

## Триботехнические испытания сопряжённых пар при разработке роликовых подшипников качения

Хмелевская В.Б., Белов М.М.

Санкт-Петербургский институт машиностроения (ЛМЗ-ВТУЗ)

### Резюме.

В статье приведены исследования триботехнических характеристик сопряжённых пар роликов с покрытиями и колец подшипников качения.

**Ключевые слова:** тонкослойное покрытие, ионно-плазменное напыление, фуллерен, нанопокрывание, коэффициент трения, нагрузка схватывания, роликовый подшипник.

## TRIBOTECHNICAL TRIALS IN THE DRAFTING CONJUGATE PAIRS OF ROLLER BEARINGS

### Abstract.

In article researches tribotechnical characteristics of the interfaced pairs balls with coverings and rings of bearings rolling motion are resulted.

**Key words:** fine-layer coatings, ion-plasmous evaporation, fullerene, nanocover, the load grasping, factor of friction, roller bearing.

Развитие науки и техники в настоящее время находится в эре высоких технологий. На сегодняшний день актуально создание новых технологий конструкции механизмов. В настоящее время проводится работа по созданию подшипников качения взамен подшипников скольжения. Подшипники качения обуславливают более высокую эффективность работы, снижение шумовых эффектов и износостойкостью сопряжённых пар.

Нами проведены исследования свойств сопряжённых пар при работе материала ШХ15 с материалом ШХ15 с различными фазовыми состояниями при нагрузке одной из сопряжённой пары.

На рис.1 представлены основные типы подшипников качения:

а) шарикоподшипник радиальный однорядный; б) шарикоподшипник радиальный двухрядный сферический (самоустанавливающийся); в) роликоподшипник с короткими цилиндрическими роликами радиальный однорядный без бортов на наружном кольце.

Силы трения качения на порядок меньше силы трения скольжения. Эффект качения начали использовать ещё в осадных машинах А.Македонского.

Первые эксперименты по изучению трения качения в механизмах создающих перемещение принадлежат Кулону. Сопротивление качения оценивалось силой, которая будучи приложенная к центру шариков, вызывает не прерывное равномерное качение. Влияние качества сопряжённых поверхностей было изучено Бикерманом. Изучение материалов шариков и роликов на  $K_{тр}$  качения впервые было определено Рейнольдсом. Обнаружено, что шероховатость сопряжённых пар существенно влияет на  $K_{тр}$  качения. Переход от самой грубой 3,1 мкм к самой гладкой 0,025 мкм, сопровождается уменьшением коэффициента трения в три раза. Основной причиной возникновения сил сопротивления качения, является наличие на площадках контакта участков с проскальзыванием. Большое влияние на работу подшипников качения влияют контактные напряжения. Начиная с 1785г. до наших дней определяется, что на износостойкость и эффективность работы подшипников качения, влияют материалы конструкции и смазочные материалы. Установлено, что напряжение в контактах шариковых подшипниках, меньше чем у роликовых.

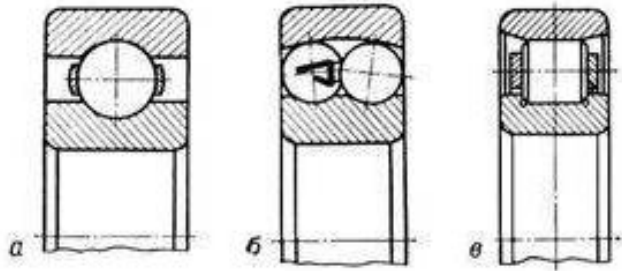


Рис. 1. Основные типы подшипников качения

Для изготовления деталей подшипников качения применяются материалы ШХ15, сталь 40Х, 18ХГТ. Для нанесения покрытия на кольца подшипников были использованы технологии:

1. Осаждение реагентов из паровой фазы плазменной струи;
2. Ионно-плазменное напыление;
3. Имплантация;
4. Ультразвуковое облучение.

