

В диссертационный совет 24.2.332.01  
при МГТУ "СТАНКИН"  
127994, г.Москва, ГСП-4,  
Вадковский пер., д.1  
8(499) 972-94-89

## ОТЗЫВ

Официального оппонента Артамонова Евгения Владимировича на диссертационную работу Шмакова Ильи Михайловича: «Повышение функциональных свойств ответственных изделий машиностроения на основе применения усовершенствованной технологии подготовки их поверхности с последующим осаждением покрытий», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»

### 1. Актуальность темы.

В настоящее время в условиях формирования технологического суверенитета отечественной промышленности станкоинструментальное производство занимает одну из определяющих позиций. Необходимость повышения производительности и долговечности деталей из твердых сплавов, титановых и алюминиевых сплавов, стальных конструкций и других материалов инструментальной, аэрокосмической промышленности, автомобилестроения обуславливают потребность в эффективных износостойких, коррозионностойких покрытиях изделий для повышения эффективности и долговечности соответствующей продукции.

Поэтому тема диссертационной работы, направленная на повышение функциональных свойств ответственных изделий промышленности из различных материалов на основе применения усовершенствованной технологии подготовки их поверхности с последующим осаждением вакуумно-плазменных покрытий, **является актуальной.**

## **2. Новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, их обоснованность и достоверность.**

Установлены закономерности влияния параметров процесса очистки и термоактивации поверхности субстратов плазмой тлеющего разряда с реализацией эффекта полого катода на характеристики осаждаемых в последующем вакуумно-плазменных покрытий и износостойкость образцов с покрытиями в условиях механических нагрузок и коррозионного воздействия.

Выявлено качественное влияние процессов очистки и термоактивации поверхности субстратов (плазмой вакуумно-дугового разряда и плазмой тлеющего разряда с реализацией эффекта полого катода) на состояние поверхностного слоя и прочность интерфейса (адгезионную прочность) между субстратом и осаждаемым вакуумно-плазменным покрытием.

Установлены взаимосвязи между свойствами материала субстрата и параметрами процесса очистки и термоактивации плазмой тлеющего разряда с реализацией эффекта полого катода, а также обоснован выбор параметров, обеспечивающих наилучшую адгезионную прочность между вакуумно плазменным покрытием и субстратом.

Достоверность выводов и положений диссертационной работы подтверждается большим количеством непротиворечивых и повторяемых результатов экспериментальных исследований, полученных с использованием современного оборудования и аттестованных методик, а также применением статистических методов обработки полученных данных. Обоснованность экспериментальных результатов

подтверждена также тем, что в основе исследований лежат методы планирования эксперимента.

### **3. Практическая значимость диссертации и использование полученных результатов:**

– Предложено и экспериментально обосновано применение усовершенствованной технологии подготовки (очистки и термоактивации) поверхности субстратов с использованием плазмы тлеющего разряда с реализацией эффекта полого катода с удержанием плазмы прикатодным потенциалом и последующим осаждением вакуумно-плазменных покрытий, использование которой для осаждения покрытий на твердосплавном режущем инструменте, изготавливаемом АО «Резьбовые Технологии», позволило повысить производительность обработки резьб на деталях из труднообрабатываемых сталей на 25–30 %.

– Разработаны рекомендации по практическому применению усовершенствованной технологии подготовки поверхности субстратов с использованием плазмы тлеющего разряда с эффектом полого катода и выбору рациональных режимов обработки для различных материалов (твердого сплава, титановых и алюминиевых сплавов, нержавеющей стали), обеспечивающих наилучшие функциональные свойства осаждаемых в последующем покрытий.

