

Influence of the structural state on mechanical properties of tin babbit under upsetting

I. Sh. Valeev, A. Kh. Valeeva[†], A. Kh. Akhunova

[†]valeevs@mail.ru

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

The behavior of a material in extreme regimes of operation in large constructions can be calculated with the use of modern software codes (ANSYS, DEFORM, LS-Dyna). However, they do not have a sufficient basis for the properties of metals and alloys. Therefore, it is necessary to input experimental mechanical properties of a studied material for an adequate description of a process. The present work aims to obtain the mechanical properties of babbit Sn11%Sb5,5%Cu in different structural states for a use in computer modeling in the software product Deform. As an object of the study, babbit of a chemical composition Cu 5.5–6.5 wt.%, Sb 10–12 wt.%, Sn — rest was chosen. Two different structural states of the alloy were obtained at different crystallization rates: the first by casting with air cooling and the second by casting with cooling in running water (rapid cooling). The mechanical properties were determined by upsetting tests according to GOST 8817–82 standart. An Axiovert-100A microscope with the KSLite image processing program was used for optical metallography. A finite element simulation of a large-sized sliding bearing during operation in a two-dimensional formulation was carried out using the DEFORM-2D software. To evaluate the degree of destruction of the bearing during operation a scalar parameter of damage was determined using the model of metal damage accumulation during monotonic deformation. It is shown that rapid cooling leads to the formation of a structure with small intermetallic particles uniformly distributed in the matrix phase. Such a structure is characterized by enhanced mechanical properties, and computer simulation allows predicting its high wear resistance in a large-sized sliding bearing during operation.

Keywords: babbit, mechanical properties, structure, computer modeling.

Механические свойства баббита Б83 с различной структурой при осадке

Валеев И. Ш., Валеева А. Х.[†], Ахунова А. Х.

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

Современные пакеты прикладных программ (ANSYS, Deform, LS-Dyna) позволяют рассчитать поведение материала при предельных или аварийных режимах работы для конструкций любого размера. Однако они не имеют достаточной базы по свойствам металлов и сплавов, поэтому для адекватного описания процесса необходимо вводить экспериментальные механические свойства исследуемого материала. Цель работы — получить механические свойства баббита Б83 с различным структурным состоянием, для использования при компьютерном моделировании в среде программного продукта DEFORM. В качестве объекта исследования выбран баббит Б83 химического состава Cu — 5,5–6,5% вес., Sb — 10–12%, Sn — ост. с двумя различными структурными состояниями, полученными при разной скорости кристаллизации в результате литья в форму с охлаждением на воздухе и при литье в форму с охлаждением проточной водой (скоростное охлаждение). Механические свойства определяли при испытаниях на осадку согласно ГОСТ 8817–82. Оптическую металлографию проводили на микроскопе «Axiovert-100А», с программой обработки изображения KSLite. С помощью пакета прикладных программ DEFORM-2D было проведено компьютерное моделирование работы крупногабаритного подшипника скольжения в двумерной постановке. Для оценки степени разрушения подшипника определяли скалярный параметр поврежденности с использованием модели накопления поврежденности металла при монотонной деформации. Показано, что скоростное охлаждение приводит к формированию структуры с мелкими, раздробленными частицами интерметаллидных фаз, равномерно распределенными в матричной фазе. Такая структура характеризуется повышенными механическими свойствами, а компьютерное моделирование позволяет прогнозировать ее высокую стойкость при изнашивании вкладыша из баббита Б83 при работе крупногабаритного подшипника скольжения.

Ключевые слова: баббит, механические свойства, структура, компьютерное моделирование.

