

Триботехнические испытания твёрдосмазочных покрытий при повышенных температурах и нагрузках

к.т.н. Сутягин О.В, д.т.н. проф. Болотов А.Н., Рачишкин А.А.

ТвГТУ

8(4822) 52-49-71, alnikbltov@rambler.ru

Аннотация. В статье представлено описание машины трения для триботехнических испытаний твёрдосмазочных покрытий при повышенных температурах и нагрузках. Приведены результаты экспериментальных исследований некоторых композиционных твёрдосмазочных покрытий.

Ключевые слова: триботехнические испытания, твёрдосмазочные покрытия, повышенные температуры, повышенные нагрузки.

Твёрдосмазочные покрытия (ТСП) находят широкое применение в узлах трения, работающих при экстремальных режимах эксплуатации (вакуум, ионизирующие излучения, повышенные нагрузки и температуры). Их экспериментальное моделирование предъявляет специальные требования как к используемому при этом оборудованию, так и к методикам проведения испытаний [1, 2]. Несмотря на практическую важность научно обоснованных методов триботехнических испытаний ТСП при повышенных температурах и нагрузках, они отсутствуют в существующих стандартизованных методиках [3, 4]. Повышенные нагрузки требуют создания на взаимодействующих образцах значительных крутящих моментов, высокой жёсткости и прочности конструктивных элементов машины трения, а испытания по исследованию влияния температуры на процессы трения и изнашивания должны проводиться при низких скоростях скольжения, не приводящих к фрикционному разогреву поверхностей образцов [5]. Особые требования предъявляются к способам создания и поддержания повышенных температур в процессе проведения экспериментов. Кроме того, важную роль при трибологических испытаниях ТСП играет выбор схемы трения [6], которая во многом определяет не только конструкцию машины трения, но и общность получаемых результатов, необходимых для анализа и моделирования процессов фрикционного взаимодействия. В работе [7] было показано, что для экспериментального исследования элементарного случая фрикционного взаимодействия технических поверхностей с ТСП при их номинально плоском контакте, одной из наиболее подходящих является торцевая схема трения. Выпускаемые в настоящее время универсальные машины трения [3] без их модернизации не позволяют проводить испытания ТСП при необходимых для этого режимах с непрерывным и одновременным контролем, нормальной нагрузки, момента трения, температуры и износа образцов в процессе экспериментов применительно к торцевой схеме трения, поэтому для проведения таких исследований была разработана специальная машина трения.

Анализ несущей способности и температурной стойкости наиболее распространённых длительно работающих композиционных ТСП [8] показал, что конструкция машины трения должна позволять повышать номинальную нагрузку в контакте до десятков мегапаскалей, а температуру окружающей среды как минимум до 150°C. Скорость скольжения при этом для снижения влияния фрикционного разогрева должна иметь значения порядка нескольких сантиметров в секунду. Реализовать такие режимы в приемлемых габаритах машины трения удалось применением следующих конструктивных решений: в приводе вращения образцов электродвигателя постоянного тока с тиристорным регулированием и двухступенчатой передачей, состоящей из червячного редуктора и понижающей клиноремённой передачи; в узле приложения нормальной нагрузки – силовой винтовой передачи с компенсацией износа образцов и измерением приложенной нагрузки с помощью специального динамометра; при нагреве окружающей среды и образцов применить компактную регулируемую электропечь с

автоматическим поддержанием заданной температуры. Измерение момента трения и износа осуществлялось с помощью специальных тензобалок способных обеспечивать необходимую точность измерений при повышенных температурах. Схема разработанной машины трения представлена на рисунке 1.

