

Износ баббита Б83 с различной микроструктурой

А. Х. Валеева[†], И. Ш. Валеев, Р. Ф. Фазлыяхметов, А. И. Пшеничнюк

[†]valeevs@mail.ru

Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, ул. Степана Халтурина 39, Уфа, 450001, Россия

Микроструктура и характер неоднородности поверхностных слоев являются определяющими параметрами при прогнозировании разрушения материала при изнашивании. Описание процесса износа является непростой задачей, особенно для материалов с неоднородной структурой. А именно такая структура, будет обладать высокими антифрикционными свойствами: пластичная матрица + твердые изолированные частицы. В полной мере это касается баббитов — сплавов Sn-Sb-Cu, структура которых состоит из трех фаз: матричной α -фазы; крупных кубических кристаллов β -фазы и η -фазы, в виде «звездочек» и «игл». Частицы β -фазы в баббите обладают низкой пластичностью, достаточно хрупкие и отзываются на скалывающие напряжения, возникающие при испытании на износ раньше или одновременно с матричной фазой. Возникает предположение, что если получить баббит с микроструктурой, в которой α -фаза будет равномерно замощена мелкими частицами β -фазы, можно будет избежать этапа приработки. В качестве объекта исследования выбран баббит Б83 химического состава Cu - 5,5-6,5% (масс.), Sb - 10-12% (масс.), Sn-остальное. Проведены исследования изнашивания баббита Б83, полученного способами литья и жидкой штамповки. Баббит, полученный литьем, характеризуется микроструктурой с крупными кубическими частицами β -фазы SnSb размером 100—200 мкм, мелкой η -фазой в виде крупных игл соединения Cu_6Sn_5 . В баббите, полученном жидкой штамповкой, формируется мелкозернистая структура, происходит измельчение частиц β -фазы до 40—50 мкм, η -фаза приобретает глобулярную форму. Жидкая штамповка приводит к значительному упрочнению баббита Б83, при этом микротвердость α -фазы увеличивается примерно в 2,5 раза, микротвердости β - и η -фаз возрастают примерно на 10%, по сравнению с литым баббитом. Показано, что жидкая штамповка приводит к формированию структуры с равномерно распределенными мелкими частицами интерметаллических фаз, износ которой характеризуется отсутствием этапа приработки и низкой потерей массы, как при одинарной, так и при двойной нагрузке.

Ключевые слова: антифрикционный материал, износ, кристаллизация, оловянные баббиты

Wear of babbitt B83 with different structure

A. Kh. Valeeva, I. Sh. Valeev, R. F. Fazlyakhmetov, A. I. Pshenichnyuk

Institute for Metals Superplasticity Problems RAS, 39 Khalturin St., Ufa, 450001, Russia

Wear is a specific form of destruction that consists of the removal of material from the friction surface. Even for uniform (from the viewpoint of mechanical properties) surfaces of a contact pair, the determination of the wear mechanism and the calculation of the wear rate are complex problems. The description of the wear of materials with an inhomogeneous structure is causing some difficulties. Among such materials are SnSbCu alloys. Their structure consists of three phases: the matrix α -phase; the β -phase and the η -phase. The particles of the β -phase in the babbitt possess low plasticity, and respond to the shearing stresses that appear during the wear test before or simultaneously with the matrix phase; *i.e.*, the particles of wear can be formed as a result of the cleavage of hard inclusions of the β -phase. Therefore, it can be supposed that this process is responsible for the mechanism of running-in during the wear tests of cast babbitt. As the material for the investigation, the cast commercial babbitt B83 (Sn11.5Sb5.5Cu) was used. Investigations were carried out on the samples obtained by casting and liquid forging. The cast babbitt characterized by a microstructure with β -phase particles with sizes of 100—200 microns and η -phase in the form of large needles. In the babbitt obtained by the liquid forging, the fine-grained structure was formed, the size of β -phase particle reduced up to 40—50 microns, η -phase became to globular shape. It has been shown that the liquid forging leads to a structure with uniformly distributed fine particles of intermetallic phases, which is characterized by the absence of wear running-in stage and low weight loss, both at single and in double loads.

Keywords: antifricition materials, wear, crystallization, tin babbitts

Введение

Микроструктура и характер неоднородности поверхностных слоев являются определяющими параметрами при прогнозировании разрушения материала при изнашивании. Изнашивание — разрушение и удаление материала с поверхности трения, чаще всего происходит в результате трещинообразования и отделения фрагментов (частиц износа) с поверхности трения. На типичной зависимости износа от времени испытания выделяется три стадии [1]. Начальный период процесса изнашивания ($0 < t < t_1$) называется приработкой. После режима приработки наступает стадия установившегося износа. Во время этой стадии процесса изнашивания ($t_1 < t < t_2$) износ является линейной функцией времени. Третья стадия — катастрофический износ.