– Предложена совокупность технологических рекомендаций, позволяющая повысить износостойкость изделий (твердосплавных режущих пластин). Результаты испытаний твердосплавных режущих пластин с покрытиями на Jiangsu Tiangong Cemented Carbide Technology Co. Ltd. (КНР), специализирующейся на производстве твердосплавных инструментов для металлообработки, продемонстрировали более высокую износостойкость образцов, обработанных в соответствии с предложенной усовершенствованной технологией очистки и термоактивации поверхности, в сравнении с образцами, изготовленными с использованием традиционной производственной технологией.

– Результаты исследований, обеспечивающие высокую работоспособность твердосплавных режущих пластин с разработанными покрытиями приняты к внедрению в АО «Резьбовые технологии».

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации на проведение научных исследований в рамках государственного задания (проект № FSFS-2023-0003).

4. **Содержание и оформление диссертации и автореферата.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем работы: основной текст содержит 127 страниц, включая 59 рисунков и 5 таблиц; список литературы включает 107 наименований.

**Во введении** автором обоснована актуальность проблемы, 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 подготовки (очистки и термоактивации) поверхности субстрата при использовании вакуумно-дуговых процессов (КИБ-МеVVA) осаждения покрытий на субстраты различного состава. Рассмотрены теоретические аспекты и примеры практической реализации данных методов. В результате анализа литературных источников были сформулированы цели и задачи исследований, предусмотренные настоящей работой, дано теоретическое обоснование научной гипотезы.

**Во второй главе** содержится описание методики проведения исследований.

Для осаждения изучаемых покрытий применялась специальная исследовательская установка ВИТ-2. В данной установке используются два типа испарителей: система filtered cathodic vacuum arc deposition (FCVAD), позволяющая обеспечить до 98 % сепарации фазы микрочастиц в сочетании с обеспечением высокой степени фокусировки потока плазмы. Испарители второго типа – системы Controlled Accelerated Arc (CAA-PVD) отличаются высокой энергетической эффективностью и сниженным по отношению к традиционным испарителям дугового

типа количеством микрочастиц. Катод Al (99,8 %) устанавливался в систему FCVAD, так как именно Al дает максимальное количество микрочастиц и, соответственно, существует необходимость в их эффективной сепарации. Катоды Ti (99,6 %) и Cr (99,9 %) устанавливались на испарители системы САА-PVD. Перед установкой на специализированную оснастку и помещением в камеру образцы проходили процедуру подготовки. Данная процедура включала мойку в специальном растворе при высокой температуре с ультразвуковой стимуляцией, мойку в специально очищенной воде, сушку в потоке очищенного воздуха. Применение предварительной подготовки поверхности субстрата плазмой тлеющего разряда с рационально подобранными параметрами процесса обеспечивает износостойкость твердосплавных пластин с покрытиями на уровне, или даже выше пластин с коммерческими покрытиями CVD.

**В третьей главе** представлены результаты сравнения эксплуатационных свойств покрытия Ti-TiN, осажденного на субстраты из титанового и алюминиевого сплава, а также – нержавеющей стали с применением предварительной термоактивации и очистки методами ионной бомбардировки (IB) и тлеющего разряда (НСМ). Сравнивались покрытия НСМ, осажденные при различных величинах  $U_s$ . Для всех материалов субстрата наилучшая сопротивляемость изнашивания наблюдается у образца НСМ 2.

**В четвертой главе** представлены результаты исследования влияния параметров процесса подготовки поверхности на шероховатость образцов, а также коррозионную стойкость в соляном растворе (0,9 % NaCl). Проведено сравнение параметров шероховатости поверхности образцов при воздействии IB (при использовании одного и двух катодов) и НСМ, в зависимости от времени обработки (15, 30 и 60 минут). Было установлено, что метод НСМ обеспечивает наилучшую шероховатость ( $R_a$  0,18;  $R_z$  3,50 мкм) по сравнению с методом IB.

По каждой главе представлены выводы, отражающие полученные результаты. Общие выводы по работе сформулированы в заключении.

Автореферат в достаточно полно отражает содержание диссертации.

Оформление диссертации и автореферата в целом соответствует установленным требованиям.

