

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО «Уфимский
университет науки и технологий»

Д. Ф. М. Н., доцент

И.Ф. Шарафуллин

06 2025г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Тет У

на тему «Улучшение обрабатываемости сплавов на основе титана путем рационального выбора поверхностной обработки инструмента», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.5.5 Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки)

Актуальность темы диссертации

В обрабатывающей промышленности, несмотря на успехи в обработке стали, чугуна и жаропрочных сплавов, обработка титана и его сплавов остается сложной и дорогостоящей задачей. Сложность обусловлена низкой теплопроводностью и высокой химической активностью титана. Однако, количественные исследования влияния этих факторов при различных условиях резания немногочисленны, что затрудняет сопоставление результатов. Вопрос влияния взаимодействия инструмента и обрабатываемого материала на параметры резания остается открытым.

Многие работы посвящены улучшению обрабатываемости титана, подчеркивая значительное влияние скорости резания на температуру в зоне контакта. Высокая скорость тепловыделения, превышающая скорость отвода тепла, является ключевой проблемой. Недостаточно сравнительных исследований различных методов улучшения обрабатываемости для определения оптимальных условий их применения. Отмечается нехватка данных о взаимосвязи условий резания, тепловыделения и отвода тепла, процессов схватывания, температуры резания.

В представленной работе оценивается влияние модификации поверхности быстрорежущих фрез и структуры титановой заготовки на

силовые параметры резания и коэффициент трения Амонтона, который может служить критерием обрабатываемости. Рассматривается вопрос рационального выбора износостойкого покрытия на основе исследования процессов схватывания твердосплавного инструмента с титаном, а также стойкости твердосплавных концевых фрез. Предлагаемые методы оценки обрабатываемости титановых сплавов ВТ6 и ВТ18У фрезами с различной поверхностной обработкой могут быть полезны для повышения качества, надежности и производительности обработки. Актуальность исследования обоснована.

Структура и содержание диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 170 наименований, приложений. Основное содержание диссертации изложено на 124 страницах машинописного текста, содержит 41 рисунок и 15 таблиц.

Во **введении** обоснована актуальность решаемой научно-технической проблемы, указана степень разработанности темы, поставлена цель исследования и научные задачи, указан предмет и объект исследования, научная новизна и практическая значимость работы.

В **первой главе** проведен анализ свойств и особенностей титановых сплавов, выявлено, что основное влияние на обрабатываемость титановых сплавов оказывают диффузионные процессы износа, которые происходят из-за высокой температуры резания, вызванной низкой теплопроводностью этого металла. Также установлено, что далеко не всегда обрабатываемость титановых сплавов можно улучшить за счет нанесения износостойких покрытий, однако современные разработки в этой области позволяют добиваться обнадеживающих результатов за счет применения многослойных.

Во **второй главе** описаны материалы и оборудование, используемые при проведении исследований. Для обеспечения достоверности научных положений и выводов использованы современные аттестованные приборы с

точностью до 0.001 мм, позволяющие отследить изменения в качестве обработки для оценки факторов инструмента.

В третьей главе описано сравнение обрабатываемости заготовок из сплава ВТ6, полученных ковкой и методом селективного электронно-лучевого плавления, при фрезеровании быстрорежущим инструментом с поверхностной обработкой. Определено, что использование инструментов с комбинированной обработкой поверхности позволяет значительно уменьшить размеры составляющих силы резания, что благотворно сказывается на долговечности инструмента. Указано, что несмотря на снижение сопротивления резанию, средний коэффициент трения по Амонтону значительно увеличился для инструмента с композитными поверхностями.

В четвертой главе отмечается тенденция к повышению осевой силы при использовании сверл с пятью износостойкими покрытиями в сочетании с двумя антифрикционными покрытиями. Это может быть связано с интенсивным налипанием титана на ленточку сверла, что приводит к деформации поверхности обрабатываемого отверстия, увеличению его диаметра до 0.03 мм и уменьшению шероховатости. Замечена корреляция между данными, полученными в экспериментах по сверлению и фрезерованию. Например, покрытие на основе (TiAlSi)N в сочетании с эпиламированием, которое обеспечило лучшее сочетание параметра Rz на ленточке сверла и минимальное отклонение диаметра отверстия от номинального при сверлении, также привело к увеличению стойкости до 2 раз при фрезеровании сплава ВТ18У концевыми фрезами. Поведение антифрикционных покрытий в случае обработки титанового сплава признано неоднозначным, однако стоит отметить, что применение покрытий на основе (TiAlSi)N с антифрикционными составляющими привело к наилучшему результату.

В заключении сформулированы основные выводы по работе.

Теоретическая значимость

Цель работы состоит в определении особенностей взаимодействия между быстрорежущим и твердосплавным инструментом с комбинированными износостойкими покрытиями и титановой заготовкой для качественной оценки ее обрабатываемости фрезерованием.

Поставленная цель была достигнута путем успешного решения следующих задач:

1. Определить критерии, позволяющие оценить качество обрабатываемости титановых заготовок быстрорежущим и твердосплавным инструментами с комбинированными износостойкими покрытиями.

