

Применение твёрдого антифрикционного композитного материала в конструкции подшипников скольжения

Б.Н. Нуралин, д.т.н., С.М. Куанышев, магистрант, К.М. Куанышев, магистрант, Западно-Казахстанский АТУ; М.К. Куанышев, к.т.н., Актюбинский РГУ

Работа подшипников в реальных машинах и механизмах сопряжена с тем, что имеются нерасчётные режимы работы. Опасным является пусковой режим, когда масляный клин во фрикционном контакте подшипника ещё не образовался и за счёт только молекулярной плёнки масла происходит

граничное или даже полусухое трение с повышенным изнашиванием трущихся поверхностей.

Уменьшение толщины масляного клина может происходить в случае потери маслом смазывающих свойств. Потеря смазывающих свойств может быть временной при превышении допустимой температуры смазки, при создании режима надёжного охлаждения масла его свойства восстанавливаются. Постоянная потеря смазывающих свойств происходит при химических изменениях в масле при

длительной эксплуатации двигателя внутреннего сгорания без замены масла, за счёт частых его перегревов, насыщения масла продуктами сгорания топлива и т.п.

Во всех таких случаях возникает вероятность активизации процессов изнашивания поверхностей скольжения с изменением формы фрикционного контакта. В рекомендациях для подшипников отмечается, что они должны быть стойкими к работе при временном нарушении смазочного слоя, преодолевая такие режимы без задигов и разрушения трущихся поверхностей. Рекомендуется быстро восстанавливать смазочный слой в тех местах, где он был по каким-то причинам разрушен.

Материал и методы исследования. Известно, что в качестве твёрдых антифрикционных материалов применяются графит и дисульфид молибдена. В кристаллической решётке графита атомы углерода расположены в параллельных слоях, отстоящих один от другого на расстоянии 0,34 нм, а в каждом слое они размещаются в вершинах правильных шестиугольников с длиной стороны 0,14 нм (рис. 1). Так как силы взаимного притяжения между атомами тем меньше, чем больше расстояние между ними, то связи между атомами в слоях значительно прочнее, чем между слоями. Слои плотно упакованных атомов углерода с сильной связью разделены большими расстояниями, имеющими слабую связь. Дисульфид молибдена имеет сходную структуру,

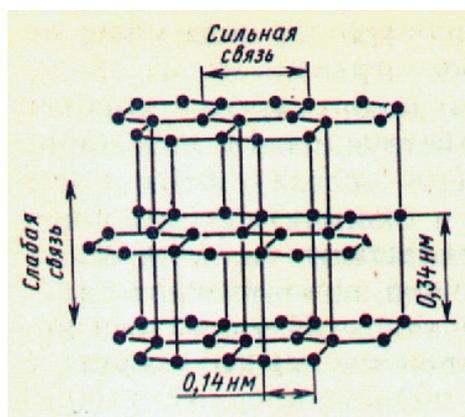


Рис. 1 – Кристаллическая структура графита

обусловленную слоями серы между кристаллами молибдена, но разлагается при температуре более 550–600°С. Графит стоек до температуры 2000°С, что позволяет применять его при технологии порошковой металлургии, которая включает после прессования металлических порошков (меди, бронзы, железа и т.п.) и графита в количестве до 5% спекание для получения прочной металлической матрицы, содержащей в порах зёрна графита.

Промышленностью производятся детали по порошковой технологии с содержанием графита, которые применяются для подвижных контактов в электрических машинах (щёток), а также как элементы сухого трения (вкладыши, втулки и т.п.) кинематических пар в некоторых механизмах [1–4](табл. 1).

В двигателестроении втулки клапанов выполняются из железографитового материала, а подшипники стартерных электродвигателей – из бронзографита [5–11]. Низкие фрикционные свойства имеет чугун (некоторые его сорта, особенно антифрикционный), представляющий собой кристаллы железа, между которыми имеются зёрна графита, количество которого достигает 3%.

Графит в чистом виде также применяется в качестве антифрикционного материала – токощёмники для транспорта с питанием по троллеям, выжимной подшипник сцепления некоторых моделей автомобилей [2]. Но использование графита в чистом виде ограничивается его хрупкостью, поэтому детали из него должны устанавливаться в металлических корпусах.