#### Технология нанесения покрытий осаждением из паровой фазы плазменной струи

В СПбГТУ совместно с объединением «Электросила» на основе работ Великобритании разработан процесс нанесения тонкопленочных покрытий путем конденсации с ионной бомбардировкой. Преимущества данной технологии: 1. возможность локальной обработки поверхностей сложной конфигурации за счёт маневренности дугового плазматрона и высокой концентрации энергии в струе дуговой плазмы. 2. сравнительно дешевое оборудование. 3. высокая универсальность применения реагентов плазмохимических реакций. В данном случае применяются реагенты кремнеорганических соединений.

Технология ультразвуковой обработки после изготовления роликов и колец подшипников качения

Ультразвуковая обработка является прогрессивным процессом упрочнения материала поверхностного слоя. Сущность процесса заключается в воздействии на обрабатываемую поверхность твердосплавного индентора прижатого к ней с постоянной силой, для роликов – 6 кг, для колец – 3 кг и частотой 22 кГц. В результате ультразвукового воздействия на прижатый ролик или кольцо, в контакте могут развиваться локальные напряжения. Источник воспроизводства ультразвуковых волн состоит из электрического генератора и излучателя.

В ультразвуковом диапазоне применяются электродинамические, магнитострикционные и пьезоэлектрические излучатели. Технологический процесс воздействия ультразвука на шарики подшипника качения по нашему мнению должен привести к снижению  $K_{тр}$ , проскальзывания, сопротивляемости при случайном ударном воздействии на подшипник. В лаборатории УЗО под руководством В.М. Быстрова проведены работы по финишной обработке роликов и колец подшипников качения.

Экспериментальные исследования

Данные исследования, проведённые при нанесении покрытий на кольца и ролики из ШХ15 в лаборатории П.А. Тополянского, приведены в таблицах 1-4.

Таблица 1.

Триботехнические свойства при нанесении покрытий осаждением из паровой фазы плазменной струи

Материал ролика	Материал кольца	$K_{тр}$	$P_{сх}$ , кг	Износ, мкм
ШХ15	ШХ15	0,2	200	0,4
ШХ15+SiC <sub>2</sub> OH	ШХ15	0,083	250	0,01
ШХ15 +SiC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	ШХ15 Термическая обработка (закалка)	0,091	240	0,02

Таблицы 2 и 3-свойства сопряжённых пар подшипника качения с нанесением покрытия на кольца ультразвуковым воздействием.

Таблица 2

Свойства сопряжённых пар подшипника качения с нанесением покрытия на кольца ультразвуковым воздействием

Технология нанесения	Материал основы	Материал покрытия	$P_{сх}$ , кг	$K_{тр}$
	ШХ15	ШХ15	100	0,13
УЗО	ШХ15	ШХ15+УЗО	180	0,03

Таблица 3

Свойства сопряжённых пар подшипника качения с нанесением покрытия на кольца ультразвуковым воздействием

Технология нанесения	$\sigma_n$ , МПа	HRC	S, мкм <sup>2</sup>
ШХ15	+10	120	2x2
ШХ15+УЗО	-20	140	1,6x1,6

Таблица 4

Сравнительные данные покрытий на кольцах подшипников качения

Материал кольца	Материал ролика	$K_{тр}$	Износ кольца, мкм	Износ ролика, мкм	$\sigma_n$ , МПа
ШХ15	ШХ15	0,09	0,05	0,04	+10
ШХ15 + геоматериал	ШХ15 + геоматериал	0,065	0,001	0,061	-10
ШХ15+ОПФПС+SiC <sub>2</sub> ОН	ШХ15	0,060	-	0,001	-180

Данные исследования износа покрытия при изменении нагрузки приведены на рис. 2.