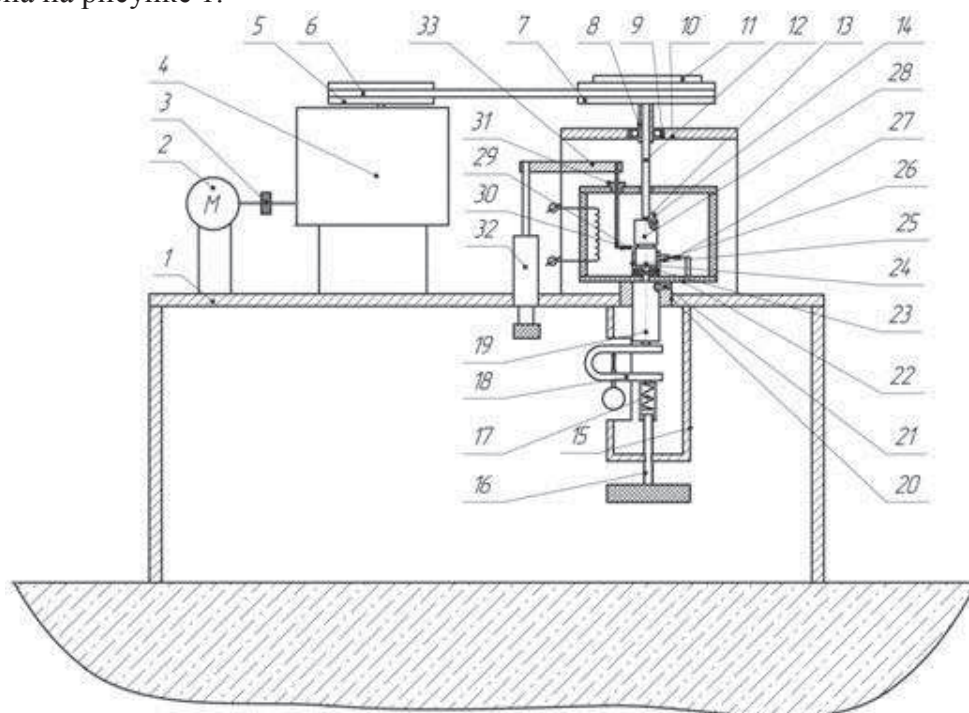


Рисунок 1. Схема торцевой машины трения для триботехнических испытаний ТСП при повышенных температурах и нагрузках

Она состоит из основания 1, смонтированного на нем двигателя постоянного тока 2, который через упругую муфту 3 соединен с червячным редуктором 4, также установленным на основании 1. На выходном валу червячного редуктора 4 размещен шкив 5, который с помощью клинового ремня 6 передает вращающий момент на шкив 7 шпинделя 8, установленного в подшипниках 9 на П-образной стойке 10, смонтированной на основании 1. На шкиву 7 установлен диск 11 со стержнем 12, проходящим внутри отверстия шпинделя 8, на конце которого запрессован шарик 13 и имеется водило 14. В нижней части основания 1, соосно со шпинделем 8, смонтирован стакан 15 с нагружающим винтом 16, компенсатором износа 17 и специальным динамометром 18, взаимодействующим с плунжером 19, имеющим возможность возвратно-поступательного перемещения по направляющей втулке 20, установленной в основании 1. Компенсатор износа 17 выполнен в виде пружины, что позволяет за счет её деформации поддерживать постоянной величину нормальной нагрузки в сопряжении. Вращению плунжера вокруг своей оси препятствует палец 21. На торце плунжера 19 смонтированы электронагревательная печь 22, имеющая дверку для доступа к образцам, и упорный шариковый подшипник 23, на котором в оправке 24 установлен шероховатый образец 25. Оправка 24 имеет упор 26, взаимодействующий с тензобалкой 27, измеряющей момент трения, смонтированной на нижней стенке печи 22 и ограничивающей вращение шероховатого образца 25, находящимся в контакте с образцом имеющим ТСП 28, который имеет возможность самоустанавливаться на шарике 13 и вращается за счет передачи ему крутящего момента через водило 14. Измерение износа осуществляется тензобалкой 29, смонтированной на стержне 30, имеющем возможность возвратно-поступательного перемещения во втулке 31. Регулировка тензобалки по высоте возможна микрометрическим винтом 32, связанным с помощью траверсы 33 через стержень 30 с тензобалкой 29. Вертикальное перемещение шероховатого образца 25 в процессе износа ТСП на образце 28 деформирует тензобалку 29 и позволяет измерять величину линейного износа. В процессе испытаний непрерывно измеря-

ются нормальная нагрузка в сопряжении, момент трения, линейный износ, температуры объемная и на поверхности трения, число оборотов, сделанных подвижным образцом, скорость скольжения. Для регистрации значений этих параметров была использована стандартная измерительная аппаратура: 16-ти канальная тензостанция ЛХ-7006, шлейфовый осциллограф Н-115, КСП-4 с термопарами, тахометр 11ДТ-2М, счетчик импульсов Ф-5007.

