

ЭФФЕКТ П.А. РЕБИНДЕРА В ПОДШИПНИКАХ СКОЛЬЖЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ФОРСИРОВАННЫХ ДИЗЕЛЕЙ

С.П. Косырев, д.т.н., проф.
Балаковский институт техники, технологии и управления СГТУ

В статье рассматривается эффект П.А. Ребиндера в подшипниках скольжения форсированных комбинированных дизелей, полученный в результате применения поверхностно-активных веществ в системе смазки. Динамичность нагружения масляного слоя подшипника скольжения является дополнительным критерием оценки эффекта по П.А. Ребиндеру из-за адсорбции поверхностно-активных веществ.

Современный уровень развития дизелестроения характеризуется форсировкой ДВС по параметрам термодинамического цикла и частоте вращения коленчатого вала, а это связано с повышением нагрузок на подшипники последнего. Максимальное гидродинамическое давление в минимальных зазорах отечественных подшипников достигает 50 МПа, подшипников известной фирмы «Глико» — 80 МПа. Рост давления внутри слоя смазки как и воздействие на кривошипно-шатунный механизм (КШМ) максимального давления цикла и сил инерции способствует росту динамики нагружения масляного слоя. Последняя применительно к нестационарно нагруженным подшипникам до настоящего времени не изучалась и вопросы динамики элементов КШМ рассматривались без связи с гидродинамикой масляного слоя подшипника.

При знакопеременном нагружении КШМ силами давления газов и силами инерции за цикл нагружения шатунная шейка коленчатого вала совершает динамическое движение по сложной траектории, характеризующейся заданными нагрузками, относительным зазором, вязкостью смазки, гидродинамическими характеристиками, основной из которых является минимальная толщина слоя смазки h_{\min} . Применяемые в настоящее время методы расчета гидродинамики масляного слоя подшипников скольжения не учитывают динамичности приложения нагрузки и закона движения центра шейки коленчатого вала за цикл. При этом динамическая задача сводится к квазистатической из-за того, что в классической гидродинамической теории смазки степень динамичности приложения нагрузки

обычно не рассматривается [1]. Принимая во внимание сказанное, минимальную динамическую толщину масляного слоя в подшипнике скольжения оценивают зависимостью

$$h_{\min} = K_d \cdot h_{\min \text{ стат}},$$

где K_d — коэффициент динамичности нагрузки; $h_{\min \text{ стат}}$ — квазистатическая составляющая минимальной толщины масляного слоя.

Как показали теоретические и экспериментальные исследования на примере динамики нагружения дизеля ЧН21/21 [2], коэффициент динамичности в КШМ с $K_d = 1,2$ снижается до $K_d = 1,18$ в масляном слое шатунного подшипника за счет диссипации и демпфирования колебательной энергии шатунном и масляным слоем подшипника. Вместе с тем основная часть динамической напряженности ($K_d = 1,18$) через масляный слой передается коренным шейкам коленчатого вала, его подшипникам и постелям блок-картера, вызывая локальные деформации, высокочастотные динамические напряжения и вибрации в сопрягаемых деталях и влияя отрицательным образом на эксплуатационную надежность и усталостную прочность дизелей, а также создавая непредвиденные аварийные ситуации даже на стадии доводки. Следовательно, представляется целесообразным решение двуединой задачи одним методом: снизить динамику нагружения K_d путем нейтрализации колебательного процесса в масляном слое подшипника скольжения и применить эффективные меры для удержания смазки на трущихся поверхностях. К числу таких методов следует отнести использование в подшипниках поверхностно-активных веществ (ПАВ), вызывающих, как известно, образование антифрикционной износостойкой пленки [3]. Последняя представляет самовосстанавливающийся пластически деформированный мягкий и тонкий слой. Так как непосредственное измерение демпфирующей способности масляного слоя подшипника сложно, а оценка рассеяния энергии колебаний в КШМ как детали сложной конфигурации представляет определенные трудности вследствие того, что рассеяние энергии не является линейной функцией от динамической напряженности кон-

струкции, для оценки динамики нагружения в масляном слое подшипника скольжения в условиях применения ПАВ требуются новые подходы.

