

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЭНЕРГИЮ СВЯЗИ АТОМОВ ОЛОВА

А. В. Дзюба, аспирант, Сумський національний аграрний університет

Основне своє застосування олово нашло в антифрикционних сплавах (бронзових і баббітових) підшипників скольження, які широко використовуються в більшості відповідних узлов центробежних компресорів, насосів, турбін і інших машин, що працюють при високих швидкостях, навантаженнях і температурах, а також в умовах корозійного, абразивного і інших видів дії робочих середовищ. Решення проблем, пов'язаних з підвищенням строків служби, напряму залежить від підвищення міцності і надійності узлов тріння. створення поверхневих шарів з особыми властивостями для елементів узлов тріння скольження обумовлює важливість і актуальність проблем, а також необхідність їх розв'язання. Як правило в застосуванні антифрикционних сплавів на основі олова використовують оловянно-сур'єчні баббіти B88 і B83 і сплави міді з оловою, так називані оловяні бронзи. Таким чином, в роботі визначається найменше раціональне застосування підшипників скольження, виготовлених з оловянно-сур'єчних баббітів і оловяні бронзи, використовуваних при різних температурах оточуючої середовища в період експлуатації, путем визначення енергії зв'язку атомів олова при різних модифікаціях.

**Ключові слова:** кристаллическа решетка, енергия зв'язки, підшипник скольження, теплота сублімації, поліморфізм.

**Введение.** Олово относится к цветным металлам и применяется в различных отраслях промышленности. В чистом виде его используют при изготовлении коррозионностойких покрытий или в сплавах с другими металлами. Основное промышленное применение олова – в белой жести(лужёное железо) для изготовления тары пищевых продуктов, в припоях для электроники, в домовых трубопроводах, в покрытиях из олова и его сплавов. Большое применение олово нашло при изготовлении антифрикционных сплавов (бронзовых и баббитовых), применяющихся при изготовлении подшипников скольжения.

В связи с широкой сферой применения, работы, направленные на изучение физических, механических, эксплуатационных и других свойств олова и его сплавов важны и актуальны.

### Аналіз публікацій.

Согласно [1], олово (лат. *Stannum*) обозначается символом Sn. Оно является элементом 14-й

группы периодической таблицы химических элементов. Олово полиморфно. В обычных условиях оно существует в виде  $\beta$ -модификации ( $\beta$ -Sn), устойчивой выше  $13,2^{\circ}\text{C}$  и получило название - белое олово.

Белое олово это серебристо-белый, мягкий, пластичный металл, обладающий тетрагональной элементарной ячейкой с параметрами  $a = 0.5831 \text{ нм}$  и  $c = 0.3181 \text{ нм}$  (рис.1.а). Координационное окружение каждого атома олова представляет собой октаэдр. Плотность  $\beta$ -Sn составляет  $7,28 \text{ г/см}^3$ , а температура плавления и кипения соответственно  $231,9^{\circ}\text{C}$  и  $2270^{\circ}\text{C}$ .

При охлаждении, ниже  $13,2^{\circ}\text{C}$ , белое олово переходит в  $\alpha$ -модификацию ( $\alpha$ -Sn), так называемое серое олово. Оно имеет структуру алмаза и кубическую кристаллическую решетку с параметром  $a = 0,6491 \text{ нм}$  (рис.1.б). В сером олоде координационный полиэдр каждого атома – тетраэдр.

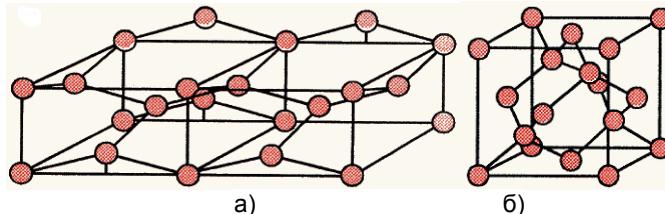


Рисунок 1 – Структура кристаллических решеток олова:  $\beta$ -Sn (а) і  $\alpha$ -Sn (б).

