Bublikov, F. Milovich, N. Andreev // Vacuum. – 2022. – Vol. 200. – P. 111047.

6. Metel, A.S. Compression of a Beam of Fast Argon Atoms for Surface Polishing / A.S. Metel, S.N. Grigoriev, M.A. Volosova, Y.A. Melnik, **E.S. Mustafaev** // Instruments and Experimental Techniques. – 2022. – Vol. 65, No. 6. – P. 910-917.

7. Metel, A. Plasma-Beam Processing of Tools Made of SiAlON Dielectric Ceramics to Increase Wear Resistance When Cutting Nickel–Chromium Alloys / A. Metel, M. Volosova, **E. Mustafaev**, Y. Melnik, A. Seleznev // Coatings. – 2022. – Vol. 12, No. 4.

8. Grigoriev, S.N. Combined Treatment of Parts Produced by Additive Manufacturing Methods for Improving the Surface Quality / S.N. Grigoriev, A.S. Metel, M.A. Volosova, Y. Melnik, **E. Mustafaev** // Technologies. – 2022. – Vol. 10, No. 6. – P. 130.

9. Fedorov, S.V. Milling of electron beam melting Ti-6Al-4V by HSS instrument with combined surface treatment / S.V. Fedorov, T. Oo, **E.S. Mustafaev** // Materials Science Forum. – 2021. – Vol. 1037 MSF. – P. 245-250.

10. Metel, A. Combined processing of micro cutters using a beam of fast argon atoms in plasma / A. Metel, Y. Melnik, **E. Mustafaev**, I. Minin, P. Pivkin // Coatings. – 2021. – Vol. 11, No. 4.

11. Metel, A. Synthesis of aluminum nitride coatings assisted by fast argon atoms in a magnetron sputtering system with a separate input of argon and nitrogen / A. Metel, S. Grigoriev, M. Volosova, Y. Melnik, **E. Mustafaev** // Surface and Coatings Technology. – 2020. – Vol. 398. – P. 126078.

12. Metel, A. Surface hardening of machine parts using nitriding and TiN coating deposition in glow discharge / A. Metel, S. Grigoriev, Y. Melnik, M. Volosova, **E. Mustafaev** // Machines. – 2020. – Vol. 8, No. 3. – P. 42.

13. Fedorov, S.V. The formation of the cutting tool microgeometry by pulsed laser ablation / S.V. Fedorov, E.A. Ostrikov, **E.S. Mustafaev**, K. Hamdy // Mechanics and Industry. – 2019. – Vol. 19, No. 7. – P. 703.

14. Grigoriev, S. Surface Hardening of Massive Steel Products in the Low-pressure Glow Discharge Plasma / S.N. Grigoriev, A. Metel, M. Volosova, Y. Melnik, H. Ney, **E. Mustafaev** // Technologies. – 2019. – Vol. 7(3). – P. 62.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Альметьевский государственный нефтяной институт» (г. Альметьевск). Отзыв подписал доктор технических наук, доцент, проректор по научной работе Реченко Денис Сергеевич.

2. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (г. Пермь). Отзыв подписала доктор технических наук, профессор кафедры «Инновационные технологии машиностроения» Каменева Анна Львовна.

3. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (г. Томск). Отзыв подписали кандидат технических наук,

профессор, старший научный сотрудник лаборатории пучково-плазменной модификации диэлектриков кафедры физики Тюньков Андрей Владимирович и доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой физики Окс Ефим Михайлович.

4. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (г. Иркутск). Отзыв подписал доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технология и оборудование машиностроительных производств» Пономарев Борис Борисович.

5. Волжский политехнический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» (г. Волжский). Отзыв подписал доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология и оборудование машиностроительных производств» Носенко Владимир Андреевич.

6. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромской государственный университет» (г. Кострома). Отзыв подписал кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой общей и теоретической физики Шадрин Сергей Юрьевич.

7. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики имени А.Ю. Ишлинского Российской академии наук (г. Москва). Отзыв подписал доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории трибологии Солдатенков Иван Алексеевич.

8. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (г. Москва). Отзыв подписал кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой 307 «Цифровые технологии и информационные системы» Васильев Федор Владимирович.

