

УДК 621.822.114

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ВКЛАДЫШЕЙ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Видин Д.В., магистрант гр. КТМ–151, II курс
Козырев И.П., магистрант гр. КТМ–151, II курс
Научный руководитель: Короткова Л.П., к.т.н., доцент
Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

Введение. Подшипники скольжения являются важной деталью двигателя, и их отказ в работе приводит к полной его остановке и, как следствие, дорогостоящему ремонту. Вкладыш представляет собой высокотехнологичное изделие, изготовленное из сложного композитного материала, имеющего специфическую геометрию и точные размеры.

Условия эксплуатации, конструкция подшипников скольжения

Вращающиеся компоненты машин и агрегатов для снижения сил трения в сопряжениях оборудованы подшипниками. В зависимости от условий эксплуатации применяют два основных вида подшипников: подшипники качения и подшипники скольжения. В тяжело нагруженных сопряжениях наибольшее распространение получили подшипники скольжения (втулки, вкладыши и др.). [1, 2, 3]

Длительная и надежная работа подшипника скольжения достигается путем сочетания высокой прочности и прирабатываемости в процессе работы. В кривошипно-шатунном механизме ДВС применяются подшипники скольжения (вкладыши) двух основных конструкций (см. рис. 1).

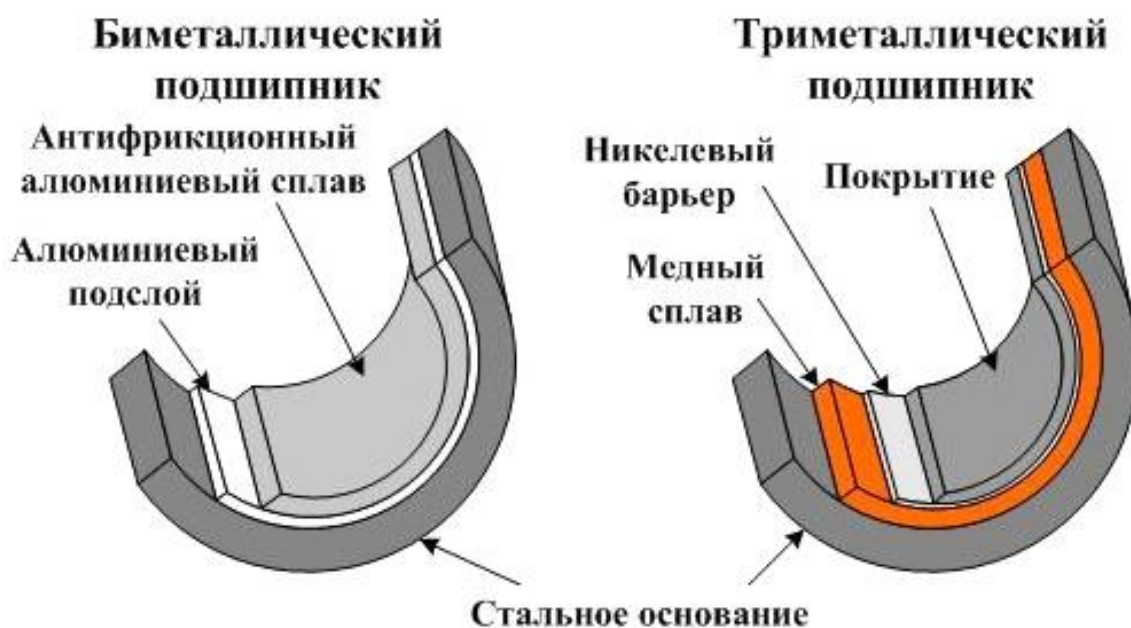


Рис.1. Типовые конструкции подшипников скольжения

Подшипники скольжения смазываются моторным маслом, постоянно подающимся в достаточном количестве к их поверхности и обеспечивающим гидродинамический режим трения. Жидкостное (гидродинамическое) трение характеризуется наличием находящейся под давлением масляной пленки, разделяющей поверхности подшипника и вала.

Масляная пленка способствует распределению силы, приложенной к подшипнику, предотвращая таким образом локальную концентрацию нагрузки. Однако при определенных условиях гидродинамический режим трения сменяется на смешанный. Смешанный режим трения может привести к задирам, повышенному износу подшипника и даже к схватыванию с валом. Циклические нагрузки на подшипник могут привести к его разрушению вследствие усталости материала. Все перечисленные недостатки компенсируются конструкцией вкладышей.

