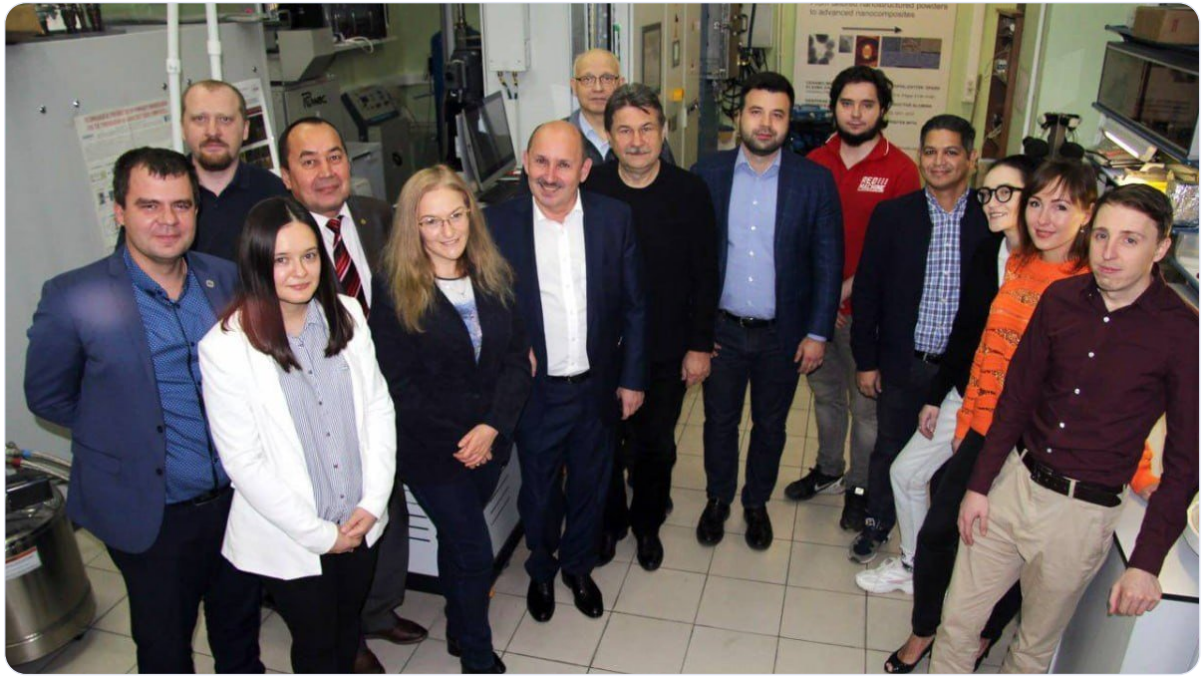
Поверхностная модификация PVD-покрытиями

Износостойкие и функциональные покрытия для инструмента, деталей машин и медицинских изделий

Кафедра высокоэффективных технологий обработки (ВТО)
Лаборатория упрочняющих методов обработки и нанесения покрытий



Коллектив направления, МГТУ «СТАНКИН»

СОСТАВ КОЛЛЕКТИВА **12 человек: 6 докторов наук · 6 кандидатов наук**

Григорьев Сергей Николаевич — профессор, доктор технических наук, руководитель научного направления

Доктора наук

Верещака А. А.
Волосова М. А.
Метель А. С.
Мигранов М. Ш.
Шехтман С. Р.

Кандидаты наук

Мельник Ю. А.
Мустафаев Э. С.
Селезнев А. Е.
Сотова Е. С.
Федоров Е. А.
Федоров С. В.

Команда направления



Руководитель направления

Григорьев Сергей Николаевич

доктор технических наук, профессор



Верещака А. А.
доктор наук



Волосова М. А.
доктор наук



Метель А. С.
доктор наук



Мигранов М. Ш.
доктор наук



Шехтман С. Р.
доктор наук



Мельник Ю. А.
кандидат наук



Мустафаев Э. С.
кандидат наук



Сотова Е. С.
кандидат технических наук, доцент



Федоров С. В.
кандидат наук

Также в коллективе

Селезнев А. Е.
Федоров Е. А.
кандидаты наук

Пять технологий модификации поверхности



01

Многослойные покрытия

Адгезионный, переходный и износостойкий слои.

