

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ И ФРИКЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК TiN – ПОКРЫТИЙ ПРИ ТРЕНИИ БЕЗ СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА***Белорусский национальный технический университет**Минск, Беларусь*

Защита рабочих поверхностей деталей, работающих в условиях различных видов изнашивания без смазки или при ограниченном ее доступе в зону трения — одна из наиболее сложных и актуальных проблем в машиностроении [1]. Наибольшую остроту она приобретает в случаях, когда для изготовления деталей используются материалы, которые не упрочняются традиционными методами термообработки. Повышение триботехнических характеристик таких деталей может быть достигнуто лишь нанесением на их рабочие поверхности упрочняющих покрытий, среди которых наиболее перспективными являются вакуумно-плазменные электродуговые покрытия [2-4]. Однако сведений о триботехнических свойствах пар трения с вакуумно-плазменными покрытиями при работе без смазки в литературе явно не достаточно, что затрудняет практическое использование таких покрытий в узлах сухого трения.

Целью работы являлось исследование износостойкости и фрикционных характеристик (момента и коэффициента трения) упрочняющих TiN – покрытий при трении без смазочного материала.

Исследование проводилось с использованием модернизированной машины трения МФТ-1 по схеме торцевого трения кольцо-плоскость [5]. В качестве пары трения использовались диски диаметром 50 мм и кольцевые образцы. Образцы изготавливались из нержавеющей стали 12Х18Н10Т и алюминиевого сплава Д16Т. Осаждение покрытий осуществлялось на установке вакуумного напыления типа «Юнион». Режимы испытания на износостойкость были следующими: скорость относительного скольжения-0,1 м/с; удельное давление-0,3 МПа.

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

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

где  $M_{\text{тр}}$  – 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). Для определения величины износа образца 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.

Установлено, что продолжительность работы пары трения Д16Т+TiN – Д16Т+TiN до начала разрушения покрытия толщиной 2,5...3 мкм составила 180 мин. При этом наблюдалось равномерное изнашивание покрытия без заедания поверхностей трения, а участок приработки не был ярко выраженным (рис.1, зависимость 1). Средняя интенсивность изнашивания по окончании периода приработки составила 0,12 мкм/час. Сравнительно быстрое наступление катастрофического износа для данной пары происходит, очевидно, вследствие продавливания и разрушения покрытия по достижении критической величины износа из-за малой жесткости материала основы образцов.

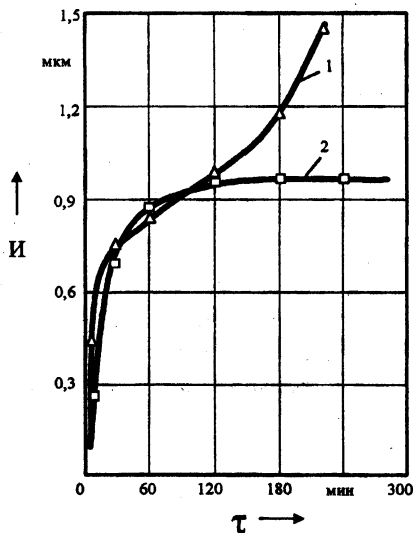


Рис. 1. Зависимость линейного износа образцов от времени испытаний для пар трения (исходная шероховатость  $R_a$  0,3...0,4 мкм): 1 – Д16Т + TiN – Д16Т + TiN; 2 – 12Х18Н10Т + TiN – 12Х18Н10Т + TiN

Для пары трения 12X18H10T+TiN — 12X18H10T+TiN наоборот характерен ярко выраженный участок приработки поверхностей трения с высокой скоростью изнашивания (рис.1, зависимость 2). Это объясняется тем, что в начальный период испытаний происходит интенсивное истирание выступов на поверхностях трения, образующихся при осаждении покрытия из-за наличия в плазменном потоке капельной фазы, а также разрушение пиков микронеровностей. Так как основным компонентом капельной фазы является  $\alpha$ -Ti, характеризующийся низкой микротвердостью (2000 МПа) и высокой пластичностью, то величина износа покрытия оказывается значительной, но момент трения при этом не увеличивается, т.е. капельная фаза частично выполняет функцию твердой смазки в паре трения. Можно предположить, что при сепарации плазменного потока величина начального износа будет значительно меньшей. По окончании периода приработки интенсивность изнашивания резко снижается и стабилизируется на уровне 0,035 мкм/час. Характер поверхностей трения пары свидетельствует об их преимущественно абразивном изнашивании. Это связано с присутствием в зоне трения абразивных частиц из материала покрытия, образующихся при скалывании пиков микронеровностей. Кроме того, наблюдаются локальные повреждения поверхностей трения, которые, по-видимому, возникают в «слабых» местах покрытия (сквозные поры, крупные капли и макроблоки материала катода) и приводят в дальнейшем к его катастрофическому износу и разрушению.

