



«УТВЕРЖДАЮ»
Проректор по научной работе
ФЕБФУ ВО «Уфимский
университет науки и технологий»
д.ф.м.н., доцент
И.Ф. Шарафуллин

«*02*» *12* 2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Барановой Натальи Сергеевны
на тему «Повышение производительности обработки точением деталей из титанового сплава путем применения износостойких покрытий с переменной величиной периода модуляции нанослоев», 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

Развитие современных технологий предопределяет необходимость дальнейшего повышения производительности обработки материалов. Несмотря на развитие аддитивных технологий обработка резанием остается ключевой технологической операцией обработки металлов. При том, что титановые сплавы обладают рядом полезных свойств и широко применяются для изготовления ответственных деталей в различных областях промышленности, их обработка сопряжена с рядом проблем, что сдерживает более широкое применение данного материала. Такие свойства титана и его сплавов, как низкая плотность в сочетании с низкой теплопроводностью, оказывают существенное влияние на процесс обработки этих материалов, затрудняя процесс резания. Указанные особенности ведут к повышенному износу режущего инструмента, вынуждая использовать низкие скорости резания, что снижает общую производительность процесса резания и эффективность производства в целом. Применение износостойких покрытий является одним из важных ресурсов

повышения режущих свойств инструмента. В свою очередь, сами покрытия находятся в процессе непрерывного развития, основными направлениями которого являются оптимизация элементного состава и управление архитектурой. В ряде работ было показано, что покрытия с идентичным элементным составом, но разными параметрами архитектуры демонстрируют существенно отличающиеся свойства. В частности, покрытия с нанослойной структурой обладают лучшими барьерными свойствами по отношению к окислительным и диффузионным процессам, большей твердостью и трещиностойкостью по сравнению с монолитными покрытиями аналогичного состава. Одним из ключевых параметров архитектуры покрытий является величина периода модуляции λ и обусловленные ей толщины нанослоев. Рационально подобранные значения данных параметров позволяют обеспечить дополнительное повышение свойств инструмента с покрытием. Величина λ оказывает существенное влияние на износостойкость и трибологические свойства, величину остаточных напряжений и стойкость к окислению и, в итоге, на процесс изнашивания инструмента: при меньших значениях λ доминируют адгезионно-усталостные процессы, а при больших – окислительные процессы. При малых значениях λ наблюдаются свойственные для наноструктур изменения в механизме пластической деформации покрытий.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем работы: основной текст содержит 184 страницы, включая 63 рисунка и 7 таблиц, список литературы включает 223 наименования.

Во **введении** обоснована актуальность решаемой научно-технической задачи, обозначена цель исследований, указаны методические и теоретические положения работы, изложена научная новизна и практическая ценность, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** приведен анализ и дано сравнение методов нанесения покрытий на режущие инструменты, показаны основные особенности и тенденции развития химико-термических (CVD) и физических (PVD) процессов

осаждения покрытий, изложены тенденции совершенствования вакуумно-дуговых процессов (КИБ-МеVVA) осаждения покрытий на режущие инструменты. Большое внимание уделено исследованиям по повышению режущих свойств инструментов путем осаждения на их рабочие поверхности износостойких покрытий.

В результате анализа литературных источников были сформулированы цели и задачи исследований, предусмотренные работой, дано теоретическое обоснование научных гипотез.

Во **второй главе** были сформулированы рабочие гипотезы и определена методика проведения исследований, разработан алгоритм проведения экспериментов. Для проведения исследований были выбраны покрытия с трехслойной архитектурой, включающей адгезионный, промежуточный и износостойкий слой, износостойкий слой имел нанослойную структуру с изменяющейся величиной периода модуляции.

В **третьей главе** рассматриваются результаты свойств покрытий при точении заготовок из титанового сплава ВТ6 на токарном станке на ACU 500 MRDlathe (Sliven) в условиях сухого резания на следующих режимах: подача 0,1 об/мин, глубина резания 0,5 мм, скорость резания 50, 75 и 100 м/мин. Исследования режущих свойств инструментов с разработанными покрытиями при точении заготовок из титанового сплава ВТ6 при скоростях резания 50, 75 и 100 м/мин показали, что все покрытия Zr-ZrN-(Zr,Al,Cr)N обеспечивают заметное повышение износостойкости как по сравнению с инструментом без покрытия, так и с покрытием ZrN. Применение покрытия с рационально подобранным составом и переменной величиной периода модуляции позволяет повысить скорость резания с 50 до 100 м/мин при сохранении периода стойкости инструмента.

Рассматриваются примеры практического применения покрытий с разработанным составом и архитектурой для повышения производительности процесса резания при обработке точением поверхностей деталей из титанового сплава ВТ-14 номенклатуры ЗАО «ЗЭМ» РКК «Энергия» имени С.П.Королева.

Было установлено, что применение сменных пластин с разработанным наноструктурированным покрытием взамен пластин со стандартным PVD покрытием позволяет увеличить скорость резания в 1,5 раза и, соответственно, уменьшить время обработки. Таким образом, применение режущих пластин с покрытием $Zr-ZrN-(Zr,Cr,Al)N$ с рационально подобранной наноструктурой позволяет увеличить производительность обработки с 7 до 10 деталей в час (с 56 до 80 деталей в смену), без учета времени на установку и снятие деталей, которое, очевидно, идентично для сравниваемых пластин. Данный результат является существенным с точки зрения производства большего количества и деталей при имеющемся количестве производственного оборудования, без снижения качества обработки и увеличения расхода режущего инструмента.