Стойкость инструмента выше в 2–4 раза*



02

Нанокомпозитные покрытия

Ti-Al-Si-N и Al-Cr-Si-N для твердосплавных пластин.

Износ 0,18 мм против 0,78 мм у TiN*



03

Ионная и атомная очистка

Тлеющий разряд и пучки быстрых атомов аргона.

Вязкость разрушения Lc_2 выше на 20–35 %*

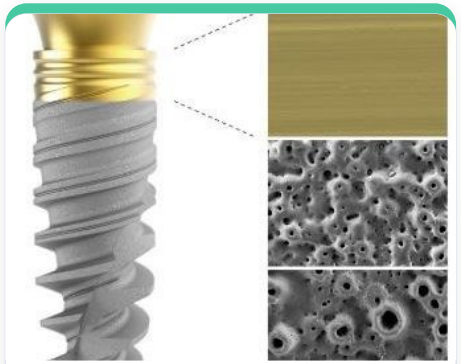


04

Магнетронное распыление

Антибактериальные слои Ag и Cu на имплантатах.

До 99,8 % подавления S. aureus*



05

Гибридные технологии

Микродуговое оксидирование + PVD, PVD + магнетрон.

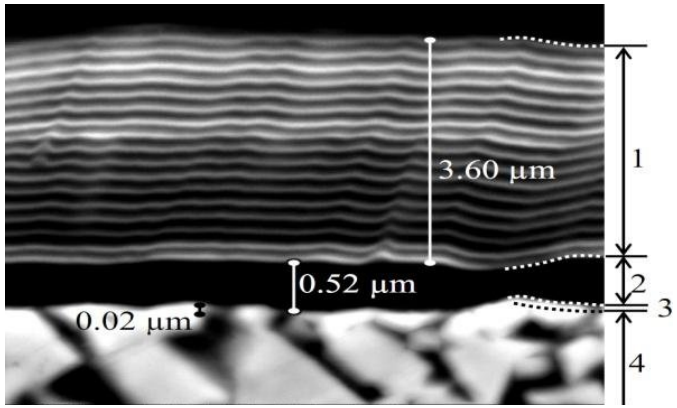
Биоактивный и защитный слои имплантата

Покрытия: **Инструмент** TiN · TiAlN · AlTiN · TiAlCrSiN **Медицина** Ag · Cu · алмазоподобные **Основа** твёрдый сплав · керамика

**По данным исследований и испытаний; значения зависят от материала, состава покрытия и режима*

От структуры покрытия до промышленной установки

PVD — физическое осаждение покрытий из паровой фазы в вакууме: катод испаряется дугой или распыляется магнетроном, ионы металла с азотом осаждаются на изделии слоем нитридов или карбонитридов. Состав и чередование нанослоёв задают твёрдость, адгезию и стойкость.



1 — износостойкий наноструктурированный слой, 3,60 мкм
2 — переходный слой, 0,52 мкм
3 — адгезионный слой, 0,02 мкм
4 — подложка

Сечение многослойного покрытия, растровая электронная микроскопия

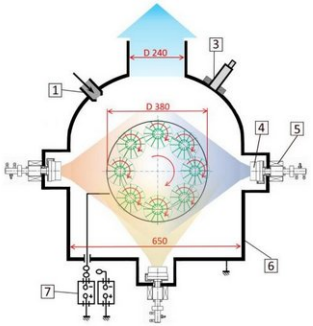
10–25 нм период нанослоёв с наилучшей стойкостью к кратерообразованию и износу по задней поверхности



