

ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ НА СТАЛЬНОЙ НЕМАГНИТНОЙ ОСНОВЕ

Фролов И.С.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

В последние годы для повышения износостойкости деталей машин и технологической оснастки широко применяются покрытия, получаемые путем вакуумно-плазменного осаждения из паровой фазы, в частности, методом КИБ (конденсации покрытий из плазменной фазы с ионной бомбардировкой поверхности). Однако сведения о триботехнических характеристиках даже таких широко распространенных вакуумно-плазменных покрытий, как TiN, в литературе практически отсутствуют. Еще в большей степени это касается покрытий иного химического состава, для обоснованного применения которых такая информация является особенно важной. Поэтому проведение комплексных износных испытаний образцов, упрочненных вакуумно-плазменными электродуговыми покрытиями, представляется актуальным.

Было проведено исследование триботехнических характеристик (износостойкости, момента и коэффициента трения) образцов с различными покрытиями: монослойными TiN и УАПП (углеродная алмазоподобная пленка) и мультислойным полосчатым $(\text{Cu-TiN})_x$ при трении со смазочным материалом (вакуумное масло ВМ-1). Исследование проводилось с использованием модернизированной машины трения МФТ-1 по схеме торцевого трения кольцо-плоскость, исключаяющей процесс резания, который может наблюдаться в случае трения пальчиковых образцов по плоскости. В качестве образцов использовались диски диаметром 50 мм, изготовленные из стали 12Х18Н10Т. Осаждение покрытий осуществлялось с использованием установки УРМ3.279.048, оснащенной дополнительно импульсным генератором углеродной плазмы, на оптимальных режимах.

Режимы испытаний на износостойкость были следующими: скорость относительного скольжения 1,5 м/с, давление 1,2 МПа. Контртелом служил разрезной образец из закаленной стали ШХ15 (60...62 HRC) или материала образца с покрытием. Применение разрезного образца обеспечивало доступ смазочного материала в зону трения.

Момент трения фиксировался на ленте самописца Н-302, подключенного к индуктивному измерительному преобразователю машины трения. Коэффициент трения определялся по формуле:

$$f = \frac{M_{\text{тр}}}{P \cdot R},$$

где $M_{тр}$ – момент трения, Н·м; P – нагрузка на образец, Н; R – средний радиус поверхности трения, м.

Износ образцов определялся через 3, 10, 30, 60 минут и далее через каждый час после начала испытаний вплоть до полного разрушения покрытия (катастрофического износа). Критерием окончания эксперимента служило резкое изменение момента трения, фиксируемого на ленте самописца. Для определения величины износа образца каждая канавка трения трижды профилографировалась в направлении, перпендикулярном ее продольной оси, что позволяло определить среднюю глубину канавки трения. Далее, принимая сечение канавки за круговой сегмент, рассчитывали линейный износ поверхности трения. Характер износа поверхности анализировался также с помощью металлографического микроскопа.

Анализ результатов экспериментов показывает, что наименьшую величину износа имеют образцы с УАПП, а наибольшую – с покрытием TiN (в 3 раза больше по сравнению с УАПП). Полосчатое покрытие $(Cu-TiN)_x$ занимает промежуточное положение. Следует отметить, что интенсивность изнашивания покрытия $(Cu-TiN)_x$ достаточно близка к УАПП и поэтому при реализации режима избирательного переноса данное покрытие может служить полноценной заменой алмазоподобной пленке, которая характеризуется повышенной хрупкостью и, как следствие, низкой работоспособностью при малой жесткости материала основы образцов. Кроме того несколько больший износ полос меди в процессе работы пары трения приводит к образованию масляных карманов, удерживающих смазку в зоне трения и повышающих тем самым износостойкость покрытия $(Cu-TiN)_x$.

Определение фрикционных характеристик покрытий при принятых режимах испытаний показало, что коэффициенты трения исследуемых пар находятся в пределах 0,03...0,10 (таблица 1), что соответствует классу антифрикционных материалов.

Таблица 1 – Коэффициенты трения исследуемых пар образцов

Пара трения	Коэффициент трения f
12X18H10T+ TiN — 12X18H10T + TiN	0,05...0,09
12X18H10T + TiN — ШХ15	0,07...0,10
12X18H10T + УАПП — ШХ15	0,03...0,04
12X18H10T + $(Cu-TiN)_x$ — ШХ15	0,03...0,04

Коэффициент, трения покрытия $(Cu-TiN)_x$ в паре с закаленной сталью оказался равен коэффициенту трения аналогичной пары с УАПП и в 2...2,5 раза ниже, чем у покрытия TiN при трении по закаленной стали и аналогичному покрытию. Это подтверждается и результатами определения коэффициента трения при небольших давлениях и скоростях скольжения, приведенными в таблице 2.

Таблица 2 – Величины коэффициента трения в зависимости от режимов испытаний

Коэффициент трения f для пары трения	Режимы испытаний (удельное давление P /скорость V)		
	$P=0,2$ МПа, $V=0,08$ м/с	$P=0,4$ МПа $V=0,08$ м/с	$P=0,4$ МПа $V=0,16$ м/с
12X18H10T +TiN — ШХ15	0,12	0,14	0,076
12X18H10T+TiN — 12X18H10T+TiN	0,108	0,123	0,057
12X18H10T + (Cu-TiN) _x — ШХ15	0,043	0,044	0,028

Как видно из таблицы, покрытие (Cu-TiN)_x при данных режимах испытаний эффективнее покрытия TiN соответственно в 2,7...3,2 раза при трении по закаленной стали и в 2...2,8 раза при трении по аналогичному покрытию. Кроме того, отмечено, что для всех пар трения коэффициент трения возрастает с увеличением нагрузки и уменьшается с увеличением скорости скольжения образцов. Таким образом, мультислойное полосчатое покрытие (Cu-TiN)_x эффективнее монослойных покрытий за счет образования масляных карманов и возможности реализации режима избирательного переноса.

УДК621.793.1

ФОРМИРОВАНИЕ МУЛЬТИСЛОЙНЫХ ПОЛОСЧАТЫХ ПОКРЫТИЙ В ВАКУУМЕ

Фролов И.С., Иващенко С.А., Фролов Ю.И.

Белорусский национальный технический университет, Минск,
Республика Беларусь

Вакуумно-плазменное осаждение покрытий, как процесс поверхностного упрочнения деталей, отличается многообразием и широкими возможностями комплексного использования при создании экономичных, высокоэффективных композиционных материалов, способных работать в жестких условиях эксплуатации механизмов и машин [1]. Одним из перспективных направлений развития данного способа является получение износостойких композиций путем создания мультислойных систем-покрытий, состоящих из большого количества слоев, толщина которых составляет несколько периодов кристаллической решетки. Наряду с мультислойными покрытиями постоянного химического состава из нитрида титана, были предложены покрытия переменного состава, в частности, полосчатые покрытия, представляющие собой чередование мультислойных полос (участков) из износостойкого и антифрикционного материалов и сочетающие в себе преимущества мультислойных покрытий постоянного состава и обычных полосчатых покрытий [2]. В качестве антифрикционного материала покрытия может использоваться медь, бронза и некоторые другие пластичные металлы.