

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Тет У «Улучшение обрабатываемости сплавов на основе титана путем рационального выбора поверхностной обработки инструмента», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5.«Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Диссертационная работа Тет У посвящена актуальной задаче повышения эффективности обработки титановых сплавов, что является важным направлением в развитии современного машиностроения. В работе предложены способы улучшения обрабатываемости путем рационального выбора и применения методов поверхностной обработки режущего инструмента.

Автором проведены исследования по влиянию комбинированной обработки (легирование и нанесение износостойких покрытий) на характеристики твердосплавного и быстрорежущего инструмента, используемого при обработке титановых сплавов. Показана возможность повышения эффективности процесса резания за счет оптимизации параметров поверхностной обработки.

В ходе выполнения диссертационной работы соискателем были получены важные результаты, имеющие практическое применение:

1. Описании особенностей работы инструментов из быстрорежущей стали и твердого сплава с титановыми заготовками, связанными с увеличением силовой нагрузки на инструмент из-за существенного налипания обрабатываемого материала на область, прилегающую к режущей кромке.
2. Способах оценки обрабатываемости по значениям коэффициента трения Амонтона, характеру образовавшегося нароста на ленточке сверла и его влиянии на геометрические параметры полученных отверстий.
3. Технологических рекомендациях по назначению состава и конструкции износостойкого покрытия, включающего нанесение антифрикционного слоя.
4. Оценке работоспособности фрез с различными износостойкими покрытиями при обработке титановых сплавов.

Результаты диссертационной работы Тет У достаточно полно освещены в научных публикациях и докладывались на международных и российских научных конференциях.

В качестве замечаний хочу отметить следующее:

1. В автореферате отсутствует обоснование эффективности методики проведения стойкостных испытаний.
2. В автореферате не приведены данные о повторяемости экспериментально измеренных значений коэффициента трения.

Указанные замечания, по сути, являются недочетами и не уменьшают научной и практической ценности диссертационной работы, представленной Тет У.

Считаю, что диссертация Тет У соответствует требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а её автор Тет У достоин присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5. «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

профессор,
и.о. заведующего кафедрой
«Системный анализ и управление»
д.т.н., доцент

Старков
Александр Владимирович
«04» июня 2025 г

Подпись д.т.н., доцента, и.о. заведующего кафедрой
«Системный анализ и управление» А.В. Старкова заверяю.
Директор института № 6 «Аэрокосмический», к.т.н., доцент



О.В. Тушавина

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

Адрес: Волоколамское шоссе, д.4, г. Москва, 125993

Адрес электронной почты: StarkovAV@mai.ru

Телефон: +7 (499)-158-43-55

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Тет У
«Улучшение обрабатываемости сплавов на основе титана путем рационального
выбора поверхностной обработки инструмента», представленной на соискание
ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.5.5- «Технология и оборудование механической
и физико-технической обработки».

Развитие современного машиностроения тесно связано с внедрением в производство новых эффективных методов обработки материалов. Особое внимание уделяется улучшению обрабатываемости труднообрабатываемых материалов, таких как титановые сплавы, в связи с их широким применением в различных отраслях промышленности.

В диссертационной работе Тет У рассмотрены и составлены износостойкого покрытия на обрабатываемость сплавов ВТ6 и ВТ18У. Исследованы особенности взаимодействия между быстрорежущим и твердосплавным инструментом с комбинированными износостойкими покрытиями титановыми заготовками и определены критерии, позволяющие оценить качество их обрабатываемости, что выражается в изменении среднего коэффициента трения по Амонтону и параметров качества обработки. Показано уменьшение величины составляющей силы резания R_z и изменение среднего коэффициента трения согласно модели Амонтона и параметров качества обработки и стойкости инструмента, позволяющие провести качественную оценку обрабатываемости титанового сплава фрезерованием.

