УДК 621.81

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТРЕНИЯ ЗАРЯДОЧУВСТВИТЕЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ

К.В. Пантелеев, А.Л. Жарин, А.К. Тявловский, А.И. Свистун
Белорусский национальный технический университет, Минск

Рассмотрены зарядочувствительные методы и технические средства (зонд Кельвина, невибрирующий зонд, ионизационный зонд) непрерывного неразрушающего контроля состояния поверхности трения и исследования процессов, протекающих в тонком поверхностном слое при контактном и фрикционном взаимодействии пары твердых тел.

Одним из приоритетных и экономически целесообразных направлений развития технологий в области машиностроения является создание новых материалов, покрытий, а также модифицирование поверхности деталей для получения рабочих слоев с заданными физико-химическими свойствами. Однако, разработка конкурентоспособных материалов для элементов узлов трения машин и механизмов невозможна без детального понимания процессов, протекающих на поверхности твердого тела при трении. Несмотря на интенсивные исследования, проводимые в этом направлении, фундаментальные научные знания получены, в основном, при исследовании локальных участков поверхности, например, методами, основанными на периодических изменениях микротвердости, контактной жесткости, шероховатости, остаточных напряжений и др., в то время как наибольший интерес представляет интегральное поведение всей рабочей поверхности. Кроме того, для установления закономерностей изнашивания особый интерес представляет обеспечение возможности прямого наблюдения за процессами, протекающими на поверхности фрикционного контакта, что требует оснащения испытательных машин и стендов каким-либо физическим прибором. Последнее является нетривиальной задачей, так как образцы пары трения находятся в постоянном движении, а испытательное оборудование является мощным источником акустических и электромагнитных помех.

Большой вклад в развитие методов прямого наблюдения за процессами фрикционного взаимодействия и анализа поверхности трения внесли такие выдающиеся ученые, как И.М. Любарский (непрерывный рентгеноструктурный анализ поверхности трения) [1], А.А. Гусляков (масс-спектрометрический анализ газов, выделяющихся при трении) [2], В.Д. Евдокимов (регистрация экзоэлектронной эмиссии и концентрации ионов газа при трении) [3], В.А. Белый (методика измерения акустической эмиссии при трении) [4], Глазиер (исследование процессов трения в камере скани-

PolotskSU

рующего Оже микроскопа, а также в камере комплексной системы исследования поверхностей) [5] и др.

В связи с интенсивным развитием технологий производства материалов для узлов трения машин и механизмов возрастает потребность в разработке новых методов и средств исследования кинетики физико-химических процессов в тонких поверхностных слоях, неразрушающего контроля, технической диагностики и испытания материалов, доступных промышленности и, в частности, машиностроению.

Поверхностный электростатический потенциал является универсальным параметром, содержащим информацию о химических, структурных, механических, электронных и прочих свойствах поверхностей материалов, а также границ раздела материалов с диэлектрическими и проводящими покрытиями [6]. В случае металлов и полупроводников основной вклад в формирование потенциального рельефа поверхности вносит такая фундаментальная величина, как работа выхода электрона (РВЭ).

Наиболее перспективными методами контроля состояния трущихся поверхностей являются методы, основанные на регистрации изменений параметра РВЭ (электрического потенциала поверхности, для диэлектриков), измеряемой по контактной разности потенциалов (КРП), например, с использование динамического конденсатора (метод Кельвина-Зисмана) [7], невибрирующего конденсатора (НВКРП, Жарин, Дэнилак) [8], ионизационного зонда (Кенрик) [9]. Методы непрерывного неразрушающего контроля РВЭ трущейся поверхности являются практически единственными методами, чувствительными к поверхностным и подповерхностным дефектам (толщина контролируемого поверхностного слоя равна Дебаевской длине экранирования материала и для большинства металлов и сплавов составляет величину порядка нескольких нанометров), позволяющими непрерывно контролировать состояние поверхности в процессе трения, и не имеет аналогов в отечественной и мировой научной практике.

В НИЛ полупроводниковой техники БНТУ ведутся разработки зарядочувствительных методов и средств неразрушающего контроля, а также их адаптации для контроля состояния трущейся поверхности и исследования процессов контактного и фрикционного взаимодействия пары твердых тел при трении по непрерывной регистрации РВЭ. Разработаны следующие экспериментальные методики [10]:

– Регистрация усредненного интегрального значения КРП за некоторый определенный промежуток времени (пройденный путь, число циклов). Такая схема измерений позволяет проследить изменения РВЭ в процессе длительных испытаний. Полученный сигнал является устойчивым, а случайные ошибки измерений практически сведены к нулю.

– Регистрация сигнала с датчика Кельвина в одной точке трущейся поверхности. Для реализации этой методики необходима синхронизация

отсчетов с положением образца. Использование данной схемы позволяет получить информацию о процессах трения с различных датчиков (РВЭ, момент трения, износ, объемная температура и пр.) в одной точке исследуемой поверхности.

– Регистрация распределения потенциала по всей дорожке трения или по некоторой макрообласти. Для реализации настоящей методики также необходима установка с синхронизацией отсчетов с положением образца. Однако данная схема может быть реализована только с использованием датчика НВКРП. Преимуществом данной схемы является как возможность получения усредненной по всей поверхности информации, так и исследование состояния локальных областей.