В целом, описание процесса износа является непростой задачей, особенно для материалов с неоднородной структурой. А именно такая структура, согласно правилу Шарпи [2], будет обладать высокими антифрикционными свойствами: пластичная матрица + твердые изолированные частицы. В полной мере этому правилу соответствует структура баббитов — сплавов Sn-Sb-Cu. Она состоит из трех фаз: матричная α -фаза является твердым раствором сурьмы и меди в олове; β -фаза представляет собой крупные светлые кубические кристаллы интерметаллида SnSb; η -фаза, в виде «звездочек» и «игл», является соединением Cu_6Sn_5 [2, 3].

При испытании на износ баббитов установлено [4], что α -фаза изнашивается быстрее, чем другие фазы, и происходит постепенное обогащение поверхности трения β и η -фазами. Это объясняется тем, что твердые фазы, воспринимая местные давления, погружаются в мягкую α -фазу. Поэтому неровности контртела оказывают абразивное действие в основном на поверхность α -фазы и одновременно вызывают ее пластическое деформирование. В результате чего α -фаза растекается сплошным слоем по твердым фазам, создавая полосчатую поверхность.

Однако частицы β -фазы в баббите обладают низкой пластичностью, достаточно хрупкие и отзываются на скалывающие напряжения, возникающие при испытании на износ раньше или одновременно с матричной фазой. Таким образом, особенно на этапе приработки, частицы износа могут формироваться не только из мягкой матричной фазы, но и при раскалывании твердых включений β -фазы, которые внедряются в мягкую α -фазу. И после того, как вся поверхность матричной фазы оказывается равномерно замощенной мелкими частицами расколотой β -фазы, этап приработки заканчивается и наступает стадия установившегося износа. Кроме того, известно, что измельчение частиц второй фазы является наиболее эффективным механизмом упрочнения сплавов баббита [4—7], в результате чего повышается и износостойкость.

Возникает предположение, что если получить баббит с микроструктурой, в которой α -фаза будет равномерно замощена мелкими частицами β -фазы, можно будет избежать этапа приработки. Цель работы — установить параметры микроструктуры баббитового сплава Б83, исключаяющие стадию приработки при износе.

Материалы и методики

В качестве объекта исследования выбран баббит Б83 химического состава Cu - 5,5—6,5% (масс.), Sb - 10—12% (масс.), Sn-остальное.

Испытания проводили на образцах, полученных двумя разными способами: стандартным литьем сифонным способом в металлическую стальную форму и жидкой штамповкой.

Структуру и микротвердость образцов по Викерсу исследовали методами оптической металлографии на микроскопе Axiovert100, с программой обработки изображения KSLite и приставкой «МНТ-10». Для выявления структуры баббита образцы подвергали химическому травлению 4%-ным раствором азотной кислоты в этиловом спирте.

Износ определяли по потере массы образца в результате трения. Образцы одинаковой площади и радиусом рабочей поверхности $r=25$ мм, предварительно притирали к контртелу — диску на машине трения СМЦ-2 по схеме «диск-колодка». Диск, диаметром $\varnothing=50$ мм и шириной 12 мм, выполнен из стали 40Х. Частота вращения диска при испытаниях на износ составляла 300 об/мин. Нагрузка на образец при испытаниях на износ составляла $P_1=321,7$ Н (одинарная), и $P_2=606,9$ Н (двойная), что соответствовало значениям давления на площади контакта $p_1=5,3$ МПа и $p_2=10$ МПа. По результатам предварительных испытаний определены: путь трения до взвешивания $L_{\text{тр}(i)}=31,4$ м; путь трения на установившейся стадии износа $L=2100$ м. Скорость износа определяли дифференцированием кривых потери массы (dG/dL).

Обычно подшипники скольжения работают в условиях гидродинамической смазки, когда между валом и вкладышем подшипника находится толстый слой масла. Однако в период пуска и на этапе приработки может осуществляться режим граничного трения, характеризующийся гораздо более сильным износом. Поэтому изнашивание осуществляли в режиме граничного трения, при смазывании диска компрессорным маслом КС-19 перед каждым испытанием. Взвешивание образцов осуществляли на аналитических весах ALC210d4.

Исследование поверхности износа после изнашивания проводили на растровом электронном микроскопе VEGA3 TESCAN.

