

# Микроструктура и свойства электроосажденного сплава SnSbCu

Валеева А.Х.<sup>†</sup>, Валеев И.Ш., Фазлыяхметов Р.Ф.

<sup>†</sup>valeevs@mail.ru

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

Исследованы электроосажденные покрытия сплавом SnSbCu, по химическому составу близкие к баббиту B83. Методом рентгеноструктурного анализа (РСА) показано, что покрытия и по фазовому составу близки к баббиту. Полученные покрытия обладают высокой износостойкостью на этапе приработки.

**Ключевые слова:** электроосаждение, рентгеноструктурный анализ (РСА), микроструктура, износ.

## Microstructure and properties of electrodeposited SnSbCu alloy

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

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

Electrodeposited coatings by SnSbCu alloy, with chemical composition close to the B83 babbitt were investigated. X-ray structural analysis showed that the coatings have phase composition close to babbitt. The coatings have high wear resistance at the stage of running-in.

**Keywords:** electrodeposition, X-ray diffraction analysis, microstructure, wear.

### 1. Введение

С целью повышения триботехнических характеристик при изготовлении и ремонте многих подшипников скольжения на слой бронзы наносят прирабочные слои баббита ионно-плазменным методом [1, 2]. Баббиты, сплавы на оловянной основе, содержащие сурьму и медь [3, 4], являются широко используемыми антифрикционными сплавами. Так, для подшипников скольжения паровых турбин применяется высокооловянистый баббит B83 (10–12% (масс.) Sb, 5–6% (масс.) Cu, остальное — Sn) [5]. Данный материал обладает следующими структурными особенностями: в мягкой матрице  $\alpha$ -фазы (твердого раствора сурьмы и меди в олове) расположены крупные кристаллы SnSb  $\beta$ -фазы и игольчатые частицы  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$   $\gamma$ -фазы.

При использовании для нанесения баббита ионно-плазменного напыления, бронзовая подложка подвергается интенсивному температурному воздействию, приводящему к существенным изменениям ее структуры и свойств [1,2]. Одним из перспективных способов получения на поверхности вкладышей подшипников скольжения антифрикционного слоя является электроосаждение тройного сплава, близкого по составу к оловянистому баббиту. Электроосаждение имеет несколько преимуществ по сравнению с другими методами, одним из которых является то, что при его применении не нарушается структура и свойства подложки. Также важным преимуществом метода является возможность получить

максимально мелкозернистую структуру и управлять процессом структурообразования.

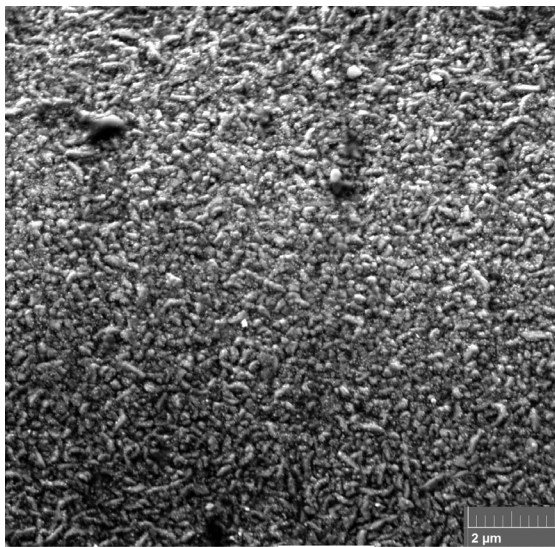
Несмотря на принципиальную возможность электролитического осаждения различных сплавов, установленную в лабораторных условиях, широкое промышленное применение получили только: латунирование, бронзирование, осаждение сплавов золота, олова, магнитных сплавов [6]. Это обусловлено с одной стороны, большой сложностью осаждения сплавов по сравнению с осаждением чистых металлов, с другой — недостаточной изученностью самого механизма процесса осаждения сплавов.

В последнее время появились работы, направленные на разработку электролитов для нанесения антифрикционных сплавов, однако авторы не исследуют микроструктуры полученных покрытий и их износостойкость [7–8], рассматривая только химические параметры процесса электроосаждения.

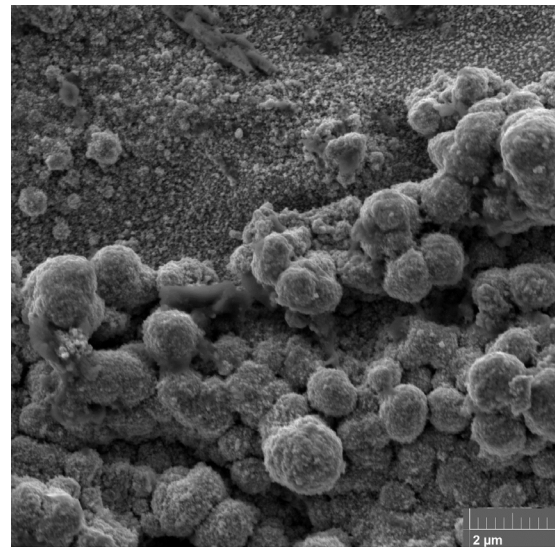
Целью работы является изучение микроструктуры и свойств электроосажденного покрытия, представляющего собой тройной сплав SnSbCu, близкий по составу к оловянистому баббиту B83.

