

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА ЧАСТИЦ ИЗНОСА ПРИ ГРАНИЧНОМ СМАЗЫВАНИИ

Е. М. Сущенко, К. А. Кожедуб

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Ю. Е. Кирпиченко

Диагностика состояния машин и механизмов, работающих в условиях смазки, может успешно осуществляться на основе анализа частиц износа и оценки свойств смазочной среды. Так, анализ частиц износа широко используется для оценки состояния узлов трения в авиации, горнодобывающей промышленности, в металлургии на морском, автомобильном и железнодорожном транспорте.

Параметры частиц износа отражают природу и степень износа трущихся поверхностей. В то время как размер и концентрация частиц износа являются надежным индикатором состояния машины, информация по морфологии и составу частиц износа требуется для того, чтобы определить тип износа и конкретную изнашиваемую деталь. В общем случае концентрация частиц износа в пробе масла и распределение их по размерам характеризуют скорость изнашивания и степень износа.

Типичная зависимость потери массы изнашиваемого тела от времени эксплуатации для большинства узлов трения имеет вид кривой, наклон которой в каждой точке характеризует интенсивность изнашивания.

Первая стадия представляет начальный период изнашивания, продолжительность которого невелика по сравнению с ожидаемой долговечностью узла трения. Она характеризуется нестационарным состоянием трибосистемы и большой интенсивностью изнашивания, которая постепенно понижается, а также высокой скоростью образования частиц износа. Эта стадия называется приработкой трибосистемы, в течение которой трущиеся поверхности приспособляются друг к другу, в частности, устанавливается так называемая равновесная шероховатость. Трение и износ изменяются таким образом, что трибосистема переходит в стационарное состояние, характеризующееся наибольшей продолжительностью, стабильными условиями трения и практически постоянной и относительно низкой интенсивностью изнашивания. Нормальному установившемуся режиму работы механизма соответствует равновесная концентрация мелких частиц. С течением времени износ постепенно возрастает, приводя к повреждению поверхности, изменению формы и зазора трущихся элементов пары, что в конечном итоге приводит к значительному нарушению условий работы, интенсивность износа резко возрастает и наступает катастрофическое изнашивание.

В ходе эксплуатации механизма в зоне трения образуются частицы износа, несущие информацию о процессах, происходящих в зоне трения. В табл. 1 приведены параметры частиц износа, соответствующие приработке, установившемуся и катастрофическому изнашиванию. Видно, что частицы износа имеют характерные для каждого режима изнашивания параметры – форму и размеры.

При переходе от установившегося режима изнашивания к катастрофическому увеличивается концентрация частиц износа и распределение их по размерам смещается в крупноразмерную область. Внезапное появление крупных частиц в масле свидетельствует о наступлении катастрофического изнашивания.

Таблица 1

**Связь изнашивания с морфологией и геометрическими параметрами частиц износа [1]**

Режим изнашивания	Классификация наблюдаемых частиц износа	
Приработка	Спирали, стружка, петли	Сфера 1–20 мкм, пластинки и чешуйки
Установившийся режим	Пластинки и чешуйки < 25 мкм, гладкие пластинки с высоким отношением длины (<15 мкм) к толщине	Частицы <15 мкм, средний размер 2 мкм
Катастрофический режим	Усталостно-блочные, брускообразные, тонкие пластинки с поверхностными бороздками с размером в главном направлении > 20 мкм, стружка длиной 5–100 мкм, шириной 2–15 мкм	Частицы <150 мкм, средний размер 20 мкм

В общем случае изнашивание трибосопряжения является результатом протекания разнообразных процессов разрушения и изменения свойств материала. В любой момент времени эксплуатации узлов трения одновременно имеет место многообразие видов изнашивания. Основные из них – абразивный, адгезионный, окислительный и усталостный (табл. 2).

Таблица 2

**Связь видов изнашивания с параметрами частиц износа [1]**

Вид изнашивания	Классификация частиц износа
Абразивный	Спирали, стружка, петли Стружка, спирали длиной 25–100 мкм, шириной 2–5 мкм, толщиной 0,20–0,25 мкм
Адгезионный	Чешуйки размерами до 15 мкм, толщиной 0,25–1,0 мкм
Окислительный	Частицы размером <150 мкм
Усталостный	Пластинки, чешуйки, усталостно-блочные, брускообразные, сферические частицы Сферы размеров >3 мкм

Перспективным направлением развития трибодиагностики при современном уровне развития систем технического мониторинга является установление корреляционных связей электрофизических параметров зоны трения и структуры частиц износа. С этой целью был проведен анализ экспериментальных данных, полученных при исследовании электрического сопротивления трибологического контакта в условиях эволюции видов изнашивания [2]. На основе представленных результатов [1], [2] была разработана блок-схема автоматизированной системы мониторинга трибологической эволюции процесса изнашивания. Реализация работы компьютерного варианта макета системы мониторинга позволил с большой степенью вероятности утверждать, что практическая реализация автоматизированной системы мониторинга решит задачу обеспечения своевременного ремонта и технического обслуживания сложного оборудования при минимальных затратах.

**Литература**

1. Маркова, Л. В. Трибодиагностика машин / Л. В. Маркова, Н. К. Мышкин. – Минск : Белорус. наука, 2005.
2. Мышкин, Н. К. Механика и трибофизика электрических контактов / Н. К. Мышкин, М. Браунович, В. В. Кончиц // Трение и износ. – 2015. – Т. 36, № 6. – С. 596–610.