

Шабунина Алина Владимировна,
студентка 2 курса агроинженерного факультета,
Воронежский государственный аграрный университет
имени императора Петра I, Россия, Воронеж

Шитиков Данил Леонидович,
студент 2 курса агроинженерного факультета
Воронежский государственный аграрный университет
имени императора Петра I, Россия, Воронеж

Научный руководитель:
Гиевский Виталий Алексеевич,
ассистент кафедры эксплуатации
транспортных и технологических машин,
Воронежский государственный аграрный университет
имени императора Петра I, Россия, Воронеж

**ИННОВАЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ ТОКАРНЫХ РЕЗЦОВ И ФРЕЗ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТАЛЛООБРАБОТКИ
INNOVATIVE COATINGS OF TURNING TOOLS AND MILLING
CUTTERS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF METALWORKING**

Аннотация: в этой статье изучаются передовые технологии покрытий для режущих инструментов, их преимущества и практическое применение. Понимая свойства и преимущества различных технологий покрытия режущих инструментов, потребители могут делать осознанный выбор при выборе лучшего инструмента для своих конкретных требований к обработке.

Abstract: This article examines advanced coating technologies for cutting tools, their advantages and practical applications. By understanding the properties and benefits of various cutting tool coating technologies, consumers can make informed choices when choosing the best tool for their specific machining requirements.

Ключевые слова: металлообработка, покрытия для режущих инструментов, многослойные покрытия, нанотехнологии, алмазоподобный углерод, осаждение из паровой фазы.

Keywords: metalworking, coatings for cutting tools, multilayer coatings, nanotechnology, diamond-like carbon, vapor deposition.

В последние годы производители режущих инструментов добились значительных успехов в разработке специализированных покрытий, повышающих эффективность металлообработки. Инновационные композитные покрытия повышают производительность, долговечность и производительность инструмента за счет снижения трения, повышения термостойкости и улучшения износостойкости.

Рассмотрим виды существующих инновационных покрытий.

Нанокompозитные покрытия представляют собой передовое достижение в области технологий нанесения покрытий. Эти покрытия состоят из наночастиц, диспергированных в матричном материале, что повышает твердость, прочность и устойчивость покрытия к термическому растрескиванию. Наномасштабная структура этих покрытий обеспечивает более равномерное распределение напряжения и тепла, улучшая общую производительность фрезы [3].

Нитрид титана (TiN) является одним из самых известных представителей тугоплавких нитридов переходных металлов. Пленки нитрида титана обладают сочетанием полезных



механических, трибологических и химических свойств, таких как высокая твердость, износостойкость и коррозионная стойкость, механическая стабильность, высокая температура плавления и отличная электропроводность.

Поэтому они являются одними из наиболее широко используемых покрытий в индустрии режущих инструментов, обеспечивая высокую износостойкость, увеличивая срок службы инструмента и снижая износ от трения. Это покрытие особенно хорошо подходит для высокоскоростной резки, поскольку оно снижает тепловыделение и позволяет использовать более высокие скорости резки без ущерба для срока службы инструмента [6].

Титановый углеродный нитрид (TiCN) – более твердая и износостойкая альтернатива покрытиям TiN. TiCN имеет темно-сине-серый цвет и обеспечивает улучшенную термостойкость, что позволяет увеличить скорость резания в условиях высоких температур. Твердость и износостойкость этого покрытия делают его идеальным для обработки таких материалов, как твердые стали, нержавеющая сталь, инконель и титановые сплавы.

Инструменты с покрытием TiCN особенно эффективны в борьбе с абразивным и адгезионным износом, что делает их популярным выбором для обработки, которая подразумевает высокие уровни нагрева и силы резания. Однако покрытия TiCN могут быть более хрупкими, чем покрытия TiN, что делает их непригодными для операций, которые включают в себя большие перерывы или ударные нагрузки [1].

Покрытия из нитрида алюминия и титана (TiAlN) представляют собой значительный прогресс в технологии покрытий, демонстрируя уникальное сочетание твердости, термостойкости и смазывающей способности. Это темно-серое или черное покрытие обеспечивает превосходную износостойкость и улучшенную термостойкость по сравнению с покрытиями TiN и TiCN. TiAlN особенно хорошо себя зарекомендовал для высокоскоростной, сухой или полусухой технологии резки, где температуры зоны реза очень высоки.

Инструменты с покрытием TiAlN являются предпочтительным выбором при обработке жестких и абразивных материалов, включая закаленную сталь, нержавеющую сталь и сплавы на основе никеля. Исключительная термостойкость и стойкость к окислению этого покрытия делают его пригодным для применений в процессах обработки с длительным временем и агрессивными параметрами резания [3].

Многослойное нанопокрытие TiSiN (титан кремний) медного цвета, отличается свойствами сохранения высокой твердости (4000HV), теплостойкостью, отличной химической инертностью, позволяющей обрабатывать более твердые виды сталей, например жаропрочных или закаленных. Способствует увеличению износостойкости фрезы, даже при воздействии высоких температур и скорости вращения, снижает вероятность кратерного износа. Лучше всего оно работает на инструментах из карбида вольфрама, где выдерживает температуру до 1100°C на режущей кромке.

