

торной системы, что указывает на экономную деятельность аппарата внешнего дыхания.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что на протяжении мышечной деятельности повышающейся мощности в организме происходит неоднократные динамические перестройки результатов деятельности кардиореспираторной системы, направленные на достижения в каждый момент времени оптимального для организма приспособительного эффекта.

Литература

1. Баранова, Е.А. Влияние мышечной работы на параметры внешнего дыхания и гемодинамику нижних конечностей у спортсменов и нетренированных лиц / Е.А. Баранова, Л.В. Капелевич // Вестник Томского государственного университета. – № 364. – 2012. – С. 140–142.

2. Гречишкина, С.С. Особенности функционального состояния кардиореспираторной системы и нейрофизиологического статуса у спортсменов-легкоатлетов / С.С. Гречишкина, Т.Г. Петрова, А.А. Намитокова // Вестник ТГПУ. – Выпуск 3 (81), 2009. – С. 49–54.

3. Иванова, И.И. Особенности состояния кардиореспираторной системы у лиц, активно занимающихся спортом, по данным функционального тестирования на тредмиле при синдроме перенапряжения или перетренированности / И.И. Иванова, К.В. Котенко, А.А. Киш // Вестник новых медицинских технологий. – № 1. – 2013. – С. 8–10.

УДК 621.7/9.048.7

КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ PVD ПОКРЫТИЙ В СМАЗКЕ

Котов С.Ю., Беляев Г.Я., к.т.н., профессор

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь

Технико-экономические показатели тренажеров в значительной степени определяются эффективностью и надежностью узлов трения. Снижение износа деталей и потерь на трение повышает КПД,

надежность оборудования, существенно снижает затраты, сопутствующие ремонту и эксплуатации техники. Из существующих способов увеличения долговечности узлов трения наиболее целесообразным является нанесение на трущиеся поверхности различного рода покрытий [1]. Среди таких методов на современном этапе развития науки и техники лучшим сочетанием преимуществ и недостатков обладает метод осаждения покрытий из плазмы в вакууме, хорошо зарекомендовавший себя при упрочнении вкладышей подшипников скольжения, втулок, деталей ДВС и других пар трения.

Стоит отметить, что существует ряд факторов, сдерживающих широкое применение покрытий в узлах трения. Так, на настоящий момент не существует единой методики по определению эффективности применения покрытий в узлах трения скольжения, а аналогичные методики для узлов трения качения попросту отсутствуют. В своих работах исследователи руководствуются субъективным предпочтением того или иного покрытия, в то время, как любая характеристика вакуумно-плазменного покрытия не является постоянной величиной и может изменяться в определенном диапазоне. Помимо прочего, нет единого фактора оценки свойств трибопокрытий: некоторые ученые при оценке эффективности использования покрытия для улучшения эксплуатационных свойств узлов трения руководствуются исключительно триботехническими свойствами (коэффициентом трения скольжения, износостойкостью, иногда оценивается изнашивающая способность по отношению к контртелу), часть исследователей оценивают комплекс физико-механических характеристик (микротвердость, адгезионную прочность, краевой угол смачивания и т.д.). Особенно затрудняет исследование тот факт, что, несмотря на достаточную обширность изучения вакуумно-плазменных покрытий, исследование их триботехнических характеристик чаще всего носит частный, а порой и противоречивый характер [2–4].

Все вышеуказанные факты говорят об острой необходимости разработки единой системы по оценке свойств и о необходимости создания единой базы сведений о каждом покрытии.

Для определения коэффициента трения скольжения использовались образцы из закаленной стали ШХ15 ГОСТ 801-78 (твердость 63...65 HRC), которые представляли собой цилиндрическое тело

Ø60 мм и высотой 10 мм, на торцовую поверхность которого магнетронным способом (установка UniCoat 900 с несбалансированными магнетронами) были нанесены покрытия толщиной 5 мкм. Определение коэффициента трения скольжения характеристик вакуумно-плазменных покрытий и износа проводилось в соответствии с ГОСТ 23.224-86 на универсальной машине трения УМТ 2168 с электромеханическим измерителем момента сопротивления вращению (момента трения). В качестве контртела использовались термообработанные втулки из стали ШХ15 (65 HRC), контактная поверхность которых представляла собой кольцо (внутренний диаметр 12 мм, наружный – 20 мм). Шероховатость всех поверхностей трения составляла Ra=0,04 мкм. Условия контакта: трение скольжения по схеме «палец-диск» при неподвижном диске и вращающемся пальце.