Большее значение момента трения у пары с основой из алюминиевого сплава Д16Т в сравнении со стальной основой, выявленное при проведении испытаний, можно объяснить большей пластичностью поверхностного слоя данной пары трения, что приводит к увеличению фактической площади контакта поверхностей. При этом коэффициент трения для пары с основой из алюминиевого сплава составил 0,40...0,52, а для пары со стальной основой - 0,14...0,29.

Исследования износостойкости и фрикционных характеристик образцов с покрытием TiN показали, что на характер изнашивания и коэффициент трения существенное влияние оказывают толщина покрытия, жесткость материала основы и ее исходная шероховатость. Для образцов с жесткой основой (сталь 12X18H10T) характерно равномерное изнашивание с достаточно длительным периодом приработки (более 60 минут). Для образцов с более мягкой основой (алюминиевый сплав) интенсивность изнашивания во время приработки выше, а сам период приработки более короткий (до 60 минут). И в первом и во втором случае интенсивность изнашивания, длительность периода приработки и коэффициент трения зависят от исходной шероховатости подложки. Уменьшение последней в исследованном диапазоне ( $R_a$  0,75...0,11 мкм) благоприятно сказывается на процессах трения и изнашивания упругопрочных поверхностей. Отмечено также, что с увеличением толщины покрытия влияние вышеуказанных факторов на триботехнические характеристики пар трения

уменьшается.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Проников А.С. Надежность машин. - М.: Машиностроение, 1978. - 590 с. 2. Джеломанова Л.М. Прогрессивные методы нанесения износостойких покрытий на режущий инструмент: Обзор. - М.: НИИмаш, 1979. - 46 с. 3. Справочник оператора установок по нанесению покрытий в вакууме / А.И. Кострицкий, В.Ф. Карпов, М.П. Кабанченко, О.Н. Соловьева. - М.: Машиностроение, 1991. - 176 с. 4. Емельянов В.А., Иванов И.А., Мрочек Ж.А. Вакуумно-плазменные способы формирования защитных и упрочняющих покрытий. - Мн.: Изд-во НПО «Интеграл», 1998. - 285 с. 5. Крагельский И.В., Добыттин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. - М.: Машиностроение, 1977. - 526 с.

УДК 621.9+536.75

**Ж.А.Мрочек, С.Л.Кожуро, М.Л.Хейфец, Л.М.Кожуро**

### **УПРАВЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТЬЮ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

*Белорусский национальный технический университет*

*Белорусский государственный аграрный технический университет*

*Минск, Беларусь*

*Полоцкий государственный университет,*

*Новополоцк, Беларусь*

Критерии устойчивости электрофизических процессов обработки поверхностей. Образование термодинамических неустойчивостей в технологической системе процессов электрофизической обработки целесообразно описывать как критериями тепломассопереноса: Re – Рейнольдса, Pr – Прантля, Pe – Пекле, так и критериями, характеризующими электромагнитные потоки [1].

Выводимый из уравнения энергии критерий показывает соотношение между джоулевой тепловой и кинетической энергией потока

$$Si = \frac{I^2 R}{\rho v H T^3} = \frac{v}{H'} \cdot \frac{R/l}{\rho v^2} \cdot \left( \frac{I^2}{l} \right), \quad (1)$$

где  $v$  – скорость потока;  $H'$  – энтальпия, теплосодержание потока;  $R$  – электросопротивление;  $l$  – характерный линейный размер рабочей зоны;  $\rho$  – плотность потока;  $I$  – сила тока.

Критерий магнитного взаимодействия важен при обобщении электрических ха-