



*The paper shows that wear resistance of new modified babbit material (MBM) is by an order of magnitude higher than that of the B83 State Standard 1320-74 standard babbit material. Therefore, the latter can be recommended for restoration of sliding bearings that are used in gas-compressor units.*

А. В. АЛИФАНОВ, ФТИ НАН Беларуси

УДК 669.65.018.24

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО БАББИТОВОГО МАТЕРИАЛА С ЦЕЛЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕГО ПРИ РЕМОНТЕ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ

Известно, что подшипниковые сплавы, которые используются для изготовления менее жесткого элемента подшипника скольжения, 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, в которых мягкий подшипниковый сплав наносится на твердую поверхность стальной основы достаточно тонким слоем. При работе такой конструкции нагрузка в подвижном сопряжении воспринимается более твердым материалом. Нормальные напряжения, возникающие в зонах фактического касания, также частично (в зависимости от толщины сплава) воспринимаются более твердым материалом, поэтому глубина внедрения микронеровностей поверхностей более жесткого элемента подвижного сопряжения и деформационная составляющая силы трения будут меньше, чем при использовании массивного вкладыша. Площадь фактического касания в этом случае также будет меньше, следовательно, при всех прочих равных условиях и адгезионная составляющая силы трения будет меньше. Наличие мягкого подшипникового сплава в верхнем слое обеспечивает хорошую прирабатываемость. Широкое распространение в машиностроении получили подшипниковые сплавы, назы-

ваемые баббитами. Баббиты обладают невысокой твердостью и небольшой температурой плавления. С одной стороны, это обеспечивает их хорошую прирабатываемость, с другой – эти материалы нецелесообразно использовать для изготовления вкладышей тяжело нагруженных 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 наносимого слоя следует руководствоваться тем, что, с одной стороны, существуют некоторые оптимальные толщины, соответствующие минимальным значениям коэффициента трения, а с другой – толщина слоя должна обеспечивать заданный ресурс работы подвижного сопряжения.

Т а б л и ц а 1. Характеристики подшипников скольжения

Электродвигатель СТД-4000 (4000кВт)		Редуктор РЦОТ п.2.66 (4300кВт)		Нагнетатель НЦ-280 (1500кВт)	
Частота вращения, об/мин		Частота вращения, об/мин		Частота вращения, об/мин	
3000		3000	8000	8000	
Подшипник № 1	Подшипник № 2	Подшипники № 3, 4	Подшипники № 5, 6	Подшипник № 8	Подшипник № 10
Внутренний диаметр (посадочный), мм					
149	149	160	130	80	90

Необходимость выполнения данной работы была обусловлена желанием РНУ «Белгазэнергоремонт», ОАО «Белтрансгаз» при ремонте подшипников скольжения газоперекачивающего агрегата ГПА СТД-4000 (путем восстановления несущей поверхности) использовать современные материалы, обладающие лучшими триботехническими свойствами, чем стандартные, в частности баббит Б-83 (ГОСТ 1320-74). Для достижения этой цели может быть использован новый модифицированный баббитовый материал 04Е (далее МБМ).

Для выбора подшипников скольжения с целью проведения исследований была проанализирована кинематическая схема агрегата ГПА СТД-4000, в результате чего установлено, что наиболее жесткие условия работы испытывают подшипники скольжения № 8 и 10 (табл. 1).

Исходя из меньшей трудоемкости получения образцов и проведения испытаний, для дальнейших исследований был выбран подшипник скольжения № 8 с внутренним диаметром 80 мм. В условиях эксплуатации основную нагрузку выдерживает вкладыш подшипника № 8 с нанесенным на его внутреннюю поверхность слоем баббита толщиной 1,5 мм. Стандартный баббитовый слой

получали методом центробежной заливки Б-83 (ГОСТ 1320-74) на стальную гильзу (Сталь Ст 10).

Для определения возможности замены баббита Б-83 модифицированным материалом необходимо было провести сравнительные испытания износостойкости модельных образцов, представляющих собой фрагмент вкладыша подшипника скольжения. Рабочая поверхность одних образцов имеет слой баббита Б-83 толщиной 1,5 мм, а других – такой же слой модифицированного материала МДМ, полученный напылением на аппарате электродуговой металлизации Arcspray-140. Для получения хорошей сопоставимости между результатами испытания образцов и реальными условиями эксплуатации подшипника № 8 ГПА СТД-4000 были проанализированы условия работы подшипника № 8 с учетом свойств материалов и смазывающей среды, а также значений внешних нагрузок (силовых, температурных) во временной зависимости. Стендовое оборудование для испытания модельных триботехнических сопряжений в этом случае подбиралось с учетом создания условий трения, подобных условиям работы подшипника № 8 в производственном режиме. Это обеспечивается использованием однородных материалов, одинаковой смазывающей среды, возможности формирования в узле нагружения реальных силовых и температурных нагрузок. Совершенствование узлов стенда, дополненное специальными приспособлениями, позволяет приблизить условия испытаний к реальным условиям работы конкретных пар трения.

