

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ С НАНЕСЕННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ БАББИТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Введение.** Целью данной работы является исследование триботехнических свойств биметаллических образцов, изготовленных из вкладышей подшипника скольжения № 8 газоперекачивающего агрегата STD-4000, на рабочую часть которых нанесены покрытия: стандартное с рабочим слоем из баббита Б-83 ГОСТ 1320-55 (образец 1); покрытие, полученное способом центробежной заливки баббита Б-83 (образец 2); из модифицированного баббитового материала 04Е, полученного напылением на аппарате электродуговой металлизации Arcspray 140 (далее — МБМ) (образец 3).

**Основная часть.** Установлено, что подшипниковые сплавы, которые используются для изготовления менее жесткого элемента подвижного сопряжения, должны обеспечивать низкие потери энергии на трение, хорошую прирабатываемость, быть стойкими к задирам, иметь высокие характеристики объемной усталости, износостойкости и несущей способности. В ряде случаев к ним предъявляются взаимоисключающие требования. Например, при высокой несущей способности (следовательно, высокой прочности) подшипниковые сплавы должны быть достаточно мягкими, чтобы меньше изнашивалось контртело, состоящее из более жесткого материала. Поэтому широкое распространение получили биметаллические конструкции, состоящие из менее жестких элементов подвижных сопряжений, нанесенных на более прочную основу. В такой конструкции мягкий подшипниковый сплав наносится на поверхность прочного твердого металла достаточно тонким слоем. В этом случае давления в подвижном сопряжении воспринимаются более жестким материалом. Нормальные напряжения, возникающие в зонах фактического касания, также частично (в зависимости от толщины сплава) воспринимаются более жестким материалом, поэтому глубина внедрения микронеровностей поверхностей более жесткого элемента подвижного сопряжения и деформационная составляющая силы трения будут меньше, чем при использовании более массивного вкладыша [1]. Площадь фактического касания в этом случае также будет меньше, следовательно, при всех прочих равных условиях и молекулярная составляющая силы трения будет меньше. Наличие мягкого подшипникового сплава в верхнем слое обеспечивает хорошую прирабатываемость.

Широкое распространение в машиностроении получили подшипниковые сплавы, называемые баббитами. Баббиты обладают невысокой твердостью и небольшой температурой плавления. С одной стороны, это обеспечивает их хорошую прирабатываемость, с другой стороны, эти материалы нецелесообразно использовать для изготовления вкладышей подшипников скольжения, так как они обладают малой несущей способностью. Поэтому баббиты часто применяются в качестве верхнего слоя в биметаллических конструкциях с толщиной слоя до 3 мм. Анализ показал, что чем больше толщина слоя, тем для более легких условий работы может применяться данный подшипник скольжения. В более нагруженных устройствах в подшипниках скольжения развиваются значительные напряжения, поэтому появляется необходимость использовать модифицированные материалы с более высокими механическими и температурными характеристиками (в биметаллическом исполнении). Такие конструкции обеспечивают высокую несущую способность подшипника и хорошие триботехнические характеристики. Подшипниковые узлы работают в условиях полного разделения трущихся поверхностей слоем смазки. Однако в период пуска, остановки или резкого изменения режима работы имеющегося объема смазочного материала может оказаться недостаточно. Поэтому подшипниковые материалы должны обладать достаточной стойкостью к задирам. При выборе толщины верхнего слоя следует руководствоваться тем, что, с одной стороны, существуют некоторые оптимальные толщины, соответствующие минимальным значениям коэффициента трения, а с другой стороны, толщина слоя должна обеспечивать заданный ресурс работы подвижного сопряжения.

Сравнительные исследования износостойкости были проведены на машине трения МИ-1М. Машина предназначена для испытания металлов на износ и определения их антифрикционных свойств в условиях трения скольжения [2]. Испытания проводилось при наличии смазки (масло турбинное ТП 22С ТУ 38.101821-2001). Образец испытывался при нагрузке 19,6 МПа и работал в паре с контртелом (сталь 40Х). При трении скольжения контртело в виде диска вращается, а образец в виде колодочки неподвижен. На рисунке 1 показан узел трения.

Нагрузка подается на неподвижный образец при помощи системы грузов. В процессе работы машины фиксировались следующие показания: момент трения, число оборотов, нагрузка, масса образца и время. Измерение износа образца проводилось общепринятым методом взвешивания на лабораторных аналитических весах. Коэффициент трения  $k$  определяли путем расчета, измеряя момент трения при помощи маятникового моментомера.