Шероховатый образец и контрольный образец с ТСП изготавливались из стали 20Х13. Исходная толщина покрытия составляла 15-20 мкм, а в качестве материалов ТСП применялись ВНИИНП-212, ВНИИНП-230 и ЭОНИТ-3.

В таблице 1 приведены характеристики микрогеометрии шероховатого образца до испытаний и после приработки образцов.

Таблица 1

Параметры микрогеометрии шероховатого образца.

Параметры микрогеометрии	Ra, мкм	Rp, мкм	S_m , мм	t_m
до испытаний	2,48	8,25	0,19	0,58
после приработки	0,96	1,5	0,625	0,56

Согласно ГОСТ 25142-82 Ra – среднее арифметическое отклонение профиля от средней линии, Rp – максимальная высота выступа шероховатой поверхности, S_m – средний шаг профиля по средней линии, t_m – относительная опорная длина профиля по средней линии.

На рисунке 2 представлены результаты экспериментального исследования влияния температуры на интенсивность изнашивания и коэффициент трения ТСП ЭОНИТ-3, ВНИИНП-230 и ВНИИНП-212 и построенные по ним полиномиальные аппроксимации.

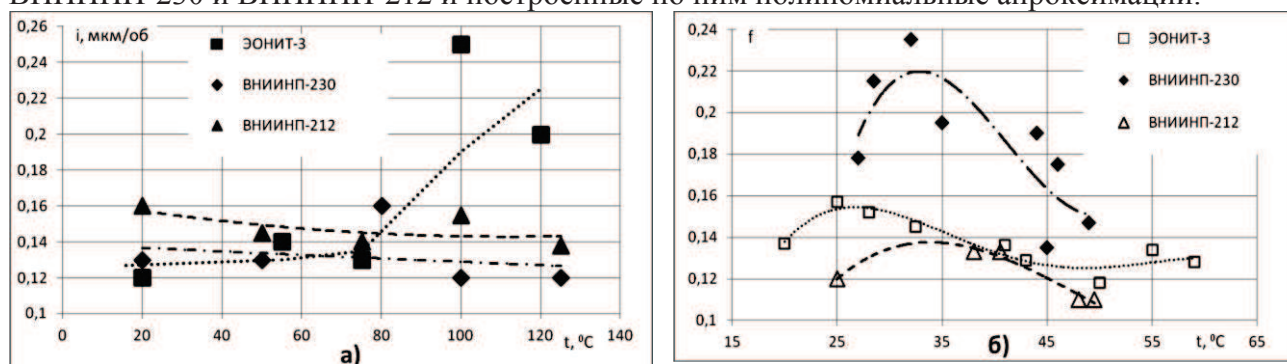


Рисунок 2. Зависимость: а) интенсивности изнашивания и б) коэффициента трения ТСП от температуры

Приведённые данные (рисунок 2а) показывают, что в исследованном диапазоне температур интенсивность изнашивания для ТСП ВНИИНП-212 и ВНИИНП-230 практически не изменяется, а для ТСП ЭОНИТ-3 возрастает при температурах выше 80⁰С. Это можно объяснить различием в зависимостях физико-механических свойств связующих от температуры для данных композиционных покрытий. С особенностями физико-механических свойств ТСП связан и экстремальный характер влияния температуры на их коэффициент трения (рисунок 2б). Так его максимум для ТСП ЭОНИТ-3 возникает при более низких температурах чем для ТСП ВНИИНП-212 и ВНИИНП-230.

На рисунок 3 представлены результаты экспериментального исследования влияния нагрузки на интенсивность изнашивания и коэффициент трения тех же ТСП и построенные по ним полиномиальные аппроксимации. Как видно из представленных данных (рисунок 3а), интенсивность изнашивания покрытий существенно возрастает при превышении некоторого критического значения номинального давления для всех ТСП, а коэффициент трения (рисунок 3б) снижается до общего для всех покрытий предела.

