

УДК 621.8

Теплообразование при приработке трибосистем с подшипниковыми сплавами

Зелинский В.В.

В статье обоснована актуальность изучения процесса приработки трибосистем с подшипниковыми сплавами с целью оценки и прогнозирования уровня теплообразования в них, а также их теплового состояния. Представлены результаты исследования теплообразования и теплового состояния трибосистем, полученные экспериментально в процессе приработки в условиях возрастающей нагрузки. Объектами изучения являлись традиционные и новые материалы для подшипников скольжения. Проведено математическое моделирование процесса приработки с использованием современных представлений в трибологии и результатов, полученных автором. Получена теоретическая зависимость, подтвержденная результатами опытов, что указывает на достоверность принятых теоретических гипотез. Установлены основные факторы влияния на теплообразование и тепловое состояние трибосистем с подшипниковыми материалами. Приведены рекомендации для проведения эффективной технологической приработки трибосистем.

Ключевые слова: деформация, поверхность, приработка, трибосистема, материал, подшипник, температура, состояние, свойства.

Введение

В ряде случаев подшипники скольжения номинально работают в экстремальных режимах, к которым относятся условия ограниченной смазки, условия высоких удельных нагрузок, режим полужидкостной смазки. К экстремальным и нестационарным относятся условия работы подшипников в период технологической приработки, когда рабочие поверхности за счет детерминированного трения приобретают требуемые служебные свойства.

Для экстремальных режимов в настоящее время в той или иной мере имеются методы определения температуры по эмпирическим формулам. При этом она является функцией безразмерных комбинаций параметров (расход, давление, скорость, плотность среды и т.п.), с помощью которых описывают процессы в жидких средах. Однако при приработке тепловое состояние определяется природой трибологических процессов, связанных с преобразованием поверхностей твердых тел, что изучено недостаточно. Поэтому отсутствуют даже приближенные методы оценки и прогнозирования тепловых состояний при приработке, тем более для трибосистем с композиционными материалами.

Целью работы является установление закономерностей теплообразования в процессе технологической приработки подшипниковых сплавов с использованием экспериментальных исследований и теоретических подходов.

Экспериментальные исследования

В лабораторных условиях исследовался процесс приработки подшипниковых материалов, используемых в кривошипно-шатунном механизме тепловозных дизелей серий Д100 и М753 - бинарные (двойные) сплавы на основе меди (медносвинцовый сплав БрС30), на основе алюминия (ряд алюминийевооловянных сплавов) и на основе олова (баббит Б83). Образцы исследуемых материалов в виде колодки вместе со стальным валом представляли собой смазываемую трибосистему, в достаточной мере имитирующую подшипник скольжения. Температура трения измерялась специальной термопарой, спай которой заделывался в образец вблизи поверхности трения.

Методика лабораторных испытаний предусматривала ступенчатый рост нагрузки до достижения испытываемой трибосистемой максимальной несущей способности. На каждой постоянной ступени нагрузки трение

осуществлялось до полной стабилизации текущих значений момента трения и температуры. Стабилизированные значения температур, соответствующих установившемуся процессу теплообмена при приработке на каждой ступени нагрузки, для исследуемых сплавов представлены на рис.1.

Эксперименты показали, что использование традиционных подшипниковых сплавов, различающихся механическими свойствами, химическим составом и строением, оказывает на температурное состояние процесса приработки очень сильное влияние. Значения температур по ходу приработки отдельных сплавов различаются на $30...75^\circ$. Это является весьма важным фактором как трибологического качества приработки, так и работоспособности трибосистем.

Математическое моделирование теплового режима

Общая поверхность трения бинарных сплавов неоднородна по структуре вследствие достаточно равномерно расположенных отдельных включений в матричной основе. У медносвинцового сплава БрС30 и алюминиевооловянных сплавов основа (соответственно, из меди и алюминия) более прочная, чем включения (соответственно, из свинца и олова). У баббита обратная структура: основа (олово) более мягкая, чем включения (твердые соединения сурьмы и меди).

Таким образом, для любого сплава общую площадь трения A можно представить в виде

$$A = A_1 + A_2, \quad (1)$$

где A_1, A_2 – площади трения, занятые, соответственно, основой сплава и включениями.

При этом доля общей площади, занятая включениями и пропорциональная их объемной концентрации, составит

$$A_2 = C_V A, \quad (2)$$

где C_V – объемная концентрация включений.