Графитирование поверхностей трения применяется для снижения потерь энергии на трение. В частности, применяют графитирование поверхностей поршней двигателей внутреннего сгорания. Для этого на поршни наносят плёнку коллоидного графита толщиной 0,03–0,08 мм.

Особенность применения антифрикционных узлов с использованием графита заключается в том, что графит быстро покрывает обнажающиеся в процессе приработки участки поверхности трения, образуя слой твёрдого антифрикционного материала, что предупреждает непосредственный контакт металлических пар трения. Микрослой кристаллов

1. Некоторые конструкционные характеристики композитных материалов на основе меди с включением графита

Марка материала	Состав и плотность	Максимально допустимая скорость скольжения, м/сек	Допустимое удельное давление прижатия к трущейся поверхности, г/см ²	Твёрдость (Ш) – по Шору, (Б) – по Бринеллю, МПа	Коэффициент трения (без использования смазки жидким маслом)
М-1	-	25	150–200	26–38(Ш)	0,25
М-6	-	25	150–200	26–35(Ш)	0,20
М-24	-	15	175–200	6–12(Б)	0,25
МГ	-	20	180–230	6–18(Б)	0,20
МГ2	-	20	180–230	6–14(Б)	0,20
КМК-Б10	95%Cu, 5%С 6,7–7,3 г/см ³	–	–	200–350 МПа	–
КМК-Б11	95%Cu, 5%С, 6,2–6,8 г/см ³	–	–	150–300 МПа	–

графита на поверхности трущихся пар аналогичен жидкой плёнке поверхностно-активных материалов, не исключается их совместное применение. Примечательно, что графит может применяться в комбинации с медью или её сплавами (табл. 1). Следовательно, при использовании материала с применением графита остаются в силе все те положительные свойства, которые достигаются при использовании меди.

Материалы, полученные из нескольких разнородных компонентов, не образующих однородные смеси, называют композитными материалами. Композитные материалы применительно к подшипникам скольжения на основе меди и графита могут быть получены следующим образом.

На поверхности скольжения разъемной втулки или вкладыша на глубину 2–3 мм в шахматном порядке с расстоянием между центрами 5–6 мм засверливаются несквозные полости диаметром 2–3 мм и глубиной 1,0–1,5 мм. Они заполняются пастой, приготовленной из порошка графита со связующим, твердеющим после внесения пасты в лунки. Заготовка втулки просушивается, поверхность скольжения зачищается.

При работе вкладыша графит создаёт на поверхности скольжения микрослой кристаллов графита. Несущая способность такого вкладыша не изменяется. При перегрузках подшипника или при нарушениях режима смазывания шейка вала контактирует не с металлической поверхностью вкладыша, а со слоем графита, обладающим свойствами твёрдой смазки. При этом не происходит схватывания трущихся поверхностей или их заедание. Выделяющееся тепло отводится из зоны трения за счёт высокой теплопроводности меди.

Поскольку рассматривается подшипник с жидкостной смазкой, графит как твёрдая смазка вступает в работу только при нерасчётных режимах работы подшипника, т.е. в пусковом режиме, при кратковременных перегрузках. При этом повышенного износа поверхностей во фрикционном контакте не происходит.

Особенностью подшипников с макровключениями графита заключается в том, что они могут изготавливаться в условиях небольших ремонтных предприятий.

Другим вариантом применения композитного материала на основе меди и графита является выполнение вкладышей к подшипникам скольжения из меднографита методом порошковой металлургии. Меднографит (бронзографит) используется в машиностроении в качестве антифрикционного материала для подшипников скольжения. Так, в автомобильной технике практически все модели стартерных электродвигателей имеют бронзографитовые втулки, работающие в паре со стальным валом при консистентной смазке подшипника. Но в таких ответственных узлах, как подшипники коленчатого вала в механизме преобразования дви-

жения, такой перспективный материал не получил пока применения.

