УДК 656.282;629.424 DOI: http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-3-131-137

Анализ состояния производства и качества изготовления бронзо-баббитовых подшипников коленчатого вала тепловозных дизелей

А. Е. МИРОНОВ[1], С. М. ЗАХАРОВ[1], Г. С. ФОКС-РАБИНОВИЧ[2], М. М. ЖЕЛЕЗНОВ[1]

[1] Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Москва, 129626, Россия

[2] Университет Макмастера, Гамильтон,1280, Канада

Аннотация. Рассмотрены области применения бронзо-баббитовых подшипников для тепловозных дизелей. Описаны основные типы повреждений (усталостное и коррозионно-кавитационное изнашивание) и факторы на них влияющие. Приведены результаты исследований по технологическим факторам, оказывающим влияние на усталостные повреждения. Описаны нарушения, которые имеют место при изготовлении подшипников различными производителями. Изложены результаты анализа влияния химического состава баббита на его структуру. Сделаны выводы по проведенным исследованиям и даны предложения, направленные на проверку качества бронзо-баббитовых подшипников, изготавливаемых различными производителями.

Ключевые слова: баббит; подшипники; химический состав; приспосабливаемость; вторичные структуры

Области применения бронзо-баббитовых подшипников. Бронзо-баббитовые вкладыши подшипников многие десятилетия применялись на дизелях 2Д100 и 10Д100 магистральных тепловозов ТЭ3 и ТЭ10 различных модификаций. Однако к настоящему времени большинство из дизелей выработали ресурс, и на многих тепловозах силовые агрегаты заменены или планируется их заменить на дизели с другой конструкцией подшипников коленчатого вала.

Помимо магистральных тепловозов, было выпущено довольно большое количество дизелей, на которых применялись бронзо-баббитовые подшипники коленчатого вала, например, для маневровых тепловозов ТЭМ2 и ЧМЭ3. На тепловозах ТЭМ2 устанавливался дизель ПД1М мощностью 1200 л.с. (882 кВт), а на чешских тепловозах ЧМЭ3 — дизель K6S310DR мощностью 1350 л.с. (993 кВт). Было произведено 7870 тепловозов ТЭМ2 и 7459 — ЧМЭ3.

Большое распространение к настоящему времени бронзо-баббитовые вкладыши подшипников имеют на дизелях ПДГ4Д (6ЧН31, 8/33) и ряда его модификаций, устанавливаемых на тепловозах ТЭМ18, ТЭМ18В и ТЭМ18ДМ Брянского машиностроительного завода, входящего в ЗАО «Трансмашхолдинг». К 2014 г. изготовлено более 1400 тепловозов с этими дизелями. Различные модификации этих тепловозов продолжают изготавливаться и в настоящее время. Тепловозы ТЭМ18 и его модификации широко применяются на сети железных дорог и на промышленном транспорте. Дизель ПДГ4Д мощностью 882 кВт, устанавливаемый в разных модификациях на эти тепловозы, производится ОАО «Пензадизельмаш». Дизель имеет стальной коленчатый вал, который уложен на тонкостенные подшипники, имеющие бронзовый корпус с заливкой антифрикционного слоя на основе баббита БК2.

В 1951 г. после обстоятельных исследований коллектива ученых под руководством Н. А. Буше [1] был создан антифрикционный сплав БК2 вместо Б83, что позволило получать тонкослойные подшипники, в которых антифрикционный слой не имел крупных твердых интерметаллидных включений.

Бронзо-баббитовые подшипники обладают рядом преимуществ перед другими типами подшипников. Бронзовый корпус обеспечивает хороший отвод тепла из зоны трения, а тонкий слой баббита (толщиной 0,5 – 0,7 мм) обеспечивает хорошие антифрикционные свойства, прирабатываемость, приспосабливаемость, способность антифрикционного слоя воспринимать кратковременные нарушения гидродинамического режима смазки без схватывания и существенного повышения температуры и приемлемые усталостные свойства для условий нагружения, в которых подшипники предназначены работать.

Основные виды повреждений бронзо-баббитовых подшипников. В работах [1, 2] были установлены основные виды повреждений и даны причины выхода их из строя. В табл. 1 приведено распределение причин повреждений (в процентах) шатунных и коренных бронзо-баббитовых подшипников на дизелях 2Д100 [2].