Основное своє застосування олово нашло в антифрикционних сплавах підшипників скольження (ПС), які широко використовуються в більшості відповідних узлов центробежних компресорів, насосів, турбін і інших машин, що працюють при високих швидкостях, навантаженнях і температурах, а також в умовах корозійного, абразивного і інших видів дії робочих середовищ. Решення проблем, пов'язаних з підвищенням строків служби, напряму залежить від підвищення міцності і надійності узлов тріння.

Створення поверхневих шарів з особыми властивостями для елементів узлов тріння скольження обумовлює важливість і актуальність проблем, а також необхідність їх розв'язання.

Антифрикционные свойства трещущихся пар зависят от сочетания материалов вала, подшипника и смазки.

Как правило в качестве антифрикционных сплавов на основе олова используют оловянносурьмянистые баббиты Б88 и Б83, которые заливают на подогретые вкладыши из стали 20 при температуре 450-480 °С [2]. Они содержат в среднем 88 и 83% олова (Sn), 8 и 11% сурьмы (Sb), 3 и 6% меди (Cu), соответственно. Структура этих баббитов состоит из мягкой и пластичной основы, твердого раствора сурьмы в олове и более твердых включений SnSb и Cu<sub>6</sub>Sn<sub>5</sub>.

Согласно [3], ПС – это опоры вращающихся валов. При вращении вал опирается на твердые частицы, обеспечивающие износостойкость, а основная масса, истирающаяся более быстро, прирабатывается к валу и образует сеть микроскопических каналов, по которым циркулирует смазочный материал и уносятся продукты износа [4-5].

Согласно [6], подшипниковые сплавы на основе меди обладают более высокими механическими характеристиками по сравнению с баббитетами. Поэтому для изготовления вкладышей ПС, работающих в более тяжелых условиях (высокие удельные нагрузки, температуры превышающие 90 – 100°C и др.), часто применяют антифрикционные сплавы меди с оловом, так называемые оловянистые бронзы [7].

Снижение температуры олова, ниже 13,2 °С, сопровождается увеличением удельного объема чистого олова на 25,6 %, и оно спонтанно переходит в другое фазовое состояние ( $\alpha$ -Sn), в кристаллической решётке которого атомы располагаются менее плотно.

Следует отметить, что одна модификация переходит в другую тем быстрее, чем ниже температура окружающей среды. При температуре -33 °С скорость превращений становится максимальной, олово трескается и превращается в порошок. Соприкосновение серого олова и белого приводит к «заражению» последнего. Совокупность этих явлений называется «оловянной чумой» [8].

**Постановка задачи.** Ранее в [9] были проведены исследования направленные на изучение влияния полиморфного превращения железа, являющегося подложкой баббитовых ПС, на энергию связи его атомов.

Учитывая то, что олово как и железо

$$\Delta n_{\text{атомов}} = 3,69 \cdot 10^{22} - 2,91 \cdot 10^{22} = 7,8 \cdot 10^{21} (\text{атомов}).$$

Таким образом в  $\beta$ -модификации олова на  $7,8 \cdot 10^{21}$  атомов больше чем в его  $\alpha$ -модификации.

Используя теплоту сублимации ( $Q$ ) для олова, которая составляет согласно [10], 301 кДж/г атом, определим энергию связи его атомов. Так как в  $\beta$ -Sn атомов больше, чем в  $\alpha$ -Sn, то для их разъединения необходимо затратить и большую энергию, соответственно и энергия

подтвержено полиморфным превращениям, представляет научный и практический интерес определить энергию связи его атомов при различных модификациях.

Таким образом, целью работы является определение наиболее рационального применения подшипников скольжения, изготовленных из оловянносурьмянистых баббитов и оловянистых бронз используемых при различных температурах окружающей среды в период эксплуатации, путем определения энергии связи атомов олова при различных модификациях.

