

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ДВС

Введение

Механизм преобразования возвратно-поступательного движения является одним из основных элементов поршневых двигателей внутреннего сгорания. Ввиду больших и резко импульсных нагрузок на кинематические узлы механизма преобразования движения в качестве подшипников в таком механизме используются подшипники скольжения, способные воспринимать достаточно большие удельные нагрузки. Надежность и ресурс кинематического механизма преобразования движения во многом определяет межремонтный ресурс двигателя и затраты на его ремонт.

1. Формулирование проблемы

В подшипнике скольжения поверхность втулки вала и опорной поверхности подшипника образует фрикционный контакт, в котором возникает в зависимости от условий работы какой-либо вид трения – жидкостное, полусухое либо граничное. Подшипники кинематического механизма ДВС конструируются для работы в условиях жидкостного трения [1]. Однако большие и импульсные нагрузки, передаваемые от поршня, не всегда позволяют обеспечить жидкостное трение, и в некоторые моменты в кинематическом узле может возникать граничное или

даже полусухое трение. Работа подшипников кинематического механизма многоцилиндровых ДВС усугубляется еще и тем, что при применении типовых систем смазки не все подшипники находятся в равных условиях смазки. В особо тяжелых условиях работают кривошипные подшипники - нижние подшипники шатунов, на которые воздействуют резко импульсные силы от поршня, а смазка к ним поступает по сложному маршруту через коренные подшипники коленчатого вала и каналы в валу.

В настоящее время большинство двигателестроительных заводов стран СНГ применяет подшипники с быстро заменяемыми вкладышами производства ЗМЗ с опорной поверхностью вкладыша, выполненной из алюминийево-оловянного сплава. На практике получено, что ресурс подшипников скольжения такого типа составляет 1500-4000 мотор-часов в зависимости от типа двигателя и условий его эксплуатации.

На работу подшипника скольжения влияет ряд факторов, которые можно подразделить на внешние и внутренние (рис. 1). Выходными факторами являются сила трения и интенсивность изнашивания. Эти два выходных фактора определяют качество подшипника.

Входные факторы	Внутренние факторы		Выходные факторы (характеризуют качество подшипника скольжения)
Природа трущихся тел	Шероховатость	Структура	Сила трения
Промежуточная среда			
Нагрузка радиальная	Свойства пленок	Механические свойства	Интенсивность изнашивания
Скорость скольжения			
Температура	Тепловыделение при трении	Накопление вакансий	

Рис. 1. Схема действия факторов, влияющих на фрикционное взаимодействие твердых тел

2. Решение проблемы

Рассмотрение факторов, влияющих на фрикционное взаимодействие трущихся тел, показывает, что имеются возможности влиять на параметры фрикционного контакта, в основном за счет изменения свойств опорной поверхности подшипника или его вкладышей.

Из теории подшипников [2, 3] следует, что одним из основных процессов, нарушающих работу подшипника, является схватывание материалов, которое активизируется при повышении температуры. Поэтому интенсивный отвод тепла от локальных зон, в которых происходит граничное или полусухое трение с выделением тепла, является одним из основных требований для работы подшипников скольжения.

Принимая температуру плавления материала как предельную, при которой схватывание может развиваться лавинообразно, был сформулирован параметр термической стойкости подшипника и определены его численные значения (табл. 1). Параметр термической стойкости представляет собой произведение коэффициента теплопроводности на температуру плавления. Для удобства сравнения материалов между собой была принята относительная величина параметра термической устойчивости. При этом относительная величина рассматривалась в двух вариантах: при принятии за базу баббита как классического варианта подшипника скольжения, а также при принятии за базу алюминиево-оловянного сплава, используемого в стандартных подшипниках скольжения.

Таблица 1. Параметры термической стойкости для различных материалов подшипников скольжения

Материал опорной поверхности подшипника	Коэффициент теплопроводности (в диапазоне температур до 200°C) $\lambda, \text{Вт/(м.К)}$	Температура плавления, $t^\circ\text{C}$	Параметр термической стойкости		
			$(\lambda \times t)$ Вт/м	Относительный параметр, %	
				База-баббит	База-алюминиево-оловянный сплав
Олово (Sn)	65	232	15 080	100,5	10,5
Свинец (Pb)	35	323	11 305	75	7,8
Баббит	50	300	15 000	100	10,5
Бронза (90% Cu, 10% Sn)	43,74	900	39 366	262,4	27,4
Латунь (90%Cu, 10% Zn)	106,92	900	96 228	641,5	66,9
Кремний (Si)	55	936	51 480	343,2	35,8
Магний (Mg)	167	651	102 207	681,4	71,1
Алюминий (Al, чистый)	209	657	137 313	915,4	95,6
Алюминиево-оловянный сплав (Sn-20 %)	239,36	600	143 616	957,5	100
Медь (Cu)	390	1083	422 370	2815,8	294,1
Серебро (Ag)	415	1063	441 145	2941,0	307,2