Из этих данных видно, что усталостные повреждения антифрикционного слоя являются основной причиной повреждений бронзо-баббитовых вкладышей подшипников. Для сравнения приведено распределение причин повреждения вкладышей подшипников из сталь-свинцовистой бронзы дизелей М756. Они дают общее представление о преоблада-

E-mail: abcd@gmail.com (А. Е. Миронов)

ющих видах повреждений бронзо-баббитовых подшипников: низкая усталостная прочность баббита, вспучивания и кавитационно-эрозионные повреждения.

Вкладыши подшипников из свинцовистой бронзы не имели усталостных повреждений, зато были выходы их из строя по задиру и по коррозионному изнашиванию. На рис. 1 приведен характерный вид усталостного повреждения баббитового слоя БК2 шатунного подшипника тепловозного дизеля. Другим наиболее часто встречающимся повреждением бронзо-баббитовых подшипников является кавитационно-коррозионное изнашивание, которое также было изучено и описано в работах [1, 2, 3].

Ранее [3] отмечалось наличие кавитационных повреждений двух видов. На более мягких антифрикционных сплавах разрушения имеют вид выдавленных кратеров с выпуклыми краями, на более твердых — губчатой сыпи. Этот вид разрушения если имеет место, то на всех вкладышах дизеля и, как было установлено в работах [1, 2, 3], связан с попаданием воды в масло дизеля и обычно ведет к комплексной замене вкладышей. Меры по борьбе с этими повреждениями были направлены на недопущение попадания воды в масло дизеля. Был обнаружен и другой, «местный» вид кавитационных повреждений, связанный с течением смазочного материала, формой и расположением маслоподводящих канавок и отверстий в шейке вала, образованием пузырьков и их «захлопыванием», вызывающим кавитационные повреждения [3]. Меры по борьбе с этим «местным» кавитационным повреждением были связаны с изменением формы и мест расположения смазочных канавок и отверстий.

Таблица 1

Распределение повреждений вкладышей подшипников тепловозных дизелей по видам

Table 1

Distribution of damages of bearing bushings of locomotive diesel engines by types

Виды повреждений	Тип дизеля			
	Дизель 2Д100		Дизель М756	
	Шатунные	Коренные	Шатунные	Коренные
Усталостное изнашивание	77,0	71,3	–	–
Задир	–	–	41,7	5,3
Коррозионное изнашивание	–	–	38,9	79,3
Кавитационно-эррозионное изнашивание	10,8	8,6	–	–
Потеря натяга	0,1	0,4	1,4	2,6
Повышенный износ	3,8	11,2	–	–
Увеличенный зазор	0,1	3,0	–	4,5
Фреттинг-коррозия	–	–	18,0	2,3
Прочие повреждения	8,2	5,5	–	6,0
Всего	100	100	100	100

Рис. 1. Усталостные повреждения баббитового слоя в шатунном подшипнике дизеля 10Д100

Fig. 1. Fatigue damages of the babbit layer in the conrod bearing of the diesel engine 10D100

Некоторые исследователи [4] классифицируют кавитационные повреждения подшипников первого вида (для паровых турбин) как электроэрозионные, при которых каверны образуются в результате отдельных электрических разрядов, воздействующих на баббитовый слой, а «ручьистый» рельеф на баббите объясняется воздействием на него микроразрядов. В практике применения подшипников скольжения на железнодорожном транспорте коррозионно-кавитационные дефекты первого типа наблюдались не только на вкладышах подшипников дизелей, но и на моторно-осевых подшипниках локомотивов и на буксовых подшипниках скольжения вагонов, не связанных напрямую с электрическими полями. Как показывали результаты обследований, кавитационно-эрозионные повреждения этих вкладышей подшипников были связаны с изменениями свойств смазочных материалов, в которые попадала вода или другие ингредиенты, повышающие коррозионную активность смазки. Влияние воздействия электрических полей на дизель-генераторах 10Д100 проявлялось в том, что подшипники расположенные ближе к генератору имели большие кавитационно-коррозионные повреждения, что объясняется усилением коррозионной активности под действием электрических полей.

Усталостные повреждения баббита и влияющие на них технологические факторы. Многолетний опыт исследований бронзо-баббитовых подшипников позволил выявить ряд технологических факторов, которые оказывают существенное влияние на их работу, и сформулировать рекомендации для производителей и эксплуатационников [5]. Ниже рассмотрены некоторые из этих факторов и результаты исследований с ними связанные.

Лужение бронзового корпуса припоями проводится для обеспечения надежной адгезии баббита к бронзовому основанию. Исследование переходных слоев между бронзой и баббитом выявило большое количество нарушений в составах использованных припоев. В

частности, это имеет место при применении припоев, содержащих сурьму (ПОССу). Сурьма взаимодействует с кальцием, содержащимся в баббите, с образованием включений легкой интерметаллидной фазы, которая всплывает в шлак. В результате антифрикционный слой обедняется кальцием, становится мягким (до 8–10 НВ) и подвергается пластическим деформациям («выдавливанию») под действующими нагрузками.