**Изложение основного материала.** Для определения энергии связи атомов необходимо определить количество атомов в объеме каждой модификации решетки олова. Определяем массу одного атома олова ( $m_a$ ) через его относительную атомную массу и атомную единицу массы.

$$m_a = Ar_{\text{Sn}} \cdot 1 \text{ а.е.м.}, \quad (1)$$

где  $Ar_{\text{Sn}}=118,69$  – относительная атомная масса олова,

$1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-24}$  – атомная единица массы.

$$m_a = 118,69 \cdot 1,66 \cdot 10^{-24} = 1,97 \cdot 10^{-22} \text{ г/атом.}$$

Зная плотность олова и массу его атома, находим количество атомов ( $n_a$ ) в объеме каждой модификации решетки олова по формуле

$$n_a = \frac{\rho}{m_a}, \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность олова при разных модификациях решетки.

Для  $\beta$ -Sn

$$n_{\beta-\text{Sn}} = \frac{7,28}{1,97 \cdot 10^{-22}} = 3,69 \cdot 10^{22} \text{ атом/см}^3.$$

Для  $\alpha$ -Sn

$$n_{\alpha-\text{Sn}} = \frac{5,75}{1,97 \cdot 10^{-22}} = 2,91 \cdot 10^{22} \text{ атом/см}^3.$$

Определяем разницу ( $\Delta n_a$ ) атомов олова в  $1 \text{ см}^3$  в зависимости от типа кристаллической решетки.

$$\Delta n_{\text{атомов}} = n_{\beta-\text{Sn}} - n_{\alpha-\text{Sn}}. \quad (3)$$

связи атомов в  $\beta$ -Sn должна быть больше чем в  $\alpha$ -Sn.

В одном моле олова находится  $6,022 \cdot 10^{23}$  атомов ( $N_A$ ). Следовательно на один атом олова затрачивается энергия ( $E_a$ ).

$$E_a = \frac{Q}{N_A}, \quad (4)$$

$$E_a = \frac{301 \cdot 10^3}{6,022 \cdot 10^{23}} = 49,98 \cdot 10^{-20} \text{ Дж.}$$

Далее находим энергию связи атомов в каждой из его модификаций

$$E_{\text{связи}} = E_a \cdot n . \quad (5)$$

Для  $\beta$ -Sn

$$E_{\text{связи}} = 49,98 \cdot 10^{-20} \cdot 3,69 \cdot 10^{22} = 184,42 \cdot 10^2 \text{ Дж.}$$

Для  $\alpha$ -Sn

$$E_{\text{связи}} = 49,98 \cdot 10^{-20} \cdot 2,91 \cdot 10^{22} = 145,44 \cdot 10^2 \text{ Дж.}$$

Отсюда находим разницу энергий связи атомов олова при его различных модификациях

$$\Delta E_{\text{связи}} = E_{\beta-Sn} - E_{\alpha-Sn}. \quad (6)$$

$$\Delta E_{\text{связи}} = 184,42 \cdot 10^2 - 145,44 \cdot 10^2 = 3898 \text{ Дж.}$$

**Выводы:**

1. Снижение температуры окружающей среды ниже  $13,2 {}^\circ\text{C}$  приводит не только к изменению модификации олова с  $\text{Sn}_\beta$  на  $\text{Sn}_\alpha$ , но и к снижению на 3898 Дж энергии связи его атомов.

2. В оборудовании, работающем при комнатной температуре и выше целесообразно использовать оловянносурьмянистые баббитовые подшипники скольжения, а при более низких температурах (ниже 13, 2  ${}^\circ\text{C}$ ) подшипники из оловянистых бронз.