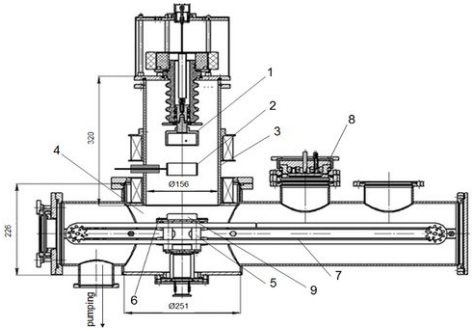
Комбинированная установка PLATIT π311



Установка PLATIT π80



Установка ВИТ-2: схема камеры



Установка «РИТМ-СП»: схема

Лаборатории упрочняющих методов обработки и нанесения покрытий (300 м²) и технологий нанесения покрытий (100 м²)

- вакуумно-дуговая установка СТАНКИН-АПП
- испытания твёрдости, адгезии, трения и стойкости инструмента
- ВИТ-2 (ИКТИ РАН – МГТУ «СТАНКИН») с испарителями CAA-PVD
- центр коллективного пользования: более 55 единиц оборудования

ЭФФЕКТ

Что получает производство

Задача	Как обычно	PVD-технология	Результат*
Износ режущего инструмента	Инструмент без покрытия или с покрытиями TiN, TiAlN	Наноструктурированные многослойные покрытия	**Срок службы в 2–4 раза выше, чем без покрытия, и в 1,5–2 раза — чем с TiN и TiAlN**
Твёрдость покрытия	Монослойное покрытие TiN	Градиентное покрытие AlTiN-G	**Микротвёрдость 48,0 ГПа против 33,1 ГПа**
Растрескивание покрытия при резании	Покрытие с постоянным периодом нанослоёв	Переменный период модуляции нанослоёв	**Трещиностойкость на 15–20 % выше**
Адгезия покрытия к твёрдому сплаву	Ионная очистка без оптимизации режима	Ионная очистка в тлеющем разряде: 400–600 В, 15 мин	**Вязкость разрушения Lc_2 выше на 20–35 % за счёт переходного слоя 3–5 нм**
Износ поверхности	Образцы без покрытия	Очистка в тлеющем разряде и покрытие ZrN	**Износостойкость выше на 50–70 %**
Точение титанового сплава ВТ20	Твердосплавная пластина с покрытием TiN	Нанокомпозитное покрытие TiAlCrSiN	**Износ за 20 мин — 0,18 мм против 0,78 мм**
Бактерии на сетчатых имплантатах	Сетка без покрытия: $8 \cdot 10^4$ КОЕ	Магнетронное покрытие Ag + Cu	**S. aureus — 150 КОЕ, подавление 99,8 %**

Примеры из практики

- **АО «ПО «Стрела»**
  2021–2026 гг.: покрытия и режимы резания для обработки титановых и никелевых сплавов
- **ООО «ВИРИАЛ»**
  2025–2027 гг.: четыре типа покрытий нанесены на сменные пластины и испытаны при точении сплава ВТ20
- **Российский университет медицины**
  2024–2026 гг.: стоматологический инструмент с алмазоподобным покрытием

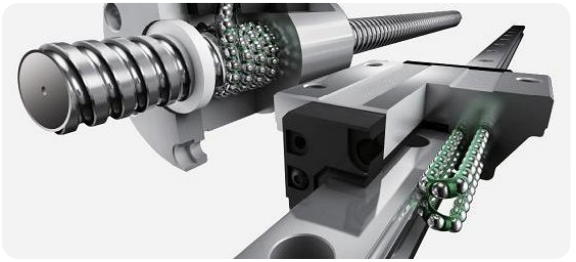
**По данным исследований и испытаний; значения зависят от материала, состава покрытия и режима*

ПРИМЕНЕНИЕ

Покрытия для промышленности и медицины



Режущие инструменты



Пары трения



Изделия для агрессивных сред



Изделия медицинского назначения

Инструментальная промышленность

Режущий инструмент и сменные пластины, штампы, пресс-формы, оснастка

Аэрокосмическая отрасль

Детали двигателей и крепёж

Автомобилестроение

Детали двигателей, декоративные элементы

Медицина

Имплантаты, хирургические иглы, стоматологические боры и свёрла

Энергетика

Лопатки паровых турбин, биполярные пластины топливных элементов

Электроника

Контакты и электронные компоненты

Пищевая промышленность

Компоненты технологического оборудования

Потребительские товары

Ювелирные изделия, часы, фурнитура

Заказчики: АО «ПО «Стрела» | ПАО «КамАЗ» | ООО «ВИРИАЛ» | Российский университет медицины

Уровень готовности технологий: 6 в 2025 г. → 9 к 2036 г.