Другим нарушением при лужении является применение припоя с большим (до 61 %) содержанием олова. Чем выше содержание олова, тем быстрее и интенсивнее полуда взаимодействует с бронзой. При заливке этот слой полностью или частично размывается струей расплавленного баббита. В результате антифрикционный слой оказывается чрезмерно легирован оловом, медью и цинком, что изменяет комплекс его механических и триботехнических свойств.

Необходимо также оптимизировать время лужения и не допускать захолаживания полуды. Если от момента извлечения бронзового корпуса из ванны лужения проходит слишком большой промежуток времени, то полуда успевает провзаимодействовать с бронзой. При этом создается толстый (более 10 мкм) интерметаллидный слой системы Cu — Sn, который повышает вероятность усталостного выкрашивания из-за своей хрупкости. Кроме того, на захоложенной поверхности полуды осаждаются выделения $CaPb_3$ как соединения кристаллизующегося в первую очередь. При этом в самом баббите уменьшается концентрация кальция, он становится крупнозернистым, и у баббитового слоя снижается твердость.

Натрий, который кристаллизуется в последнюю очередь, наоборот, отсутствует в зоне лужения, но имеет повышенную концентрацию ближе к рабочей поверхности баббитового слоя. Если захоложенность слоя полуды сочетается с длительным лужением или перезаливкой вкладыша после выплавления старого баббитового слоя без проточки до свежей поверхности бронзы, то на поверхности бронзы возможно образование не только толстого интерметаллидного слоя, но и дендритных интерметаллидных наростов. Исследования распределения элементов в различных областях вкладышей подшипников проводились на электронных микроскопах (СЭМ). На рис. 2 представлено распределение олова в переходном слое, имеющем вид дендритного образования интерметаллида Sn_2Cu, поверх облуженной поверхности бронзы. Дендритные наросты являются сильными концентраторами напряжений, провоцирующими усталостные разрушения баббитового слоя.

Качество чушкового баббита. При составлении шихты для заливки баббита используется не только баббит марки БК2, но и баббит марки БК2Ш, а также переплав отходов производства предыдущих партий подшипников. Помимо этого, ряд заводов и депо используют при шихтовке другие виды свинцового лома, особенно аккумуляторный свинец и свинцовые оплетки электрических кабелей. Анализ химического состава баббитовых слоев подшипников, получаемых из эксплуатации, показывает наличие примесей железа, кремния, алюминия, хрома, сурьмы. Во многих случаях именно эти загрязнения делают баббит непригодным для эксплуатации.

В настоящее время согласно ГОСТ 1209–90 «Баббиты кальциевые в чушках. Технические условия» в России предусматривается возможность изготовления баббита в чушках четырех марок, их химический состав приведен в табл. 2. Следует подчеркнуть, что эти баббиты являются только материалом, используемым для шихтовки плавок, а химический состав антифрикционного слоя вкладышей имеет отличия.

Еще в 60-х гг. прошлого столетия Н. А. Буше [1] были разработаны требования, которым должны удовлетворять баббиты, используемые для тонкослойных вкладышей подшипников с целью обеспечения надлежащей долговечности. Они не должны иметь резко выраженной неоднородной структуры, обязаны обладать повышенным сопротивлением усталости, твердостью баббитового антифрикционного слоя до 15–23 НВ. Наиболее полно этим требованиям отвечает антифрикционный сплав, получаемый при использовании чушкового баббита БК2. Однако в различных источниках приводится различный химический состав антифрикционного слоя, иногда не учитывающий его изменение в процессе производства (табл. 3).

Так, в [6] не учитывался угар легирующих элементов во время плавки и возможность подшихтовки отходами производства. Помимо этого, твердость баббита составила 32 НВ, что не соответствует сформулированным в [1] требованиям для тонкослойных подшипников.