Результаты и обсуждения

Баббит, полученный литьем, характеризуется микроструктурой с крупными кубическими частицами β -фазы SnSb размером $D=100—200$ мкм, мелкой η -фазой в виде крупных игл соединения Cu_6Sn_5 (рис.1а). Объемная доля интерметаллидных фаз составляет 33,4%. В баббите, полученном жидкой штамповкой, формируется мелкозернистая структура, происходит измельчение частиц β -фазы до $d=40—50$ мкм (рис.1б), η -фаза приобретает глобулярную форму. Объемная доля интерметаллидных фаз составляет 22,6%.

Микротвердость различных фаз до испытаний на из-

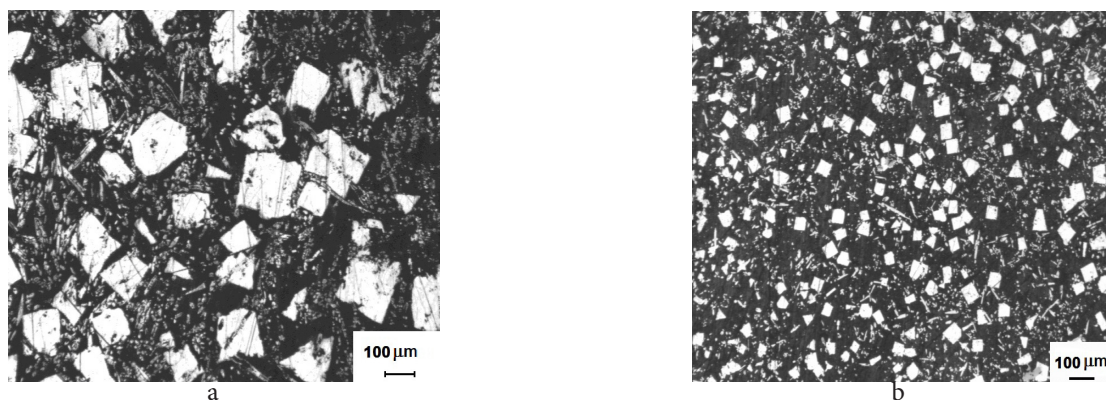


Рис. 1. Микроструктура баббита B83, полученного (а) литьем, (б) жидкой штамповкой.

Fig. 1. Microstructure of babbit B83 received by (a) casting, (b) liquid forging.

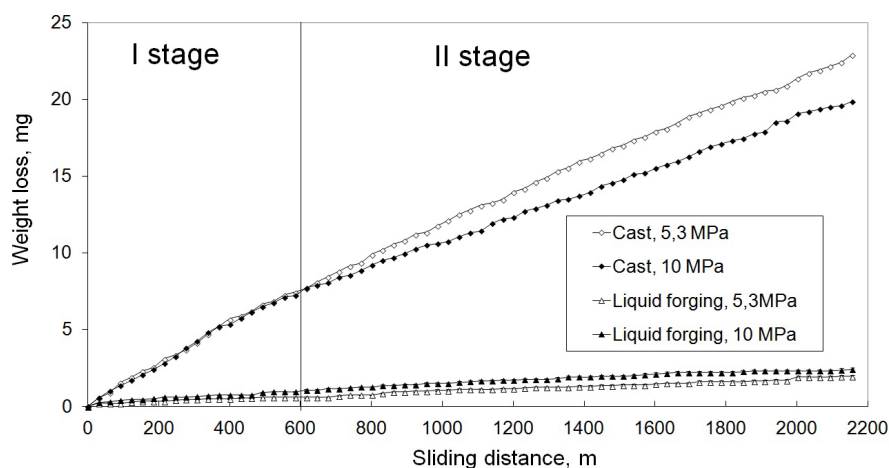


Рис. 2. Кривые изнашивания баббита B83.

Fig. 2. Wear curves of tin babbit.

нос представлена в таблице. Жидкая штамповка приводит к значительному упрочнению баббита B83, при этом микротвердость α -фазы увеличивается примерно в 2,5 раза, микротвердости β - и η -фаз возрастают примерно на 10%, по сравнению с литым баббитом.

