

УДК 621.81.539.376

А. В. Тотай, д-р техн. наук, профессор

Брянский государственный технический университет, Россия

Тел. +7 (910) 743-51-85; E-mail: totai_av@mail.ru**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЕСУРСА ПРЕЦИЗИОННЫХ ПАР ТРЕНИЯ**

В статье рассмотрена возможность сокращения периода приработки прецизионных пар трения за счет минимизации адгезионной составляющей коэффициента трения.

Ключевые слова: период приработки, темп износа, зазор в трибосистеме, диффундирование азота.

A. V. Totay**TECHNOLOGICAL RESOURCE SUPPORT FOR PRECISION FRICTION PAIRS**

The article discusses the possibility of reducing the running-in period of precision friction pairs by minimizing the adhesion component of friction coefficient.

Keywords: running-in period, wear rate, clearance in the tribosystem, nitrogen diffusion.

1. Введение

Прецизионные пары трения нашли широкое применение в различных механизмах и приборах. Прежде всего, это относится к золотниковым и пневмосистемам, гидромоторам, к технологической оснастке и к ряду других технических устройств. Отличительной особенностью этих трибосистем является значительная зависимость степени надежности исполнения ими своих задач от зазоров между сопрягаемыми деталями. Как правило, эти пары трения представляют из себя классический вид соединения типа «вал-втулка».

Увеличение исходного зазора в этих соединениях вследствие износа рабочих поверхностей резко снижает их функциональную надежность и вынуждает идти на серьезные материальные затраты по ремонту и восстановлению запланированных технических характеристик.

2. Основное содержание и результаты работы

Динамика увеличения зазора в сопряжении складывается, естественно, из износа поверхностей вала и втулки.

Причем, интенсивность износа этих поверхностей в зоне установившегося процесса целиком зависит от целого ряда конструктивных и технологических факторов [1,2]. Прежде всего это касается материалов трибоэлементов и их термообработке, шероховатости поверхностей, физико-химического состояния субструктур и режимов эксплуатации (нагрузкам, скоростям скольжения, маркам и условиям смазки и т.д.)

Таким образом, к моменту достижения критического зазора $Z_{кр}$ в соединении общая его величина будет складываться из следующих составляющих:

$$Z_{\dot{e}0} = Z_{\dot{e}n0} + \frac{L_{i.i.\dot{a}}}{tg\alpha_1} + \frac{L_{i.e.\dot{a}}}{tg\alpha_2} + \frac{L_{i.e.\dot{a}0}}{tg\alpha_3} + \frac{L_{i.e.\dot{a}0}}{tg\alpha_4},$$

где Z – исходный зазор в соединении;

$L_{n.n.e.}$ – путь трения вала в период приработки;

α_1 – угол наклона участка периода приработки вала;

$L_{n.u.e.}$ – путь трения вала в период постоянного темпа износа;

α_2 – угол наклона участка постоянного износа вала;

$L_{п.и.вт.}$ – путь трения втулки в период приработки;

α_3 – угол наклона участка периода приработки втулки;

$L_{п.п.вт.}$ – путь трения втулки в период постоянного темпа износа;

α_4 – угол наклона участка постоянного износа втулки;

Структура приведенной зависимости показывает, что уменьшить общую величину износа сопрягаемых поверхностей можно лишь за счет уменьшения износа в период приработки трибоэлементов.

Учитывая это обстоятельство, была сделана попытка реализовать эту возможность на примере повышения ресурса эксплуатации гидромоторов, применяемых в угледобывающей промышленности. В этом агрегате парой трения скольжения является подвижное соединение втулки и поршня. Втулка, запрессованная в чугунный корпус, изготавливается из стали 18ХГТ, рабочая поверхность которой цементируется на глубину 0,6-0,8 мм и закаливается до HRC 56-62. номинальный диаметр сопряжения 50 мм. Во втулке совершает возвратно-поступательные перемещения поршень из ВПЧ60, размер которого путем выборки или сопряженной обработки обеспечивает зазор в соединении в пределах 0,02-0,03мм.