Рассматривая результаты такого сравнения (табл. 1), можно видеть, что у алюминиево-оловянного сплава параметр термической устойчи-

вости в девять раз превышает таковой для баббита. Учитывая это и невысокую цену металлов для изготовления таких вкладышей, можно понять, почему

такие вкладыши нашли широкое применение в двигателестроении

Из таблицы также следует, что алюминий-оловянный сплав обладает далеко не предельными свойствами термической устойчивости. Медь в чистом виде обладает показателем термической устойчивости в три раза более высокой, чем алюминий-оловянный сплав, и в 28 раз более высокой по сравнению с баббитом. Другие свойства меди, такие как твердость, пластичность, наличие пленки окисла, по твердости мало отличающейся от твердости основного металла, технологичность обработки (возможность прокатки, штамповки) также показывают целесообразность использования меди для выполнения опорных поверхностей подшипников скольжения. Этот результат позволяет сделать вывод, что медные вкладыши дают возможность существенно повысить качество подшипников скольжения. Только серебро, обладающее наивысшей теплопроводностью, имеет параметр всего на 4% больший.

3. Экспериментальные исследования

С целью подтверждения этого вывода для подшипников скольжения кинематических механизмов ДВС было проведено экспериментальное определение интенсивности изнашивания подшипников на машине трения. Методика эксперимента подбиралась таким образом, чтобы испытание проводилось в условиях, близких к реальным условиям эксплуатации подшипника в механизме ДВС, но при этом в ускоренном режиме [4]. Для этого использовался корпус стандартного подшипника шатуна при диаметре шейки вала 50 мм и шириной 25 мм. Радиальная нагрузка на подшипник задавалась равной 250 Н, что создавало на подшипнике удельную нагрузку 250 кг/см^2 , близкую по величине, возникающей в реальных условиях в ДВС. Но нагрузка воздействовала во время опыта постоянно, а также только на одну сторону подшипника. По расчету в

таком режиме работы подшипника под нагрузкой в машине трения в течении 214 ч на подшипнике с алюминиевым вкладышем произойдет одностороннее изнашивание, соответствующее работе подшипника в реальном двигателе при импульсной нагрузке за 1500 мотор-часов.

Первая серия опытов на машине трения проводилась со стандартными алюминий-оловянными вкладышами. В этой серии опытов было подтверждено, что процесс изнашивания подшипника происходит по классической зависимости. За время 8-10 ч происходит приработка фрикционного контакта, после чего наступает стабильный режим изнашивания с интенсивностью $0,0002 \text{ г/ч}$ или в объемных единицах – $0,000074 \text{ см}^3/\text{ч}$. После работы под нагрузкой 230 ч интенсивность изнашивания резко возрастает, процесс переходит в режим ускоренного износа. Переход с режима стабильной работы на режим ускоренного изнашивания произошел при потере массы вкладыша 0,08 г, при которой радиальный зазор в подшипнике достиг предельной допустимой величины 0,15 мм. Отметим, что именно величина зазора в подшипнике определяет его ресурс, так при увеличении зазора сверх допустимой величины нарушается режим образования масляного клина, обеспечивающего жидкостное трение.

Другая серия опытов проводилась в тех же условиях, но с медными вкладышами. Обработка результатов опытов показала, что изнашивание происходит с интенсивностью $0,000135 \text{ г/ч}$, или в объемных единицах $0,000015 \text{ см}^3/\text{ч}$, т.е. по объемным величинам в 4,9 раза менее интенсивно, чем для алюминиевого вкладыша. При этом режим интенсивного изнашивания достигнут не был.

4. Результаты исследований

Сравнительные данные работы подшипника с медными вкладышами и стандартного подшипника с алюминий-оловянной поверхностью скольжения

проводилось по относительной величине зазора, принимая за 100% условия, которые создаются после приработки подшипника. На рис. 2 показано сравнение изменения относительной максимальной величины зазора в стандартном подшипнике и в подшипнике с медными вкладышами.

Графики на рис. 2 наглядно показывают, что у подшипника с медными вкладышами увеличение максимального зазора происходит с существенно меньшей скоростью. Расчет по данным эксперимента показывает, что предельный максимальный зазор в подшипнике на машине трения может быть достигнут только после примерно 2 тыс. ч, или в условиях работы в реальном ДВС через 14 000 ч.