Результаты исследования. Исходя из вышеизложенного была разработана упрощённая технология внедрения графита в тело медных вкладышей, которую можно было бы применить на ремонтных предприятиях с небольшим объёмом работ (рис. 2).

В пластине вкладыша на глубину 70–80% его толщины в шахматном порядке засверливаются лунки диаметром 3,0–3,5 мм. Из порошка графита и связующего, в качестве которого используется жидкое стекло, готовится густая паста. Эта паста вносится в лунки на опорной поверхности вкладыша, после чего вкладыш сушится в сушильном шкафу. Затем вкладыш зачищается и готов к установке в корпус подшипника скольжения.

Все элементы рассмотренного вкладыша, как отверстие для подвода масла, каналы на его поверхности скольжения, усики для предотвращения проворачивания, должны полностью соответствовать стандартному вкладышу. Отличительной особенностью такого вкладыша являются выполнение вкладыша полностью из меди и лунки, заполненные затвердевшей пастой, содержащей графит.

По такой упрощённой технологии ячеистого внедрения графита в медную поверхность скольжения был выполнен комплект вкладышей для шатунного подшипника и испытан на машине трения (табл. 2, рис. 3).

Интенсивность изнашивания для меднографитового вкладыша в весовых единицах, определённая в том же временном диапазоне стабильной работы

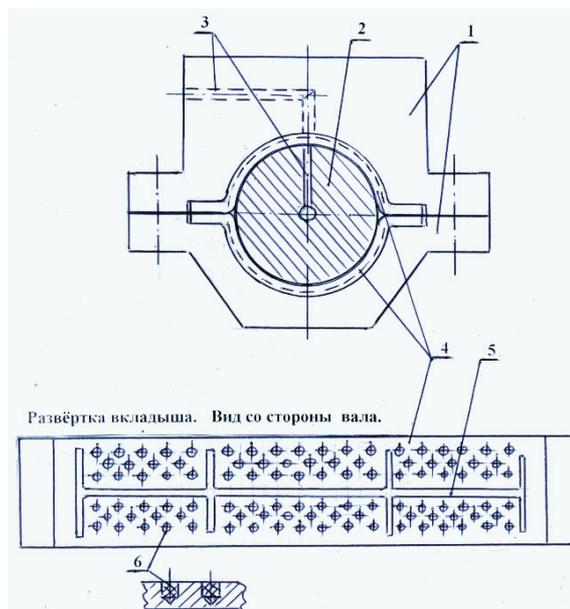


Рис. 2 – Конструкция вкладыша с внедрением графита на поверхности скольжения вкладыша:

1 – разъемный корпус подшипника; 2 – шейка вала; 3 – каналы для подвода масла во фрикционный контакт подшипника; 4 – вкладыш; 5 – маслораспределительные каналы на скользящей поверхности вкладыша; 6 – лунки, заполненные твердеющей графитовой пастой

2. Результаты испытания подшипника со стальным валом, медным вкладышем и внедрением в него графита

Время работы вкладыша в режиме I, ч	Градиент потери веса медного вкладыша, в режиме стабильного процесса, г	Результаты испытания вкладыша из меди с внедрением графита			Относительная величина градиента потери веса медно-графитового вкладыша по отношению к медному, %
		масса вкладыша, г	потеря веса вкладыша, г	приращение потери веса (градиент), г	
0	–	60,742	0	–	–
8	0	60,712	0,030	0	–
50	0,006	60,707	0,035	0,005	83,3
108	0,009	60,703	0,045	0,008	88,3
208	0,013	60,690	0,056	0,011	84,6
240 – при переходе в режим II	0,010	60,673	0,068	0,012	120,0

подшипника, что и для медных вкладышей, имела следующее значение:

$$I \text{ вес} = (0,056 \text{ г} - 0,030 \text{ г}) / 200 \text{ ч} = 0,000130 \text{ г/ч.}$$

Учитывая, что интенсивность изнашивания в варианте с чисто медным вкладышем равна 0,000135 г/ч, полученное значение интегрального значения интенсивности изнашивания для варианта с внедрением графита составляет $(0,000130/0,000135)100 = 96,2\%$. Следовательно, в установившемся режиме работы подшипника включение графита во фрикционный контакт проявляется положительно, но в небольшой мере.