В настоящее время наиболее широкое применение получили биметаллические и триметаллические подшипники скольжения.

Биметаллические подшипники. Биметаллические подшипники имеют стальное основание обеспечивающее жесткость и натяг в тяжелых условиях повышенной температуры и циклических нагрузок. Второй слой материала состоит из антифрикционного сплава, который способен прирабатываться и приспособливаться к относительно большим геометрическим дефектам, обладает хорошей абсорбционной способностью.

Основными показателями подшипников являются толщина и химический состав антифрикционного покрытия. Его толщина относительно велика – она составляет около 0,3 мм.

Обычно рабочий слой состоит из алюминиевого сплава, содержащего 6–20% олова, обеспечивающего антифрикционные свойства, а также 2–4% кремния в виде мелких включений, который упрочняет сплав и обладает способностью полировать поверхность вала. Алюминиевый сплав может быть дополнительно упрочнен небольшими добавками меди, никеля, марганца, ванадия и других элементов.

Триметаллические подшипники. Наилучшим сочетанием всех требуемых характеристик подшипникового материала обладает триметаллический вкладыш на основе свинцовистой бронзы.

Такая конструкция подшипника включает в себя также стальное основание, содержит промежуточный слой из свинцовистой бронзы и антифрикционное покрытие, отделяемое от промежуточного слоя никелевым барьером (1-2 мкм).

Промежуточный слой служит подложкой для антифрикционного покрытия, изготавливается из свинцовистой бронзы и должен обладать антифрикционными свойствами, необходимыми для предотвращения задира в местах локального износа антифрикционного покрытия.

Антифрикционное покрытие обеспечивает антифрикционные свойства: низкий коэффициент трения, задиростойкость, прирабатываемость и способность поглощать твердые включения в масле. Как правило, оно производится из свинцовистого сплава, легированного оловом и медью. Олово защищает

свинцовистый сплав от коррозии в окисленном масле. Медь повышает прочность и износостойкость покрытия.

Сбалансированность свойств, состава и толщин слоев триметаллического вкладыша гарантирует высокий уровень его эксплуатационных свойств.

Технологии производства подшипников скольжения

Существуют различные технологические процессы изготовления биметаллических материалов, которые используются при производстве вкладышей подшипников скольжения ДВС. Ниже приводятся наиболее используемые технологии. [4]

Технология производства литой стале-бронзовой ленты

Эта технология является распространенной при производстве биметаллических подшипников скольжения.

В этом процессе стальная полоса вначале обезжиривается и зачищается абразивной лентой. После зачистки полоса подогрывается в восстановительной атмосфере и входит в зону литья, где бронзовый расплав через специальный питатель поступает на зачищенную поверхность стали. В зоне охлаждения тепло расплава отводится вертикально вниз через стальную полосу.

Направление теплоотвода и его интенсивность способствуют формированию требуемой столбчатой структуры бронзы, с кристаллитами перпендикулярными поверхности раздела сталь-бронза, между ветвями которых находятся включения свинца (см. рис. 2, а).

Поверхность раздела сталь-бронза не имеет дефектов и не содержит свинцовых включений, что гарантирует прочную адгезию слоев стали и бронзы.

Таким образом, структура стале-бронзового материала, произведенного по литейной технологии, гарантирует максимально высокую прочность в сочетании с хорошими антифрикционными свойствами.

Вкладыши, предназначенные для эксплуатации при экстремально высоких нагрузках (например, в дизельных двигателях с непосредственным впрыском топлива), всеми ведущими компаниями в мире изготавливаются только из литой стале-бронзовой ленты.

Производство стале-бронзовой ленты методом спекания

Наиболее распространенной альтернативой литейной технологии является процесс производства стале-бронзовой ленты методом порошковой металлургии (спекания). Этот процесс популярен среди компаний, производящих вкладыши для средненагруженных двигателей и является основным.