В работе решена задача повышения стойкости концевых твердосплавных фрез при обработке титановых сплавов путем комбинирования износостойких и антифрикционных слоев покрытия. Показано, что применение покрытия на основе $(TiAlSi)N$ с эпиламированием обеспечивает лучшее сочетание параметра R_z на ленточке сверла и малое отклонение диаметра отверстия от номинального при сверлении и фрезеровании. Покрытие на основе $(TiAlSi)N$ в комбинации с эпиламированием при фрезеровании сплава ВТ18У концевыми фрезами показывает повышение стойкости до 2 раз.

Однако имеется несколько замечаний:

1. В автореферате не четко приведено описание примененных аддитивных технологий.

2. Имеется определённое количество логических неточностей, выраженных в сопоставлении логически неоднородных понятий, грамматических ошибок в тексте.

Считаю, что указанные замечания не снижают общую ценность диссертационной работы.

Диссертационная работа содержит новые научные результаты, полученные лично автором, и соответствует требованиям к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, установленным пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 N 842 (ред. от 01.10.2018, с изм. от 26.05.2020), а ее автор Тет У заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5. «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Д.т.н., профессор, профессор
кафедры «Химическая технология
композиционных и вяжущих
материалов» Российского химико-
технологического университета
имени Д.И. Менделеева
(диссертация защищена по
специальности: 05.17.11. -
Технология силикатных и
тугоплавких неметаллических
материалов),
125047, г. Москва, Миусская пл., д.9
тел.: +7(916) 054-98-49,
e-mail: potapova.e.n@muctr.ru

Потапова Екатерина Николаевна

11.06.2025г.

Подпись д.т.н., проф. Потаповой Е.Н. удостоверяю:



ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы **Тет У**

«Улучшение обрабатываемости сплавов на основе титана путем рационального выбора поверхностной обработки инструмента»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»

В представленной работе предлагаются способы повышения обрабатываемости титановых сплавов путем рационального выбора поверхностной обработки режущего инструмента. В работе рассматриваются быстрорежущие стали и твердые сплавы. Также рассмотрены различные методы обработки поверхности, включая легирование и нанесение износостойких покрытий. В результате такой обработки предполагается повышение стойкости инструмента и улучшение параметров процесса резания.

Актуальность данной работы не вызывает сомнений в связи с расширением областей применения титановых сплавов и необходимостью повышения эффективности их обработки.

Практическая значимость работы заключается в:

1. Описании особенностей работы инструментов из быстрорежущей стали и твердого сплава с титановыми заготовками, связанными с увеличением силовой нагрузки на инструмент из-за существенного налипания обрабатываемого материала на область, прилегающую к режущей кромке.
2. Способах оценки обрабатываемости по значениям коэффициента трения Амонтона, характеру образовавшегося нароста на ленточке сверла и его влиянии на геометрические параметры полученных отверстий.
3. Технологических рекомендациях по назначению состава и конструкции износостойкого покрытия, включающего нанесение антифрикционного слоя.
4. Оценке работоспособности фрез с различными износостойкими покрытиями при обработке титановых сплавов.

Результаты работы представлены в автореферате, который

иллюстрируется схемами, рисунками и графиками. По теме диссертации опубликовано 8 работ, в том числе 2 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК, из которых 1 статья – в журнале, индексируемом в базе данных Scopus, 3 публикации в журналах, входящих в РИНЦ и 3 публикации в сборниках материалов международных научно-технических конференций.

Однако имеются следующие замечания:

1. Не все рисунки и графики в автореферате имеют достаточно четкие подписи.
2. Недостаточно четко продемонстрирована экономическая целесообразность применения предложенных покрытий.

