

НЕПРЕРЫВНЫЙ НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ ТРЕНИЯ МЕТОДОМ КЕЛЬВИНА

**Пантелеев К. В., Свистун А. И., Тявловский А. К., Тявловский К. Л.,
Воробей Р. И., Гусев О. К., Жарин А. Л.**
*Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь,
nilpt@tut.by*

Введение. Контроль процессов трения является важной задачей обеспечения стабильности качества и надежности эксплуатации триботехнических материалов и изделий. В настоящее время особое внимание уделяется физическим механизмам локализации усталостного разрушения в тонких поверхностных слоях, находящихся в условиях сложного спектра трибовоздействий [1]. В реальных условиях, при взаимодействии поверхности трения с окружающей средой, проявляется множество специфических, конкурирующих между собой эффектов (хемомеханический, механохимический, эффект Ребиндера и др.), оказывающих влияние на усталостную прочность материала. Поэтому обеспечение возможности прямого наблюдения за кинетикой усталостных процессов в поверхностных слоях сопряженных твердых тел остается наиболее актуальным в области трибологии.

Среди современных методов физического материаловедения, позволяющих исследовать изменения свойств поверхности металлов при внешнем механическом воздействии (термокинетические, склерометрические, акустико-эмиссионные и др.), особое место занимают методы, основанные на регистрации работы выхода электрона (РВЭ) трущейся поверхности, например, по контактной разности потенциалов (метод Кельвина) [2]. Отдельные модификации данного метода позволяют проводить бесконтактные неразрушающие измерения РВЭ как на воздухе, так и в иных условиях окружающей среды (в вакууме, контролируемых средах, при смазке и др.).

В данной работе с использованием непрерывного неразрушающего контроля трущейся поверхности методом Кельвина экспериментально обнаружены периодические изменения РВЭ трущейся поверхности. Комплексом независимых методов установлено, что периодические изменения РВЭ являются следствием усталостных процессов, протекающих в относительно толстых подповерхностных слоях материалов, т.е. обнаружен новый вид изнашивания при тяжелых режимах трения.

Приборы и методы измерений. С целью изучения кинетики усталостного разрушения поверхности трения методом непрерывного неразрушающего контроля трущейся поверхности использована машина торцевого трения типа АЕ-5, оснащенная разработанным малогабаритным датчиком измерения РВЭ [3, 4]. Кинематическая схема узла трения приведена на рисунке 1. Образец в виде диска имеет вертикальную ось вращения. Контртело, выполненное из трех цилиндрических контробразцов, размещенных в углах равностороннего треугольника, прижимается сверху через нагружающий механизм рычажного типа. Машина трения имеет постоянную скорость вращения образца относительно неподвижного контртела. Над свободным участком поверхности вращающегося образца через изолятор неподвижно закреплен датчик РВЭ. Датчик РВЭ реализован по традиционному методу Кельвина (динамический конденсатор): трущаяся поверхность и эталонный (зондовый) образец, соединенные внешней электрической связью, образуют обкладки плоскопараллельного конденсатора. Зондовый образец колеблется под действием электромеханического вибратора. В общем случае конденсатор имеет заряд пропорциональный контактной разности потенциалов, возникающей в зазоре конденсатора, вследствие различия РВЭ материалов пластин.

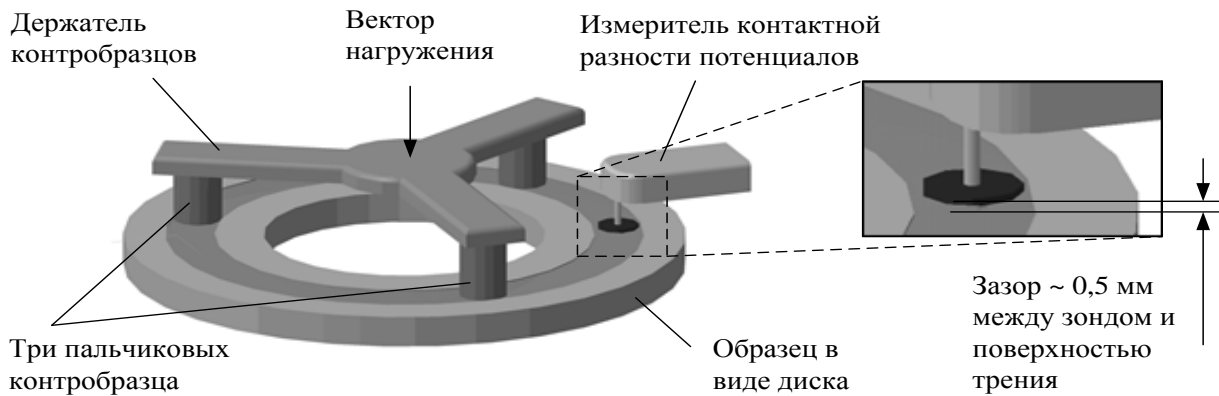


Рисунок 1 – Кинематическая схема узла трения при измерении работы выхода электрона трущейся поверхности

Результаты исследований. Результаты экспериментальных исследований при тяжелых режимах сухого трения показали, что для ряда компактных и порошковых материалов по завершению процесса приработки регистрируются ярко выраженные периодические изменения РВЭ трущейся поверхности со временем испытаний. На рисунке приведены результаты исследования кинетики РВЭ для пары трения Л63 (образец) – Бр.ОФ6,6-0,15 (контрообразец) при нормальном давлении 0,17 Мпа и скорости скольжения 0,12 м/с. Из рисунка 2 видно, что период изменений РВЭ на несколько порядков больше периода вращения образца ($0,42 \text{ с}^{-1}$). Следует отметить, что периодические изменения РВЭ регистрируются и в случае граничного трения (использовано масло МВП). При этом изменялась амплитуда и длительность периода. Также, со временем граничного трения период изменений РВЭ уменьшался, что объясняется истощением смазочного слоя.