При определении коэффициента трения скольжения в среде смазки использовалось масло индустриальное И40А.

Испытания проводили при частоте вращения пальца $n=300 \text{ мин}^{-1}$ при постоянной влажности и температуре окружающей среды.

Коэффициент трения рассчитывали согласно формуле (1.1):

$$\mu = \frac{2M_{\text{тр}}}{D \cdot F} \quad (1.1)$$

где $M_{\text{тр}}$ – момент трения, Н·м;

D – диаметр образца, м; $D=0,02 \text{ м}$;

F – нагрузка, Н; $F=200 \text{ Н}$.

За величину коэффициента трения скольжения принимали его среднее значение в установившемся режиме: для каждого покрытия опыт повторялся пятикратно, а по полученным данным находили их среднее арифметическое значение.

В качестве образцов были выбраны десять наиболее перспективных вакуумно-плазменных покрытий на основе титана, циркония, алюминия и хрома. Учитывая широкий спектр характеристик покрытий, находящийся в зависимости от параметров процесса нанесения покрытий, формирование испытываемых покрытий производи-

лось по рекомендациям производителей и имеющимся научным данным [5].

Было установлено, что в период испытаний характер изменения коэффициента трения скольжения всех покрытий имел общий принцип. График изменения коэффициента трения скольжения во времени представлен на рис. 1.1. С момента начала эксперимента происходило увеличение коэффициента трения до момента времени t_1 , когда достигалось его максимальное значение f_{MAX} . После чего наблюдалось постепенное снижение его значения до величины, которая оставалась практически неизменной длительное время и составляла $0,4-0,6 f_{\text{MAX}}$. В период работы покрытия на отрезке времени t_2-t_3 наблюдалось примерно постоянное значение коэффициента трения скольжения, которое принималось за расчетное. По истечении определенного периода (правее t_3), наблюдалось увеличение значения коэффициента трения скольжения до момента разрушения покрытия.

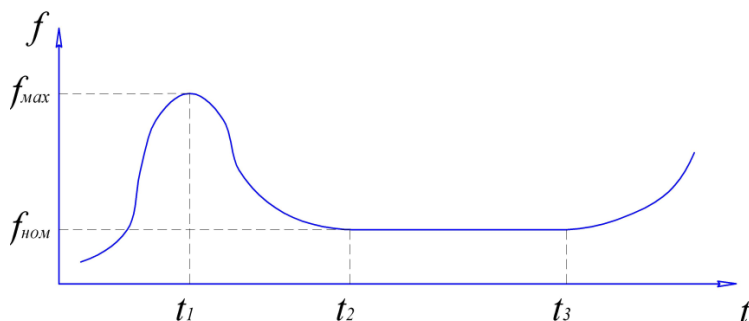


Рис. 1.1. Схема изменения коэффициента трения скольжения пары «PVD покрытие – сталь ШХ15»

Факт изменения коэффициента трения скольжения на начальном этапе эксперимента можно объяснить приведением шероховатости поверхностей к оптимальному значению: в процессе приработки происходит постепенный износ (истирание) неровностей, полученных при формировании поверхностей, с последующим образованием нового микрорельефа. Данный процесс протекал на фоне повышения температуры и разрушения оксидных пленок с образованием продуктов износа, наблюдавшихся в зоне трения.