**Апробация.** Основные результаты работы были доложены на следующих конференциях:

- XXI-й Международная научно-техническая конференция «Быстрозакаленные материалы и покрытия», 22-23 октября 2024 г., Московский авиационный институт, г. Москва;
- Школа молодых ученых «Адаптивные материалы и покрытия для высокотехнологичных отраслей промышленности», 27-28 ноября 2024 г., ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», г. Москва;
- XI Международная научно-техническая конференция «Инновации в машиностроении» 4–5 сентября 2024 г., Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск;
- VIII Международный симпозиум по трибофатике, 13 августа 2025 г., г. Харбин, КНР.

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности.** Тема диссертационной работы соответствует паспорту научной специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки» в части п.2 и п.3 раздела «Области исследований».

**Публикации.** Основные научные результаты исследований опубликованы в 10 печатных работах, в том числе 4 статьи в изданиях из перечня ВАК, 4 статьи в изданиях из базы цитирований Scopus и Web of Science.

Публикации автора по теме диссертации в достаточной степени отражают основные результаты исследований и соответствуют требованиям ВАК по публикациям для кандидатских диссертаций.

**5. Основные замечания по диссертационной работе.** К основным замечаниям по диссертационной работе можно отнести следующие:

1. В работе не приведено обоснование выбора материала подложки.

2. Не понятно, каким образом характер и перечень проведенных исследований для твердого сплава соотносят с другими образцами материалов подложки?
3. Было бы не плохо, провести больший объем однотипных испытаний с целью расширения спектра данных для предложенной в п. 3.1.4 диссертации зависимости оптимальной величины напряжения смещения от теплопроводности и электропроводности материала субстрата.
4. Исследования стойкости к коррозии было бы верным проводить для всех образцов материалов подложки.
5. Почему во всех исследованиях, давление газа принимается неизменным?
6. Имеются опечатки в тексте диссертации.
7. По оформлению автореферата: плохо читаемые надписи и графики (рис.1, рис.4, рис.7, рис.11, рис.13.).

Отмеченные замечания не снижают общей положительной оценки работы.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В диссертационной работе Шмакова Ильи Михайловича получены новые научные результаты и положения, с применением которых возможно повышение функциональных свойств ответственных изделий машиностроения на основе применения усовершенствованной технологии подготовки их поверхности с последующим осаждением покрытий.

Основой диссертационной работы Шмакова И.М. являются новые научные результаты теоретических и экспериментальных исследований, которые выполнены лично автором или при непосредственном его участии. Личный вклад автора подтвержден публикациями, перечисленными в автореферате.

Рассматриваемая диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и свидетельствует о личном вкладе автора в науку.

В целом диссертационная работа Шмакова Ильи Михайловича является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно-обоснованные технические и технологические решения и разработки по повышению функциональных свойств ответственных изделий машиностроения из различных материалов на основе применения усовершенствованной технологии подготовки их поверхности с последующим осаждением вакуумно-плазменных покрытий, имеющие существенное значение для развития страны, и соответствует критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям пп. 9-11,13,14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №824, а ее автор Шмаков Илья Михайлович заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Заслуженный работник  
высшей школы РФ,  
профессор кафедры  
«Станки инструменты»  
ФГБОУ ВО «ТИУ»,  
доктор технических наук  
(2.5.5 - «Технология и  
оборудование  
механической и физико-  
технической обработки»),  
профессор



*Handwritten signature of Evgeniy Vladimirovich Artyamonov.*

**Артамонов Евгений Владимирович**

тел. 8(922) 481-89-05

Evgart2014@mail.ru

*Handwritten signature of Evgeniy Vladimirovich Artyamonov.*  
*Handwritten signature of Yulia N. Artemova.*  
 03.10.2023

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский индустриальный университет»

(ФГБОУ ВО «ТИУ»)

625000, г. Тюмень, ул. Володарского, 38