Для решения поставленной задачи была выбрана универсальная машина трения МИ-1М, предназначенная для испытаний материалов на трение и износ, с кинематической схемой периферийного трения скольжения с охватом вращающегося вала. Для выполнения приведенных выше требований в машине трения были произведены необходимые доработки. На рис. 1 показан узел трения.

Испытания проводили при наличии смазки (масло турбинное ТП 22С, ТУ 38.101821-2001). Образец испытывали при нагрузке 19,6 МПа в паре с контртелом (сталь 40Х). При трении скольже-

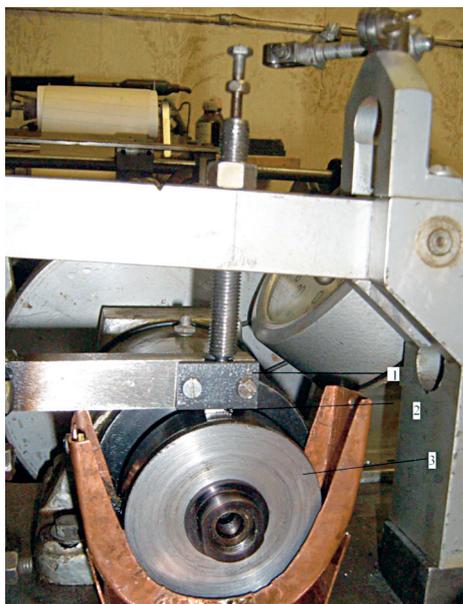


Рис. 1. Узел трения: 1 – прижимное устройство; 2 – образец; 3 – контртело

Т а б л и ц а 2. Результаты триботехнических испытаний

Образец	Нагрузка $P$ , МПа	Время $t$ , ч	Износ $m$ , г	Скорость скольжения $V$ , м/с	Интенсивность изнашивания, мкг/км	Скорость изнашивания $V_i$ , мг/ч	Коэффициент трения $k$
Баббит Б-83 стандартный	19,6	2	0,0017	1,68	142	0,85	0,032–0,009
	19,6	3	0,0003	1,68	16,7	0,10	0,009–0,008
	19,6	5	0,0004	1,68	13	0,08	0,008
	19,6	5	0,0003	1,68	10	0,06	0,008
	19,6	5	0,0004	1,68	13	0,08	0,008
	19,6	5	0,0003	1,68	10	0,06	0,008
	19,6	5	0,0003	1,68	10	0,06	0,008
Баббит Б-83 (ЦБЛ)	19,6	2	0,0016	1,68	133	0,80	0,105–0,015
	19,6	3	0,0007	1,68	39	0,23	0,015
	19,6	5	0,0006	1,68	20	0,12	0,015
	19,6	5	0,0006	1,68	20	0,12	0,015
	19,6	5	0,0006	1,68	20	0,12	0,015
МБМ	19,6	2	0,0043	1,68	358	2,15	0,051-0,010
	19,6	3	0	1,68	0	0	0,010-0,009
	19,6	5	0	1,68	0	0	0,009-0,008
	19,6	5	0	1,68	0	0	0,008
	19,6	10	0	1,68	0	0	0,008
	19,6	10	0	1,68	0	0	0,008
	19,6	15	0	1,68	0	0	0,008

ния контртело в виде диска вращается, а образец в виде колодочки неподвижен.

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

Объектом исследований были образцы, вырезанные из вкладышей подшипника скольжения, представляющие собой стальные сегменты с нанесенным слоем баббитовых материалов толщиной 1,5 мм. Для проведения исследований изготовлены три типа образцов.

Образец № 1, стандартный (с рабочим слоем баббита Б-83, ГОСТ 1320-74) используется при эксплуатации подшипника № 8 ГПА СТД-4000-2 (рис. 2).

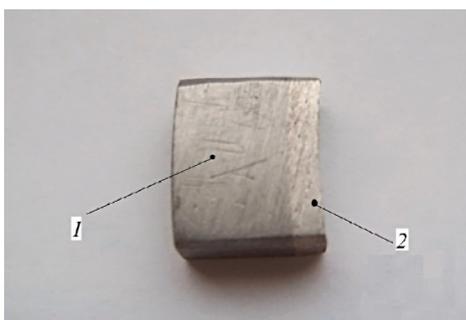


Рис. 2. Образец № 1, стандартный: 1 – сталь; 2 – баббит Б-83

Образец № 2 – покрытие получено способом центробежной заливки баббита Б-83, ГОСТ 1320–74 (ЦБЛ).