1. Введение

Высокооловянистый баббит Б83 широко используется в качестве материала для вкладышей подшипников скольжения многих крупногабаритных агрегатов (например, турбин гидроэлектростанций) [1,2]. Структура Б83 состоит из трех фаз: α -фазы, являющейся твердым раствором сурьмы и меди в олове, β -фазы, представляющей собой кристаллы SnSb с гексагональной и ромбоэдрической решеткой и мелкой η -фазы (Cu_6Sn_3). Эксплуатационные свойства баббита в значительной степени определяются его структурой и механическими свойствами [2]. Известно, что измельчение крупных интерметаллидных частиц, приводит к повышению усталостной прочности и способствует увеличению ресурса работы подшипников скольжения [3–6]. В настоящее время существуют методы, позволяющие произвести расчетное обоснование прочностной надежности любой конструкции. С использованием компьютерного моделирования появляется возможность рассчитать поведение материала при предельных или аварийных режимах работы для конструкций любого размера. Известные пакеты прикладных программ (ANSYS, DEFORM, LS-Dyna) не имеют достаточной базы по свойствам металлов и сплавов, поэтому для адекватного описания процесса необходимо вводить экспериментальные механические свойства исследуемого материала. Однако в литературе недостаточно информации о влиянии структуры, в частности, размера β -фазы на механические свойства баббита Б83.

Цель работы — получить механические свойства баббита Б83 с различным структурным состоянием, для использования при компьютерном моделировании в среде программного продукта DEFORM-2D.

2. Материалы и методики

В качестве объекта исследования выбран баббит Б83 химического состава (Cu — 5,5–6,5% вес., Sb — 10–12%, Sn — ост.) с двумя различными структурными состояниями, полученными при различной скорости кристаллизации, в результате литья в форму с охлаждением на воздухе и при литье в форму с охлаждением проточной водой (скоростное охлаждение). Обычное литье использовали, так как это стандартный промышленный способ получения баббитового вкладыша при заливке подшипника скольжения. Скоростное охлаждение при литье позволяет получить мелкие частицы β -фазы [3,5,7], что обычно повышает триботехнические характеристики исследуемого сплава.

Испытания на осадку выполнялись согласно ГОСТ 8817–82. Образцы с квадратным поперечным сечением площадью 100 мм² и высотой 15 мм подвергались деформации осадкой до степени деформации 65% при температуре $T = 20^\circ\text{C}$ и скоростях деформации $\dot{\epsilon} = 10^{-4} - 10^{-2} \text{ c}^{-1}$ на универсальном динамометре фирмы «Instron». Осаживали по 3 образца на каждую скорость деформации, ошибка измерений составляла $\pm 3\%$.

Для выявления структуры баббита образцы сначала подвергали механической полировке, затем — химиче-

скому травлению раствором азотной и уксусной кислоты в глицерине [8]. Оптическую металлографию проводили на микроскопе «Axiovert-100A», с программой обработки изображения KSLite.

Компьютерное моделирование разрушения подшипника в результате давления вала при отсутствии масла (аварийные условия работы) проводили в двумерной постановке с помощью пакета прикладных программ DEFORM-2D. Подшипник состоял из трех элементов: корпуса из чугуна с геометрическими размерами 400×200 мм по осям X и Y, соответственно; вкладыша из баббита Б83 в виде полукольца с внутренним диаметром 300 мм и толщиной 6 мм; а также вращающегося вала диаметром 300 мм.

Конечно-элементная модель подшипника приведена на рис. 1. Валу задавались свойства абсолютно жесткого тела, вкладыш и корпус принимались упруго-пластичными. В качестве материала корпуса был выбран сплав из стандартной библиотеки DEFORM-2D, близкий по свойствам к чугуну. Материал образцов описывался полученными экспериментальными кривыми «напряжение-деформация». Контактные условия на границе «вал-вкладыш» описывались моделью трения сдвига (shear). Величина коэффициента трения принималась равной 0.3.

Деформируемые тела разбивали на двадцатиузловые изопараметрические конечные элементы с квадратичной аппроксимацией поля перемещений. Количество элементов вкладыша и корпуса — 4150 для каждого. Скорость вращения вала составляла 314 рад/с, время вращения — 5 часов. Испытания проводились при комнатной температуре.