Микроструктура спеченной бронзы (рис. 2, б) имеет особенность, так как она состоит из округлых кристаллитов меди, окруженных свинцом. Это отражается на свойствах, а именно в отличие от литой столбчатой структуры, спеченная бронза в меньшей степени способна сопротивляться нагрузкам. Кроме того, спеченная бронза часто содержит незакрытые поры,

дополнительно снижающие ее усталостную прочность. По этому усталостная прочность спеченной бронзы на 20% ниже, чем у литой.

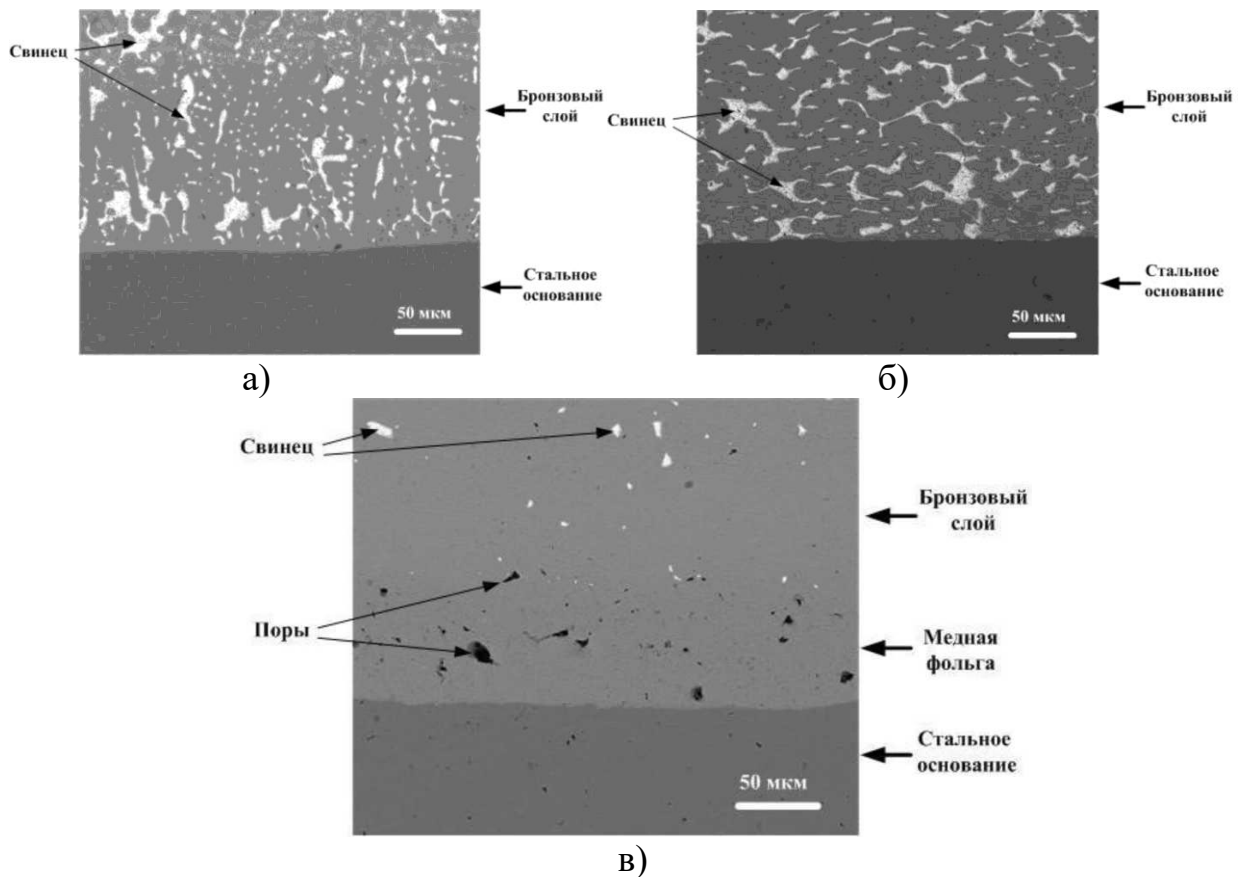


Рис.2. Микроструктура стале-бронзовой ленты:
а) литая, б) спеченная, в) плакированная

Производство стале-бронзовой ленты методом плакирования

Плакирование заключается в одновременной холодной прокатке стальной и бронзовой лент. Данный процесс является альтернативной технологией стале-бронзовой ленты является процесс получения стале-бронзовой ленты методом холодной прокатки (плакирования).