На основе проведённых исследований может быть разработана методика проведения экспериментальных исследований ТСП при повышенных температурах и нагрузках.

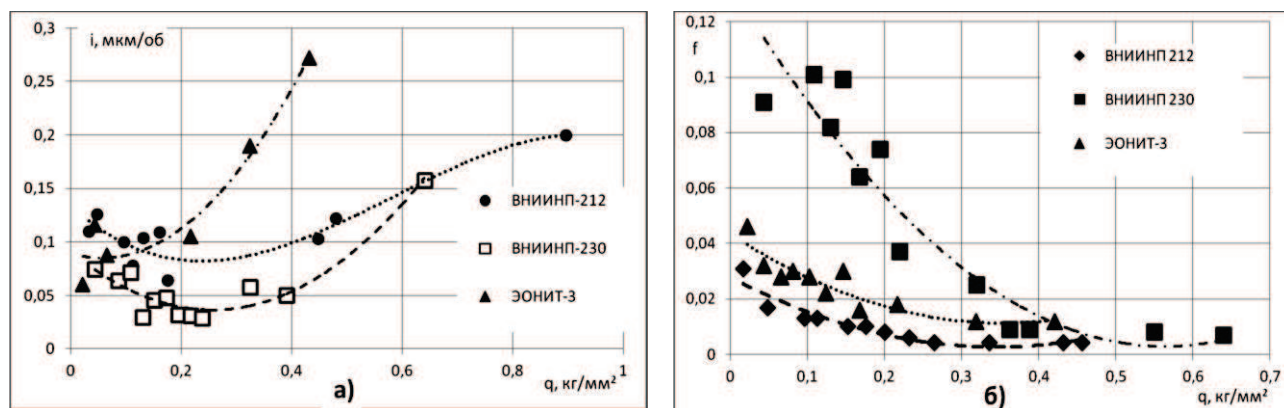


Рисунок 3. Влияние нагрузки на: а) интенсивность изнашивания и б) коэффициент трения ТСП

Литература

1. Методы испытаний материалов и покрытий на трение и изнашивание в вакууме. Руководящие технические материалы РТМ 1-К-80 / Н.А. Цеев, В.В. Козёлкин, Ю.Т. Богатых и др.-ГОНТИ-1,1980. – 110 с.
2. Р 50-54-107-88.Методы оценки триботехнических свойств материалов и покрытий в вакууме: рекомендации / И.В. Крагельский, Ю.Н. Дроздов, Л.С. Комбалов и др.- М.: Госстандарт СССР, ВНИИНМАШ, 1989. – 33 с.
3. Комбалов В.С. Методы и средства испытаний на трение и износ конструкционных и смазочных материалов: справочник / под ред. К.В. Фролова, Е.А. Марченко.- М.:Машиностроение, 2008. – 384 с.
4. Куксёнова Л.И. Методы испытаний на трение и износ: Справочное издание. / Л.И. Куксёнова, В.Г. Лаптева, А.Г. Колманов и др.-М.: “Интермет Инжиниринг”, 2001. – 152 с
5. Матвеевский Р.М. Температурная стойкость граничных смазочных слоёв и твёрдых смазочных покрытий при трении металлов и сплавов. / Р.М. Матвеевский. – М., Наука,1971. 228 с.
6. Сулягин О.В. Контакт шероховатых тел с твёрдосмазочными покрытиями. / О.В. Сулягин, А.Н. Болотов, М.В. Васильев. – Тверь: Тверской государственный технический университет, 2014. 124 с.
7. Сулягин О.В. К оценке триботехнических свойств твёрдосмазочных покрытий. / О.В. Сулягин, А.Н. Болотов, В.В. Мешков, С.В. Мединцев, А.А. Рачишкин. // Новые технологии. Том 1. Материалы X Всероссийской конференции. – М.: РАН, 2013. С. 52 – 62.
8. Цеев Н.А. Материалы для узлов сухого тения, работающих в вакууме: Справочник / Н.А. Цеев, В.В. Козёлкин, А.А. Гуров. – М.: Машиностроение, 1991. 192 с.