Все отзывы положительные, но имеются замечания:

1. В п. 1 положений, выносимых на защиту непонятно, о каком радиусе идет речь, о радиусе между торцевой и периферийной режущими кромками или об условном вписанном радиусе округления лезвия, характеризующим остроту

зубьев. При этом вопросы влияния условного вписанного радиуса округления лезвия на качественные показатели обработки в зависимости от режимов резания рассмотрены в диссертационной работе Реченко Д.С. «Повышение эффективности твердосплавного финишного лезвийного инструмента путем сверхскоростного затачивания и разработки комплекса условий его эксплуатации» 2018 года, однако ссылок в автореферате на данную работу не приводится.

2. Упрочняющее покрытие типа TiB_2 на зубьях фрез обеспечивает стабильную его работу при толщинах порядка 10...15 мкм, однако в работе применялось данное покрытие, имеющее толщину 3 мкм?

3. В работе предложен способ затачивания твердосплавных концевых микрофрез основанный на применении пучков быстрых атомов аргона, которые вызывают значительные тепловыделения, что в свою очередь приводит к значительному разупрочнению режущего клина и как следствие приводит к значительному снижению стойкости режущего инструмента. Исследовался ли этот вопрос?

4. Из текста автореферата не ясно, под каким потенциалом находились фрезы во время первого этапа обработки быстрыми атомами аргона.

5. Почему выбраны такие размеры инструмента, материала и фирма-производитель?

6. Могут ли использоваться результаты работы для микрофрез других производителей инструмента, изготовленных из материалов, отличающихся от использованных в работе и имеющих диаметр менее 1 мм?

7. Насколько универсальны предложенные решения?

8. Вся глава 3 посвящена исследованию силовых параметров при фрезеровании концевыми микрофрезами. Тем не менее, в автореферате отсутствуют сведения о модели силоизмерительного комплекса и методике измерений.

9. Чем обусловлена необходимость представления составляющих силы резания в килограммах (рис. 9, табл. 6) и ньютонах (табл. 3, 4, 5).

10. Во второй главе не дано объяснение, почему было выбрано время обработки режущих кромок пучком быстрых нейтральных атомов аргона – в течение 3 часов. Чем это обосновано?

11. Из автореферата трудно понять, выполнялся ли в работе анализ влияния параметров плазменно-пучковой модификации поверхности инструмента на его стабильность и надежность.

12. Согласно данным рис. 13, износ микрофрез достигает 150 мкм, тогда как толщина TiV_2 покрытия составляет всего 3 мкм. В связи с этим следовало бы пояснить, чем объясняется существенное влияние на износ, показанное на рис. 13, столь тонкого покрытия.

13. В тексте автореферата не рассмотрено влияние обработки пучком быстрых нейтральных атомов аргона на свойства поверхностного слоя инструментального материала микрофрезы. Какие изменения претерпевает поверхностный слой твердосплавной основы?

14. В работе не дана оценка влияние обработки пучком атомов на изменение торцевого радиуса режущей кромки микрофрез.

Остальные замечания связаны либо с неточностью формулировок, либо носят редакционный или рекомендательный характер и будут учтены в дальнейшей работе (ПНИПУ, ТУСУР, КГУ, ИПМЕХ РАН, МАИ).

Выбор официальных оппонентов основан на их высоком профессионализме в области технологий и оборудования для механической и физико-технической обработки, научных публикациях в данном направлении исследований, а ведущей организации – способностью оценить научную новизну и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны технические и технологические решения, направленные на повышение эксплуатационных показателей концевых твердосплавных микрофрез при обработке изделий из латуни за счет технологии комплексной плазменно-пучковой модификации поверхностного слоя инструмента, включающей

обработку пучками быстрых атомов аргона и нанесение вакуумно-плазменных износостойких покрытий TiB_2 ;

предложена технология комплексной плазменно-пучковой модификации поверхностного слоя твердосплавных микрофрез, включающая заострение режущих кромок пучками быстрых атомов аргона и нанесение вакуумно-плазменных износостойких покрытий;

доказано наличие связи составляющих силы резания при микрофрезеровании деталей из латуни от факторов, связанных с размером радиуса скругления режущих кромок концевых микрофрез диаметром 1 мм и режимами резания.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы разработанные принципы заострения быстрыми атомами аргона режущих кромок твердосплавных концевых микрофрез диаметром до 1 мм, обеспечивающих снижение радиуса скругления с 4 мкм до 1 мкм;

изложены результаты теоретического анализа заострения быстрыми атомами аргона режущих кромок твердосплавных микрофрез;

раскрыты закономерности изменения радиуса скругления режущей кромки от энергии частиц бомбардирующих поверхность и продолжительности обработки;

изучены зависимости влияния факторов, связанных с размером радиуса скругления режущих кромок концевых микрофрез и режимов резания (подача, скорость резания, глубина), на составляющие силы резания, возникающие при микрофрезеровании деталей.