2. Провести качественную оценку обрабатываемости титанового сплава фрезерованием на основе оценки измерения составляющих силы резания P_z и коэффициента трения Амонтона.

3. Выявить особенности влияния комбинированной поверхностной обработки на силы резания и срок службы инструмента.

4. Оценить влияние комбинаций износостойкого и антифрикционного слоев покрытия на осевую силу при сверлении титанового сплава.

5. Предложить износостойкое покрытие на основе сочетания износостойкого и антифрикционного слоев для повышения стойкости концевых твердосплавных фрез при фрезеровании титанового сплава.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Выявлено, что применение быстрорежущего инструмента с комбинированной поверхностной обработкой при фрезеровании сплава ВТ6 способно значительно снизить величину составляющей силы резания P_z , хотя величины P_y и P_x меняются незначительно.

2. Выявлено, что средний коэффициент трения Амонтона значительно повышается для инструмента с комбинированной поверхностной обработкой, что связывается с изменением в большую сторону радиуса округления режущей кромки инструмента и состоянием титановой заготовки.

3. Выявление качественной связи между взаимодействием материалов износостойкого покрытия и титановой заготовки, выражающейся, как соответствие параметров Rz на ленточке сверла и Ra на внутренней поверхности отверстия от номинального при сверлении со стойкостью при фрезеровании.

4. Достижение снижения интенсивности изнашивания твердосплавного инструмента с комбинацией слоев износостойкого покрытия, благодаря рациональному выбору химического состава, который способен снизить налипание на рабочие поверхности обрабатываемого титанового сплава.

Практическая значимость 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.

Апробация результатов работы

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на многих конференциях, включая: Materials Science Forum, г. Ялта, 2021г.; «15th International Conference Gas Discharge Plasmas and Their Applications» GDP 2021, г. Екатеринбург, 2021г.; «16th International Conference on Modification of Materials with Particle Beams and Plasma Flows Coatings deposition» EFRE 2022, г. Томск, 2022г.; «XIV Международная научно-техническая конференция «Трибология – машиностроению»», г. Москва, 2022 г.

По теме диссертационной работы опубликовано 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 2 статьи в журналах, индексируемых в наукометрических базах Scopus и Web of Science, 2 печатные работы в сборниках международных научно-технических конференций.

Среди **основных достоинств** работы можно выделить:

1. Определены критерии, позволяющие оценить качество обрабатываемости титановых заготовок.
2. Выявлены особенности взаимодействия быстрорежущего и твердосплавного инструмента, оснащенного комбинированными износостойкими покрытиями с титаном.
3. Использование комбинированной обработки поверхности инструментов, в том числе легирования и покрытия, позволяет существенно уменьшить размеры составляющих сил резания, что положительно сказывается на сроке службы инструмента.
4. Решена задача повышения стойкости концевых твердосплавных фрез при обработке титановых сплавов

Наряду с достоинствами имеется несколько **замечаний**:

1. Не объяснено, почему не проведены исследования среднего коэффициента трения по Амонтону для твердосплавных инструментов с покрытием.
2. Почему для обработки инструментом из быстрорежущей стали выбрано сплав ВТ6, а для инструмента из твердого сплава ВТ18У.
3. Не обоснован выбор покрытия системы (TiAlSi)N в плане применения его для обработки титанового сплава и получение результата повышения стойкости в данном случае.
4. В работе имеются орфографические ошибки.

Соответствие диссертации научной специальности

Содержание диссертации соответствует требованиям паспорта научной специальности 2.5.5 Технология и оборудование механической и физико-

технической обработки (технические науки). Область исследований соответствует следующим пунктам паспорта специальности:

2. Теоретические основы, моделирование и методы экспериментального исследования процессов механической и физико-технической обработки, включая процессы комбинированной обработки с наложением различных физических, химических и комбинированных воздействий.

3. 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.

Отрасль науки – технические науки, поскольку приведенные результаты дают существенный технический эффект при внедрении и использовании.

Общее заключение

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.

Таким образом, считаем, 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 16.10.2024г. №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.

Отзыв на диссертацию Тет У обсужден и утвержден на заседании кафедры технологии машиностроения ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» (протокол № 28 от 05.06.2025г.). Присутствовало: 27 человек, из них д.т.н. – 4 чел., к.т.н. – 14 чел. Итоги голосования: «За» – 27 чел., «Против» – 0 чел., «Воздержался» – 0 чел.

Заведующий кафедрой
«Технология машиностроения» УУНиТ,
докт. техн. наук, доцент, чл. корр. АН РБ,

Докторская диссертация защищена по
специальности 05.16.01 – Металловедение
и термическая обработка металлов и
сплавов



Рамазанов Камиль Нуруллаевич

450076, Приволжский федеральный округ, Республика Башкортостан,
г. Уфа, ул. Заки Валиди, дом 32.

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»

Электронный адрес: <https://uust.ru>

Телефон: +7(347)229-96-16



Подпись Рамазанова К.Н.
подтверждаю «11» 06 2025 г.
Заведующий общим отделом УУНиТ Рашилова Д.Ф.