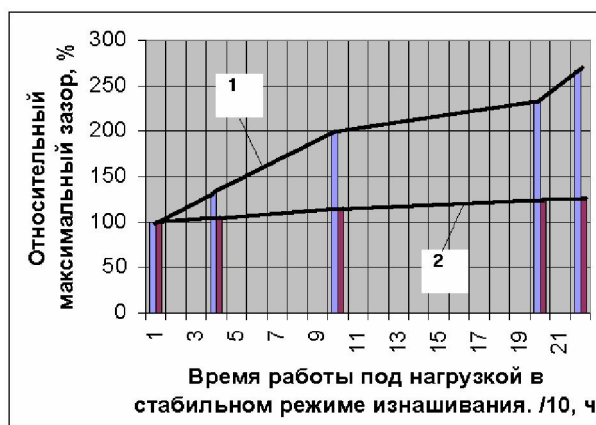


Рис. 2. Сравнение изменения относительной максимальной величины зазора в подшипнике от времени работы подшипника в режиме стабилизированного процесса изнашивания:

1 – стандартный подшипник с вкладышем с алюминий-оловянной скользящей поверхностью; 2 – медный вкладыш

Были оценены экономические показатели замены алюминиевых вкладышей на медные. Стоимость рядного четырехцилиндрового двигателя за счет применения комплекта медных вкладышей увеличивается только на 2-3 %. Но увеличение межремонтного периода почти в десять раз за счет уменьшения затрат на ремонт снижает эксплуатационные расходы на ремонт в расчете на 1 час эксплуатации с

0,22 долл./ч до 0,025 долл./ч, или более чем в восемь раз.

Кроме рассмотренного основного мероприятия по повышению качества подшипников скольжения, заключающегося в выполнении вкладышей из меди, рассматривались также другие методы повышения качества, в частности, внедрение графита в поверхность скольжения. Графит, имея чешуйчатую структуру кристаллов, создает на поверхности твердого материала микрослой кристаллов графита. При возникновении радиальных нагрузок, превышающих способность слоя смазки разделять скользящие поверхности, либо при нарушении подачи смазки или потере маслом смазывающих свойств, графит играет роль твердой смазки, исключая схватывание металлических поверхностей. Вполне естественно, лучшим вариантом для этого является применение порошковой технологии [3]. Поскольку применение порошковой технологии оправдано при серийном ее использовании, в опытах внедрение графита выполнено путем засверливания на поверхности вкладыша лунок и заполнения их твердеющей пастой на основе жидкого стекла. Внедрение графита не отразилось на процессе нормальной работы подшипника скольжения. Графит проявляется только при экстремальных режимах, когда под нагрузкой происходит разрушение масляной пленки и вступает в работу микрослой графита. Другой метод повышения качества подшипников заключается в предварительном меднении шейки вала. При этом возникает пара трения медь/медь и при перегрузках подшипника возможно возбуждение избирательного переноса, снижающего силу трения и уменьшающего изнашивание [5]. Результаты процесса изнашивания в этом варианте отличались от результатов серии опытов с медными вкладышами снижением интенсивности изнашивания на 40%. Эти методы можно рассматривать только как дополнительные степени защиты подшипника

в нерасчетных режимах, когда они проявляются положительно.

На основании полученных результатов разработан регламент линии по мелкосерийному производству медных вкладышей для ремонтных предприятий, специализирующихся на ремонте двигателей внутреннего сгорания.

Казахстан является одним из крупнейших производителей меди. Поэтому организация производства медных вкладышей из отечественной меди, существенно повышающих качественные показатели подшипников скольжения ДВС и их экономические показатели, позволит республике не только обеспечить свой транспортный сектор качественной продукцией, но и выйти на международный рынок с

конкурентноспособной продукцией двигателестроения.

Список литературы:

1. Коровчинский М.В. Теоретические основы работы подшипников скольжения, М. Машиностроение, 1959.
2. Крагельский И.В. Трение и износ. М. Машиностроение, 1968.
3. Гаркунов Д.Н. Триботехника. М. Машиностроение, 1989.
4. Кугель Р.В. Испытание на надежность машин и их элементов. М. Машиностроение, 1982.
5. Повышение износостойкости на основе избирательного переноса. Под редакцией Гаркунова Д.Н. М. Машиностроение, 1977.

УДК 621.431

О.К. Безюков, д-р техн. наук, В.А. Жуков, канд. техн. наук, О.В. Жукова, канд. техн. наук

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ СУДОВЫХ ДВС ПУТЕМ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ХИМИКО-ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТИ

Введение

Двигатели внутреннего сгорания (ДВС) в настоящее время являются основным элементом подавляющего большинства энергетических установок речных и морских судов. Наметившееся в последнее время возрождение российского флота требует решения комплекса задач по дальнейшему совершенствованию как конструкции двигателей, так и их технической эксплуатации. Наряду с совершенствованием традиционно важнейших систем питания и смазки необходимо уделять внимание и системе охлаждения, т.к. интенсивность охлаждения существенно влияет на большинство эксплуатационных

показателей двигателя: топливную экономичность, ресурс, токсичность и дымность отработавших газов. Рациональное охлаждение должно обеспечить минимизацию тепловых потерь и затрат мощности на прокачивание теплоносителя, а физико-химические свойства теплоносителя должны исключить появление в полостях охлаждения таких негативных процессов, как кавитационно-коррозионные разрушения и накипеобразование.

1. Формулирование проблемы

Кавитационно-коррозионные разрушения и процессы накипеобразования являются по данным мно-