Требования ТУ 15-ЦТВР действовали до середины 70-х гг, после чего в состав чушкового баббита БК2 и сплава на его основе были введены существенные изменения. Следующие требования ТУ 32-ЦТВР и Технической инструкции по перезаливке подшипников

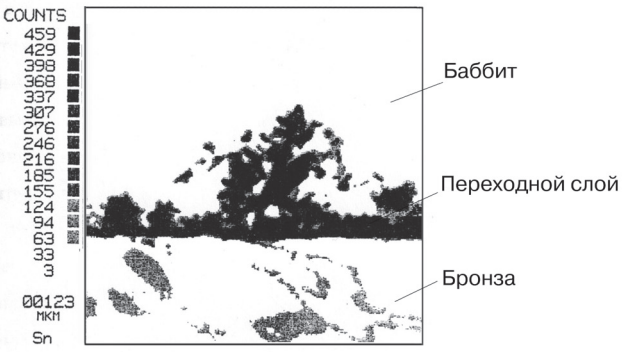

Рис. 2. Распределение олова в переходном слое, имеющем вид дендритного образования (СЭМ, ×1000)
Fig. 2. Distribution of tin in the transition layer, which has the form of a dendritic formation (SEM, ×1000)

Таблица 2

Химический состав чушек кальциевых баббитов, изготавливаемых в России

Table 2

Chemical composition of calcium babbits pigs, manufactured in Russia

Марка баббита	Содержание элементов,% по массе												
	Основные компоненты							Примеси, не более					
	Ca	Na	Mg	Sn	Zn	Al	Pb	Bi	Sb	Cu	Al	Mg	Сумма остальных
БКА	0,95–1,15	0,70–0,90		–	–	0,05–0,20	Остальное	0,10	0,25	–	–	0,02	0,30
БК2	0,30–0,55	0,20–0,40	0,01–0,05	1,50–2,10	–	–	Остальное	0,20	0,20	0,15	0,02	–	0,30
БК2Ш	0,65–0,90	0,70–0,90	0,03–0,09	1,50–2,10	–	–	Остальное	0,20	0,20	0,15	0,02	–	0,30
БК2Ц	0,95–1,15	0,70–0,90	–	1,50–2,10	0,40–0,60	–	Остальное	0,20	0,20	0,15	0,02	0,02	0,30

учитывают угар легирующих элементов при плавке и процессы старения, происходящие в кальциевых баббитах после отливки. В них предусмотрено несколько измерений твердости специально отлитых образцов. В первом, изготовленном не ранее трех часов после отливки, твердость должна быть не ниже 13 НВ. Как показывает опыт, лучшей работоспособностью обладают баббиты с твердостью 18 – 23 НВ после старения. При более высоких значениях твердости подшипники хуже прирабатываются и сильнее изнашивают шейки коленчатого вала, имеют большую склонность к усталостному выкрашиванию и вспучиванию антифрикционного слоя.

В настоящее время многие производители подшипников скольжения разрабатывают для своей продукции собственные ТУ. Проведенные во ВНИИЖТ исследования показывают, что химические составы и твердость антифрикционного слоя изделий ряда производителей далеки от утвержденных нормативных документов. В ряде случаев толщина антифрикционного слоя превышает 1,0 мм (вместо 0,5–0,7 мм), что отрицательно сказывается на их работоспособности, поскольку с увеличением толщины антифрикционного слоя выше рекомендованного снижается сопротивляемость подшипника усталостным разрушениям.

Таблица 3

Химические составы антифрикционных слоев, полученных при переплаве чушкового баббита БК2

Table 3

Chemical compositions of antifriction layers obtained by remelting pig's babbit BK2

Источник	Содержание легирующих элементов, % по массе				
	Ca	Na	Mg	Sn	Pb
ТУ 15-ЦТВР	0,23–0,45	0,15–0,30	0,03–0,10	1,50–2,50	Остальное
ТУ 32-ЦТВР	0,06–0,15	0,15–0,30	0,01–0,03	1,50–2,10	Остальное
ТИ «Перезаливка подшипников коленчатого вала дизелей 2Д100 и 10Д100». ПКБ ЦТ 25.00001	0,06–0,16	0,15–0,30	0,01–0,02	1,50–2,10	Остальное
Монография [2]	0,30–0,55	0,20–0,40	0,01–0,06	1,50–2,10	Остальное
Учебник МВТУ [6]	0,30–0,55	0,20–0,40	0,01–0,05	1,50–2,10	Остальное

Слой с мелкозернистой структурой и мелкими включениями в теле зерна (рис. 3) является наиболее работоспособным. Концентрация кальция 0,06 – 0,15 % соответствует перитектической реакции образования соединений $CaPb_3$ при кристаллизации. Данные выделения являются центрами кристаллизации сплава. В таком концентрационном интервале кальций является для баббита модификатором второго рода. Повышение содержания кальция приведет к увеличению размеров выделений, но не увеличит их количество. Крупные выделения, как отмечалось ранее, снижают работоспособность баббитового слоя. Натрий, в отличие от кальция, кристаллизуется в последнюю очередь, сдерживая рост зерен баббита, и, таким образом, является модификатором первого рода. Соответственно, большая часть натрия сосредотачивается у границ зерен, а меньшая — в твердом растворе в теле зерен.