Рост коэффициента трения скольжения на финальной стадии эксперимента можно объяснить нарушением целостности покрытия вследствие истирания. На данном этапе эксплуатации покрытия, площадь контакта трущихся поверхностей состоит из уменьшающейся суммы участков с вакуумно-плазменным покрытием и из постоянно увеличивающейся суммы площадей стали ШХ15 без покрытия. Т.к. коэффициент трения скольжения в паре трения «сталь ШХ15 – сталь ШХ15» несколько выше, чем в паре трения «PVD покрытие – сталь ШХ15», происходит постепенное изменение параметров процесса трения, в результате чего и наблюдается увеличение момента трения (рис. 1.2).

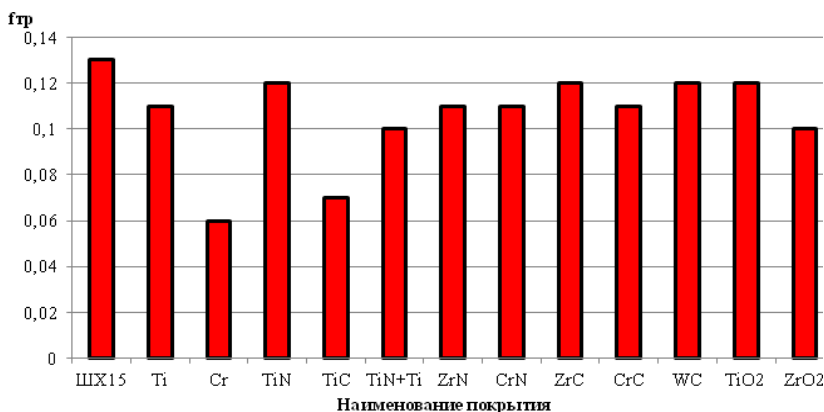


Рис. 1.2. Коэффициент трения скольжения со смазкой одноэлементных PVD покрытий со сталью ШХ15

Наименьшие значения коэффициента трения скольжения продемонстрировало покрытие на основе хрома. Данный факт может служить ярким свидетельством того, что замена хромированных покрытий, получаемых гальваническим методом и широко используемых в спортивном оборудовании, на соответствующее покрытие, получаемое методом вакуумно-плазменного напыления, является экономически более целесообразным и экологически безопасным решением.

Литература

1. Толок, В.К. Разработка и внедрение новых методов плазменной технологии высоких энергий / В.К. Толок, В.Г. Падалка // Вестник АН УССР. – 1979. – № 4. – С. 40–49.
2. Мацевитый, В.М. Структура и механические свойства вакуумно-плазменных покрытий TiCN / В.М. Мацевитый и др. // Известия вузов «Черная металлургия». – 1984. – № 3. – С. 83–86.
3. Полянин, Б.И. Вакуумно-плазменная конденсация бронзы / Б.И. Полянин и др. // Авиационная промышленность. – 1985. – № 5. – С. 60–62.
4. Береснев, В.М. Получение многокомпонентных покрытий методом КИБ / В.М. Береснев и др. // Труды семинара «Физические основы и новые направления плазменной технологии в микроэлектронике». – М., – 1989. – С. 143–144.
5. Мрочек, Ж.А., Основы технологии формирования многокомпонентных вакуумных электродуговых покрытий / Ж.А. Мрочек, Б.А. Эйзнер, В.А. Марков. – Минск: Навука і тэхніка. – 1991. – 95 с.

УДК 796.015.686

МЕТОД КОМПЬЮТЕРНОЙ БИОЭЛЕКТРОГРАФИИ В ПОДГОТОВКЕ СПОРТСМЕНОВ ОЛИМПИЙСКОГО РЕЗЕРВА

Коротков К.Г.¹, д-р тех. наук, профессор, Шелков О.М.¹, канд. пед. наук, доцент, Дроздовский А.К.², канд. психол. наук, Громова И.А.³, заслуженный тренер РФ

¹Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт физической культуры, Санкт-Петербург, Россия

²Центр спортивной подготовки сборных команд России,

³Паралимпийская команда России по лыжам и биатлону, Москва, Россия

Биоэлектрография – это метод исследования свечения биологического объекта, помещенного в электромагнитное поле высокой напряженности. Метод имеет давнюю историю – первые фотографии свечения были получены в XVIII веке немецким физиком Георгом Лихтенбергом. Исследования продолжались и в