Зависимости износа литого баббита имеют четко выделяемые две стадии, как при одинарной, так и при двойной нагрузке (рис.2). На первой стадии — стадии приработки (до 600 м) — кривые износа при двой-

ной и при одинарной нагрузке совпадают, что противоречит большинству известных уравнений [1], в которых устанавливается прямая зависимость между скоростью износа и контактным давлением. При этом скорость износа на начальном этапе составляет 0,0167 мг/м, далее она постепенно снижается, и к концу стадии приработки составляет 0,0093 мг/м. При дальнейшем испытании скорость износа при одинарной нагрузке не изменяется, микротвердость α и β -фаз литого баббита незначительно

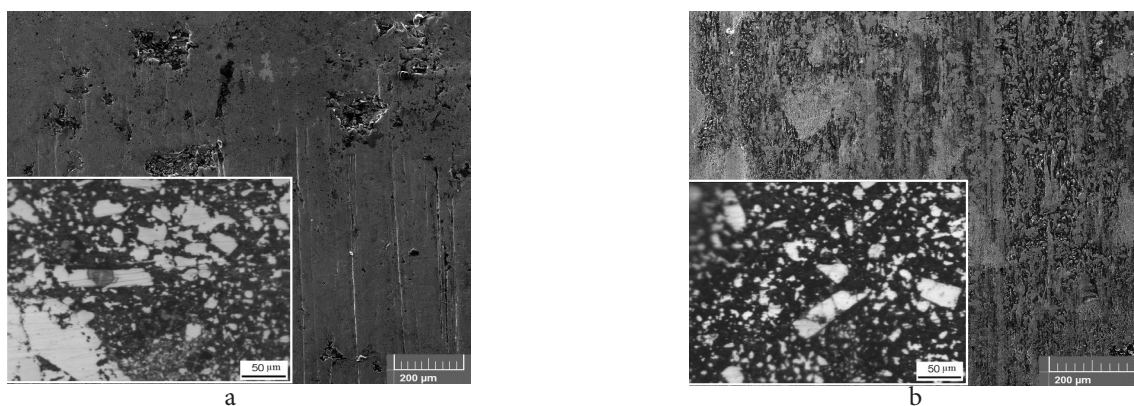


Рис. 3. Оптическая и электронная микроскопия поверхности износа литого баббита: (а) при одинарной нагрузке (5,3 МПа), (б) при двойной нагрузке (10 МПа).

Fig. 3. Optical and electron microscopy of the wear surface of cast babbit: (a) under single load (5.3 MPa), (b) under double load (10 MPa).

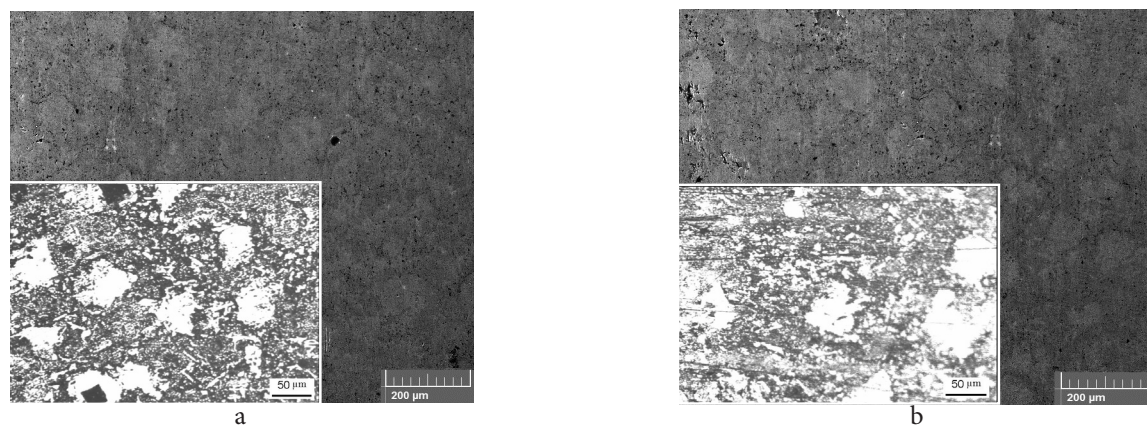


Рис. 4. Оптическая и электронная микроскопия поверхности износа баббита, полученного жидкой штамповкой: (а) при одинарной нагрузке (5,3 МПа), (b) при двойной нагрузке (10 МПа).

Fig. 4. Optical and electron microscopy of the wear surface of babbit, obtained by liquid forging: (a) under single load (5.3 MPa), (b) under double load (10 MPa).

возрастает, η -фазы — снижается. При двойной нагрузке происходит снижение скорости износа до 0,0081 мг/м на стадии установившегося износа. Снижение скорости износа при двойной нагрузке может быть объяснено упрочнением матричной фазы и более сильным измельчением интерметаллидных фаз, что приводит, согласно уравнению И. В. Крагельского, к снижению силы трения, отнесенной к площади фактического контакта [8], а, следовательно, и скорости износа.