В заключении сформулированы основные выводы по работе.

Автореферат диссертации достаточно полно отражает структуру, содержание и результаты диссертационной работы.

Теоретическая значимость

Цель работы сформулирована следующим образом: повышение производительности обработки точением деталей из титанового сплава путем разработки и применения износостойких покрытий с переменной величиной периода модуляции нанослоев.

Поставленная цель была достигнута путем успешного решения следующих **задач**:

1. Установить функциональные связи между скоростью вращения поворотного стола в процессе осаждения и параметрами наноструктуры покрытий различного состава.

2. Исследовать зависимость эксплуатационных свойств покрытия (прочность адгезионной связи с субстратом, микротвердость, модуль упругости и др.) от параметров его нанослойной структуры, определить характер изменения периода модуляции, обеспечивающий наилучшие эксплуатационные свойства покрытия.

3. С целью предварительного изучения работоспособности покрытий с изменяющейся величиной периода модуляции исследовать влияние характера

изменения нанослойной структуры (периода модуляции) покрытия на режущие свойства, характер изнашивания инструмента и механизм разрушения покрытий при точении стали 45.

4. Исследовать влияние характера изменения нанослойной структуры (периода модуляции) покрытия на режущие свойства и характер изнашивания инструмента при точении титанового сплава с различными скоростями резания.

5. На основе установленных закономерностей разработать покрытие с рационально подобранным характером изменения параметров наноструктуры (периода модуляции), обеспечивающее повышение скорости резания при сохранении периода стойкости режущего инструмента и, таким образом, позволяющее повысить производительность токарной обработки титанового сплава.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. предложены и обоснованы параметры наноструктуры покрытия (величина периода модуляции и характер его изменения), позволяющие повысить производительность процесса резания за счет повышения скорости резания при точении титановых сплавов при сохранении периода стойкости режущего инструмента;

2. установлены функциональные связи между скоростью вращения поворотного стола вакуумно-дуговой установки при нанесении покрытия и величиной периода модуляции (параметром наноструктуры) покрытий различного состава;

3. выявлены закономерности влияния характера изменения периода модуляции наноструктурированных покрытий на механизм разрушения (изнашивания) этих покрытий.

Практическая значимость:

1. Разработанная архитектура износостойких покрытий с переменной величиной периода модуляции нанослоев, способ и режимы получения данной архитектуры.

2. Рекомендации для выбора параметров наноструктуры покрытий, обеспечивающие повышение износостойкости твердосплавного инструмента и

производительности процесса точения титановых сплавов.

Опытно-промышленные испытания, проведенные в производственных условиях, подтвердили высокую работоспособность твердосплавных инструментов с разработанными покрытиями. Результаты исследований приняты к внедрению в ООО «Нацпромальянс» и ООО «Промобработка».

Апробация результатов работы

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации на проведение научных исследований в рамках государственного задания (проект № FSFS-2023-0003). Основные положения диссертационной работы были доложены на Международной научно-практической заочной конференции «Инновационные технологии в машиностроении» (Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск, Россия, 2024 год), Школе молодых ученых «Адаптивные материалы и покрытия для высокотехнологичных отраслей промышленности» (МГТУ «СТАНКИН», Москва, Россия, 2023 год), на кафедре цифровых и аддитивных технологий РТУ МИРЭА и кафедре «Высокоэффективные технологии обработки» МГТУ «СТАНКИН».

Детальное рассмотрение диссертационной работы позволяет выявить следующие **основные достоинства**:

1. Исследования влияния величины периода модуляции нанослоев на стойкость износостойких покрытий.
2. Зависимости влияния переменной величины периода модуляции нанослоев на механизм разрушения износостойких покрытий.
3. Метод и технологические решения для нанесения наноструктурных покрытий, позволяющие повысить производительность процесса резания титана и титановых сплавов при сохранении периода стойкости режущего инструмента.

Наряду с несомненными достоинствами в работе выявлены следующие **замечания**:

1. Орфографические ошибки в автореферате и диссертации.
2. В работе не проведен рентгенофазовый анализ, а также нет исследований влияния изменений периода модуляции слоев на фазовый состав покрытий.

3. В обзорной части диссертации не проанализированы работы, рассматривающие влияние толщины нанослоев на стойкость металлорежущих инструментов.

4. В ряде случаев недостаточно полно описаны представленные визуальные материалы.

Сделанные замечания не снижают общей научной и практической ценности диссертационной работы.

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 исследований дают существенный технический эффект при использовании и внедрении.

Общее заключение

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что диссертация Барановой Натальи Сергеевны на тему «Повышение производительности обработки точением деталей из титанового сплава путем применения износостойких покрытий с переменной величиной периода модуляции нанослоев» 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 Барановой Натальи Сергеевны соответствует требованиям п.9 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, а ее автор, Баранова Наталья Сергеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.5.5 Технология и оборудование механической и физико-технической обработки (технические науки).

Отзыв на диссертацию Н.С. Барановой обсужден и утвержден на заседании кафедры технологии машиностроения ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий» (протокол №6 от 24.10.2024г.). Присутствовало: 26 человек, из них д.т.н. – 2 чел., к.т.н. – 10 чел. Итоги голосования: «За» – 26 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) 229-9611



Подпись *Рамазанов К. Н.*
Составляю «*ад*» *12* 20*24*г.
Заведующий общего отдела УУНиТ *Рамазанов Д. Д.*