### 2. Материалы и методики

Исследуемый в работе тройной сплав SnSbCu получали электроосаждением. Состав электролита выбирался в соответствии с [9].



а



б

Рис. 1. Микроструктура покрытий, полученных при различной плотности катодного тока: (а) 0,31 мА/мм², (б) 0,47 мА/мм²

Использовали электролит следующего состава:  $\text{SnSO}_4$  20 г/л,  $\text{SbCl}_3$  3 - 4 г/л,  $\text{CuSO}_4$  4 - 6 г/л,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  100 мл/л, формалин (40%-ный раствор) 6 мл/л, глицин 4 г/л, ОП-10 – 4 г/л, добавка Chemeta-RadoM – 20 г/л. Электроосаждение проводили при плотности катодного тока 0,31 мА/мм² и 0,47 мА/мм². Сплав наносили на подложку из бронзы БрОС8-12. Использовали инертный анод из графита.

Анализ химического состава (соотношения компонентов) и исследование микроструктуры полученных покрытий проводили на растровом электронном микроскопе VEGA3 TESCAN.

Рентгеноструктурный анализ проводили на рентгеновском дифрактометре ДРОН 4-07, используя  $\text{CuK}\alpha$  излучение с фокусировкой по Брегу-Брентано со щелями Солера на первичном и дифрагированном пучках и графитовым кристалл-монохроматором на дифрагированном пучке.

Износ определяли по потере массы образца (DG) в результате трения. Образцы одинаковой площади и радиусом рабочей поверхности 25 мм, предварительно притирали к контртелу - диску на машине трения СМЦ-2 по схеме «диск-колодка». Диск, диаметром 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  $P=321,7$ , что соответствовало значению давления на площади контакта  $p=5,3$  МПа. По результатам предварительных испытаний определены: путь трения до точки взвешивания  $L_{\text{пр}}(i)=31,4$  м; путь трения на установившейся стадии износа  $L=1000$  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.

### 3. Результаты и обсуждения

Микроструктура полученных покрытий  $\text{SnSbCu}$  приведена на рис.1.

Покрытие, полученное при  $i_k=0,31$  мА/мм² (рис.1а), обладает однородной мелкозернистой структурой. На покрытии, полученном при  $i_k=0,47$  мА/мм² (рис.1б) начинают образовываться крупные поликристаллы, сильно выступающие над общей поверхностью покрытия.

На рис.2 приведена зависимость химического состава покрытий от плотности катодного тока.

В рассматриваемом диапазоне плотности катодного тока содержание элементов в покрытии практически одинаково (изменяется в пределах ошибки измерений) и составляет Sn 78 – 79%, Cu 10%, Sb 13 – 11%. Полученные покрытия довольно близки по составу к баббиту Б83.

Рентгеноструктурный анализ (рис.3) показал, что в исследуемых покрытиях, присутствуют те же фазы ( $\text{SnSb}$ ,  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ ), что и в сплаве Б83. Количественное содержание указанных фаз приведено в таб.1. Видно, что увеличение

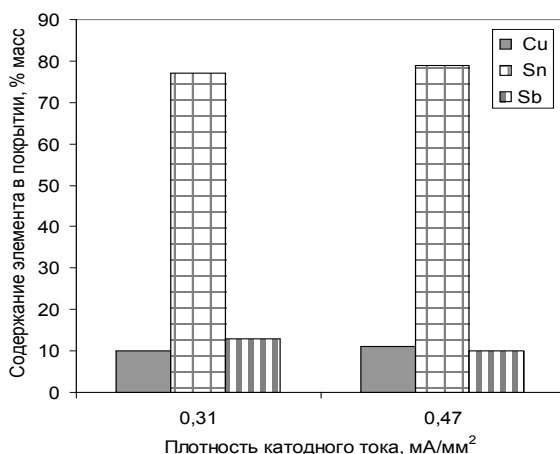


Рис. 2. Химический состав покрытий, полученных при различной плотности катодного тока.

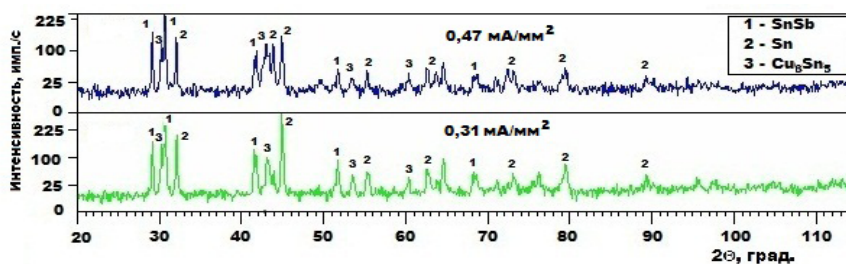


Рис. 3. Дифрактограмма покрытий на бронзе при различной плотности катодного тока.

