

УДК 621.45.038.7

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВАКУУМНЫХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ АЛТИНОВ

Н. М. ЧЕКАН¹, Е. И. ЭЙСЫМОНТ², Г. А. КОСТЮКОВИЧ³,
И. П. АКУЛА¹, А. В. ПОПРУКАЙЛО³, А. Е. ОВЧИННИКОВ²¹Физико-технический институт НАН Беларуси

Минск, Беларусь

²Гродненский государственный университет имени Янки Купалы³ОАО «Белкард»

Гродно, Беларусь

Покрyтия AlTiN характеризуются высокими значениями микротвердости, стойкостью к коррозии, высокими адгезионными характеристиками и термостойкостью, что позволяет применять данные покрyтия для модифицирования инструмента, работающего без подвода внешней смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) или в случае ограниченного использования СОЖ [1]. Однако существует острая необходимость в разработке новых составов алтинов, т. к. при высокоскоростной обработке материалов в современных отраслях машиностроения классическое покрyтие AlTiN не всегда обеспечивает необходимые результаты увеличения эксплуатационного ресурса инструмента [1]. Достаточное количество работ показывает, что улучшение свойств покрyтий наблюдается при введении химического элемента Si в защитные слои на основе AlTiN. Использование Si в качестве модифицирующего агента в тонкослойных вакуумных покрyтиях на основе алтинов позволяет сформировать аморфное соединение на основе нитрида кремния, которое выделяется на границе зерен при формировании вакуумных покрyтий. Образование данного соединения приводит к уменьшению геометрических размеров зерен, что положительно сказывается на физико-механических характеристиках покрyтий. Наличие кремния в покрyтиях алтинов, допированных Si, повышает термостойкость и теплоустойчивость данных антифрикционных соединений [2]. Адгезионная прочность также важна для защитных покрyтий, особенно при модифицировании режущих инструментов, выдерживающих многократное циклическое воздействие температуры и силы резания. Поэтому задача сбалансировать износостойкость и остаточное напряжение покрyтий и получить твердые, но адгезионно прочные покрyтия, является актуальной задачей в области инженерии поверхности [3]. В частности, было предложено регулировать параметры процесса осаждения путем введения легирующих элементов и создания многослойных структур. Установлено, что относительно низкое напряжение смещения, подающееся на подложку во время формирования покрyтия, обеспечивает низкие значения остаточного напряжения и высокую адгезионную прочность, что замедляет возникновение и распространение трещин, и, следовательно, улучшает срок

службы модифицированного инструмента. Показано, что давление азота в камере влияет на такие свойства, как твердость, прочность и адгезию покрытия к подложке.

Целью исследования является изучение структуры и морфологии многокомпонентных вакуумных покрытий на основе алтинов.

Условия формирования покрытий в зависимости от номера субстрата следующие: покрытие на образце № 1 – слой AlTiSi (ток 55 А, напряжение смещения минус 100 В); № 2 – слой AlTiSi (ток 55 А, напряжение смещения минус 100 В) + слой AlTiSiFN (ток 55 А, напряжение смещения минус 50 В, $P_{N_2} \sim 1,1 \cdot 10^{-2}$ Па); № 3 – слой AlTiSi (ток 55 А, напряжение смещения минус 100 В) + слой AlTiSiFN (ток 55 А, напряжение смещения минус 50 В, $P_{N_2} \sim 1,8 \cdot 10^{-2}$ Па); № 4 – слой AlTiFSi (ток 55 А, напряжение смещения минус 100 В) + слой AlTiSiFC (ток 55 А, напряжение смещения минус 50 В, $P_{N_2} \sim 1,8 \cdot 10^{-2}$ Па, $P_{C_2H_2} \sim (0,8...1,0) \cdot 10^{-2}$ Па).

Особенности строения граничных слоев в нанокпозиционных покрытиях функционального назначения исследовали с привлечением современных методов: растровой электронной, атомно-силовой микроскопии, рентгеноструктурного анализа (ДРОН-3.0) по стандартным методикам.

Формирование покрытий на основе алтинов, допированных фтором и углеродом на стальной подложке, приводит к увеличению значений микротвердости многослойных композиционных покрытий по сравнению с исходными покрытиями алтинов. Данный эффект возможно объяснить, исходя из увеличения количества активных зарядовых центров (АЗЦ) на поверхности подложки вследствие использования многокомпонентных покрытий. Увеличение количества АЗЦ приводит к уменьшению геометрических размеров зерен, формирующих структуру покрытия, что приводит к возрастанию значений микротвердости многокомпонентных покрытий на основе алтинов.

Проведенные исследования по определению значений микротвердости покрытий на основе алтинов, модифицированных фтором и углеродом, показали, что нанесение высокоэнтропийных соединений существенно увеличивает прочностные характеристики модифицируемой стали в поверхностных слоях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морфологические особенности высокоэнтропийных вакуумных покрытий / Е. В. Овчинников, Н. М. Чекан, И. П. Акула, Т. И. Пинчук // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2023. – № 2 (81). – С. 35–44.
2. **Овчинников, Е. В.** Многокомпонентные термостойкие плазмохимические покрытия / Е. В. Овчинников, Н. М. Чекан // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2014. – № 2 (48). – С. 3–9.
3. Структурные и морфологические особенности высокоэнтропийных сверхтвердых покрытий / Е. В. Овчинников, В. М. Хвисевич, Н. М. Чекан [и др.] // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2023. – № 2 (131). – С. 80–84.