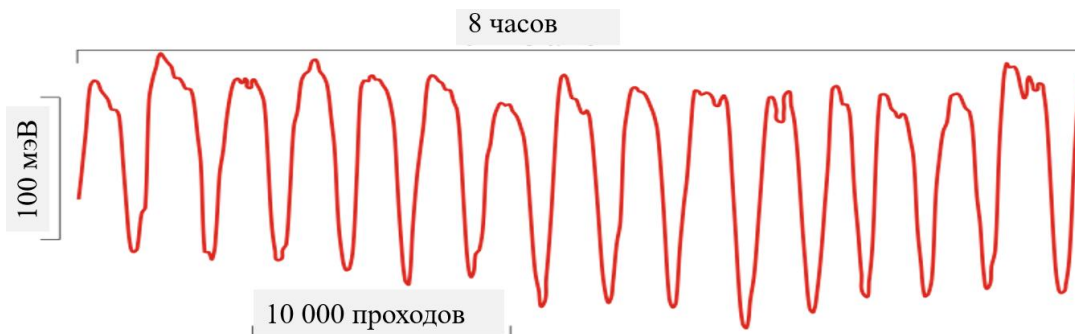


Рисунок 2 – Периодические изменения работы выхода электрона трущейся поверхности латуни Л63 за 8 часов работы машины трения

Проведенный статистический анализ, для широкого ряда образцов и различных условий трения периодических изменений РВЭ трущейся поверхности показал, что они являются воспроизводимыми и незатухающими, следовательно, могут применяться для анализа кинетики протекания процессов усталостного разрушения при трении.

Для выяснения природы периодических изменений РВЭ трущейся поверхности было проведено исследование состояния поверхностных и подповерхностных слоев материала в характерных точках по периоду изменения РВЭ (положительный и отрицательный экстремумы, и середины участков возрастания и убывания РВЭ) комплексом независимых методов (рисунок 3).

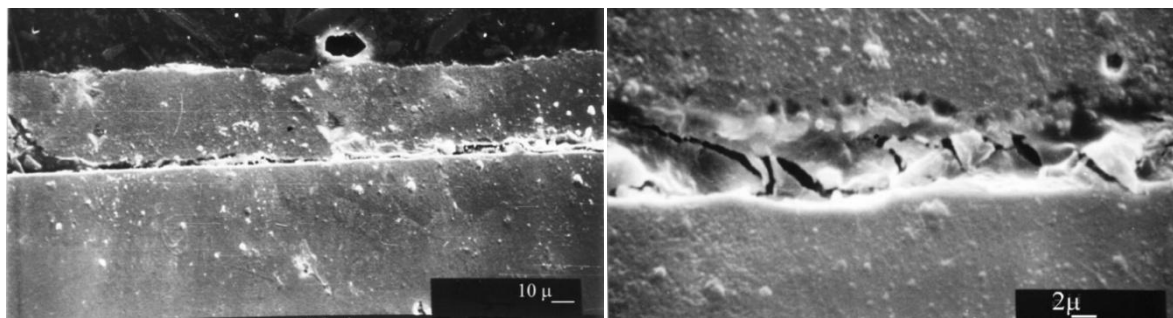


Рисунок 3 – Микрофотографии подповерхностной трещины на стадии предразрушения поверхностного слоя (выявляется по характерным точкам периода изменения работы выхода электрона)

Заключение. С учетом общности закономерностей объемного и поверхностного деформирования, один цикл периодических изменений РВЭ трущейся поверхности будет соответствовать сломанному образцу при классических усталостных испытаниях, а с учетом того, что регистрация РВЭ производится интегрально по дорожке трения, то один цикл периодических изменений соответствует статистически обработанной серии результатов классических испытаний на усталость. Из вышесказанного следует, что поиск корреляции между результатами испытаний на объемную усталость и установленными периодическими изменениями РВЭ при трении может привести к созданию ряда экспрессных методов испытания материалов на объемную усталость.

Список литературы.

1. Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials / I. Hutchings, P. Shipway. – Elsevier, 2017. – 388 p.
2. Жарин, А.Л. Метод контактной разности потенциалов и его применение в трибологии А.Л. Жарин. – Минск : Бестпринт. – 1996. – 235 с.
3. Pansialeyeu, K. Charge sensitive techniques in tribology studies / K. Pansialeyeu, A. Zharin, M. Opielak, P. Rogalski // Przegląd Elektrotechniczny. – 2016. – R. 92, № 11. – P. 239 – 243.
4. Пантелеев, К. В. Построение измерителей контактной разности потенциалов / К. В. Пантелеев, В. А. Микитевич, А. Л. Жарин // Приборы и методы измерений. – 2016. – Т. 7, № 1. – С. 7–15.