

**Заключение.** Метод плазменно-иммерсионной модификации поверхности образцов сплава на основе никелида титана ионами кремния позволяет формировать поверхностные слои с различным структурно-фазовым состоянием. В зависимости от технологических режимов можно получать либо покрытие из кремния, либо легирование поверхностного слоя. В обоих случаях в поверхности происходит как трансформация структуры никелида титана, так и образование частиц новой фазы SiO<sub>2</sub>. Изменение микроструктуры приводит к повышению микротвёрдости образцов. Полученные результаты позволяют рекомендовать метод плазменно-иммерсионной ионной модификации для повышения биосовместимости медицинских имплантатов из сплавов на основе никелида титана с организмом человека.

*Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП (Соглашение № 14.604.21.0031 от 17.06.2014 г., уникальный идентификатор проекта RFMEFI 60414X0031)*

#### **Список литературы**

1. J. Aoki, P.W. Serruys, H. van Beusekom et al. Endothelial progenitor cell capture by stents coated with antibody against CD34, J. Am. Coll. Cardiol. 45(10) (2005) 1574–1579.
2. T. Ziebart, A. Schnell, C. Walter et al. Interactions between endothelial progenitor cells (EPC) and titanium implant surfaces, Clin Oral Investig. 17(1) (2013) 301-309.
3. L.L. Meisner, A.I. Lotkov, V.A. Matveeva et al. Effect of silicon, titanium, and zirconium ion implantation on NiTi biocompatibility. In: Advances in Materials Science and Engineering, Hindawi, 2012, Article ID 706094.
4. Д.П. Борисов, К.Н. Детистов, А.Д. Коротаев et al. Вакуумно-плазменный технологический комплекс «СПРУТ» для создания новых нанокompозитных материалов и упрочняющих поверхностных структур изделий, Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 76(12) (2010) 32-36.
5. L.L. Meisner, M. G. Ostapenko, A.A. Lotkov and A.A. Neiman Surface microstructure and B2 phase structural state induced in NiTi alloy by a high-current pulsed electron beam, Applied Surface Science, V. 324 (2015) 44-52.

### **ТЕРМИЧЕСКОЕ УПРОЧНЕНИЕ СВИНЦОВО-ОЛОВЯНИСТОЙ БРОНЗЫ, ЛЕГИРОВАННОЙ НИКЕЛЕМ**

*Н.С. КЛОЧКОВ<sup>1,2</sup>, Ю.П. ЕГОРОВ<sup>1,2</sup>, С.Е. ШИПОВ<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ИФВТ Кафедра материаловедения и технологии металлов (МТМ)

<sup>2</sup>Томский политехнический университет

E-mail: [freightlinerflc120@mail.ru](mailto:freightlinerflc120@mail.ru)

### **HEAT STRENGTHENING OF LEAD-TIN BRONZE ALLOYED WITH NICKEL**

*N.S.KLOCHKOV<sup>1,2</sup>, U.P.EGOROV<sup>1,2</sup>, S.E. SHCIPOV<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>IFVT Department of materials science and technology of metals (MTM)

<sup>2</sup>Tomsk polytechnic university

E-mail: [freightlinerflc120@mail.ru](mailto:freightlinerflc120@mail.ru)

**Annotation:** Investigate the process of thermal hardening of bronze without heat treatment. Determined phase, which is the cause for age-hardening of the nickel bronze alloy by heat strengthening.

**Введение.** Переменная растворимость компонентов в твердом состоянии дает возможность значительно упрочнять сплавы путем термической обработки.

В настоящее время разработано большое количество сплавов на алюминиевой, медной, железной, никелевой и других основах, у которых можно значительно повысить прочностные свойства путем термической обработки, при этом прочность возрастает в результате дисперсионного твердения после закалки.

