

made by external mechanical losses. The methods of determination of these losses are thoroughly expounded in works. It follows only to notice that these losses proportional the third degree frequencies of rotation of rotor of TNA, consequently, taking into account very considerable frequencies of rotation, and it five – ten thousand turns for a minute, can arrive at ten of kilowatts.

Calculation of general к.к.д. it is expedient to conduct by progressive approximations with the use of the known descriptions of workings degrees of pumping and turbine parts of TNA.

**Keywords.** Turbopump aggregate, chempump, rotor of pump, gap seal, coil of liquid, pressure of liquid, hydrodynamic forces.

Стаття надійшла в редакцію: 22.04.2015р.

Рецензент: к.т.н., проф. Яковлев В.Ф.

УДК 621.822.1

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЭНЕРГИЮ СВЯЗИ АТОМОВ ОЛОВА

**А. В. Дзюба**, аспирант, Сумский национальный аграрный университет

Основное свое применение олово нашло в антифрикционных сплавах (бронзовых и баббитовых) подшипников скольжения, которые широко используются в большинстве ответственных узлов центробежных компрессоров, насосов, турбин и других машин, работающих при высоких скоростях, нагрузках и температурах, а также в условиях коррозионного, абразивного и других видов воздействия рабочих сред. Решение проблемы, связанной с увеличением сроков их службы, напрямую зависит от повышения износостойкости и надежности узлов трения. Создание поверхностных слоев с особыми свойствами для элементов узлов трения скольжения обуславливает важность и актуальность проблемы, а также необходимость ее решения. Как правило в качестве антифрикционных сплавов на основе олова используют оловянно-сурьмянистые баббиты Б88 и Б83 и сплавы меди с оловом, так называемые оловянистые бронзы. Таким образом, в работе определяется наиболее рациональное применение подшипников скольжения, изготовленных из оловянно-сурьмянистых баббитов и оловянистых бронз используемых при различных температурах окружающей среды в период эксплуатации, путем определения энергии связи атомов олова при различных модификациях.

**Ключевые слова:** кристаллическая решетка, энергия связи, подшипник скольжения, теплота сублимации, полиморфизм.

**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.

**Анализ публикаций.** Согласно [1], олово (лат. *Stannum*) обозначается симво-

лом 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 олове координационный полиэдр каждого атома — тетраэдр.

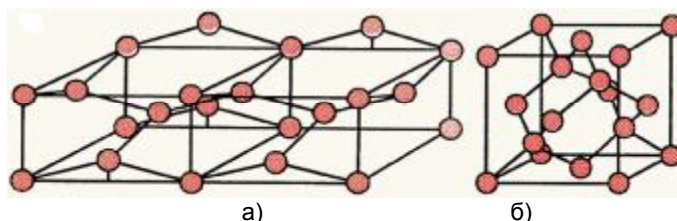


Рисунок 1 – Структура кристаллических решеток олова:  $\beta$ -Sn (а) и  $\alpha$ -Sn (б).

Основное свое применение олово нашло в антифрикционных сплавах подшипников скольжения (ПС), которые широко используются в большинстве ответственных узлов центробежных компрессоров, насосов, турбин и других машин, работающих при высоких скоростях, нагрузках и температурах, а также в условиях коррозионного, абразивного и других видов воздействия рабочих сред. Решение проблемы, связанной с увеличением сроков их службы, напрямую зависит от повышения износостойкости и надежности узлов трения. Создание поверхностных слоев с особыми свойствами для элементов узлов трения скольжения обуславливает важность и актуальность проблемы, а также необходимость ее решения.

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

Как правило в качестве антифрикционных сплавов на основе олова используют оловянно-сурьмянистые 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 баббитами. Поэтому для изготовления вкладышей ПС, работающих в более тяжелых условиях (высокие удельные нагрузки, температуры превышающие 90 – 100 °С 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 (α-Sn), в кристаллической решетке 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 бело-

го 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 подвержено 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 оловянно-сурьмянистых 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.

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

где  $Ar_{Sn} = 118,69$  – 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 β-Sn

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

Для α-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 см<sup>3</sup> в зависимости от типа кристаллической решетки.

