

УДК 539.3: 621.822.5

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ РАСЧЕТА  
И ПРОЕКТИРОВАНИЕ БИНАРНЫХ ПОДШИПНИКОВ**

© 2011 г.

*П.Г. Иваночкин<sup>1</sup>, В.И. Колесников<sup>2</sup>, Е.М. Колосова<sup>3</sup>*<sup>1</sup>Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону<sup>2</sup>Ростовский госуниверситет путей сообщения<sup>3</sup>НИИ механики и прикладной математики им. И.И. Воровича

Южного федерального университета, Ростов-на-Дону

Ivanochkin\_p\_g@mail.ru

*Поступила в редакцию 15.06.2011*

Развиты методы расчета, разработаны теория и принципы оптимального проектирования новых типов бинарных подшипников скольжения. В таком подшипнике основную нагрузку берет на себя металл (сталь, латунь, бронза), а высокие антифрикционные характеристики обеспечиваются твердым смазочным материалом, расположенным в пазах, углублениях, отверстиях перфорации. Осуществлен анализ механики контактного взаимодействия для некоторых типов известных и новых существенно неоднородных цилиндрических самосмазывающихся бинарных подшипников скольжения на основе трехмерных математических моделей, численно-аналитических методов и конечно-элементных технологий.

*Ключевые слова:* бинарные подшипники, пленка фрикционного переноса, контактная задача, цилиндрический слой, тепловыделение от трения, трехмерная модель, конечно-элементные технологии.

Бинарные подшипники скольжения (БП) выполнены в виде несущей основы из твердого антифрикционного материала (чаще всего из металла), в которой размещены вставки из более мягкого (как правило, неметаллического) материала. В процессе эксплуатации обе составляющие БП находятся во фрикционном контакте с контртелом (валом). Твердые элементы поверхности воспринимают основную рабочую нагрузку, а материал более мягких вставок в процессе трения переносится в зону контакта металлов, где образует поверхностные антифрикционные слои, снижающие трение и износ и предотвращающие схватывание. Изнашивание БП зависит не только от внешних условий (нагрузки, скорости скольжения, среды), но и от взаимного влияния между процессами изнашивания компонентов БП. Эффективность использования этого класса подшипников основана на направленном формировании пленки фрикционного переноса на поверхности контртела, которая предотвращает задиры и схватывания при работе без смазки или прекращении ее подачи [1].

В качестве математической модели подшипника рассматриваются контактные задачи теории упругости о взаимодействии жесткого деформируемого цилиндра с внутренней поверхностью цилиндрического основания, состоящего из кругового цилиндрического слоя конечной длины с

круговыми цилиндрическими вставками из другого материала. Вставки расположены в два ряда с определенным периодом по угловой координате цилиндрической системы координат, естественным образом связанной с цилиндрическим слоем, оси цилиндрических вставок ориентированы вдоль радиусов цилиндрического основания [2]. Рассмотрена также контактная задача для цилиндрического слоя с продольными вставками из другого материала. На рис. 1 изображена геометрическая модель бинарного подшипника скольжения с продольными вставками (а) и соответствующего цилиндрического слоя (б). Внешняя поверхность цилиндрического слоя закреплена, в зоне контакта предполагается, что силы трения незначительны.

Такие задачи достаточно хорошо моделируют работу самосмазывающихся бинарных подшипников скольжения. Для решения задач применен метод конечных элементов с использованием пакета ANSYS и его командного языка программирования APDL. Построение трехмерной твердотельной модели (геометрической модели с физическими свойствами) осуществлялось по технологии моделирования «снизу-вверх» с использованием следующей последовательности действий: задание опорных точек; построение дуг и прямых линий, соединяющих опорные точки; определение областей по точкам и линиям; созда-

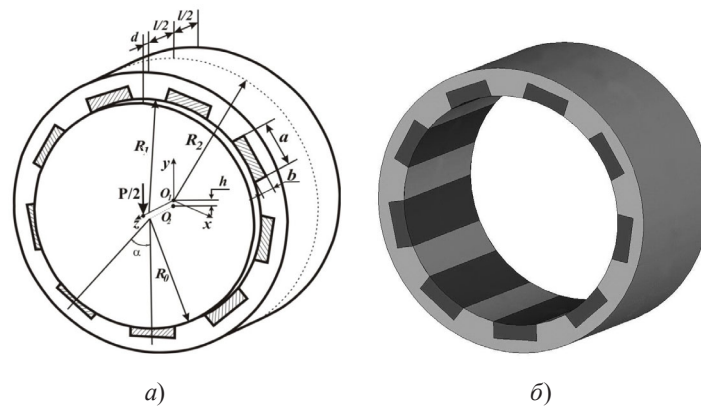


Рис. 1

ние объемных тел; связывание с различными телами заданных физико-механических свойств материалов.