Молекулы ПАВ покрывают всю поверхность трения подшипников скольжения и коленчатого вала адсорбированной эпиламирующей пленкой, которая, понижая поверхностную энергию материала, облегчает пластическое течение в зернах, расположенных в поверхностных слоях. Адсорбционное разупрочнение материала является следствием физического взаимодействия материала с адсорбционной граничной пленкой. Это явление известно под названием адсорбционной пластификации и является первым условием П.А. Ребиндера, открытого им в 1931 г. Активные молекулы эпилама проникают в микроскопические трещины, микропоры, создавая адсорбционно-расклинивающую особенность, которая является вторым проявлением эффекта П.А. Ребиндера. Адсорбция ПАВ вызывает снижение удельной поверхностной энергии и интенсифицирует пластическое деформирование материала, что способствует снижению его прочностных характеристик и установлению положительного градиента механических свойств в зоне трения. Для снижения коэффициента динамичности K_d с 1,18 до 1,0 путем изменения условий смазки с использованием эффекта П.А. Ребиндера разработана конструкция тонкостенного подшипника скольжения [2], антифрикционное покрытие которого обработано ПАВ, представляющим композиционную смазку — эпиламирующий раствор высокомолекулярных ПАВ во фторсодержащих растворителях — хладажах П2, П3, П4В2 или их смесях. В качестве ПАВ использованы отечественные эмульгаторы 6СФК-180-0,5 (разработчик — ГИПХ, Санкт-Петербург).

Механизм образования защитной антифрикционной пленки в сопряжении шатунный подшипник–шейка коленчатого вала при использовании ПАВ следующий. Минеральные смазочные масла, применяемые в системах смазки высокофорсированных дизелей, содержат в себе ПАВ в виде спиртов, смолисто-асфальтовых веществ, возникающих как при старении масла (окислении) в процессе эксплуатации, так и при крекинг-процессе нефти и облагораживании масла различными присадками. В результате сложных химических реакций от взаимодействия ПАВ с медными трубками охладителя масла и другими медьсодержащими деталями дизеля получаются органические соединения (например, медные мыла), растворимые в масле. При этом имеющиеся в масле ПАВ не вызывают самостоятельного эффекта безызносности. Активирование смазочного масла добавляемыми ПАВ при

покрытии подшипников скольжения усиливает их адсорбирующее действие на частицах износа (эффект П.А. Ребиндера), а улучшенное диспергирование последних интенсифицирует образование устойчивого разделительного слоя — эпилама, т. е. барьерной разделительной пленки с очень низким запасом поверхностной энергии. Смазочное масло, внесенное в дисперсную среду, прочно удерживается в рабочей зоне узла трения из-за резкого снижения поверхностного напряжения и запаса энергии поверхностного слоя. Продукты износа, покрытые медью, осаждаются в зазоре между направляющим вкладышем и шатунной шейкой коленчатого вала в зоне трения и вместе с восстанавливаемой медью формируют на поверхностях трения защитную квазисжиженную антифрикционную металлическую пленку, увеличивающую демпфирующую способность масляного слоя и снижающую динамичность нагружения. Для доказательства и достижения последней в условиях применения ПАВ на дизеле ЧН21/21 в ОАО «Волжский дизель им. Маминых» проведены исследования гидродинамики шатунного подшипника путем измерения толщины масляного слоя [4]. Из сравнения осциллограмм (рис.) видно, что в масляном слое без ПАВ имеют место гидродинамические колебания, вызванные воздействием ударной возмущающей силы, и коэффициент динамичности $K_d = 1,2$. В подшипнике скольжения в результате выполнения приработочного покрытия с нанесенным на него с рабочей стороны эмульгатором гидродинамические колебания в масляном слое отсутствуют и $K_d = 1,0$. Указанный сравнительный анализ осциллограмм гидродинамических колебаний показывает, что K_d вкладыша подшипника скольжения с ПАВ снижается с 1,18 до 1,0, а коэффициент трения в таком подшипнике приближается к нулю из-за формирования тонких износостойких пленок из эмульгатора на поверхностях контакта вкладыша и шейки коленчатого вала. При этом ко-

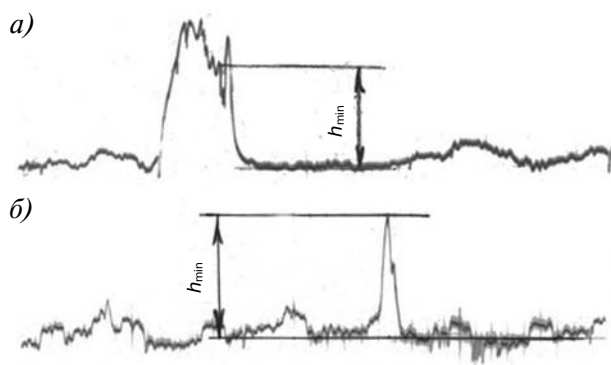


Рис. Осциллограммы измерения толщины масляного слоя h_{\min} :

а — без покрытия ПАВ; б — с использованием ПАВ

лебательный процесс в масляном слое подшипника полностью демпфируется. Через определенное количество циклов фрикционного динамического нагружения вкладыша подшипника скольжения тонкая износостойкая пленка может диспергироваться и уноситься из зоны трения, но одновременно формируется новый промежуточный антифрикционный слой.