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

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

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 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

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

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

**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 / Чернавский 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. Технологія конструкційних матеріалів / 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.: Металлургия, 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 зв'язку атомів олова**

Основне своє застосування олово знайшло в антифрикційних сплавах (бронзових і баббитових) підшипників ковзання (ПСК), які широко використовуються в більшості відповідальних вузлів відцентрових компресорів, насосів, турбін і інших машин, що працюють при високих швидкостях, навантаженнях 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'яносурьмянисті бабіти Б88 і Б83 і сплави міді з оловом, так звані олов'янисті бронзи. Таким чином, у роботі визначається найбільш раціональне застосування підшипників ковзання, виготовлених з олов'яносурьмяних бабітів і олов'янистих бронз використовуваних при різних температурах навколишнього середовища в період експлуатації, шляхом визначення енергії зв'язку атомів олова при різних модифікаціях.

**Ключові слова:** кристалічна решітка, енергія зв'язку, підшипник ковзання, теплота сублимації, 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 olovyannosurmyanistye 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 olovyannosurmyanistyh 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.

УДК 621.9.048.4

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПАРАМЕТРОВ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОГО ЛЕГИРОВАНИЯ**

**Е. В. Коноплянченко**, к.т.н., доцент

**В. П. Яременко**, к.т.н., доцент

**В. А. Герасименко**, к.ф.-м.н.

Сумський національний аграрний університет

*В работе рассмотрены задачи повышения долговечности и надежности деталей машин и оборудования, работающих в тяжелых условиях. Получено уравнение регрессии, которое представляет собой эмпирическую модель зависимости шероховатости от технологических факторов. Рассмотрено влияние параметров электроэрозионного легирования на основные характеристики обработанных поверхностей.*

**Ключевые слова:** надежность, оборудование, тяжелые условия эксплуатации, штамповый инструмент, качество, шероховатость, электроэрозионное легирования

**Введение.** Задачи повышения долговечности и надежности деталей машин и оборудования, работающих в тяжелых условиях решаются, как правило, путем применения высокопрочных нержавеющей сталей и сплавов, что влечет за собой большой расход, как дорогостоящих материалов, так и металлорежущего и штампового инструмента. Постоянный недостаток инструмента и дефицитных материалов ведет к снижению эффективности производства, затрудняет обеспечение требуемого качества продукции и, в конечном итоге, усложняет функционирование предприятия в условиях рыночных отношений.

Бурное развитие техники требует повышения режимов работы машин и механизмов (возрастания скоростей, давлений и т. д.), что, в свою очередь, диктует создание новых композиционных материалов типа «основа-покрытие», сочетающих защитные свойства покрытий с механической прочностью основы. Применение покрытий обуславливается еще и тем, что разрушение детали начинается с поверхности.

Одним из наиболее эффективных методов нанесения защитных покрытий на металлургические поверхности является электроэрозионное легирование (ЭЭЛ).

Метод ЭЭЛ универсален, он используется

для: увеличения твердости, коррозионной стойкости, износо- и жаростойкости; снижения способности к схватыванию поверхностей при трении; восстановлению размеров инструмента, деталей машин и механизмов; проведения на обрабатываемой поверхности микрометаллургических процессов для образования на ней необходимых химических соединений; создания на рабочей поверхности переходных слоев определенной шероховатости; нанесения радиоактивных изотопов; применения в декоративном искусстве и др. [1].

Изучение параметров процесса ЭЭЛ, влияющих на качество формируемых поверхностных слоев, является актуальной задачей.

**Анализ основных достижений и публикаций.** Несмотря на неоспоримые достоинства, метод ЭЭЛ имеет и ряд недостатков (увеличение шероховатости, возникновение в поверхностном слое растягивающих остаточных напряжений, снижение усталостной прочности, ограничение толщины формируемого слоя), которые нередко ограничивают его применение для более широкого круга деталей машин [2-6].

Одним из основных недостатков ЭЭЛ является увеличение шероховатости поверхности сформированного покрытия. В работе [7] исследовалось влияние режимов ЭЭЛ на качествен-