Покрытие AuroraX Plus с составом TiAlSiXN и нанокompозитной многослойной микроструктурой, которая сочетает в себе оптимальные свойства, необходимые для выдерживания экстремальных условий резания. Благодаря высокой твердости при высоких температурах, высокой термической стабильности, выдающейся стойкости к окислению и низкой теплопроводности, AuroraX plus увеличивает срок службы инструмента, обеспечивая исключительную износостойкость и выступая в качестве теплового барьера для защиты материала инструмента. Кроме того, гладкие и низкофрикционные свойства AuroraX Plus обеспечивают эффективное удаление стружки. Более того, высокая химическая инертность AuroraX Plus подавляет налипание при обработке липких материалов, таких как титановые сплавы и нержавеющая сталь.

AuroraX Plus также повышает прочность режущей кромки, что имеет решающее значение при прерывистой резке. Он стабилен при высоких температурах до 1100°C, что



делает его пригодным для сухой обработки с широким диапазоном условий резания для различных применений, включая сверление, фрезерование, зубофрезерование и резку фасок.

Покрyтия из алмазоподобного тетраморфного углерода (DLC) демонстрируют свойства, схожие со свойствами натурального алмаза, такие как экстремальная твердость, низкое трение и превосходная износостойкость. Покрyтия DLC очень эффективны для снижения износа инструмента и продления срока службы инструмента в различных областях обработки. Эти черные или темно-серые покрyтия в основном используются для обработки цветных металлов, таких как алюминий, магний и медные сплавы [2].

Покрyтия DLC особенно эффективны для предотвращения адгезии материала и образования наростов на кромке, что может привести к износу инструмента и ухудшению качества поверхности. Низкий коэффициент трения этого покрyтия также способствует улучшению эвакуации стружки и снижает тепловыделение во время резки. Такой инструмент отлично подходит для резки мягких благородных металлов, таких как золото, серебро и медь, а также свинцовых и бессвинцовых бронз и латунных сплавов. Его переменная толщина, очень низкий коэффициент трения и антипригарные свойства делают режущий инструмент с таким покрyтием превосходным для обработки широкого спектра липких материалов, где он предотвращает накопление материала на острой режущей кромке [6]. Но из-за высокой стоимости и специализированных применений покрyтия DLC обычно используются для высокопроизводительных или сложных операций обработки.

Покрyтия из нитрида хрома (CrN) имеют серебристо-серый цвет и обладают рядом преимуществ, включая износостойкость, термостойкость и сниженное трение. CrN имеет более низкий коэффициент трения по сравнению с TiN и TiCN, что делает его идеальным для обработки, требующей высокой смазывающей способности, например, для обработки цветных металлов и пластика [2].

Инструменты с покрyтием CrN хорошо подходят для обработки алюминиевых, титановых и медных сплавов, а также нержавеющей стали и жаропрочных суперсплавов. Кроме того, антиадгезионные свойства покрyтий CrN позволяют улучшить эвакуацию стружки, снизить силы резания и продлить срок службы инструмента [1].

Покрyтие AlCrN является более универсальным покрyтием для мокрой и сухой обработки на средних и высоких скоростях при фрезеровании, сверлении и зубофрезеровании с температурами до 1050 °C. Его качества делают его пригодным для самого широкого спектра материалов: от низко- до высокопрочных сталей, чугунов, инструментальных сталей, нержавеющей сталей, титановых и никелевых сплавов.

В таблице 1. отражено развитие технологий нанесения покрyтий на фрезы из вольфрамовой стали, а также выделены их основные характеристики и преимущества с течением времени.

Таблица 1.

Сравнительная характеристика покрyтий режущих инструментов.

Период	Технология нанесения покрyтий	Основные характеристики	Преимущества
Начало 1980-х	Вольфрамовая сталь без покрyтия	Базовая вольфрамовая сталь без покрyтия.	Низкая стоимость; простой производственный процесс.
Конец 1980-х	Нитрид титана (TiN)	Твердое керамическое покрyтие золотистого цвета.	Увеличенный срок службы инструмента; улучшенная износостойкость.
1990-е	Карбонитрид титана (TiCN)	Твёрже и долговечнее, чем TiN.	Повышенная износостойкость; улучшенная производительность резки.