Магний при кристаллизации входит в твердый раствор со свинцом. При старении магний выделяется из твердого раствора и взаимодействует с оловом, образуя мелкие включения с высокими антифрикционными свойствами. Старение кальциевого баббита выражается в обеднении твердого раствора свинца натрием и магнием с образованием дополнительного количества более твердых, чем свинцовый раствор, выделений. Поэтому количество натрия и магния не-

обходимо строго ограничивать, чтобы не получить чрезмерную твердость слоя. Кроме того, натрий и особенно магний имеют высокое сродство к водороду. Поэтому при наличии в атмосфере разливочного цеха высокой влажности расплав насыщается водородом, который при заливке подшипников находится в твердом растворе свинца в атомарном состоянии. При старении атомарный водород стремится в литейные несплошности в виде раковин или пор, где превращается в молекулярный водород. Молекулярный водород неспособен растворяться в твердом свинце и происходит его накопление и повышение парциального давления. Когда это давление превышает предел текучести свинцовой матрицы, происходит появление на поверхности баббита вспучиваний. Снижение содержания натрия и магния в баббите позволило значительно снизить появление дефекта вспучивания.

О структурной приспосабливаемости подшипников с антифрикционным слоем из кальциевых баббитов. Одна из основных задач легирующих элементов в антифрикционных сплавах — способствовать образованию при трении на контактирующих поверхностях вторичных структур, улучшающих характеристики антифрикционного материала [7, 8, 9].

Кальциевые баббиты обладают высокой способностью к образованию подобных структур, что выражается в перераспределении щелочных металлов между поверхностями трения и внутренними областями баббитового слоя. Это иллюстрируется на примере подшипника, баббитовый слой которого был загрязнен алюминием и железом. На поверхности трения при контакте с крупной абразивной частицей образовалась глубокая борозда, которая заполнилась металлополимерной композицией на основе натрия, кальция и продуктов разложения смазки. При этом подповерхностный слой обедняется натрием и кальцием (рис. 4). Эти процессы протекают на всей поверхности трения, и их интенсивность напрямую связана с интенсивностью трения, воспринимаемой областями поверхности с различным их состоянием: грубым натиром (рис. 5, *а*), гладкой и ровной поверхностью (рис. 5, *б*) и неровной и шероховатой поверхностью (рис. 5, *в*).

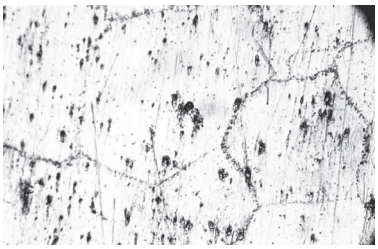

Рис. 3. Характерная структура металла баббитового слоя (×500)
Fig. 3. The characteristic structure of babbit layer of the metal (×500)

Химический состав поверхности грубого натира (табл. 4) можно охарактеризовать минимальным

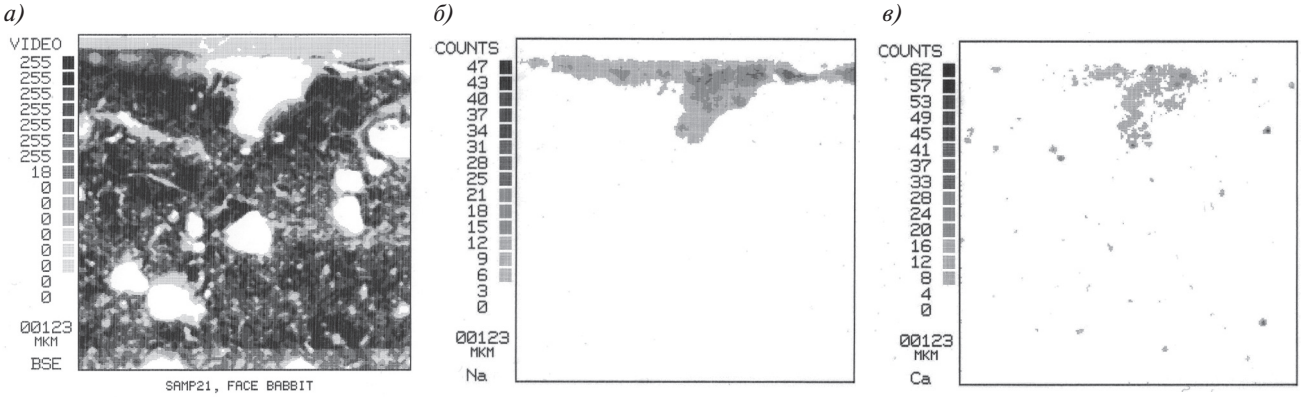

Рис. 4. Область исследования (*а*) и распределение натрия (*б*) и кальция (*в*) в зоне борозды
Fig. 4. The area of research (*a*) and the distribution of sodium (*б*) and calcium (*в*) in the groove zone