1 — прижимное устройство; 2 — образец;  
3 — контртело

Рисунок 1 — Узел трения

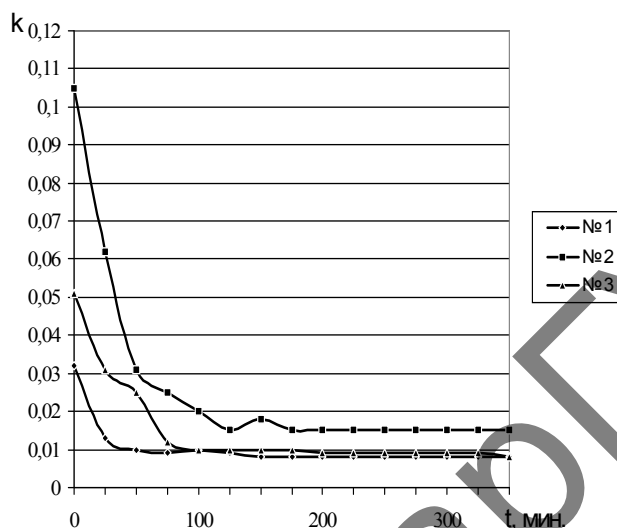


Рисунок 2 — Зависимость коэффициента трения от времени в период приработки

Процесс испытаний можно разделить на два периода: приработка и установившийся режим работы. Приработка характеризуется существенным изменением коэффициента трения, высоким износом и непостоянными характеристиками процесса.

На рисунке 2 представлена зависимость коэффициента трения от времени в процессе приработки для образцов № 1, 2 и 3. Из рисунка видно, что самый короткий период приработки у образца № 1: уже через 150 мин коэффициент трения уменьшается от 0,032 до 0,008 и в дальнейшем не изменяется. Для образца № 2 за период приработки 175 мин коэффициент трения уменьшается от 0,105 до 0,015, но он стабилен и не изменяется в дальнейшем. Для образца № 3 коэффициент трения уменьшается с 0,051 до 0,008 и его значение чуть выше, чем у образца № 1, но затем он стабилизируется (через 350 мин), составляя 0,008, и в дальнейшем не изменяется, как и у образца № 1.

При испытании на износ стандартного образца № 1 (баббит Б-83 ГОСТ 1320-55) за время приработки его износ составил 0,0017 г. Износ при установившемся режиме работы составил 0,002 г за 1 680 мин. Соответственно, интенсивность изнашивания составила 142 мкг / км, а скорость изнашивания — 0,06 мг / ч. Для образца № 2 за время приработки износ составил 0,0016 г. Износ при установившемся режиме работы составил 0,0025 г за 1 080 мин, а интенсивность изнашивания и скорость изнашивания в два раза выше, чем у образца № 1. Для образца № 3 со слоем МБМ за время приработки его износ составил 0,0043 г, т. е. почти в два с половиной раза больше, чем у стандартных образцов из баббита Б-83, и, соответственно, интенсивность изнашивания и скорость изнашивания тоже больше. Но уже при коэффициенте трения 0,01 износа не наблюдалось даже при более высоком коэффициенте трения, чем у образца № 1 ( $K = 0,008$ ).

В установившемся режиме в образце № 3 износ не обнаружен даже за период времени в десять раз больший, чем период, за который был выявлен износ у образца № 1, что позволяет утверждать, что износ образца № 3 как минимум на порядок меньше, чем у образца № 1. Изменение режимов испытаний: скорости скольжения и нагрузки также не позволили обнаружить износ образца № 3.

**Заключение.** Материал покрытия МБМ имеет гораздо большую твердость, чем материал Б-83, что подтверждается значительно худшей прирабатываемостью МБМ по сравнению с Б-83. Зато благодаря своей более высокой твердости и пористости, материал МБМ показал значительно большую износостойкость (не менее, чем в 10 раз), чем стандартный материал Б-83, при одинаковом коэффициенте трения в процессе стабильного периода работы. Очевидно, что поры являются как бы аккумуляторами смазки, которая в процессе трения постепенно выходит на контактную поверхность.

#### Список цитируемых источников

1. Дондик, И. Г. Механические испытания металлов : справочник / И. Г. Дондик. — Киев : Изд-во Акад. наук Укр. ССР, 1962. — 227 с.
2. Гриб, В. В. Лабораторные испытания материалов на трение и износ / В. В. Гриб, Г. Е. Лазарев. — М. : Наука, 1968. — 115 с.