Сделанные замечания не снижают ценность данной работы. Считаю, что представленная работа является законченной научно-исследовательской работой и отвечает требованиям научной новизны, практической значимости и достоверности, а её автор, Тет У, заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Доцент кафедры «Системы
автоматизированного проектирования»
Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)),
кандидат технических наук, доцент

О.В. Смирнова

11.06.2025

Подпись О.В. Смирновой
Заверено



ЗАМЕСТИТЕЛЬ
НАЧАЛЬНИКА УРП
Т.А. СОЛОМАТИНА

Смирнова Ольга Владимировна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Системы автоматизированного проектирования»

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта»

127055, г. Москва, Минаевский пер, д. 2; o_v_smirnova@mail.ru

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы **Тет У** «Улучшение обрабатываемости сплавов на основе титана путем рационального выбора поверхностной обработки инструмента», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5- «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Целью настоящей работы является исследование и разработка рациональных методов поверхностной обработки режущего инструмента для повышения обрабатываемости сплавов на основе титана, в частности сплавов ВТ6 и ВТ18У, и повышения эффективности процессов фрезерования.

Для достижения поставленной цели автором были решены следующие задачи: проведение аналитического обзора существующих методов улучшения обрабатываемости титановых сплавов; оценка влияния структуры титановой заготовки и комбинированной поверхностнокоэффициента трения Амонтона; выявление качественной связи между схватыванием материалов износостойких покрытий и титановой заготовки и периодом стойкости твердосплавных концевых фрез; разработка рекомендаций по выбору оптимального состава износостойкого покрытия.

Основной научный результат работы заключается в установлении связей между параметрами поверхностной обработки инструмента, структурой и свойствами режущей кромки, силовыми параметрами процесса резания, коэффициентом трения Амонтона, периодом стойкости и качеством обработанной поверхности. В комплексе это позволило расширить применение комбинированных методов поверхностной обработки режущего инструмента для повышения эффективности обработки титановых сплавов. Важной составляющей практической значимости работы являются разработанные технологические рекомендации по коаксиальной лазерной наплавке молибденового порошка на литую сталь, с помощью которых

можно изготавливать биметаллические корпусные детали с повышенными эксплуатационными свойствами.

Результаты работы, несомненно, обладают научной новизной, сама научная работа является законченным исследованием. По теме диссертации опубликовано 8 работ, в том числе 2 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК, из которых 1 статья – в журнале, индексируемом в базе данных Scopus, 3 публикации в журналах, входящих в РИНЦ и 3 публикации в сборниках материалов международных научно-технических конференций.

По работе имеются следующие замечания:

1. В тексте автореферата недостаточно внимания уделено описанию особенностей структуры титановых сплавов ВТ6 и ВТ18У и их влиянию на процессы резания.
2. В автореферате недостаточно подробно описано влияние микрогеометрии режущей кромки на величину коэффициента трения Амонтона.

Сделанные замечания имеют рекомендательный характер и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

Диссертационная работа «Улучшение обрабатываемости сплавов на основе титана путем рационального выбора поверхностной обработки инструмента» соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Тет У, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 - «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Тимошенко Сергей Петрович

Директор Института

нано- и микросистемной техники НИУ МИЭТ

д.т.н., профессор

spt111@mail.ru

Подпись С.П.Тимошенко удостоверяю

Ученый секретарь МИЭТ

С.П.Тимошенко

А.В.Козлов



[Handwritten signature]
11.06.2025

[Handwritten signature]

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Тет У «Улучшение обрабатываемости сплавов на основе титана путем рационального выбора поверхностной обработки инструмента», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»

Титан и его сплавы нашли широкое применение в технике ввиду своей высокой механической прочности, которая сохраняется при высоких температурах, а также высокой коррозионной стойкости, жаропрочности, удельной прочности и малой плотности. Однако титановые сплавы по удельной прочности (прочности, отнесенной к плотности) превосходят большинство нержавеющей и теплоустойчивых сталей при температурах до 400°C – 500°C, обладают высоким коэффициентом трения, высокой вязкостью и низкой теплопроводностью, что значительно увеличивает износ режущего инструмента. Рассматриваемая работа посвящена изучению особенностей взаимодействия между быстрорежущим и твердосплавным инструментом с комбинированными износостойкими покрытиями и титановой заготовкой для качественной оценки ее обрабатываемости фрезерованием. В основе подхода, использованного автором, лежит комбинированный метод осаждения покрытия на основе (TiAlSi)N и эпитамирования, обеспечивший лучшее сочетание параметров качества отверстия при сверлении и повышение стойкости концевых фрез до 2 раз при фрезеровании сплава BT18У.