Образец № 3 с рабочим слоем из модифицированного баббитового материала (МБМ), полученным напылением на аппарате электродуговой металлизации Arcspray 140.

Вид образцов № 2 и 3 соответствует виду стандартного образца № 1 (рис. 2).

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

На рис. 3 показана 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 с 0,032 до 0,008 и в дальнейшем не изменяется. Для образца № 2 за период приработки 175 мин коэффициент трения уменьшается с 0,105 до 0,015 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) на величине 0,008 и в дальнейшем не изменяется, как и у образца № 1.

Результаты триботехнических испытаний для образцов № 1, 2 и 3 приведены в табл. 2.

Влияние изменения режимов испытаний скорости скольжения и нагрузки показано на рис. 4.

Если в период приработки у образца № 3 (МДМ) износ значительно выше, чем у образцов № 1 и 2, то в установившемся режиме износа у образца № 3 не обнаружено.

Из табл. 2 и рис. 4 видно, что в установившемся режиме в образце № 3 износ не наблюдается, а в образцах № 1 и 2 износ продолжается в течение всего времени. Это позволяет утверждать, что износ образца 3 как минимум на порядок меньше, чем у этих образцов.

В данной работе были также проведены исследования прочностных свойств исследуемых материалов. По методикам, описанным в [1], определяли твердость по Бринеллю (НВ) образцов № 1, 2, 3, а также предел прочности при сжатии.

Результаты исследований приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3. Прочностные свойства баббитовых материалов

Образец	Твердость НВ	Предел прочности, МПа
Баббит Б-83 стандартный	30,1	110
	30,0	110
	29,9	110
Баббит Б-83 (ЦБЛ)	31,4	115
	31,7	116
	32,0	117
МБМ	24,4	89
	25,9	95
	28,8	106

Из таблицы видно, что твердость по Бринеллю и соответственно предел прочности при сжатии у образцов из МБМ значительно меньше, чем у образцов из баббита Б-83 (ГОСТ 1320-74).

### Выводы

В результате сравнительных исследований триботехнических и прочностных свойств образцов, вырезанных из вкладышей подшипника скольжения на основе серийных (баббит Б-83 ГОСТ 1320-74) и модифицированных баббитовых материалов (МБМ), было установлено, что образцы из МБМ значительно превосходят образцы из баббита Б-83 (ГОСТ 1320-74) по главному показателю – износостойкости, хотя в процессе приработки их износ более интенсивный. Кроме того, образцы МДМ имеют на 29% меньшую прочность на срез, на 12% – меньшие значения твердости и прочности на сжатие.

Детальный анализ прочностных свойств покрытий из баббита Б-83 и МБМ показал, что баббит Б-83 имеет практически беспористую структуру,

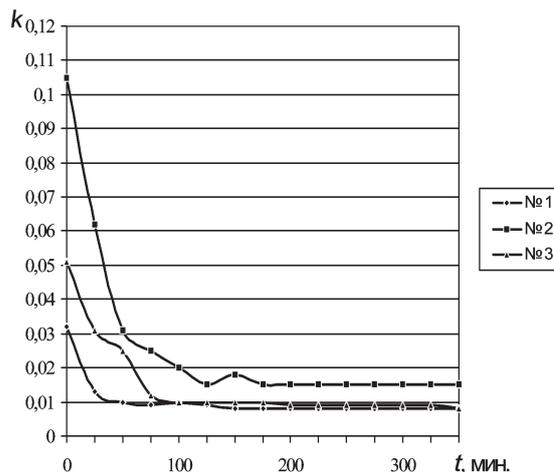


Рис. 3. Зависимость коэффициента трения  $k$  от времени  $t$  в период приработки

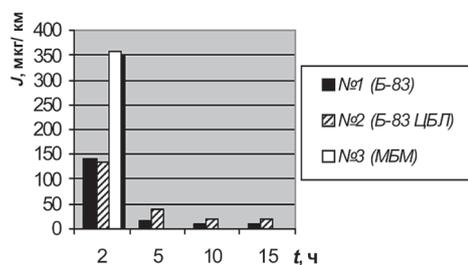


Рис. 4. Зависимость интенсивности изнашивания  $j$  от времени  $t$

а покрытие из МБМ – значительную пористость. Это объясняет меньшую прочность покрытия из МБМ при сжатии по сравнению с покрытием из баббита Б-83: при сжатии идет процесс заполнения пор, что требует гораздо меньших усилий, чем при сжатии компактного материала. Однако сам 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 выдавливается на контактную поверхность.

Таким образом, можно рекомендовать новый модифицированный баббитовый материал для восстановления подшипников скольжения в газоперекачивающих агрегатах, а также в других машинах и механизмах с тяжелыми условиями эксплуатации узлов трения.

### Литература

1. Е л ю т и н а О. П. Практические вопросы испытания металлов. М.: Металлургия, 1978.