Результаты исследования механизма работы ПАВ в смазочном слое позволяют сделать следующие выводы.

1. Решена задача повышения несущей способности и эксплуатационной надежности на 18–20 % подшипника скольжения комбинированного форсированного дизеля снижением динамичности нагружения масляного слоя применением ПАВ, нанесенного на приработочное покрытие вкладыша с рабочей стороны. Динамичность нагружения масляного слоя является дополнительным критерием оценки эффекта по П.А. Ребиндеру, учитывающего изменение поведения окисных пленок-эпиламов вследствие адсорбции ПАВ.

2. Использование ПАВ в подшипниках скольжения комбинированных форсированных дизелей уменьшает выдавливание смазочного материала из зоны трения из-за резкого снижения поверхностного напряжения в запасе энергии по-

верхностного слоя, что увеличивает демпфирующую способность последнего путем резкого снижения гидродинамических колебаний в нем, вызванных ударной возмущающей силой.

3. Научные основы влияния ПАВ на процессы деформационного упрочнения деталей машин с учетом их геометрических и физико-механических характеристик пока не разработаны. В связи с этим развитие исследований в направлении дальнейшего изучения эффекта П.А. Ребиндера имеет большой научный и практический интерес.

Литература

1. К теории масляного слоя в динамически нагруженном подшипнике / С.Г. Каратышкин. — В кн. : Трение и износ в машинах. — М. : Изд-во Академии наук, 1958. — С. 163–180.

2. А. с. 1530847 СССР, МКИ Г 16 С 17/С2. Тонкостенный вкладыш подшипника скольжения высокофорсированного дизеля / С.П. Косырев, В.Г. Кочерженко, В.М. Гребнев СССР. № 4341435/25–27; Заявлено 09.12.87; Опубл. 23.12.89, Бюл. № 47. — 2 с.

3. *Польцер Г., Майснер Ф.* Основы трения и изнашивания. — М. : Машиностроение, 1984. — С. 200–201.

4. *Косырев С.П., Ким Ф.Г., Гребнев В.М.* Уменьшение динамичности нагружения шатунных подшипников при использовании ПАВ // Двигателестроение. — 1990. — № 3. — С. 43–45.

НОВОСТИ ОАО «КАМАЗ»

СНН И «КАМАЗ» ОБЪЯВЛЯЮТ О СОЗДАНИИ СОВМЕСТНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В РОССИИ

СНН и «КамАЗ» объявляют о создании совместного промышленного предприятия в России.

22.03.2010 компания «СНН Global NV», входящая в «FIAT Group», и ОАО «КамАЗ» подписали соглашение о создании совместного предприятия по производству сельскохозяйственной и строительной техники.

Свои подписи под соглашением поставили генеральный директор «СНН International» Франко Фузиньяни, старший вице-президент СНН по развитию бизнеса Алессандро Нази, генеральный директор ОАО «КамАЗ» Сергей Когогин и генеральный директор «СНН-KAMAZ Industry LLC» Тимур Нуриахметов. Официальная церемония состоялась в головном офисе компании «СНН International» в г. Лугано (Швейцария).

Соглашение базируется на основных принципах декларации о намерениях, подписанной в Москве в октябре 2009 г. главой концерна FIAT Серджио Маркионне и генеральным директором госкорпорации «Ростехнологии» Сергеем Чемезовым в присутствии Премьер-министра РФ Владимира Путина.

Доли в новой компании «СНН-KAMAZ Industrial BV» принадлежат партнерам на равной паритетной основе. Деятельность нового СП будет осуществляться на производственных площадях ОАО

«КамАЗ» в г. Набережные Челны, которые в общей сложности составят более 50 000 кв. метров. Произведенная техника предназначена для поставок, прежде всего, на внутренний рынок России, а впоследствии — и в другие страны СНГ. Запланированные начальные инвестиции в размере \$70 млн США позволят выпускать до 4000 ед. техники в год, включая семейство комбайнов с двигателями мощностью 300 л. с., два вида тракторов с 300–535-сильными моторами, а также строительную технику.

По условиям соглашения компания СНН передает в СП ряд своих моделей и технологий и включает завод в Набережных Челнах в свою глобальную производственную сеть. Производство моделей будет осуществляться под торговыми марками New Holland Agriculture и New Holland Construction, включая компоненты и инструменты.

Производство сельскохозяйственной и строительной техники начнется в апреле, а экскаваторных погрузочных машин New Holland Construction — в конце года. В течение следующих месяцев две компании планируют создать коммерческое СП по продвижению этой техники в России. Для заключения соответствующего соглашения необходимо получить предварительное одобрение Федеральной антимонопольной службы РФ.