В диссертационной работе Тет У решена актуальная задача повышения износостойкости режущих инструментов из быстрорежущей стали и твердого сплава для обработки титана. Предпринимается попытка оценить влияние способа модификации поверхности фрез из быстрорежущей стали и структуры титановой заготовки на силовые параметры процесса резания и коэффициент трения Амонтона, который можно было бы использовать, как некий критерий обрабатываемости. Для реализации поставленных задач в диссертации оценено влияние комбинаций износостойкого и антифрикционного слоев покрытия на осевую силу при сверлении титанового сплава. Предложено износостойкое покрытие на основе сочетания износостойкого и антифрикционного слоев для повышения стойкости концевых твердосплавных фрез при фрезеровании титанового сплава.

Впервые выявлены качественной связи между взаимодействием материалов износостойкого покрытия и титановой заготовкой, выражающейся, как соответствие параметров R_z на ленточке сверла и R_a на внутренней поверхности отверстия от номинального при сверлении со стойкостью при фрезеровании.

Выполненные стойкостные испытания фрез с 15-ю износостойкими покрытиями с различным содержанием хрома, алюминия и титана.

Практическая значимость результатов диссертации заключается в оценке работоспособности фрез с различными износостойкими покрытиями при обработке титановых сплавов.

По автореферату диссертационной работы Тет У имеются следующие замечания:

1. Трудно количественно оценить снижение величины составляющей силы резания P_z по п. 1 научной новизны.
2. Из автореферата не понятно критерий выбора составов нитридных износостойких покрытий с различным содержанием хрома, алюминия и титана.
3. В автореферате не приводятся рисунки инструмента из быстрорежущей стали и твердого сплава с нанесенными покрытиями до и после испытаний.
4. Опубликовано только 2 публикации в сборниках материалов международных научно-технических конференций, хотя показано участие в нескольких международных конференциях.

Указанные замечания не снижают теоретической и практической значимости работы.

По материалам автореферата и опубликованным работам в рецензируемых журналах и изданиях, индексируемых международными базами данных «Web of Science» и «Scopus» считаю, что диссертационная работа Тет У «Улучшение обрабатываемости сплавов на основе титана путем рационального выбора поверхностной обработки инструмента» соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 г., а ее автор заслуживает присуждение ученой степени кандидата технических наук по специальности: 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Доктор технических наук (05.16.09), профессор кафедры
кафедры «Инновационные технологии
машиностроения» ФГАОУ ВО «ПНИПУ»

Каменева Анна Львовна
«13»_06_2025г.

Место работы: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (ФГАОУ ВО «ПНИПУ»), 614990, Пермский край, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29

тел. +7-919-706-14-99

эл. адрес: annkam789@mail.ru



Подпись *Каменева Анна Львовна*
заверяю
Специалист по персоналу УК
Е.И. Овчинникова

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Тет У «Улучшение обрабатываемости сплавов на основе титана путем рационального выбора поверхностной обработки инструмента», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 - «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Актуальность работы. По итогам изучения автореферата можно утверждать: в работе рассмотрены способы повышения эффективности механической обработки деталей из титановых сплавов. Известно, что титан и его сплавы обладают большой прочностью и твердостью, а поэтому относятся к числу трудно обрабатываемых резанием материалов. Кроме того, из-за низкой теплопроводности при обработке резанием титан налипает на режущий инструмент, что дополнительно затрудняет механическую обработку деталей из титановых сплавов. Несмотря на указанные трудности применение титана в машиностроении только растет, поскольку наряду с хорошими прочностными свойствами он обладает высокой антикоррозионной стойкостью, не уступающей нержавеющей стали. В этих условиях работы, направленные на оптимизацию режима резания требуют особых требования к режущему инструменту, который должен обладать повышенной стойкостью к истиранию. Именно этим вопросам посвящена настоящая диссертация, что делает ее актуальной.