Конец 1990-х	Нитрид титана и алюминия (TiAlN)	Высокая термостойкость; темно-серый цвет.	Превосходные характеристики при высоких температурах; более длительный срок службы инструмента.
2000-е	Нитрид алюминия-титана (AlTiN)	Усовершенствованная версия TiAlN с более высоким содержанием алюминия.	Отличная термостойкость и износостойкость; улучшенные характеристики при высокоскоростной обработке.
2010-е	Многослойные покрытия (например, TiN/TiAlN)	Сочетание различных покрытий для повышения производительности.	Увеличенный срок службы инструмента; лучшая производительность при обработке различных материалов.
2020-е годы	Алмазоподобный углерод (DLC)	Чрезвычайно твердое, гладкое и низкофрикционное покрытие.	Превосходная износостойкость; сниженное трение и тепловыделение.
Подарок	Нанокompозитные покрытия	Современные покрытия с использованием наноструктурированных материалов.	Исключительная долговечность; оптимизировано для конкретных применений

Процесс нанесения вышеперечисленных покрытий методом осаждения из паровой фазы осуществляется при гораздо более высоких уровнях энергии, чем это возможно при использовании обычных дуговых источников. В результате покрытия имеют значительно большую плотность, что приводит к повышению стойкости к истиранию и снижению тенденции к скалыванию на кромке режущего инструмента. Покрытие имеет меньше дефектов роста, что приводит к более гладкой поверхности, которую можно дополнительно улучшить с помощью соответствующей последующей обработки. Производительность резки повышается благодаря строго контролируемым составам и градиентам внутренних напряжений

Передовые технологии нанесения покрытий значительно изменили технологию изготовления режущих инструментов, обеспечив улучшенную износостойкость, увеличенный срок службы инструмента и оптимизированную производительность обработки.

По мере появления новых технологий покрытия отрасль режущих инструментов движется в сторону дальнейшего улучшения в производительности и долговечности инструментов, что позволит повысить эффективность, экономию затрат и общую производительность производственных процессов.

Адаптивные покрытия представляют собой одну из самых захватывающих будущих тенденций в этой области. Эти покрытия разработаны для динамического реагирования на изменяющиеся условия эксплуатации, такие как температура, давление и износ. Например, адаптивное покрытие может изменять свою твердость или характеристики трения при изменении условий резания, оптимизируя производительность в реальном времени.

Разработка адаптивных покрытий опирается на передовые технологии материаловедения, включая использование материалов или соединений с изменяющейся



фазой, которые реагируют на внешние воздействия. По мере развития этой технологии адаптивные покрытия могут значительно повысить универсальность и эффективность фрез из вольфрамовой стали, особенно в сложных условиях обработки [4].

Еще одной перспективной тенденцией является интеграция датчиков в сами покрытия, что приводит к разработке «умных покрытий» [5]. Эти датчики могут контролировать различные параметры, такие как температура, износ и трение, предоставляя данные в режиме реального времени, которые можно использовать для оптимизации процессов обработки. Кроме того, данные, собранные этими датчиками, могут использоваться для точной настройки параметров обработки, что приводит к большей точности и эффективности.

Биопокрытия, которые имитируют свойства природных материалов, привлекают внимание как потенциальный будущий тренд. Природа создала материалы с исключительными свойствами, такими как твердость алмазов или прочность перламутра (перламутра). Исследователи изучают способы воспроизведения этих свойств в синтетических покрытиях для фрез из вольфрамовой стали.

Биопокрытия могут достичь сочетания твердости и прочности, превосходящего существующие материалы, обеспечивая исключительную устойчивость к износу и растрескиванию. Свойства самовосстановления, наблюдаемые в некоторых биологических материалах, также изучаются с целью разработки покрытий, которые могут самостоятельно восстанавливать незначительные повреждения, что еще больше продлевает срок службы инструмента [5].

Подводя итог, можно сказать, что с развитием многослойных, нанокompозитных и гибридных покрытий, а также совершенствованием методов осаждения, фрезы из вольфрамовой стали стали более эффективными, долговечными и универсальными, чем когда-либо прежде. По мере продолжения исследований и инноваций появились более новаторские тенденции в технологиях нанесения покрытий, что еще больше повышает производительность и устойчивость процессов обработки в различных отраслях промышленности.

Список литературы:

1. Александров В. А., Вдовин В. М., Сергеева А. С. Создание износостойких покрытий для режущего инструмента // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2017. №11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sozдание-iznosostoykih-pokrytiy-dlya-rezhushchego-instrumenta> (дата обращения: 29.11.2024).

2. Верещака Алексей Анатольевич Функциональные покрытия для режущих инструментов // Транспортное машиностроение. 2015. №4 (48). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/funktsionalnye-pokrytiya-dlya-rezhushchih-instrumentov> (дата обращения: 29.11.2024).

3. Волков Д. И. Назначение и способы нанесения износостойких покрытий режущего инструмента: конспект лекций. Учебное пособие / РГАТУ им. П. А. Соловьева. – Рыбинск, 2015. – 34 с.

4. Давлетбаева, Р. Р. Покрытие для режущего инструмента / Р. Р. Давлетбаева. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2017. – № 2 (136). – С. 98-101. – URL: <https://moluch.ru/archive/136/38195/> (дата обращения: 29.11.2024).

5. Маркова Е.А., О.К. Яцкевич. Износостойкие покрытия для режущих инструментов: учеб. пособие. Минск: Изд-во БНТУ, 2021. 153 с

6. Табаков, В. П. Износостойкие покрытия режущего инструмента, работающего в условиях непрерывного резания / В. П. Табаков, А. В. Чихранов. – Ульяновск: УлГТУ, 2007. – 255 с