Для оценки степени разрушения подшипника скольжения при работе в результате давления крутящегося вала определяли скалярный параметр поврежденности с использованием предложенной В.Л. Колмогоровым формулы

$$\Psi = \sum \Delta\Lambda / \Lambda_p [K],$$

где $\Delta\Lambda$ — приращение степени деформации сдвига, Λ_p — предельная степень деформации при данном коэффициенте жесткости напряжённого состояния [K] [9–10].

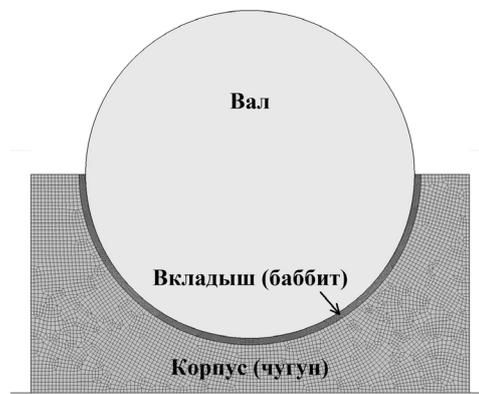


Рис. 1. Конечно-элементная модель подшипника, состоящего из вала, вкладыша и корпуса.

Fig. 1. Finite element model of the bearing consists a shaft, a bushing and the shell.

3. Результаты и обсуждение

Микроструктура баббита Б83, полученного при различной скорости кристаллизации, представлена на рис. 2.

На фотографиях, полученных оптической металлографией, видно, что баббит в литом состоянии характеризуется микроструктурой с крупными кубическими частицами β -фазы SnSb размером 100–200 мкм и η -фазой в виде крупных звездочек — игл соединения Cu_6Sn_5 , неравномерно распределенными в матричной α -фазе (рис. 2а). Повышение скорости кристаллизации при охлаждении водой приводит к уменьшению размера β -фазы на порядок, кроме того иглы η -фазы не успевают вырасти, оставаясь мелкими глобулярными частицами, при этом обе интерметаллидные фазы равномерно распределены в матрице (рис. 2б).

На рис. 3 приведены кривые «напряжение-деформация», полученные при осадке образцов из баббита Б83 с различной скоростью деформации. Видно, что при низкой скорости деформации, характер кривых практически одинаков, в то время как ее повышение приводит к более значительному росту напряжений в случае баббита, полученного при литье со скоростным охлаждением.

Компьютерное моделирование, проведенное в среде программного продукта DEFORM-2D, с использованием полученных кривых «напряжение-деформация», позволяет прогнозировать высокую стойкость подшипника с баббитовым вкладышем, полученным по технологии литья со скоростным охлаждением, т.к. скалярный параметр поврежденности, рассчитанный при решении задачи, оказался на порядок ниже в случае его деформирования при аварийной работе (рис. 4).

4. Заключение

1. При испытаниях на осадку образцов из баббита Б83 с разной структурой, образовавшейся в результате изменения скорости кристаллизации, получены кривые «напряжение — деформация», которые использованы для задания механических свойств материала при моделировании в среде программного продукта DEFORM 2D.

2. Компьютерное моделирование позволяет прогнозировать высокую стойкость при аварийной работе крупногабаритного подшипника скольжения со вкладышем из баббита Б83 со структурой с мелкими, раздробленными частицами интерметаллидных фаз, равномер-