Проведен расчет контактных напряжений, величины зоны контакта, эффективных напряжений при различных материальных и геометрических параметрах материалов подшипников. Проведено варьирование структуры бинарных материалов, размеров и формы антифрикционных вставок. Изучено напряженно деформированное состояние бинарных подшипников в зависимости их параметров, дан анализ концентрации напряжений на границах раздела основного тела подшипников и протекторных вставок в зависимости от соотношения их физико-механических свойств.

Рассмотрена контактная задача о взаимодействии упругого цилиндра (вала) с внутренней поверхностью цилиндрического слоя, содержащего выступающие вовнутрь вставки из другого материала, при наличии трения и вызванного им тепловыделения [3]. Предполагается, что в зоне контакта вала с втулкой имеются силы трения с коэффициентом трения  $\mu_1$ , а в зоне контакта со вставками – с коэффициентом трения  $\mu_2$ . На площадке контакта действует поверхностный источник тепла, обусловленный внешним трением. Поток тепла пропорционален работе сил трения. Вне зоны контакта на внешней границе вала и внутренней поверхности втулки заданы условия конвективного теплообмена, а на внешней границе цилиндрического слоя задается постоянная температура.

Моделирование контактного взаимодействия в комбинированном подшипнике скольжения с учетом тепловыделения от трения реализовано в два этапа. На первом осуществлялось моделирование контактного взаимодействия в рамках теории упругости и по результатам расчета данной задачи в ANSYS формировались массивы контактных давлений. На втором этапе осуществля-

лось моделирование контактного взаимодействия в рамках теории термоупругости с добавлением к граничным условиям первого этапа условий конвективного теплообмена на внутренней границе втулки, вставок и внешней границе вала, задания потока тепла в зоне контакта, пропорционального контактным давлениям, вычисленным на первом этапе.

Для моделирования контактного взаимодействия в рамках теории упругости использовались упругие объемные двадцатиузловые квадратичные конечные элементы SOLID 95. Для моделирования контактного взаимодействия упругого цилиндра и цилиндрического слоя границы контактирующих поверхностей покрывались на внутренней поверхности слоя контактными парами элементов CONTA 174, а на внешней поверхности вала – элементами TARGE 170. Для моделирования контактного взаимодействия в рамках теории термоупругости использовались термоупругие объемные двадцатиузловые элементы SOLID 226. Для повышения точности результатов в соответствии с методологией решения контактных задач по методу конечных элементов строилось каноническое разбиение со сгущением сетки в предполагаемой области контакта цилиндра и кусочно-неоднородного слоя.

Проведенные расчеты показали, что при учете тепловыделения максимальные эквивалентные напряжения при наличии вставок находятся на внешней поверхности цилиндрического слоя, в то время как без учета тепловыделения они локализуются на внутренних поверхностях.

Для проведения расчетов использовались суперкомпьютерная система, состоящая из четырех вычислительных кластеров Edge-8 «Т-Платформы» с производительностью по 300 гигафлопс каждый, и лицензионное программное обеспечение ANSYS 11.0 с возможностями проведения параллельных вычислений. Отметим, что имеющееся оборудование и программное обеспечение

позволяло рассчитывать конечно-элементные модели с большим количеством узлов, добиваясь необходимой точности вычислений.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты №08-08-00873 и 09-08-01195).*

#### *Список литературы*

1. Иваночкин П.Г. и др. Трибологические испытания бинарных материалов для тяжело нагруженных узлов трения // Новые материалы и технологии в маши-

ностроении: Сб. научн. тр. междунар. научн.-техн. конф. Брянск: БГИТА, 2009. Вып. 10. С. 30–33.

2. Колосова Е.М., Чебаков М.И. Моделирование контактного взаимодействия упругого цилиндра с внутренней поверхностью кусочно-неоднородного упругого цилиндрического слоя // Экологический вестник научных центров ЧЭС. 2009. №3. С. 49–55.

3. Колосова Е.М. Конечно-элементное моделирование контактного взаимодействия в комбинированном подшипнике скольжения с учетом тепловыделения от трения // Изв. вузов Сев.-Кавказ. рег. техн. наук. 2010. №5. С. 35–39.

## **DEVELOPMENT OF CALCULATION METHODS AND DESIGN OF BINARY BEARINGS**

*P.G. Ivanochkin, V.I. Kolesnikov, E.M. Kolosova*

Calculation methods, the theory and principles of optimal design of binary bearings new types are developed. In such bearing the base load takes upon oneself metal (steel, brass, bronze). High anti-friction characteristics are provided by solid lubricant, which placed in the grooves, pits, holes punching. The analysis of contact interaction mechanics for some types of known and new substantially inhomogeneous cylindrical self-lubricating binary bearings is carried out on the basis of three-dimensional mathematical models, numerical-analytical methods and finite-element technologies.

*Keywords:* binary bearings, friction transfer film, contact problem, a cylindrical layer, heat from friction, three-dimensional model, finite-element technologies.