Таблица 4

Химический состав вторичных структур исследованных областей баббитового слоя

Table 4

The chemical composition of the secondary structures of the investigated regions of the babbit layer

Объект исследования	Содержание элементов,% по массе										
	C	O	Na	Ca	Mg	Sn	Fe	Al	Zn	Cu	Pl
Грубый натир	2,58	0,34	0,25	0,22	0,08	1,86	3,79	–	–	–	Остальное
Гладкая поверхность	8,23	3,68	0,47	1,01	–	2,34	0,86	0,13	–	4,84	Остальное
Шероховатая поверхность	10,92	3,16	0,39	0,28	0,17	0,87	1,59	–	0,60	1,98	Остальное
Свинцовая матрица в подповерхностном слое	–	–	0,12	0,07	След	2,36	–	0,01	–	0,26	Остальное

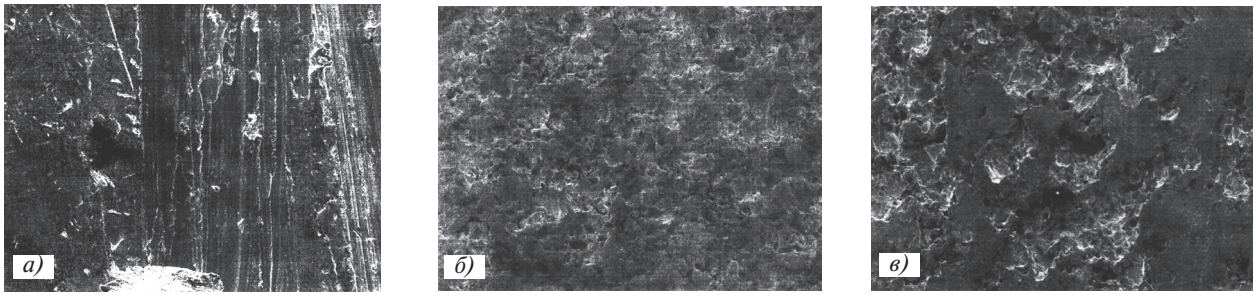

Рис. 5. Поверхности трения баббитового слоя с разным состоянием:
а — поверхность с грубым натиром; *б* — гладкая поверхность; *в* — шероховатая поверхность
Fig. 5. Friction surfaces of the babbit layer with different states:
а — surface with rough scuff; *б* — smooth surface; *в* — rough surface

содержанием углерода и кислорода при максимальном содержании железа, это свидетельствует о том, что вторичная структура образовалась в последний перед снятием период работы подшипника, когда взаимодействие со смазкой после воздействия стальной частицы не позволило образоваться металлополимерному слою вторичных структур.

Гладкая поверхность достигается при очень высоких содержаниях натрия, кальция и меди. При этом содержание олова близко к исходному, магний практически отсутствует, а взаимодействие со сталью — минимально. Концентрация углерода, характеризующая степень воздействия смазки, находится на среднем уровне, а содержание кислорода — на максимальном.

Анализ свинцовой матрицы в подповерхностном слое показывает, что она обеднена всеми основными легирующими элементами (Na, Ca, Mg), которые продиффундировали на поверхность трения и способствовали образованию выгодных вторичных структур.

При этом не выявлено влияние самоорганизации на усталостную прочность. Проблема повышения усталостной прочности подшипников скольжения решается применением других видов антифрикционных материалов. Перспективы их применения и анализ путей совершенствования материалов и технологий изготовления подшипников коленчатого вала для тепловозных дизелей выполнен в работе [10].