Совместное решение (1) и (2) дает

$$A_1 = A(1 - C_V), \quad A_2 = AC_V. \quad (3)$$

Условие теплового баланса при трении представляют в форме

$$Q = Q_1 + Q_2 = K_T A_0 \Delta t + G \gamma c \Delta t_M, \quad (4)$$

$$\Delta t = t - t_0; \quad \Delta t_M = t_2 - t_1,$$

где Q – общее количество тепла, генерируемого трением, Q_1 – количество тепла, уходящего во внешнюю среду путем конвективного теплообмена, Q_2 – количество тепла, отводимого маслом. K_T – коэффициент теплопередачи, A_0 – площадь теплопередающей поверхности, G – расход масла, γ – удельный вес масла, c – теплоемкость масла, t – температура трущихся поверхностей, t_0 – температура окружающей среды, t_1 – температура масла на входе в зону трения, t_2 – температура на выходе из зоны трения, Δt – разность между температурой трущихся поверхностей и температурой окружающей среды, Δt_M – разность температур масла на выходе и входе в зону трения.

В общем случае аналитическое выражение для Q имеет вид

$$Q = F_{TP} V, \quad (5)$$

где F_{TP} – сила трения в контакте; V – скорость скольжения.

Все известные расчеты для подшипников, работающих в экстремальных условиях, предполагают доминирующей упругую деформацию поверхностей. Поэтому в уравнении (5) сила трения F_{TP} имеет упругую природу и используется ее соответствующее аналитическое выражение. Однако как показали исследования автора [1,2], также как и многие другие исследования, приработке при возрастающих внешних воздействиях, как технологическому процессу, свойственна резко выраженной переменность и по видам взаимодействия поверхностей, и по уровню его интенсивности. Установлено, что на каждой ступени нагрузки в начальном периоде интенсивность взаимодействия поверхностей наиболее высокая и доминирующим видом взаимодействия при этом является пластичес-

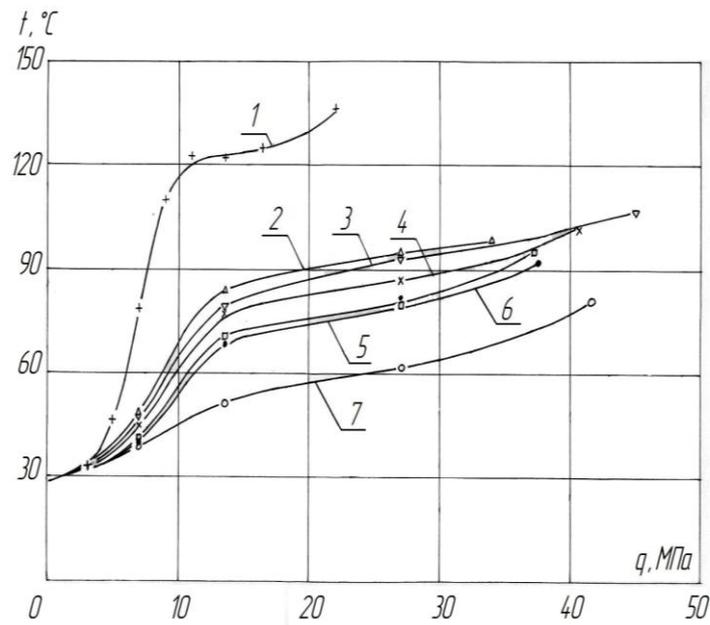


Рис. 1. Зависимость температуры трения t от контурного давления q при приработке сплавов: 1 – на основе меди (BrC30); 2,3,4,5,6 – на основе алюминия с различным содержанием олова (соответственно, AO3-1, AO9-1, AO20-1, AO40-1, AO50-1); 7 – на основе олова (баббит Б83).

кая деформация. По мере реализации приработочных эффектов различной природы и энергонасыщенности напряженно-деформированное состояние поверхности преобразуется в упруго-пластическую, а затем в упругую деформацию, как наименее энергозатратную. Таким образом, для описания и достоверной оценки теплового режима технологической приработки из представленного спектра видов взаимодействия поверхностей по ходу ее прохождения следует доминирующей признать пластическую деформацию поверхностей в начале каждой ступени нагрузки. Этот временной отрезок приработки характерен наибольшей интенсивностью пластической деформации и, следовательно, интенсивностью теплогенерации.

Углубленное исследование механических процессов, сопровождающих приработку [3], показал, что исходные микронеровности непроработанных поверхностей имеют достаточную протяженность в направлении скольжения и поэтому пластическое течение трибослоя возможно в пределах высоты микро-

неровностей. Это подтвердилось при определении границ пластически деформированного трибослоя на графических моделях микрорельефа прирабатываемой поверхности методом построения линий скольжения. Пластическое течение может возникнуть и при наличии смазки. Для этого необходимо только, чтобы касательное напряжение τ в контакте достигло максимального значения, достаточного для пластического течения, то есть обеспечения условия

$$\tau = \tau_{\max} = k,$$

где k – постоянная пластичности.

Некоторые авторы считают, что при непосредственном контакте трущихся поверхностей без принудительной циркуляции масла можно пренебречь теплопереносом за счет жидкой среды. Но при принудительной циркуляционной смазке, наоборот, можно пренебречь конвективным теплопереносом, считая основным перенос теплоты маслом.