Дисперсионно-твердеющие сплавы претерпевают фазовые превращения в твердом состоянии и подвергаются закалке без полиморфного превращения. Закалка, или обработка на твердый раствор, преследует две цели: подготовить сплав к старению и добиться максимальной пластичности для дальнейшей деформации. Как известно при литье в металлическую форму, где присутствует высокая скорость охлаждения, фиксируется структурное состояние сплава, полученная при высокой температуре плавления. Поэтому при высоких скоростях охлаждения существуют условия для создания пересыщенного состояния твердого раствора сплава [1,2]. При данном состоянии старение сплава возможно без проведения операции закалки.

В данной статье рассмотрен процесс термического упрочнения свинцово-оловянистой бронзы, легированной никелем, без применения операции закалки. Данный сплав получен литьем в металлический кокиль, применяя центробежный способ литья.

#### **Методика эксперимента**

Образцы для исследования готовили плавкой из чистых шихтовых материалов (таб. 1)

Таблица 1 - Состав исследуемых образцов

Маркировка сплава	Массовая доля компонентов			
	Cu	Pb	Ni	Sn
БрС1005Н5	80%	10%	5%	5%
БрС10010Н5	75%	10%	5%	10%
БрС10015Н5	70%	10%	5%	15%

Плавку вели на высокочастотной терристорной установке в тигле из силицированного графита. Раскисление осуществляли фосфористой медью в количестве 0,05%. Заливку сплава проводили во вращающиеся металлические формы с вертикальной осью вращения на установке, разработанной сотрудниками кафедры МТМ ИФВТ.

Температура разлива сплава в форму составляла на 130-150°C выше температуры плавления сплава. Температуру контролировали оптическим пирометром ТПТ – 90 фирмы Agema (Швеция) с лазерным наведением.

Термическую обработку материала проводилась в муфельной печи. Время выдержки при выставленной температуре составляло 2 часа. Температура выдержки материала находилась в интервале 250-350°C. Образцы охлаждали на воздухе. Твердость измерялась на твердомере Бринелля ТШ-2.

Анализ микроструктуры выполняли с помощью исследовательского оптического микроскопа AxioObserver A1.m фирмы Carl Zeiss (Германия) и программного продукта AxioVision v.4. Для исследования микроструктуры готовились металлографические шлифы с помощью шлифовальных шкур с различным размером зерна абразива. Окончательную полировку проводили на сукне с применением водного раствора окиси хрома. Структуру выявляли травлением образцов концентрированной соляной кислотой.

Фазовый рентгеновский анализ осуществлялся при помощи дифрактометра ДРОН-3, оснащенного компьютером. Качественный фазовый состав определялся сравнением штрих-кодов, соответствующих им межплоскостным расстоянием  $dhkl$  аналогичных параметров известных веществ. Съемка проводилась в излучении  $CoK\alpha$  ( $\lambda=1,7902\text{Å}$ ), при напряжении анода 30кВ, силе тока 30мА и интервале углов  $2\theta$  от 5 до  $150^\circ$ .

#### Результаты исследования

На рис.1,2,3 представлена структура свинцово-оловянистой бронзы, легированной 5% никеля. Структура данной бронзы представляет собой в основе дендриты  $\alpha$ -твердого раствора олова и никеля в меди, между которыми расположены включения свинца.

При содержании в бронзе 5% Sn (рис.1), эвтектоид ( $\alpha$ +химическое соединение  $Cu_{31}Sn_8$ ) не представлен в структуре материала. Это можно объяснить неравномерной кристаллизацией и как следствие неравномерное распределение элементов в сплаве. Наличие эвтектоида возможно для неравновесной кристаллизации при содержании Sn от 7% [3].