### **Список использованной литературы:**

1. Кнунянц И. Л. Химическая энциклопедия: в 5 т. – Москва: Советская энциклопедия, 1992. – Т.3. – 639 с.
2. Гаркунов Д.Н. Триботехника / Д.Н.Гаркунов. – М.:Машиностроение,1989. – 327с.
3. Чернавский С.А. Подшипники скольжения / Чернавський С.А. – М. : Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1963. – 245 с.
4. Лахтин Ю.М. Основы металловедения / Ю.М.Лахтин. – М.: ИНФА-М, 2013. – 273 с.
5. Сологуб М.А. Технология конструкционных материалов / М.А.Сологуб, І.О.Рожнецький, О.І.Некоз та ін.; За ред. М.А.Сологуба. – К.: Вища шк., 2002. – 374 с.
6. Крагельский И.В. Узлы трения машин / И.В.Крагельский, Н.М.Мухин. – М.:Машиностроение,1984. – 280с.
7. Гуляев А.П. Металловедение. Учебник для вузов / А.П.Гуляев. – М.: Металургия, 1986. – 544 с.
8. Паравян Н.А. Оловянная чума // Химия и жизнь. — 1979. — № 7. — С. 69-70.
9. Тарельник В.Б. Влияние температуры формирования антифрикционных баббитовых покрытий на поверхностную энергию стальной подложки / В.Б.Тарельник, А.В.Дзюба, Г.А.Бакай // Вісник харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка.- Випуск 145.-2014.- С. 137-143.
10. Лившиц Л.С. Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений – 2-е изд. перераб. и доп. / Л.С. Лившиц, А.Н. Хакимов. – М.: Машиностроение, 1989. – 336 с.

### **Дзюба О.В. Вплив температури на енергію з'язку атомів олова**

Основне своє застосування олово знайшло в антифрикційних сплавах (бронзових і бабітових) підшипників ковзання (ПС), які широко використовуються в більшості відповідальних вузлів відцентрових компресорів, насосів, турбін і інших машин, що працюють при високих швидкостях, на вантаженнях і температурах, а також в умовах корозійного, абразивного й інших видів впливу робочих середовищ. Розв'язок проблеми, пов'язаної зі збільшенням строків їх служби, прямо залежить від підвищення зносостійкості й надійності вузлів тертя. Створення поверхневих шарів з особливими властивостями для елементів вузлів тертя ковзання обумовлює важливість і актуальність проблеми, а також необхідність її розв'язку. Як правило, антифрикційні сплави на основі олова використовують олов'яносурманисті бабіти B88 і B83 і сплави міді з оловою, так звані олов'янисті бронзи. Таким чином, у роботі визначається найбільше раціональне застосування підшипників ковзання, виготовлених з олов'яносурманистих бабітів і олов'янистих бронз використовуваних при різних температурах навколошнього середовища в період експлуатації, шляхом визначення енергії з'язку атомів олова при різних модифікаціях.

**Ключові слова:** кристалічна решітка, енергія з'язку, підшипник ковзання, теплота сублімації, поліморфізм.

### **Dziuba A.V. Effect of temperature on the binding energy of tin atoms**

The main use of its tin found in anti-friction alloys (bronze and babbitt) Bearings, which are widely used in most critical parts of centrifugal compressors, pumps, turbines and other machines operating at high speeds, loads and temperatures, as well as in terms of corrosion, abrasive and other types of exposure to working environments. Solving the problem associated with an increase in service life, it depends on increasing durability and reliability of friction units. Creating surface layers with special properties for elements of knots of friction determines the importance and urgency of the problem and the need to address it. As a general rule as anti-friction alloys based on tin used olovyanosurmyanisty babbitts B88 and B83 and alloys of copper and tin, the so-called tin bronze. Thus, the work is determined by the most rational use of plain bearings, made of babbitt olovyanosurmyanistyh and tin bronze used in various ambient temperatures during operation, by determining the binding energy of the tin atoms in different versions.

**Keywords:** crystal lattice, binding energy, slideway, heat of sublimation, polymorphy.

Стаття надійшла в редакцію: 05.04.2015р.

Рецензент: д.т.н., проф. Тарельник В.Б.