По мнению автора, основанному на результатах собственных опытов, при приработке в условиях принудительной циркуля-

ционной смазки при определении теплового состояния трибосистемы следует учитывать оба способа теплопереноса. При этом более значительным, но не единственным, является теплоперенос циркулирующим маслом, а теплоперенос за счет конвекции составляет свою определенную долю в общем количестве отводимого тепла.

Подставляя в (4) уравнение (5) с учетом изложенного, получим

$$\frac{\sigma_T}{\sqrt{3}} A_2 (1 - C_V) V = G \gamma c (b + 1) \Delta t_m. \quad (6)$$

Обсуждение результатов

В уравнении теплового баланса (4) температура входящего в трибосистему масла t_1 условиями испытаний поддерживалась постоянной. Температуру выходящего масла t_2 в любой момент приработки с большой точностью можно считать равной измеренной температуре.

Таким образом, левая часть уравнения (6) представляет собой совокупность характеристик, относящихся к подшипниковому сплаву. Правая часть уравнения представляет собой совокупность переменных экспериментальных результатов (разность температур) и постоянных параметров охлаждения (расход масла и его теплофизические характеристики).

Сравнительная оценка в относительной форме расчетных характеристик (для металлов основы сплавов) и экспериментальных результатов (в диапазоне внешних нагрузок, пропорциональным контурным давлениям от 10 до 20 МПа) показало их достаточное соответствие. При этом за эталон сравнения был принят сплав БрС30, показавший наибольшее теплообразование при приработке.

Заключение

Из представленных результатов следует, что принятые теоретические гипотезы и подходы вполне корректны, а установленные факторы влияния на теплообразование при приработке

достоверны. При использовании трибоматериалов типа баббитов и алюминиевооловянных сплавов, режим приработки может быть более форсированным.

Литература

1. *Зелинский В.В.* Феноменологические основы изофрикционной приработки опор скольжения машин. Часть 1 // *Машиностроение и безопасность жизнедеятельности*, 2009, № 6. – С. 117-121.

2. *Зелинский В.В.* Феноменологические основы изофрикционной приработки опор скольжения машин. Часть 2 // *Машиностроение и безопасность жизнедеятельности*, 2011, № 3. – С. 48-52.

3. *Зелинский В.В.* Условие пластического равновесия при трении нагруженных поверхностей // *Производственные технологии и качество продукции: материалы IV Международной научно-технической конференции – Владимир-Москва: Новые технологии*, 2001. – С. 203-206.

4. *Зелинский В.В.* Расчетная оценка совместности трибосистем, содержащих подшипниковые сплавы // *Машиностроение и безопасность жизнедеятельности*, 2012, № 1. – С. 55-58.

5. *Буше Н.А., Зелинский В.В., Трушин В.В.* Оценка режимов трения и задиростойкости трибосопряжений // *Трение и износ*, 1986, Т.7, № 5. – С. 798-805.

References

1. *Zelinskiy V.V.* Phenomenological bases of the isofriction running-in of supports of the slip of machines. Part 1 // *Engineering industry and life safety*, 2009, № 6. – P. 117-121.

2. *Zelinskiy V.V.* Phenomenological bases of the isofriction running-in of supports of the slip of machines. Part 2 // *Engineering industry and life safety*, 2011, № 3. – P. 48-52.

3. *Zelinskiy V.V.* The condition of plastic equilibrium friction loaded surfaces // *Production*

technology and product quality: Proceedings of IV International Scientific and Technical Conference – Vladimir-Moscow: New Technologies, 2001. – P. 203-206.

4. *Zelinskiy V.V.* Estimation compatibility tribosystems containing bearing alloys // Engineer-

ing industry and life safety, 2012, № 1. – P. 55-58.

5. *Bushe N.A., Zielinskiy V.V., Trushin V.V.* Assessment regimes of friction and resistance friction units // Friction and wear, 1986, V.7, № 5. – P. 798-805.

Статья поступила в редакцию 30 сентября 2012 г.

The topicality of studying the process of running-in tribosystems with bearing alloys in order to assess and predict the level of heat in them and their thermal state is substantiated in the article. The results of study of thermogenesis and thermal state tribosystems, experimentally obtained during running-in under increasing load are presented. The objects of study were the traditional and new materials for the plain bearings. The mathematical modeling of the process of running-in with modern ideas in tribology and the results obtained by the author is held. A theoretical relationship, confirmed by the results of experiments, which indicates that are accuracy of the accepted theoretical hypotheses is received. The basis factors of influence on the thermogenesis and thermal state tribosystems with bearing materials are installed. Recommendations for effective technological running-in tribosystems are given.

Keywords: deformation, surface, running-in, tribosystem, material, bearing, temperature, state, properties.

Зелинский Виктор Васильевич – кандидат технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»