

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.332.01,**  
созданного на базе Федерального государственного автономного  
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 01 июля 2025 г. № 12

О присуждении Тету У, гражданину Республики Союз Мьянма, ученой степени **кандидата технических наук.**

Диссертация на тему «Улучшение обрабатываемости сплавов на основе титана путем рационального выбора поверхностной обработки инструмента» по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки» принята к защите 30 апреля 2025 г., протокол № 7, диссертационным советом 24.2.332.01, созданным на базе ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 127055, г. Москва, Вадковский переулок, д. 3а, приказом от 01.04.2013 г. № 156/нк.

Соискатель Тет У, 1992 года рождения, гражданин Республики Союз Мьянма, в 2018 году окончил магистратуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН» Минобрнауки России, г. Москва по направлению подготовки 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», присуждена степень МАГИСТРА.

В 2023 году окончил очное отделение аспирантуры на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации,

г. Москва. Справка об обучении в аспирантуре с указанием сведений о сдаче кандидатских экзаменов выдана в апреле 2025 года ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН».

Работа выполнена на кафедре высокоэффективных технологий обработки федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», г. Москва.

Научный руководитель – Федоров Сергей Вольдемарович, кандидат технических наук, доцент кафедры высокоэффективных технологий обработки федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», г. Москва.

Официальные оппоненты:

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

**Вайнштейн Дмитрий Львович**, кандидат физико-математических 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, членом-корреспондентом академии наук Республики Башкортостан, заведующим кафедрой «Технология машиностроения», и утвержденном Шарафуллинским Ильдусом Фанисовичем, доктором физико-математических наук, доцентом,

проректором по научной работе, указала, что диссертация Тет У на тему «Улучшение обрабатываемости сплавов на основе титана путем рационального выбора поверхности обработки инструмента» является научно-квалифицированной работой, в которой изложены новые научно-обоснованные результаты, имеющие важное значение при разработке технологии и оборудования механической и физико-технической обработки.

Ведущая организация считает, что диссертация Тет У соответствует требованиям п. 9–14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 (с изменениями, внесенными Постановлением Правительства РФ от 16.10.2024 г. № 15), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, и ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Соискатель имеет 8 опубликованных работ по теме диссертации (общий объём – 55 с., авторских – 23 с.), в том числе 2 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК (общий объём – 20 с., авторских – 8 с.), из которых 1 статья – в журнале, индексируемом в базе данных Scopus (общий объём – 6 с., авторских – 3 с.), 3 публикации в журналах, входящих в РИНЦ, и 3 публикации в сборниках материалов международных научно-технических конференций.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. **Tet Oo**. Milling of Electron Beam Melting Ti-6Al-4V by HSS Instrument with Combined Surface Treatment / **Tet Oo**, S.V. Fedorov, E.S. Mustafayev // Materials Science Forum. 2021. V. 1037. P. 245–250.

2. Федоров, С.В. Повышение стойкости концевых твердосплавных фрез при обработке титановых сплавов путем комбинирования износостойких и антифрикционных слоев покрытия / С.В. Федоров, Тет У, А.С. Куликова // Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2025. № 3. (в печати).

3. **Thet Oo**. The Effect of Antifriction Coatings on the Drilling Process of Titanium Alloy / **Thet Oo**, S.V. Fedorov // Research & Development in Material Science. 2023. V. 18(3). RDMS.000937. P. 2086–2089.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (г. Москва). Отзыв подписал доктор технических наук, доцент, исполняющий обязанности заведующего кафедрой «Системный анализ и управление» Старков Александр Владимирович.

2. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» (г. Москва). Отзыв подписала доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Химическая технология композиционных и вяжущих материалов» Потапова Екатерина Николаевна.

3. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта» (г. Москва). Отзыв подписала кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Системы автоматизированного проектирования» Смирнова Ольга Владимировна.

4. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет Московский институт электронной техники» (г. Москва). Отзыв подписал доктор технических наук, профессор, директор Института нано- и микросистемной техники Тимошенко Сергей Петрович.

5. 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.

6. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный морской

технический университет» (г. Санкт-Петербург). Отзыв подписал кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры судовых двигателей внутреннего сгорания и дизельных установок Румб Виктор Карлович.

7. Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственное предприятие «ИНТЕХРУС» (г. Москва). Отзыв подписал генеральный директор Ямашкин Евгений Анатольевич.

Все отзывы положительные, однако имеются замечания:

1. В автореферате отсутствует обоснование эффективности методики проведения стойкостных испытаний.

2. В автореферате не приведены данные о повторяемости экспериментально измеренных значений коэффициента трения.

3. Недостаточно четко продемонстрирована экономическая целесообразность применения предложенных покрытий.

4. В тексте автореферата недостаточно внимания уделено описанию особенностей структуры титановых сплавов ВТ6 и ВТ18У и их влиянию на процессы резания.

5. В автореферате недостаточно подробно описано влияние микрогеометрии режущей кромки на величину коэффициента трения Амонтона.

6. Трудно количественно оценить снижение величины составляющей силы резания  $P_z$  по п. 1 научной новизны.

7. Из автореферата не понятен критерий выбора составов нитридных износостойких покрытий с различным содержанием хрома, алюминия и титана.

8. В автореферате не приводятся рисунки инструмента из быстрорежущей стали и твердого сплава с нанесенными покрытиями до и после испытаний.

9. Раздел «Основные результаты работы и выводы» содержит только качественное описание полученных результатов без их конкретизации. Так, утверждается, что удалось определить критерии качества обрабатываемости, однако о каких критериях идет речь автореферат умалчивает. Далее, сказано, что при сравнении быстрорежущего и твердонаплавленного инструмента уменьшаются силы резания, коэффициент трения и улучшается качество обработки

и стойкость инструмента. Однако количественных значений этого уменьшения и улучшения узнать из автореферата не удалось. Еще напрашивается уточнение о конкретном сроке службы инструмента с наплавками их титанового сплава TiAlSi, а также насколько этот сплав обеспечивает улучшения шероховатости обрабатываемой поверхности.

10. Известно, что механическую обработку деталей из титановых сплавов надо вести при небольших скоростях резания для того, чтобы исключить их перегрев. Сведений о влиянии скорости резания на стойкость режущего инструмента и параметры обрабатываемой поверхности автореферат не содержит, хотя с точки зрения производства это остается важным аспектом обработки машиностроительных деталей на металлорежущих станках.

11. Из автореферата не ясно, какова чувствительность предложенного метода оценки обрабатываемости к изменениям режимов резания.

12. В автореферате отсутствует научное обоснование эффективности методики применения метода К-средних и корреляционного анализа.

Остальные замечания связаны либо с неточностью формулировок, либо носят редакционный или рекомендательный характер и будут учтены в дальнейшей работе (РХТУ им. Д.И. Менделеева, РУТ (МИИТ), ФГАО ВО «ПНИПУ»).

Выбор официальных оппонентов основан на их высоком профессионализме в области технологии 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:**

**разработана** методика комбинированной поверхностной обработки, заключающаяся в формировании износостойкого покрытия (TiAlSi)N с последующим эпиламинированием, что позволило в 1,8–2 раза повысить стойкость

твердосплавных концевых фрез при обработке деталей из титановых сплавов, полученных селективным электронно-лучевым плавлением (СЭЛП);

**предложена** оригинальная гипотеза о возможности выбора состава износостойкого покрытия и прогнозирования поведения сверла и/или концевой фрезы с таким покрытием при обработке титановых заготовок по данным измерения параметра шероховатости  $R_z$  ленточки инструмента, согласующейся с высотой налива, по минимальной величине отклонения диаметра отверстия от номинального и по величине шероховатости внутренней поверхности отверстия;

**доказано**, что применение быстрорежущего инструмента с комбинированной поверхностной обработкой, представляющей собой нанесение комбинации износостойких и антифрикционных слоев защитного покрытия  $(TiAlSi)N$  с последующим эпиламинированием, при фрезеровании сплава ВТ6 способно значительно снизить величину составляющей силы резания  $P_z$ .