Научные проекты, результаты и партнёры

Научные проекты

РНФ-БРФФИ № 25-49-10023 · 2026–2028 · выполняется
Комплексная модификация деталей из нержавеющих сталей
Повышение эксплуатационных свойств ответственных деталей

РНФ-БРФФИ № 24-49-10012 · 2024–2026 · выполняется
Покрытия на основе MAX-фазы Ti-Al-N
Стойкость к износу, высокотемпературному окислению и коррозии

Минобрнауки России, FSFS-2025-0010 · 2025–2027 · выполняется
Нанокомпозитные PVD-покрытия для сменных пластин
Фрезерование нержавеющих сталей, жаропрочных и титановых сплавов

Минобрнауки России, FSFS-2025-0011 · 2025–2027 · выполняется
Многослойные покрытия для режущего инструмента
Рецептуры и технологии, повышающие период стойкости инструмента

Вехи и результаты

Год	Событие
1971	Начало исследований покрытий для режущего инструмента; основатель направления — д.т.н., проф. И. П. Третьяков
1986	Государственная премия СССР за оборудование и технологию КИБ (конденсация с ионной бомбардировкой) для покрытий инструмента; среди лауреатов — А. С. Верещака
2011–2020	SciVal: МГТУ «СТАНКИН» — первый в мире по числу публикаций (321) в кластере «Магнетронное распыление, азотирование, покрытия»
2025	FSFS-2025-0010: 3 статьи из «Белого списка» и 2 заявки на регистрацию программ для ЭВМ

50+
статей в WoS и Scopus

13
статей в журналах Q1

10+
патентов на составы и технологии

Предприятия: АО «ПО «Стрела» · АО «НПП «Салют» · ПАО «КамАЗ» · ООО «ВИРИАЛ»

Вузы и институты: ИКТИ РАН · УлГТУ · НИТУ «МИСиС» · КнАГУ · МИРЭА · Белорусский государственный университет · Белорусский государственный технический университет [сверить название] · Шанхайский университет науки и технологий

Сотрудничество

1 Полный цикл работ

От выбора состава и архитектуры покрытия и подготовки поверхности до технологии нанесения и стойкостных испытаний инструмента.

2 Сильная научная команда

6 докторов и 6 кандидатов наук; индекс Хирша в Scopus: С. Н. Григорьев — 62, М. А. Волосова — 29, А. С. Метель — 21.

3 Опыт работы с индустрией

АО «ПО «Стрела» (с 2021 г.), ПАО «КамАЗ», ООО «ВИРИАЛ», АО «НПП «Салют»; Российский университет медицины.

4 Готовим кадры

Бакалавриат 15.03.05 и магистратура 15.04.05, аспирантура 2.5.5; курсы «Основы теории формирования покрытий» и «Технологии ионно-плазменного упрочнения инструмента и деталей машин».

Форматы

- разработка покрытий и технологий их нанесения под задачи заказчика
- технологические рекомендации и режимы резания для инструмента с покрытиями
- базы данных по выбору покрытий и режимов нанесения
- испытания покрытий: твёрдость, адгезия, трение, стойкость
- повышение квалификации «Материаловедение в инструментальном производстве», 16 ч
- программы ДПО под требования заказчика, 72–520 ч

Контакты

Григорьев Сергей Николаевич — руководитель направления, д.т.н., профессор · s.grigoriev@stankin.ru · +7 (499) 972-94-92
Сотова Екатерина Сергеевна — к.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник · e.sotova@stankin.ru · +7 (499) 972-94-61
127055, Москва, Вадковский пер., д. 3А · stankin.ru · kafedravto.stankin.ru