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

разработаны и внедрены рекомендации по повышению эксплуатационных показателей твердосплавных концевых микрофрез за счет усовершенствования вакуумно-плазменного оборудования, позволившего в едином цикле выполнять комплексную плазменно-пучковую модификацию твердосплавных концевых микрофрез - выбор рационального режима заострения кромок микрофрез пучками

быстрых атомов и последующее магнетронное осаждение износостойких покрытий TiB_2 ;

определены перспективы практического использования научного и методического подходов соискателя для практического применения к микрофрезам из других марок твердого сплава с различными размерами;

приведены результаты исследования составляющих сил резания при микрофрезеровании, связанных с размерами радиуса скругления режущей кромки концевых микрофрез;

создан технологический алгоритм с подобранными режимами для выполнения плазменно-пучковой модификации микрофрез;

представлены практические рекомендации, вытекающие из результатов оценки эксплуатационных показателей концевых микрофрез после плазменно-пучковой модификации.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты получены на современном сертифицированном и поверенном оборудовании (Tescan, D2 Phaser) и сертифицированные средства измерения, имеющие действующие свидетельства о поверке, с использованием общепринятых стандартизованных методик: определение толщины покрытий на микрофрезах осуществлялось посредством профилометрии на стилусном профилометре Dektak XT производства «Bruker»; измерения радиуса скругления режущих кромок выполнялись с использованием оптической измерительной системы MikroCAD premium+ производства «GF Messtechnik GmbH»; микроструктуру поверхностного слоя микрофрез изучали посредством сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на оборудовании PHENOM G2 PRO производства «PHENOM»;

теория основана на известных положениях теории резания материалов, принципах генерации пучков быстрых атомов аргона с использованием плазмы тлеющего разряда и вакуумно-плазменного (магнетронного) осаждения износостойких покрытий;

идея базируется на том, что заострение режущих кромок концевых микрофрез воздействием пучками быстрых атомов аргона, а затем нанесение на их рабочие поверхности износостойких покрытий на основе диборида титана (TiB_2),

позволяет увеличить эксплуатационные показатели микроинструмента (стойкость инструмента и качество обработанных канавок в деталях из латуни);

использованы современные методики сбора и обработки информации, данные из трудов отечественных и зарубежных ученых в таких областях, как теория резания и в области модификации поверхностного слоя изделий;

установлено, что разработанные по результатам исследований решения для комплексной плазменно-пучковой модификации концевых микрофрез, включающей заострение режущих кромок пучками быстрых нейтральных атомов аргона и последующее осаждение покрытий из TiB_2 , повышают эксплуатационные показатели инструмента, что обеспечивает возможность практического использования полученных зависимостей при технологической подготовке производства.

Личный вклад соискателя состоит в формулировании цели и задач исследования, выборе и обосновании использованных методов и средств исследования, в проведении обзора научно-технической информации по теме исследования в российской и зарубежной литературе, в проведении теоретических и экспериментальных исследований, в обработке, обобщении и анализе полученных результатов, формулировке выводов и положений, выносимых на защиту, а также в апробации теоретических и экспериментальных исследований и подготовке публикаций по выполненной работе.

В ходе защиты диссертации не были высказаны существенные критические замечания.

Соискатель Мустафаев Энвер Серверович ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, привел собственную аргументацию и согласился с некоторыми замечаниями.

На заседании 26 декабря 2023 года диссертационный совет принял решение за научно-обоснованные технические, технологические и иные решения и разработки, направленные на повышение эксплуатационных показателей концевых твердосплавных микрофрез (диаметром не более 1 мм) путем комплексной плазменно-пучковой модификации поверхностного слоя микроинструмента, включающей заострение режущих кромок пучками быстрых атомов аргона и

нанесение вакуумно-плазменных износостойких покрытий, имеющие существенное значение для развития инструментальной отрасли страны, присудить Мустафаеву Энверу Серверовичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 8 докторов наук по специальности 2.5.5, участвовавших в заседании, из 28 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: «за» – 19, «против» – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Заместитель председателя
диссертационного совета



Владимир Андреевич Гречишников

Ученый секретарь
диссертационного совета

Екатерина Сергеевна Сотова

«26» декабря 2023 г.