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

**применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован** комплексный подход к изучению процессов сверления и фрезерования деталей из титановых сплавов, включающий применение методов планирования эксперимента, выполнение экспериментальных исследований и статистическую обработку экспериментальных данных, а также современных экспериментальных методов металлографического анализа структуры материалов, электронной микроскопии, линейно-угловых измерений, динамометрии сил резания и метод корреляционного анализа, позволяющий проследить наличие зависимости в каждой паре измеряемых величин;

**изложены** основные результаты исследований, выявивших особенности взаимодействия быстрорежущего и твердосплавного инструментов, оснащенных комбинированными износостойкими покрытиями, с титановой заготовкой, позволяющие провести качественную оценку обрабатываемости фрезерованием титановых сплавов, в том числе полученных СЭЛП;

**раскрыто** влияние внешних антифрикционных слоев износостойких покрытий при обработке титановых сплавов на износ осевого режущего инструмента.

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

**разработана и внедрена** в учебный процесс МГТУ «СТАНКИН» (в качестве дополнительного материала к курсу лекций «Основы вакуумной технологии» и «Ионно-плазменная обработка инструментов и деталей машин») технология обработки осевых режущих инструментов (сверл и концевых фрез) для обработки титановых сплавов;

**определено**, что покрытие на основе  $(TiAlSi)N$  в комбинации с эпиламированием дает повышение стойкости режущего инструмента 1,8–2 раз при фрезеровании сплава ВТ18У концевыми фрезами;

**представлены** технологические рекомендации по назначению режимов формирования покрытий сложной архитектуры на поверхности осевых режущих инструментов из твёрдых сплавов и быстрорежущей стали, предназначенных для обработки титановых сплавов, в том числе полученных СЭЛП.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ** использовано современное станочное оборудование и сертифицированные средства измерения, имеющие действующие свидетельства о поверке;

**теория** основана на общепринятых положениях исследований резания металлов и материаловедения, согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

**идея базируется** на обобщении передового опыта повышения износостойкости режущего инструмента путем формирования износостойких покрытий, а также на знаниях о влиянии процессов наростообразования на качество обработанной поверхности и стойкость инструмента;

**использованы** данные из трудов отечественных и зарубежных ученых в таких областях, как теория резания, механизмы изнашивания и разрушения рабочих

поверхностей режущего инструмента и деталей машин, материаловедение, методы нанесения покрытий и легирования поверхности изделий,

**установлено** качественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по оценке работоспособности фрез с различными износостойкими покрытиями при обработке титановых сплавов, в том числе полученных СЭЛП;

**использованы** современные экспериментальные методы металлографического анализа структуры, электронной микроскопии, линейно-угловых измерений, динамометрии сил резания, а также обработки экспериментальных данных.

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

В ходе защиты диссертации не были высказаны принципиальные критические замечания.

Соискатель Тет У ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, привел собственную аргументацию и согласился с некоторыми замечаниями.

На заседании 01 июля 2025 года диссертационный совет принял решение за решение технической задачи повышения стойкости осевого режущего инструмента при обработке титановых сплавов, в том числе полученных селективным электронно-лучевым плавлением, путем формирования износостойких нитридных покрытий с последующим эпиламированием, что имеет существенное значение для развития машиностроительной отрасли страны, присудить Тету У ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 6 докторов наук по специальности 2.5.5, участвовавших в заседании, из 29 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: «за» – 19, «против» – 1, недействительных бюллетеней – нет.

Заместитель председателя  
диссертационного совета



Марина Александровна Волосова

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Екатерина Сергеевна Сотова

«01» июля 2025 г.