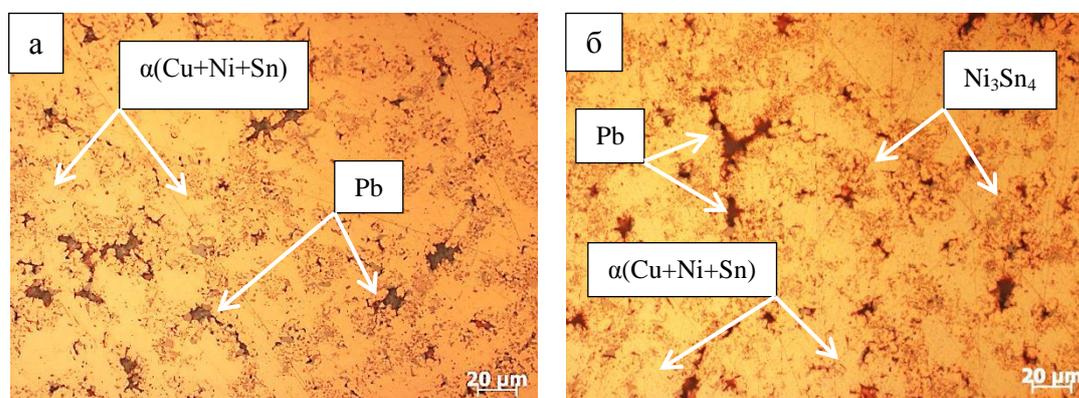


Рисунок 1 - Образец БрС10О5Н5: а) при температуре 20°C б) выдержка 2 часа при температуре 300°C

Структура бронзы, содержащей до 15% Sn (рис.2,3) состоит из дендритов  $\alpha$ -твердого раствора и эвтектоида. Свинец в структуре представлен компактными включениями, которые располагаются по границам дендритов в местах выделения эвтектоида.

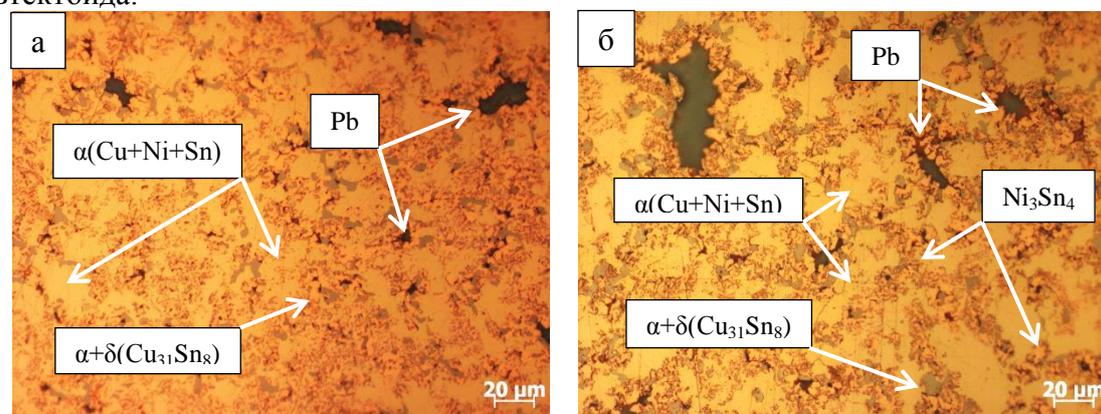


Рисунок 2 - Образец БрС10О10Н5: а) при температуре 20°C б) выдержка 2 часа при температуре 300°C

Для образцов было проведено старение с шагом нагрева 25°C и временем выдержки 2 часа для каждой температуры. При нагреве до 300°C и выдержки 2 часа в структуре наблюдается четкое выделение значительного количества частиц новой фазы (рис.3б). Как показал рентгеноструктурный анализ, данная фаза является химическим соединением Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub>.