Конструкторские требования по шероховатости контактирующих поверхностей: втулки – Ra=0,2мкм; поршня – Ra=0,4мкм.

По имеющимся данным [3] после 3000 часов работы гидромотора наблюдается уменьшение крутящего момента на 20-25%, а после 5000-6000 часов требуется его ремонт с заменой поршня и восстановлением исходного зазора в сопряжении. В процессе эксплуатации средний зазор в сопряжении изменялся следующим образом: до эксплуатации – 0,022мм, 3000 часов работы – 0,042мм; 6000 часов работы – 0,061мм.

Как показал анализ микрорельефа рабочих поверхностей данного сопряжения, то он существенно изменяется в период приработки. Окончательная обработка поверхностей втулки и поршня осуществляется резцами из сверхтвердых материалов – композитом 10.

Очевидно, что кинематика механической обработки и режима эксплуатации в корне отличается и по этой причине получить так называемую «равновесную» шероховатость технологическим методом не представляется возможным без радикальной модернизации всего технологического процесса.

Так как в период приработки линейный износ прецизионных пар трения изменяется, как правило, несколькими микронами, то в качестве резерва для его уменьшения можно попытаться проанализировать и изменить химический состав субструктуры поверхностных слоев, и технологическим путем минимизировать адгезионную составляющую силы трения [4].

На химический состав так называемых вторичных структур поверхностного слоя в процессе механической обработки оказывают влияние следующие основные физические факторы:

- 1) диффундирование некоторых химических элементов из инструментального материала в матрицу конструкционного;
- 2) адсорбция элементов режущего инструмента под действием значительных температурных градиентов в поверхностном слое;
- 3) адгезия микрочастиц материала на режущий инструмент и «размазывание» их по обрабатываемой поверхности;

4) «микрометаллургические» процессы, протекающие при «размазывании» микровключений по обрабатываемой поверхности при высоких локальных температурах [5];

5) адсорбция элементов, входящих в СОТС.

Как показывают исследования Б.В. Дерягина, П. Л. Грузина, Т.Н. Лолодзе, И.М. Любарского и других, наиболее существенное влияние на изменение химического состава поверхностных слоев оказывают диффузионные процессы.

В настоящее время существуют в основном две физические модели диффузии твердых тел: гетеродиффузия и реактивная диффузия. Первый вид характеризуется образованием твердого раствора с решеткой растворителя. Максимальная концентрация диффундирующего вещества в металле, играющем роль растворителя, не может превышать предельную концентрацию согласно диаграмме состояния. По второй модели химическая реакция может произойти с образованием интерметаллического соединения на границе раздела контактирующих тел. Известно, что диффузия молекулы химического соединения в решетку металла невозможна. В металле диффундируют атомы, получившиеся в результате диссоциации этих соединений. Поэтому, при диффузионном растворении инструментального материала в обрабатываемом, необходимо рассматривать диффузию, входящих в сплав химических элементов [6].

Количество вещества dM компонента В, выраженное в молях массы вещества, продиффундировавшее в компонент А, определяется уравнением

$$dM = -D \frac{dc}{dx} dSdt,$$

где D - коэффициент диффузии; dc/dx - градиент концентрации в какой-либо точке; dS - элементарная площадь, через которую происходит диффузия; dt - время диффузии.

Важнейшим параметром, характеризующим диффузию, является коэффициент диффузии D , который определяется из соотношения

$$D = D_0 e^{-\frac{Q}{R\Theta}},$$

где D_0 - предэкспоненциальный множитель, который соответствует коэффициенту диффузии при температуре, равной бесконечности; Q - энергия активации, отнесенная к молю твердого раствора; R - газовая постоянная, равная 8,314 Дж/(моль·К); Θ - температура диффузии.