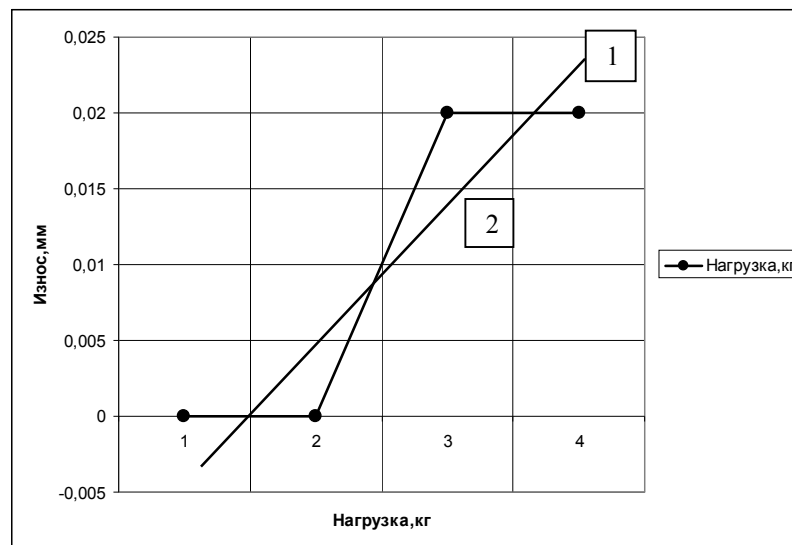


Рис. 2. Изменения износа в зависимости от нагрузки. 1) линейная зависимость. (1-10кг; 2-25кг; 3-100кг; 4-200кг).

Все исследования были проведены с использованием масла И-20А наноструктурированного фуллеройдными материалами.

Рассмотрено влияние скольжения на механизмы повреждения при качении. Примеры разрушения возникают, когда ролик и кольцо многократно образуют контакт под значительной нагрузкой.

Исследования трения качения со скольжением позволило установить существование нескольких масштабных уровней, внешнего нагружения и соответствующих ступенчатых изменяющихся закономерностей, определяющих износостойкость кинематических пар. Для условий контактирования деталей при качении с проскальзыванием исходные соотношения изнашивания нужно записать:

$$\Delta V = \Delta V_0 [(A_{уд})_{N=1} \cdot V_1 / (E_{уд} \cdot V_{кр})] \cdot (N - N_{кр}) = \text{const} \cdot [(A_{вн})_{N=i} \cdot V_i / (E_{уд} \cdot V_{кр})] \cdot (N - N_{кр}), \quad (1)$$

где:

$\Delta V$  - объём продуктов изнашивания;

$N_{кр}$  - критическое число внешних воздействий, достаточное для начала отделения частиц износа с поверхности металла;

$(A_{вн})_{N=1}$  - удельная энергия внешнего воздействия;

$V_1$  - текущая скорость внешнего воздействия;

$E_{уд}$  - удельная энергия изнашивания металла;

$V_{кр}$  - критическая скорость нагружения;

$\Delta V_0 (N - N_{кр})$  - интенсивность изнашивания.

### Заключение

В работе рассмотрены технологии повышения эффективности работы подшипников качения.

### Литература:

1. Крагельский «Трение и износ в машинах» М.: Машиностроение 1984г;
2. Тополянский П.А. «Триботехнические исследования покрытий при финишном плазменном упрочнении» сборник. Ремонт 2010г.
3. Погодаев Л.И. «Изнашивание покрытий при трении скольжения» Проблемы машиностроения 1991г. №4.
4. Погодаев Л.И., Дудко П.П., Кузьмин В.Н. «Влияние композиционных покрытий на работоспособность пар трения серый чугун, хромовое покрытие». Проблема машиностроения и надёжности машин, РАН №6 2000г.
5. Хмелевская В.Б., Леонтьев Л.Б. «Повышение надёжности судового оборудования». Наука. Владивосток 2005г. монография.

**Хмелевская Ванда Болиславовна** – доктор технических наук, профессор, Санкт-Петербургский институт машиностроения

**Белов Михаил Михайлович** – аспирант кафедры «Технология машиностроения», Санкт-Петербургский институт машиностроения

**Khmelevskaya Wanda Bolislavovna** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Saint- Petersburg Machine Building Institute

**Belov Mikhail Mikhaylovich** – Graduate Student of the Department of “Mechanical Machine Building”, Saint- Petersburg Machine Building Institute