Это объясняется тем, что кристаллы графита по толщине имеют размер менее толщины гидродинамического слоя масла и в этом режиме работа подшипника происходит практически в режиме гидравлического трения, при контакте только отдельных в небольшом количестве выступающих участков скользящей поверхности.

Рассматривая результаты испытания медного вкладыша с внедрением в него графита, можно видеть, что графит оказал положительное влияние на качественные показатели подшипника.

Таким образом, применение композитного материала с использованием графита как антифрикционной составляющей не опровергает по-

ложение о целесообразности применения меди для выполнения опорных поверхностей подшипников. Применение графита в сочетании с медной основой может быть дополнительной степенью защиты подшипника при преодолении экстремальных режимов работы механизма, т.е. при возникновении радиальных нагрузок, превышающих расчётную для данного подшипника величину, либо при перебоях в подаче смазывающей жидкости, в том числе в режиме пуска двигателя [12].

Рассмотрев варианты получения композитного материала, можно сделать выводы:

- композитный материал на основе меди с включением графита целесообразно получать по предлагаемой упрощённой технологии, обеспечивающей мелкосерийное производство вкладышей;
- применение графита в сочетании с медной основой обеспечивает дополнительную степень защиты подшипника при преодолении экстремальных режимов работы механизма (при возникновении радиальных нагрузок, превышающих расчётную величину, при перебоях в подаче смазывающей жидкости, в том числе в режиме пуска двигателя).

Литература

1. Гаркунов Д.Н. Триботехника. М.: Машиностроение, 1989. 327 с.
2. Крагельский И.В. Надёжность изделий машиностроения. Расчёт коэффициента граничного трения. М.: Машиностроение, 1976. 276 с.
3. Коровчинский М.В. Теоретические основы работы подшипников скольжения. М.: Машиностроение, 1959.
4. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчёта на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977.
5. Вишняков Н.Н. Автомобиль. Основы конструкции / Н.Н. Вишняков, В.К. Вахламов., А.Н. Островцев и др. / Под ред. А.Н. Островцева. М.: Машиностроение, 1976. 296 с.
6. Агафонов А.П. Автомобиль / Под ред. И.П. Плеханова. М.: Просвещение, 1977. 319 с.
7. Автокаталог Модели 1995 г. М.: Изд-во «За рулём», 1995. 210 с.
8. Автокаталог 2003 (Весь модельный ряд 2003 г.). М.: Автомир, 2002.
9. Назаров А.Д. Показатели изнашивания коренных подшипников коленчатого вала // Автомобильная промышленность. 2000. № 12. С. 25–27.
10. Гурвин И.Б. О расчёте износостойкости деталей кривошипно-шатунного механизма двигателей // Автомобильная промышленность. 1972. № 2. С. 9–10.
11. Алифанов А.Л. Потребность в ремонтных комплексах для автомобилей // Автомобильная промышленность. 1997. № 12. С. 20–22.
12. Kuanyshev M. The improvement of friction bearing manufacturing technology by copper alloy/ M. Kuanyshev, B. Nuralin // The international Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1-8. DOI 10.1007/s00170-016-8758-2.

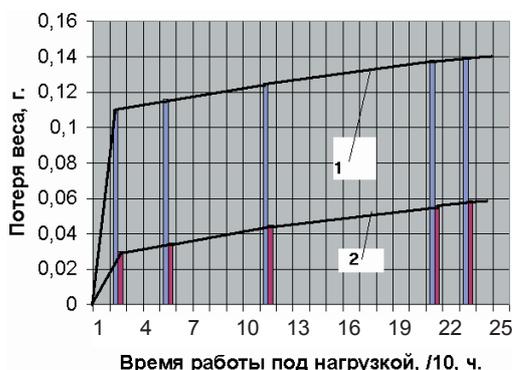


Рис. 3 – Зависимость потери веса медного вкладыша подшипника скольжения с внедрением в него графита ячеистым методом: 1 – подшипник с медным вкладышем; 2 – подшипник с медным вкладышем с внедрением в него графита