

УДК 621.793:66.088

## АНТИФРИКЦИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ФТОРСОДЕРЖАЩИХ АЛТИНОВ

Е. В. ОВЧИННИКОВ<sup>1</sup>, Н. М. ЧЕКАН<sup>2</sup>, Г. А. КОСТЮКОВИЧ<sup>3</sup>,  
И. П. АКУЛА<sup>2</sup>, Л. А. СУЛЕЙМАНОВА<sup>4</sup>, А. В. ПОПРУКАЙЛО<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Гродненский государственный университет имени Янки Купалы  
Гродно, Беларусь

<sup>2</sup>Физико-технический институт НАН Беларуси  
Минск, Беларусь

<sup>3</sup>ОАО «Белкард»  
Гродно, Беларусь

<sup>4</sup>Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова  
Белгород, Россия

Наиболее распространенными покрытиями для металлообрабатывающего инструмента являются нитрид титана, карбид титана, карбонитрид титана, нитрид и карбид циркония, карбонитрид циркония, а также хромовые, титановые, алюминиевые и алмазоподобные покрытия. Их получают в вакууме методами PVD, CVD, PCVD или их комбинацией. Современное направление в области вакуумного осаждения связано с созданием многофункциональных покрытий, которые значительно повышают производительность инструмента по сравнению с исходными материалами [1]. Для получения таких покрытий используются многослойные «сэндвич»-структуры, где каждый слой выполняет свою задачу: обеспечение формы, снижение износа, обеспечение коррозионной стойкости, снижение адгезии. Применение металлообрабатывающего острого инструмента с многослойными и композиционными покрытиями заметно повышает его стойкость и рабочие параметры, снижает износ, повышает точность обработки, дает возможность регулирования подачи, повышает качество поверхности и продлевает срок службы инструмента. Например, использование композиционного многослойного покрытия со слоями нитрида титана, титана и алмазосодержащих соединений толщиной от 0,1 до 2 мкм повышает долговечность инструмента в 1,5–5 раз. Такое покрытие наносится послойно на подготовленные поверхности в вакуумных установках. Многофункциональная структура покрытий эффективно обеспечивает высокую износостойкость пар трения в режиме воздействия высоких нагрузок и небольших перемещений. Создание многослойных вакуумных покрытий, включающих нанопазы и наночастицы, с применением многокомпонентных магнитоуправляемых потоков металлической и углеродной плазмы состава (Al-Ti-Cr-Si)-(C, N), CN, CF, CB дает возможность значительно улучшить физические и механические свойства модифицируемых изделий [2, 3]. Многокомпонентные покрытия на основе

алюминия-титана-кремния-азота позволяют получить значимые результаты при эксплуатации металлообрабатывающего инструмента. Это достигается за счет высоких физико-механических параметров данных покрытий, таких как барьерные свойства, т. е. снижающие диффузионные процессы, что позволяет сохранять достаточно точно стехиометрический состав покрытий. Постоянный стехиометрический состав покрытия обеспечивает стабильность эксплуатационных характеристик. Образование защитных слоев на поверхности металлического субстрата позволяет повысить стойкость к коррозионной среде при повышенных температурах, резко снижаются окислительные процессы. Формирование покрытий на поверхности субстрата уменьшает вероятность образования и последующего роста микротрещин. Покрытия системы Al-Ti-Si-N значительно повышают эффективность металлорежущего инструмента. Это обусловлено рядом факторов данных покрытий: они обладают барьерными свойствами, препятствующими диффузии и сохраняющими стабильный стехиометрический состав, формируют защитный слой, повышающий коррозионную и окислительную стойкость при высоких температурах, а также подавляют образование и рост микротрещин. Изучены покрытия на основе алтинов, содержащих в своем составе углерод и фтор. Показано, что покрытия алтинов, содержащие в своем составе фтор и углерод, имеют низкие коэффициенты трения по сравнению с исходными алтинами. Значения коэффициента трения снижаются с 0,8 (исходные покрытия) до 0,4–0,5 (покрытия алтинов, содержащие углерод и фтор). Установлено, что эксплуатационный ресурс инструмента с модифицированным алтиновым покрытием увеличился на 33 %, что можно объяснить сочетанием высокой твердости покрытий алтинов с высокими триботехническими характеристиками поверхностных слоев покрытий, содержащих фтор и углерод.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фторсодержащие сверхтвердые покрытия / Н. М. Чекан [и др.] // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сб. науч. тр. : в 2 кн. – Мн. : ФТИ НАН Беларуси, 2025. – Кн. 2. – С. 237–247.
2. Фторсодержащие покрытия алмазоподобного углерода / И. П. Акула [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук. – 2024. – Т. 69, № 4. – С. 183–193.
3. **Овчинников, Е. В.** Ориентационные эффекты в тонкослойных фторсодержащих покрытиях / Е. В. Овчинников // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сб. науч. тр. : в 3 кн. Кн. 1 : Материаловедение. – Мн. : ФТИ НАН Беларуси, 2023. – С. 233–239.