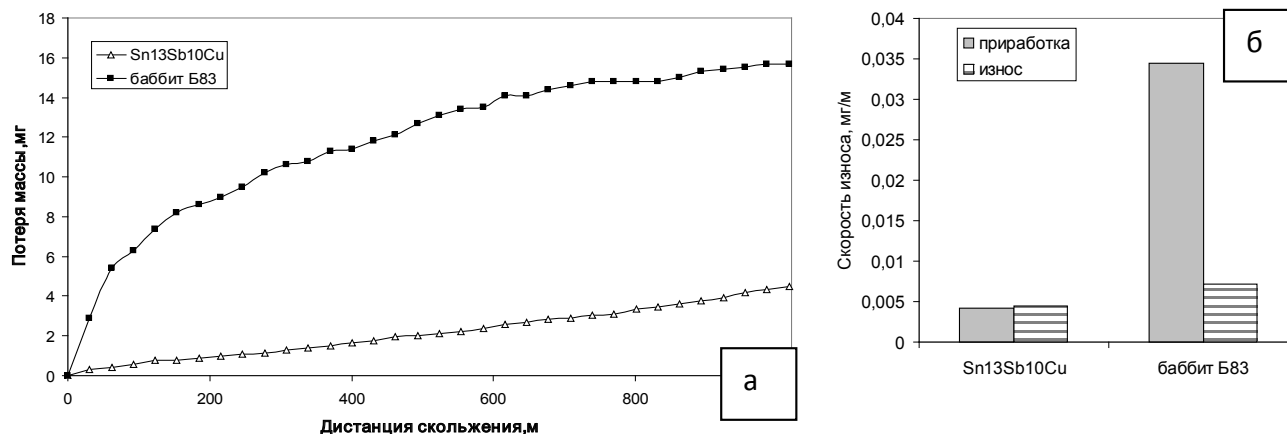


Рис. 4. Зависимость потери массы от дистанции скольжения (а) и скорости износа (б) на стадиях для покрытия Sn13Sb10Cu в сравнении с баббитом Б83.

Таблица 1

Фазовый состав покрытий

Плотность катодного тока, мА/мм²	Содержание фаз, %		
	SnSb (β)	Sn	Cu <sub>6</sub> Sn <sub>5</sub> (γ)
0,31	45,4	40,9	13,7
0,47	24,2	54,8	21

плотности катодного тока приводит к снижению количества b-фазы и росту содержания g-фазы и матричной фазы.

Результаты исследований процесса изнашивания приведены на рис.4. Кривую изнашивания литого баббита условно можно разделить на две стадии — приработка (до 500 м) и стадия устойчивого износа (свыше 500 м). Видно, что на первой стадии износ баббита происходит с высокой скоростью и характеризуется большими значениями. Для исследуемого покрытия характер износа от дистанции скольжения практически не изменяется, т.е. этап приработки отсутствует и потеря массы при износе гораздо ниже, чем у баббита. На этапе устойчивого износа скорости износа баббита и покрытия практически выравниваются, однако следует отметить, что для подшипников скольжения, обычно работающих в режиме масляной гидродинамической смазки, именно период приработки определяет ресурс работы.

## Заключение

Методом электроосаждения получено покрытие тройным сплавом на основе олова, состава Sn13%Sb10%Cu, в котором методом PCA обнаружены фазы, соответствующие литому баббиту Б83: SnSb в количестве 45,4% и Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>—13,7%.

Потеря массы полученного сплава при трении в 4 раза меньше чем у литого баббита Б83.

*Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований ОЭММПУ РАН № 12 «Многоуровневое исследование свойств и поведения перспективных материалов для современных узлов трения» за 2014 год, проект «Исследование поверхностных слоев, полученных электроосаждением и деформационно-термической обработкой антифрикционных материалов на основе олова и меди.*

## Литература

1. V. I. Moschenok, L.B. Glushkova, O.A. Nesterenko. Bulletin of KhNAHU. 38, 48 (2007). (in Russian)
2. J.E. Mahan. Physical vapor deposition of thin films. John Wiley & Sons. (2000) p. 312.
3. A.I. Shpagin. Antifriction alloys. M.:Metallurgizdat. (1956). (in Russian)
4. V.K. Petrychenko. Antifriction materials and sliding bearings. M.:Mashgiz. (1954). (in Russian)
5. M.M. Khrushchev, A.D. Kuritsyna. Friction and wear in machines. 5, 76 (1950). (in Russian)
6. P.M. Vyacheslavov. Electrolytic deposition of alloys. Mashinostroyeniye. (1986) p. 112. (in Russian).
7. G.I. Medvedev, N.A. Makrushin. Journal of Applied Chemistry. 74 (8), 1400 (2001).
8. G.I. Medvedev, N.A. Makrushin, O.V. Ivanova. Russian Journal of Applied Chemistry. 77 (7), 1104 (2004)
9. G.I. Medvedev, N.A. Makrushin. Russian Journal of Applied Chemistry. 77 (11), 1781 (2004).
10. A. K. Valeeva, I. S. Valeev, R. F. Fazlyakhmetov, N. P. Barykin, A. V. Reva. Journal of friction and wear. 33 (1), 34 (2012) .