

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ФРИКЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ СВЕРХТВЕРДЫХ ПОКРЫТИЙ НА СТАЛИ, ОСАЖДЕННЫХ МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОГО КАТОДНО-ДУГОВОГО РАЗРЯДА

Е. В. Пивонов

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научный руководитель Ю. Е. Кирпиченко

Покрытия, полученные осаждением тонких слоев карбидов, нитридов и оксидов переходных металлов исследуются довольно давно. Они обычно имеют твердость выше 20 ГПа, хорошую адгезию к сталям, стабильны при температурах до 1000 °С. Такие покрытия широко используются для модификации поверхности металлорежущего инструмента при обработке металлов резанием, для повышения износостойкости поверхностей трения зубчатых и червячных передач [1]. Алмазоподобные покрытия (АПП), получаемые различными методами могут иметь в несколько раз большую твердость (до 130 ГПа) и коэффициент трения по сталям 0,09–0,1 [2]. Однако основной причиной, препятствующей их широкому применению в узлах трения, особенно тяжело нагруженных, является высокий уровень внутренних напряжений в АПП и относительно низкая адгезия к основе.

В работе [3] отмечается возможность значительного повышения износостойкости поверхности путем нанесения многослойных покрытий на основе нитридов металла

и углеродных слоев. Вместе с тем исследования свойств таких систем при различных условиях трения отсутствуют, что ограничивает их эффективное практическое применение. Научный интерес представляет изучение структуры и свойств межфазных слоев и их влияние на параметры системы в целом.

Целью настоящей работы является исследование триботехнических свойств образцов, содержащих многослойных покрытия, состоящие из слоев Ti, TiN, АПП в режиме сухого трения и в среде дизельного топлива, при моделировании условий работы тяжело нагруженных узлов трения.

Многослойные покрытия получали в БелГУТе на установке УВНИПА-1, оборудованной ионным источником типа «Радикал», электродуговым испарителем с магнитной сепарацией плазмы (для осаждения слоев Ti, TiN) и источником плазмы импульсного катодно-дугового разряда для получения углеродных покрытий. Толщина слоя TiN варьировалась в пределах от 0,1 до 1 мкм, толщина АПП – 0,5–2 мкм. В ряде случаев на поверхность наносились покрытия политетрафторэтилена (ПТФЭ) методом электронно-лучевого диспергирования исходного материала. В качестве материала подложки использовались стали ШХ15 и ХВГ.

Триботехнические испытания покрытий проводились на машине трения по схеме шарик – плоскость при возвратно-поступательном движении. Скорость скольжения – 0,01 м/с, максимальные начальные контактные напряжения (по Герцу) – до 600 МПа, длительность испытаний – до 12000 циклов. Контртелом служили шарики из стали ШХ15 диаметром 5 мм и шаровой сегмент из алмазота такого же диаметра.

Для реализации программы испытаний использовался программно-технический комплекс, включающий в себя трибометрическую установку, блок сопряжения и ЭВМ, оснащенную специально разработанной программой.

Трибометрическая установка обеспечивала реализацию заданной схемы и режима фрикционного взаимодействия образцов, а также измерение параметров трения. Скорость скольжения изменялась от 1 до 20 мм/с, что исключало повреждение покрытий в результате фрикционного разогрева. Нагрузка на образцы составляла от 0,2 до 2 Н. В процессе испытаний измеряли $f_{тр}$, по величине пятна контакта на шарике рассчитывали интенсивность изнашивания.

При нанесении АПП непосредственно на подложки или на TiN не удалось добиться хорошей адгезии, наблюдалось отслаивание покрытия сразу или через некоторое время после его нанесения. Осаждение промежуточного слоя Ti толщиной до 0,05 мкм позволяет многократно повысить прочность адгезионного соединения. Это по видимому связано с протеканием на границе раздела фаз диффузионных и химических процессов, приводящих к образованию карбидных соединений титана. Возможность образования таких соединений показана на результатах модельного эксперимента, заключающегося в одновременном нанесении титана и углерода на подложку и последующем нагреве покрытия в вакууме до температуры 1200 К. Рентгеноструктурный анализ показал, что в таких системах образуются карбиды титана нескольких модификаций. При этом микротвердость покрытия достигала величины 20 ГПа.

Установлено, что параметры трения покрытий TiN-Ti-АПП практически не зависят от материала используемых подложек, если шероховатость поверхностей одинакова. Зависимость $f_{тр}$ от числа циклов истирания имеет вид, приведенный на рис. 1. Использование в качестве среды, в которой происходит контактное взаимодействие, дизельного топлива влияет незначительно как на $f_{тр}$, так и износ индентора.

Нанесение дополнительного слоя ПТФЭ толщиной 1,5 мкм вызывает снижение интенсивности изнашивания шарового индентора в дизельном топливе на 30 %, при этом $f_{тр}$ также практически не изменяется.

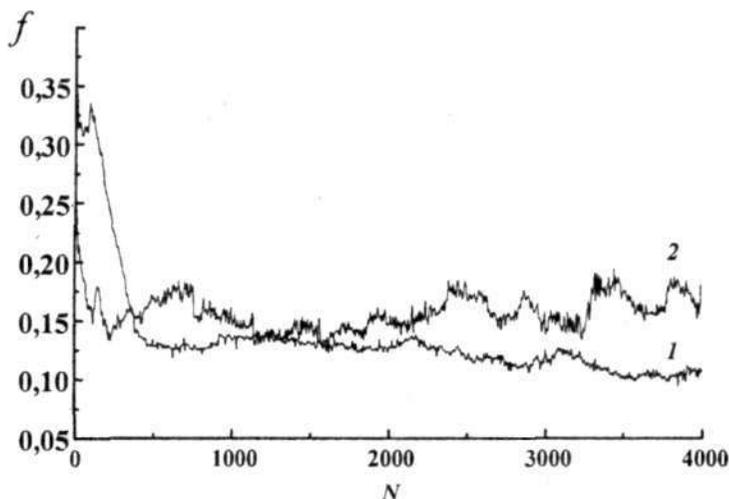


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения пары трения шарик ШХ15 – покрытие TiN-Ti-АПП на стали ШХ15 от числа циклов истирания:
1 – сухое трение; 2 – в среде дизельного топлива

Изучение морфологии покрытий до и после трения методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) показало, что исходная поверхность представляет собой зернистую структуру с основным размером зерна около 500 нм и отдельными включениями до 1500 нм. Покрытие имеет шероховатость $R_a = 75$ нм, максимальная высота зерен порядка 700 нм. На дорожках трения после 12000 циклов шероховатость снизилась до $R_a = 20$ нм, размер зерен остался прежним, высота зерен уменьшилась до 200 нм.

Метод АСМ с фазовым контрастом показал, что при сухом трении шарика из стали ШХ15 происходит перенос и закрепление высоко дисперсных частиц материала шарика на вершинах зерен. При использовании дизельного топлива в качестве смазочной среды частицы износа в основном вымываются из зоны трения.

Литература

1. Study in Wear Resistance of Vacuum-Plasma Coatings in Friction / A. P. Lyubchenko [etc] // Friction and Wear. – Minsk : Nauka i Tekhnika, 1983. – Vol. IV, N 5. – P. 892.
2. Бакаков, А. В. Способы получения и свойства углеродных алмазоподобных пленок / А. В. Бакаков, Е. А. Коншина // Оптико-механическая промышленность. – 1982. – № 9. – С. 52–59.
3. Multilayer composite ceramic-metal-DLC coatings for sliding wear applications / A. A. Voevodin [etc] // Tribology international. – V. 29. – № 7. – P. 653.