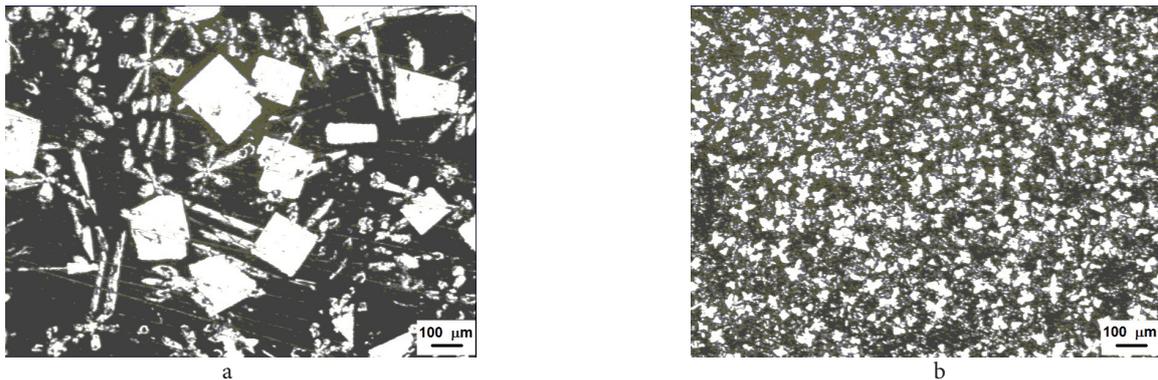


Рис. 2. Микроструктура баббита Б83: а) обычное литье, б) литье со скоростным охлаждением.

Fig. 2. Microstructure of babbit Sn 11%Sb5.55Cu: a) casting, b) casting with rapid cooling.

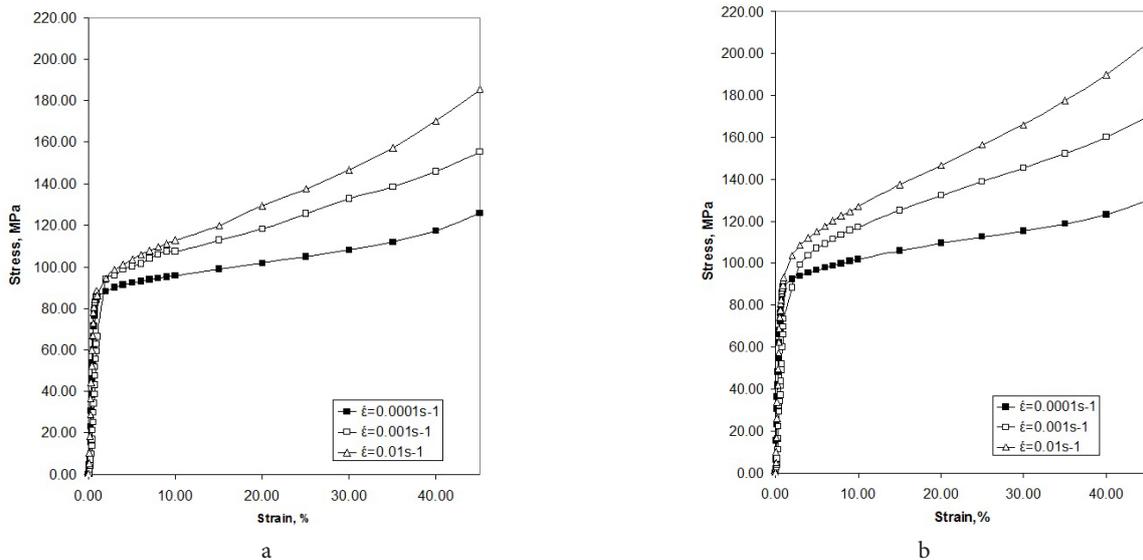


Рис. 3. Кривые «напряжение-деформация» баббита Б83 при различной скорости деформации: а) обычное литье, б) литье со скоростным охлаждением.

Fig. 3. Curves «stress — strain» of babbit Sn11%Sb5.55Cu at different strain rate: a) casting, b) casting with rapid cooling.