Исследования микроструктуры образцов после испытаний показали, что в литом образце при изнашивании с одинарной нагрузкой происходит измельчение крупных частиц β -фазы и распределение измельченных твердых частиц в мягкой матрице, кроме того наблюдается удаление крупных частиц с образованием каверн на поверхности (рис.3а).

При испытаниях с двойной нагрузкой в результате пластической деформации и разогрева при трении происходит более полное диспергирование частиц β -фазы в матричной фазе. При этом наблюдается образование гладкой полированной поверхности, сопровождающееся пониженным износом (рис.3б).

Изнашивание образцов, полученных жидкой штам-

повкой показало, что сформированное при жидкой штамповке равномерное распределение интерметаллидных частиц в значительно упрочненной матричной фазе приводит к тому, что стадия приработки при износе отсутствует (рис.2). Изнашивание на всей дистанции испытаний протекает с одинаковой скоростью, которая составляет 0,0009 мг/м при одинарной нагрузке и 0,0011 мг/м при двойной.

Исследования микроструктуры образцов, полученных жидкой штамповкой, после изнашивания показали, что при трении с одинарной нагрузкой происходит разрушение частиц β -фазы по краям, скалывание острых углов. Так как матричная фаза достаточно твердая и уже плотно замощена очень твердыми частицами интерметаллидных фаз, наблюдается удаление образовавшихся мелких частиц с возникновением мелкой пористости (рис.4а).

При испытаниях с двойной нагрузкой в результате более сильного разогрева происходит заметное снижение микротвердости (на 30%) матричной α -фазы (табл.1), и ослабление связи твердых частиц с матрицей, поэтому наблюдается выкрашивание частиц β -фазы (рис.4б).

Таблица 1. Микротвердость фаз баббита Б83 до и после испытаний на износ

Table 1. Microhardness of babbit B83 phases before and after wear tests

Состояние баббита Б83 \ Condition of babbit B83		Микротвердость фаз, МПа		
		Microhardness of phases, MPa		
		α	β	η
Литой \ Cast	До износа Before wear	188	1009	3036
	После износа с одинарной нагрузкой After wearing under single load	193	1047	2874
	После износа с двойной нагрузкой After wearing under double load	199	1142	2863
Полученный жидкой штамповкой \ Obtained by liquid forging	До износа Before wear	468	1133	3452
	После износа с одинарной нагрузкой After wearing under single load	436	1123	3162
	После износа с двойной нагрузкой After wearing under double load	340	1064	2809

Заключение

Таким образом показано, что диспергирование крупных интерметаллидных частиц β -фазы (SnSb) с формированием достаточно однородной и равномерно замощенной твердыми мелкими частицами структуры в баббите приводит к отсутствию этапа приработки при изнашивании как при одинарной, так и при двойной нагрузке.

Литература / References

1. I.G. Goryacheva. Mechanics of Friction Interaction. M. Nauka. (2001) 478p. (in Russian) [И.Г. Горячева. Механика трения и взаимодействия. М. Наука (2001) 478 с.]
2. I.M. Lyubarskii, I.S. Palatnik. Metallophysics of Friction. M. Metallurgy. (1976) 176 p. (in Russian) [И.М. Любарский, И.С. Палатник. Металлофизика трения. М. Металлургия (1976) 176 с.]
3. L.G. Korshunov, N.I. Noskova, A.V. Korznikov, N.L. Chernenko, N.F. Vil'Danova. The Physics of Metals and Metallography. **108** (5), 519—526 (2009).
4. A.D. Kuritsyna. Wear and Friction in Machines. M. Academy of Sciences USSR. (1962) 496 p. (in Russian) [А.Д. Курицына. Трение и износ в машинах. М. Академия наук СССР (1962) 496 с.]
5. F.A. Sadykov, N.P. Barykin, I.Sh. Valeev, V.N. Danilenko. Journal of Materials Engineering and Performance. **12** (1), 29—36 (2003).
6. F.A. Sadykov, N.P. Barykin, I.Sh. Valeev. Strength of Materials. **34** (2), 196—199 (2002).
7. N.P. Barykin, R.F. Fazlyakhmetov, A.Kh. Valeeva. Metal Science and Heat Treatment. **48** (1-2), 88—91 (2006).
8. I.V. Kragelskyi. Friction and Wear. M. Mashinostroyenie. (1968). 480 p. (in Russian) [И.В. Крагельский. Трение и износ. М. Машиностроение (1968) 480 с.]