Практическая значимость диссертации определяется результатами проведенных лабораторных исследований по оценке влияния различных твердых сплавов, наносимых на режущие кромки режущего инструмента, на качество механической обработки деталей из титанового сплава ВТ6. Ценность этих исследований определяется тем, что твердые сплавы обладают стойкостью на истирание и сохраняют режущие свойства при нагревании до температуры 1000 – 1200 °С, в то время как допустимая температура нагрева для инструментов из быстрорежущей стали не превышает 650 °С. По результатам этих исследований

даны рекомендации по выбору твердого материала для покрытия им режущего инструмента, в частности, рабочих кромок пальчиковой фрезы.

Научная новизна диссертации вызывает определенные сомнения по причине того, что само название работы предполагает рациональный выбор обработки режущего инструмента для механической обработки деталей из титановых сплавов. Иначе говоря, работа носит поисковый характер: из 15 твердых сплавов, которые используются для наплавки на кромки режущего инструмента надо выбрать наилучший. Остается загадкой как это сделать, если в автореферате не приведены четкие критерии выбора такого материала. Также было бы полезным отразить в автореферате технологии наплавки твердых сплавов на режущий инструмент, изготовленный из обычной быстрорежущей стали.

Достоверность полученных результатов определяется тем, что основные положения диссертации базируются на многочисленных реальных экспериментальных данных и их статистической обработки методами математической статистики.

В целом автореферат написан грамотным литературно-техническим языком, дает полное представление о проделанной работе.

Из замечаний по автореферату выделим следующие.

1. 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.



Исх. № 161 от «25» июня 2025 г.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Тет У «Улучшение обрабатываемости сплавов на основе титана путем рационального выбора поверхностной обработки инструмента», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5- «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Диссертация Тет У посвящена решению актуальной научной и практической задачи — повышению эффективности обработки титановых сплавов путем оптимизации поверхностной обработки режущего инструмента. В условиях расширения применения титановых сплавов в различных отраслях промышленности разработка новых методов повышения их обрабатываемости является чрезвычайно важной задачей для машиностроения и металлообработки.

Автором проделана значительная работа по исследованию влияния различных методов поверхностной обработки быстрорежущих и твердосплавных инструментов на параметры процесса резания и стойкость инструмента при обработке титановых сплавов. Использование современных методов анализа, таких как металлографический анализ структуры, электронная микроскопия, динамометрия сил резания, позволяет оценить результаты экспериментов и обосновать научные выводы.

Применение титановых сплавов в промышленности постоянно растет, однако их обработка сопряжена со значительными трудностями, обусловленными их физико-механическими свойствами. Повышение производительности и снижение затрат на обработку титана является важной задачей, решение которой позволит расширить области применения этих перспективных материалов.

В диссертации предложены новые подходы к оптимизации поверхности для более убедительного обоснования эффективности предложенных решений необходимо провести количественную оценку влияния каждого метода на ключевые параметры процесса резания (сила резания, стойкость инструмента, шероховатость поверхности) и экономическую эффективность обработки.

Однако имеются следующие замечания:

1. Из автореферата не ясно какова чувствительность предложенного метода оценки обрабатываемости к изменениям режимов резания.
2. В автореферате отсутствует научное обоснование эффективности методики применения метода К-средних и корреляционного анализа.

Автореферат диссертации Тет У представляет собой вклад в область технологии машиностроения и металлообработки. Диссертация отличается научной новизной, экспериментальными результатами, а также рекомендациями по выбору методов поверхностной обработки инструмента для повышения обрабатываемости титановых сплавов. Предложенные подходы имеют практическое значение для предприятий, занимающихся обработкой титана.

Таким образом, диссертация в целом соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки», и автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

С уважением,
Генеральный директор
Ямашкин Евгений Анатольевич



Е.А. Ямашкин

ООО НПП «ИНТЕХРУС»