Совершенно очевидны два недостатка представленной микроструктуры (см. рис. 2, в): дефекты в виде пор в слое медной фольги и очень низкое содержание свинца в бронзе. Поры снижают надежность и усталостную прочность вкладышей, изготовленных из такой ленты.

Технология производства покрытия триметаллического вкладыша [4]

Основная функция покрытия триметаллического вкладыша заключается в обеспечении антифрикционных свойств в условиях прямого металлического контакта с поверхностью вала. Покрытие играет роль твердой смазки, снижающей коэффициент трения, обеспечивающей прирабатываемость вкладыша, предотвращающей задир и абсорбирующей чужеродные частицы, циркулирующие с маслом. В этом смысле, чем мягче покрытие, тем в лучшей мере оно выполняет эти функции.

В основном применяют два вида покрытий.

- Гальваническое покрытие из свинцовистого сплава

Таким способом наносят свинцовистое покрытие вкладышей ДВС содержащее 2–3% меди и 8–12% олово. Кроме обеспечения антифрикционных свойств данное покрытие повышает коррозионную стойкость свинцовистого сплава в окисленном масле.

- Покрытие ПВД из сплава алюминий-олово

Одним из современных направлений в разработке технологического процесса производства вкладышей ДВС является использование сплавов на основе алюминий-олово. Применяется в современных дизельных двигателях с турбонаддувом и системой топливоподачи типа «Common Rail», у которых давление в цилиндрах превышает 200 атм. Для двигателей такого типа необходимы вкладыши, имеющие значительно более прочное покрытие с пределом усталостной прочности порядка 120 МПа.

Для создания покрытий такого уровня прочности используется метод напыления из газовой фазы (ПВД). Покрытие ПВД (на западе используется термин sputter/спаттер) наносится отдельными атомами или небольшими кластерами атомов, выбиваемыми положительными ионами аргонной плазмы из материала катода (мишени) в пространстве вакуумной камеры.

В рамках изложенной проблемы на кафедре «МСИИ» были проведены исследования вкладышей подшипников ДВС следующих фирм: ДЗВ «Димитровградский завод вкладышей» (г. Димитровград, Россия), TOYOTA (Япония), KFM BEARING (Южная Корея), Cummins (США), CCEC (Китай). Проведенные исследования показали, что все вкладыши коленчатого вала ДВС работающие в тяжело нагруженных условиях, изготовлены по триметаллической технологии и отличаются между собой только химическим составом и толщиной нанесенных покрытий.

Выводы.

1. Наибольшее применение в маломощных ДВС (мощностью до 25 л.с.), а также в компрессорах высокого давления поршневого типа получили биметаллические вкладыши.

2. В тяжело-нагруженных двигателях внутреннего сгорания широкое применение получили триметаллические вкладыши.

3. Вкладыши ДВС на основе литой стали-бронзовой ленты с особо прочным покрытием ПВД из сплава алюминий-олово имеют уровень усталостной прочности, необходимый для надежной работы в экстремально нагруженных дизельных двигателях с турбонаддувом и системой топливоподачи типа «Common Rail».

4. Проведенные на кафедре «МСИИ» КузГТУ исследования вкладышей подшипников ДВС, работающие в тяжело нагруженных условиях, имеют триметаллическую конструкцию различного химического состава и толщин покрытий.

5. Анализ состояния вопроса и результаты проведенных исследований включены в учебный процесс по программе бакалавриата направления «23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» профиля «01 Автомобили и автомобильное хозяйство».

Список литературы:

1. Вкладыши для двигателя – детали критические. АБС-Авто. Первый автосервисный журнал. <http://www.abs-magazine.ru/article/vkladishi-dlya-dvigatelya-detali-kriticheskie>.
2. Подшипниковые и шарикоподшипниковые материалы. http://www.naukaspb.ru/spravochniki/Demo%20Metall/3_20.htm. Электронный ресурс.
3. Подшипник. Wikipedia.org. Википедия – свободная энциклопедия. Электронный ресурс.
4. Вкладыши – надежность, долговечность, прочность. <http://docplayer.ru/29296924-Vkladyshi-dzv-nadezhnost-dolgovechnost-prochnost.html>. Электронный ресурс.