Выводы. 1. Бронзо-баббитовые подшипники коленчатого вала широко использовались и продолжают применяться в дизелях тепловозов при условии их использования в диапазоне рекомендованных нагрузок и изготовления в соответствии с утвержденными нормативами

2. Рассмотрены усталостные повреждения баббитового слоя и технологические факторы, влияющие на их образование при лужении бронзового корпуса припоями, при нарушении химического состава чушкового баббита, химического состава баббита БК2 в антифрикционном слое и других нарушений технологии, которые имеют место при изготовлении различными производителями. Предлагается:

– провести аудит всей нормативно-технической документации производителей бронзо-баббитовых подшипников, обратив внимание на составы бронз, полуды и баббита;

– выполнить проверку качества изготовления бронзо-баббитовых подшипников;

– усилить входной контроль за поставляемыми материалами, идущими на изготовление подшипников.

3. На основе выполненных исследований структуры баббита БК2 сделаны выводы о характере влияния кальция, магния, натрия на процессы кристаллизации баббита. Предложен механизм образования вспучиваний антифрикционного слоя и меры по снижению содержания натрия и магния в баббите, которые позволяют значительно снизить появление этого дефекта.

4. На основе изучения содержания химических элементов во вторичных структурах при трении с разным состоянием поверхностей сделаны выводы о характере влияния легирующих элементов на достижение структурной приспосабливаемости баббита к различным режимам трения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буше Н. А. Подшипниковые сплавы для подвижного состава. М.: Транспорт, 1967. 222 с.

2. Захаров С. М., Никитин А. П., Загорянский Ю. А. Подшипники коленчатого вала тепловозных дизелей. М.: Транспорт, 1981. 181 с.

3. Изучение процесса кавитации и кавитационного изнашивания подшипников скольжения транспортных двигателей / С. М. Захаров [и др.] // Проблемы трения и изнашивания. Киев: Техника, 1973. Вып. 3. С. 61–68.

4. Мурманский Б. Е., Языков А. Е., Бродов Ю. Н. Ремонт подшипников паровых турбин: учеб. пособие для высш. техн. учеб. заведений. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. 150 с.

5. Миронов А. Е. О качестве бронзо-баббитовых подшипников коленчатых валов дизелей тепловозов // Вестник ВНИИЖТ. 2002. № 6. С. 25–27.

6. Материаловедение и технология металлов / Б. Н. Арзамасов [и др.]. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. 646 с.

7. Гершман И. С., Гершман Е. И., Миронов А. Е. Использование неравновесной термодинамики и теории самоорганизации для описания трибосистем и разработки износостойких материалов // Вестник БГТУ. 2016. № 4 (52). С. 32–38.

8. Banjac M., Vencl A., Otović S. Friction and Wear Processes – Thermodynamic Approach. Tribology in Industry. 2014. Vol. 36. No. 4. P. 341–347.

9. Nosonovsky M. Entropy in Tribology: in the Search for Applications. Entropy. 2010. Vol. 12. No. 6. P. 1345–1390.

10. Анализ путей совершенствования применяемых материалов и технологий изготовления подшипников коленчатого вала тепловозных дизелей / С. М. Захаров [и др.] // Тяжелое машиностроение. 2015. № 6. С. 11–18.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

МИРОНОВ Александр Евгеньевич,
канд. техн. наук, ведущий специалист по инновационным проектам, отдел научно-исследовательских программ, грантов и проектов, АО «ВНИИЖТ»

ЗАХАРОВ Сергей Михайлович,
д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник отделения «Транспортное материаловедение», АО «ВНИИЖТ»

ФОКС-РАБИНОВИЧ Герман Симонович,
д-р техн. наук, старший научный сотрудник, университет Макмастера, Гамильтон, Канада

ЖЕЛЕЗНОВ Максим Максимович,
канд. техн. наук, заместитель Генерального директора — руководитель научно-образовательного комплекса, АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 28.03.2017 г., принята к публикации 25.05.2017 г.

Analysis of the state of production and manufacturing quality of bronze-babbit bearings of the crankshaft of diesel locomotives

A. E. MIRONOV[1], S. M. ZAKHAROV[1], G. S. FOKS-RABINOVICH[2], M. M. ZHELEZNOV[1]

[1] Joint Stock Company "Railway Research Institute" (JSC "VNIIZhT"), Moscow, 129626, Russia
[2] McMaster University, Hamilton, 1280, Canada

Abstract. The article gives the study on the areas of application of bronze-babbit bearings for diesel locomotives are considered. Information is provided on the types of diesel engines and locomotives for which they are installed, where such bearings are used. The main types of damage are described: fatigue and corrosion-cavitation wear and the factors affecting them. Authors presented results of research on technological factors that affect fatigue damage, such as the technology of tinning the bronze body with solders, the quality of pig babbit. The chemistry of calcium babbit and BK2 babbit in an antifriction layer is reviewed. The violations that occur during the manufacture of bearings by various manufacturers are described. The results of analysis of the influence of the chemical composition of babbit on its structure are presented. The influence of calcium and magnesium is described, in particular, on the formation of swelling on the babbit surface. The paper provides results of studies on the adaptability of the babbit layer to changes in friction conditions with the formation of various types of secondary structures. Micro-X-ray spectral studies of babbit layers of various liners and secondary structures on friction surfaces have been carried out. As the conclusion of the article the studies carried out and suggestions were made aimed at checking the quality of bronze-babbit bearings manufactured by various manufacturers.