Кроме исследования процессов трения, разработанные методы и приборы применяются для анализа поверхности (в режиме сканирования) [11], построения сенсоров газовых и жидких сред [12], а также встраиваемых бесконтактных датчиков контроля технологических процессов или поверхности элементов реальных узлов трения машин и механизмов [13].

Литература

1. Любарский, И.М. Об обратимости структурных превращений при трении. // Теория смазочного действия и новые материалы / И.М. Любарский. – М.: Наука. – 1965. – С. 194 – 196.
2. Крагельский, И.В. Трение и износ в вакууме / И.В. Крагельский, И.М. Любарский, А.А. Гусляков. – М.: Машиностроение. – 1973. – 216 с.
3. Евдокимов, В.Д. Измерение концентрации ионов и экзоэлектронной эмиссии в динамике трения и резания / В.Д. Евдокимов // Теория трения, износа и смазки: тез. докл. Всесоюзн. науч. конф. Ч. 2. – Ташкент, 1975. – С. 83 – 84.
4. Белый, В.А. Исследование приработки металлополимерных пар трения методом акустической эмиссии / В.А. Белый, О.В. Холодилов // Трение и износ в машинах. – Челябинск, 1979. – С. 48.
5. Glaeser W.A., Baer D., Engelhard M. In Situ Wear Experiments in the Scanning Auger Spectrometer // Wear. – V. 162 – 163. – 1993. – P. 132 – 138.
6. Методы зондовой электрометрии для разработки и исследовании свойств перспективных материалов // Перспективные материалы и технологии: монография. В 2 т. / А. Л. Жарин [и др.]; УО «ВГТУ»; под общ. ред. В. В. Клубовича. – Витебск. – Т. 1. – 2015. – 398 с.
7. Жарин, А.Л. Метод контактной разности потенциалов и его применение в трибологии / А.Л. Жарин. – Минск: Бестпринт. – 1996. – 235 с.
8. Danyluk S., Zharin A., Zanoria E., Reid L., Hamall K.M. Non vibrating capacitance probe for wear monitoring / Patent US 846835, 04.09.2007, Georgia Tech Research Corp.
9. Danyluk S., Zharin A. Contact potential difference ionization detector / Patent US 553780, 06.04.2004, Georgia Tech Research Corp.
10. Пантелеев, К.В. Методы измерений работы выхода электрона для контроля состояния поверхностей в процессе трения / К.В. Пантелеев [и др.] // Приборы и методы измерений. – 2014. – № 2(9). – С. 107 – 113.

PolotskSU

11. Контроль дефектов структуры кремний-диэлектрик на основе анализа пространственного распределения потенциала по поверхности полупроводниковых пластин / Р.И. Воробей [и др.] // Приборы и методы измерений. – 2013. – Т. 7. – № 2. – С. 67 – 72.

12. Danyluk, S., Mess, F., Tereshka, S., Zharin, A.L. Method and Apparatus for Measuring Properties of Weak Electrolytic, Organic Fluids Such as Hydrocarbon-Based Fluids / Patent US 20090026090, 29.01.2009.

13. Пантелеев, К.В. Диагностика узлов трения методом контактной разности потенциалов / К.В. Пантелеев, А.И.Свистун, А.Л. Жарин // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов: материалы V междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 24 – 25 сентября 2014 г. – Могилев, 2014. – С. 224 – 225.

УДК 621.91.01

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФИНИШНЫХ ПЕРЕХОДОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ГЕНЕРАЦИИ

Е.А. Польский[1], О.А. Никонов[2]

[1]Брянский государственный технический университет, Российская Федерация

[2]Брянский машиностроительный завод, Российская Федерация

Исследования направлены на разработку научно-обоснованных рекомендаций по технологическому обеспечению требуемых параметров точности размеров деталей пространственных рам на основных этапах производства – сварка и механическая обработка.

Генеративный подход к разработке технологии с использованием средств автоматизации и систем автоматизированного производства (CAD/CAM/CAE-систем) подразумевает автоматический синтез стратегии обработки на основании геометрической конфигурации и технических требований, предъявляемых к детали, с указанием сведений о материале, особенностях обработки и предлагаемых методиках контроля изделия [1].

Структура конструкторско-технологической модели формообразования детали QКТ можно представить следующим образом [2]:

$$Q_{КТ} = \langle Z, M_{КТ}, \mathrm{C_{КТ}}, S \rangle,$$

где $Z = \langle Z_1 ... Z_n \rangle$ – данные для идентификации детали и общие сведения о ней; $M_{КТ} = \langle Э_{КТ}, O_{КТ} \rangle$ – структурный состав детали; $Э_{КТ}$ – множество конструкторско-технологических элементов (КТЭ); $O_{КТ}$ – множество отношений над ними; $C_{КТ} = \langle Э_{КТ}, И \rangle$ – множество схем обработки конструкторско-технологического элемента; $И = \langle И_1 ... И_n \rangle$ – данные об инструменте, реализующем *i*-тую схему обработки; $S = \langle Б_C, Д_C \rangle$ – структурный состав станка; $Б_C$ – множество блоков станка; $Д_C$ – множество движений блоков станка.