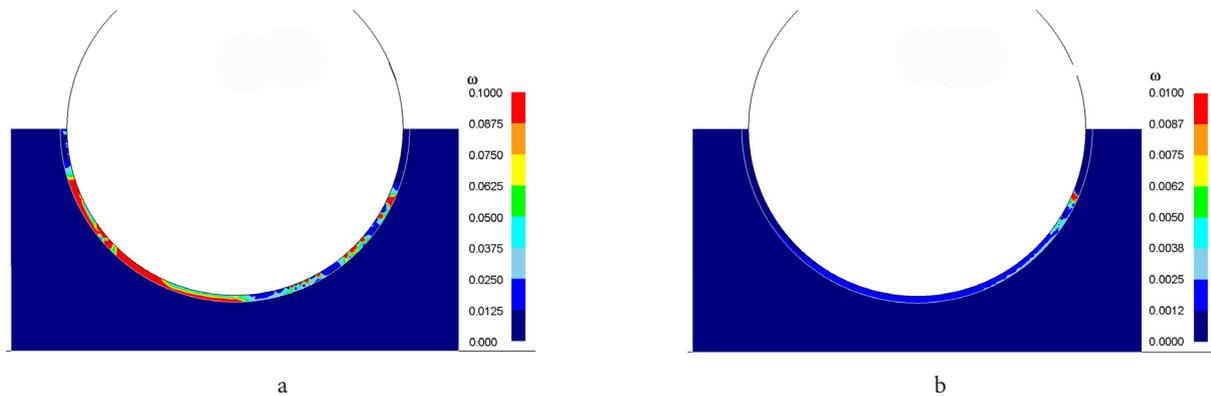


Рис. 4. Скалярный параметр поврежденности для подшипника со вкладышем из баббита Б83, полученным а) литьем, б) литьем со скоростным охлаждением.

Fig 4. Scalar parameter of damage for a bearing with a bushing out of babbitt Sn11Sb5.5Cu, obtained by a) casting, b) casting with rapid cooling.

но распределенными в матричной фазе, т.к. скалярный параметр поврежденности, рассчитанный при решении задачи, оказался на порядок ниже.

Литература/References

1. A. I. Shpagin. Antifrictional alloys. M.: Metallurgya (1956) 326 p. (in Russian) [А.И. Шпагин. Антифрикционные сплавы. М.: Металлургия (1956) 326 с.]
2. Wear-resistant materials in chemical machine building. Handbook. Ed. Yu. M. Vinogradov. L.: Mashinostroyenie (1977) 256 p. (in Russian) [Износостойкие материалы в химическом машиностроении. Справочник. Под ред. Ю.М. Виноградова. Л.: Машиностроение (1977) 256 с.]
3. F. A. Sadykov, N. P. Barykin, I. Sh. Valeev, V. N. Danilenko. Journal of Materials Engineering and Performance. 12, 29 – 36 (2003).
4. I. M. Lyubarskii, L. S. Palatnik. Metallofizika of friction. M.: Metallurgy (1976) 176 p. (in Russian) [И.М. Любарский, Л.С. Палатник. Металлофизика трения. М.: Металлургия (1976) 176 с.]
5. F. A. Sadykov, N. P. Barykin, I. Sh. Valeev. Strength of Materials 34, 196 – 199 (2002).
6. N. P. Barykin, R. F. Fazlyahmetov, A. Kh. Valeeva. Metal science and Heat Treatment. 48, 88 – 91 (2006).
7. A. Kh. Valeeva, I. Sh. Valeev, R. F. Fazlyakhmetov. Journal of Friction and Wear. 35. №4, 311 – 315 (2014). DOI: 10.3103/S1068366614040138
8. V. S. Kovalenko. Metallurgical reagents. M.: Metallurgya (1981) 120 p. (in Russian) [В.С. Коваленко. Металлографические реактивы. М.: Металлургия (1981) 120 с.]
9. V. L. Kolmogorov. Plasticity and destruction. M.: Metallurgy (1977) 336 p. (in Russian) [В.Л. Колмогоров Пластичность и разрушение. М.: Металлургия (1977) 336 с.]
10. A. A. Bogatov. Mechanical properties and metals destruction methods. Ekaterinburg: Ural State Technical University (2002) 329 p. (In Russian) [А.А. Богатов. Механические свойства и методы разрушения металлов: Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ — УПИ (2002) 329 с.]