Keywords: babbit; bearings; chemical composition; adaptability; secondary structures

DOI: http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-3-131-137

REFERENCES

1. Bushe N. A. *Podshipnikovye splavy dlya podvizhnogo sostava* [Bearing alloys for rolling stock]. Moscow, Transport Publ.,1967, 222 p.

2. Zakharov S. M., Nikitin A.P., Zagoryanskiy Yu. A. *Podshipniki kolenchatogo vala teplovoznykh dizeley* [Crankshaft bearings of diesel engines]. Moscow, Transport Publ., 1981, 181 p.

3. Zakharov S.M., Bushe N.A., Zagoryanskiy Yu.A., Nikitin A.P. *Izuchenie protsessa kavitatsii i kavitatsionnogo iznashivaniya podshipnikov skol'zheniya transportnykh dvigateley.* Problemy treniya i iznashivaniya [Study of the process of cavitation and cavitation wear of sliding bearings of transport engines. Problems of friction and wear]. Kiev, Tekhnika Publ., 1973, Vol. 3, pp. 61–68.

4. Murmanskiy B. E., Yazykov A. E., Brodov Yu. N. *Remont podshipnikov parovykh turbin: ucheb. posobie dlya vyssh. tekhn. ucheb. zavedeniy* [Repair of bearings of steam turbines: a manual for higher technical educational institutions]. Ekaterinburg, Ural University Publ., 2014, 150 p.

E-mail: abcd@gmail.com (A. E. Mironov)

5. Mironov A. E. *O kachestve bronzo-babbitovykh podshipnikov kolenchatykh valov dizeley teplovozov* [On the quality of bronze-babbit bearings of crankshafts of diesel engines of railway locomotives]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2002, no. 6, pp. 25–27.

6. Arzamasov B. N., Makarova V. I., Mukhin G. G. *Materialovedenie i tekhnologiya metallov* [Material Science and Technology of Metals]. Moscow, MGTU n.a. N. E. Bauman Publ., 2002, 646 p.

7. Gershman I. S., Gershman E. I., Mironov A. E. *Ispol'zovanie neravnovesnoy termodinamiki i teorii samoorganizatsii dlya opisaniya tribosistem i razrabotki iznosostoykikh materialov* [The use of nonequilibrium thermodynamics and the theory of self-organization for the description of tribosystems and the development of wear-resistant materials]. Vestnik BGTU, 2016, no. 4 (52), pp. 32–38.

8. Banjac M., Vencl A., Otović S. *Frictionand Wear Processes – Thermodynamic Approach.* Tribology in Industry, 2014, Vol. 36, no. 4, pp. 341–347.

9. Nosonovsky M. *Entropy in Tribology: in the Search for Applications.* Entropy, 2010, Vol. 12, no. 6, pp. 1345–1390.

10. Zakharov S. M., Ermolaev A. A., Mironov A. E., Skvortsov A. E. *Analiz putey sovershenstvovaniya primenyaemykh materialov i tekhnologiy izgotovleniya podshipnikov kolenchatogo vala teplovoznykh dizeley* [Analysis of ways to improve the materials used and technologies for manufacturing bearings of the crankshaft of diesel locomotives]. Tyazheloe mashinostroenie, 2015, no. 6, pp. 11–18.

ABOUT THE AUTHORS

Aleksander E. MIRONOV,
Cand. Sci. (Eng.), leading Expert on innovative projects, Department of scientific-research programs, grants and projects, JSC "VNIIZhT"

Sergey M. ZAKHAROV,
Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher of the Department "Transport materials", JSC "VNIIZhT"

German S. FOKS-RABINOVICH,
Dr. Sci. (Eng.), Chief Researcher, McMaster University, Hamilton, Canada

Maksim M. Zheleznov,
Cand. Sci. (Eng.), Deputy General Director – Head of the scientific-educational complex, JSC "VNIIZhT"

Received 28.03.2017
Accepted 25.05.2017