Из теории диффузии известно, что энергия активации уменьшается с увеличением разности порядковых номеров диффундирующего вещества и растворителя в периодической системе элементов. Это объясняется более интенсивным искажением силовых полей при резком отличии природы растворенного элемента от природы растворителя, что и облегчает процесс диффузии [7].

Вторым фактором, определяющим коэффициент диффузии, является температура, которая при заданных конструкционных материалах целиком определяется условиями технологического воздействия на обрабатываемую поверхность. Как видно из формулы расчета диффузии, с увеличением температуры коэффициент диффузии увеличивается по экспоненциальной зависимости.

Что касается количественной оценки промежутков времени t_d , необходимых для реализации микродиффузионных процессов, то для прикладных расчетов предложена следующая зависимость [3]:

$$t_{\ddot{a}} = \frac{L_{\ddot{a}}^2}{D},$$

где $L_{\ddot{a}}$ - протяженность пути диффузии.

Анализ этого соотношения позволяет убедиться, что для диффундирования вещества на глубину от нескольких сотен до нескольких тысяч ангстрем требуются весьма малые временные промежутки - от 10^{-4} с и менее. Это свидетельствует о том, что даже при высокоскоростных технологических процессах время диффузии может быть соизмеримо с временем контакта инструмента с элементарной площадкой поверхности заготовки.

Одним из современных способов оценки элементного состава поверхностей материалов считается метод электронной оже-спектроскопии (ЭОС).

Исследования проводились на электронном спектрометре типа ЭСКАЛАБ-МК-11.

На рис. 1 и 2 приведены типичные оже-спектры, снятые с исходных и обработанных поверхностей стальных и чугуновых образцов соответственно. Из химического состава поверхностных слоев видно, что в исходной поверхности как стали, так и чугуна азот не обнаружен. После обработки в режиме чистового обтачивания резцами из композита 10 ($t = 0,3$ мм; $S = 0,08$ мм/об; $V = 220$ м/мин; без СОТС) в оже-спектрах наглядно видно присутствие азота, который является одним из основных компонентов композитов на базе кубического нитрида бора. Этот факт свидетельствует об активном процессе диффундирования, происходящем на площадках контакта инструмента с образцом в процессе обработки.

Проведенные исследования позволили теоретически доказать и экспериментально подтвердить возможность микролегирования азотом тонких поверхностных слоев чугуновых и стальных деталей при обработке инструментами из сверхтвердых материалов на основе кубического нитрида бора.

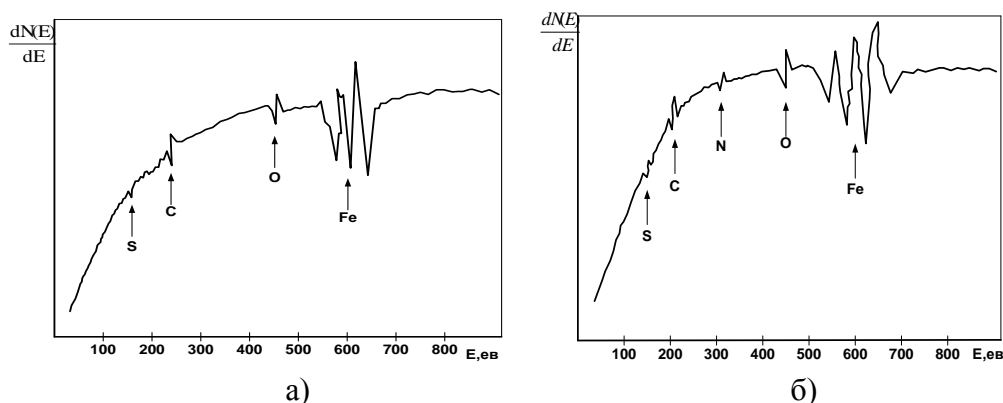


Рисунок 1. Типичные оже-спектры поверхности закаленных образцов из стали 18ХГТ:
а – основа; б – поверхность, обработанная композитом 10

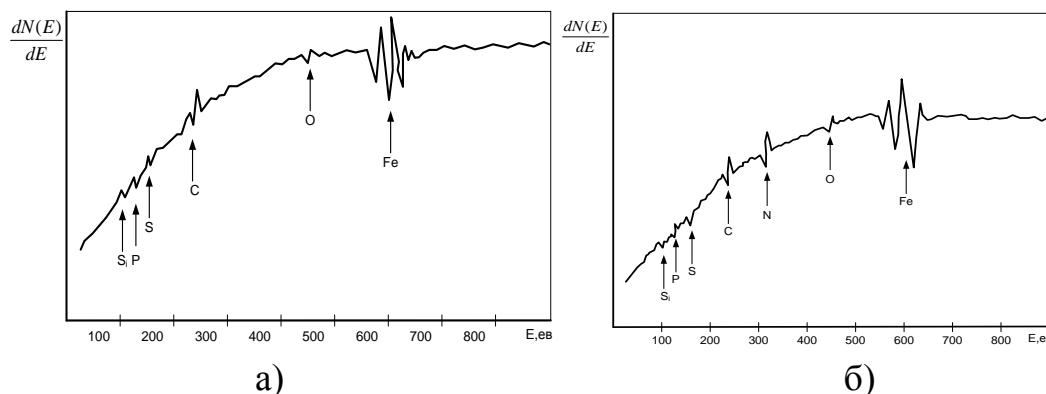


Рисунок 2. Типичные оже-спектры поверхности образцов из высокопрочного чугуна:
а – основа; б – поверхность, обработанная композитом 10.

3. Заключение

На основании проведенных исследований с целью исключения микроазотирования обеих контактирующих поверхностей было принято решение обрабатывать поверхность поршня резцами из черной оксидной керамики марки ВОК – 71. Испытания гидромоторов с трибосистемами поверхности которых обработаны различными по маркам и физикохимическим свойствам инструментами, позволили значительно сократить темп увеличения общего зазора на 18-20%, что увеличивает общий ресурс механизма на 600-700 часов до планового ремонта.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Горячева, И. Г. Механика фрикционного контакта / И. Г. Горячева. – М.: Наука, 2001. – ISBN 5-02-0025-67-4.
2. Основы трибологии / А. В. Чичинадзе, Э. Д. Браун, Н. А. Буше [и др.]; под общ. ред. А. В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2001. – ISBN 5-217-03053-4.
3. Шевеля, В. В. Изменение трибологических свойств стали при повторно-циклическом трении с учетом эффекта Баушингера / Шевеля В. В., Купец Б., Калда Г. С., Соколан Ю. С. // Проблемы трибологии. – 2017. – №2. – С. 6-15.
4. Трение, изнашивание и смазка: Справочник: кн. 1. / Под ред. И. В. Крагельска, В. В. Алисина. – М.: Машиностроение, 1978. – ISBN 113-1-0-2933.
5. Иванов, В. А. Упрочнение приповерхностных слоев образцов из стали 45 с помощью микроплазменной обработки / Иванов В. А., Купец Б., Калда Г. С., Соколан Ю. С. // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2015. – №4. – С. 96-102.
6. Тотай, А. В. Технологическое обеспечение физико-химических свойств поверхностного слоя деталей машин / А. В. Токай // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2012. – №9. – С. 8-11.
7. Тотай, А. В. Повышение эксплуатационной надежности деталей технологическим управлением физико-химическими параметрами их поверхностных слоев / А.В. Токай // Научно-технические технологии в машиностроении. – 2020. – №1. – С. 24-30.
8. Герасимов, С. А. Инженерия поверхности и эксплуатационные свойства азотированных концентрационных сталей / Герасимов С. А., Куксенова Л. И., Лаптева В. Г. и др. // Под общ. ред. Е. Н. Каблова. – М. Виам, 2019. – ISBN 918-5-90521747-0.

Поступила в редколлегию 18.04.2021 г.