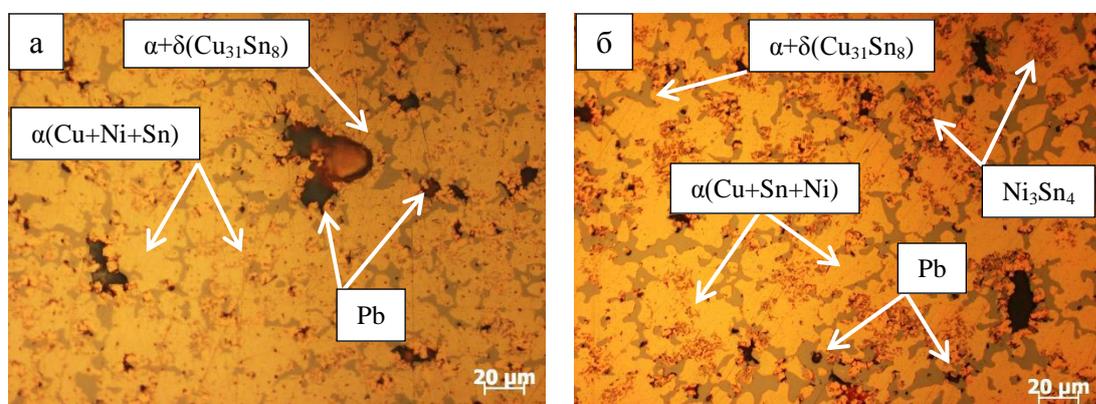


Рисунок 3 – Образец БрС10О15Н5: а) при температуре 20°C б) выдержка 2 часа при температуре 300°C

После каждой выдержки замерялась твердость образцов. Значения твердости представлены в таблице 2. Как показывают результаты измерений, рост твердости происходит с увеличением температуры. При температуре 300°C наблюдается максимальные значения твердости для исследуемых сплавов. Затем с повышением температуры твердость падает.

Таблица 2 – Значение твердости

Температура выдержки, °C	БрС10О5Н5	БрС10О10Н5	БрС10О15Н5
	Твердость, НВ	Твердость, НВ	Твердость, НВ
20	84,9	101	129
250	95	121	138
275	95	129	148
300	95	138	148
325	89,7	129	121

### Обсуждение результатов

Как известно, способность меди образовывать твердые растворы с легирующими элементами значительна, т.е. другие металлы хорошо растворяются в меди. При высокой температуре олово и никель растворяются в меди. Во время быстрого охлаждения, в нашем случае при литье в металлическую форму, химические соединения не успевают выделиться из медной основы. Таким образом, создается условие для термического упрочнения сплава [1,2]. При нагреве во время старения происходит процесс распада твердого раствора. Как показано на рис.3б и подтверждается фазовым рентгеновским анализом, выделяется фаза Ni<sub>3</sub>Sn<sub>4</sub>. Дисперсные частицы,

возникающие в твердом растворе в процессе выдержки после закалки, препятствуют скольжению дислокаций при деформировании, чтоб преодолеть их действие требуется затратить больше энергии или приложить большое усилие. Это приводит к повышению прочности и твердости. Как показывает таблица 2, рост твердости наблюдается с увеличением температуры. При температуре 300°C наблюдается максимальные значения твердости для исследуемых сплавов. Затем с повышением температуры твердость падает, что указывает на рост размера дисперсных частиц.

В результате данной работы можно сделать следующие выводы:

1. Высокая скорость охлаждения при литье в металлическую форму способствует образованию условий для проведения старения без операции закалки
2. Термоупрочнение свинцово-оловянистой бронзы, легированной никелем происходит за счет выделения химического соединения  $Ni_3Sn_4$

#### Список литературы

1. Металловедение и термическая обработка стали: Справ. изд. – 3-е изд./ Под ред. Бернштейна М.Л., Рахштадта А.Г., Металлургия, 1983. 352 с.
2. Арзамасов Б.Н., Сидорин И.И., Косолапов Г.Ф., Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений. – М.: Машиностроение, 1986. – 384 с.
3. Мальцев М.В. Металлография промышленных цветных металлов и сплавов. 2-е изд. Изд-во Металлургия, 1970. – 364

### ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ НАПЛАВКА ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ КАРБИДА ХРОМА С УЛЬТРАДИСПЕРСНОЙ И НАНО - СТРУКТУРОЙ

*М.В. ПЕРОВСКАЯ, И.М. ПОЛЕТИКА, Т.А. КРЫЛОВА*

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики  
прочности и материаловедения СО РАН

[mv\\_perovskaya@inbox.ru](mailto:mv_perovskaya@inbox.ru)

### ELECTRON BEAM CLADDING OF A COATINGS WITH A ULTRADISPERSIVE AND NANOSTRUCTURE ON THE BASIS OF CHROME CARBIDE

*M.V. PEROVSKAYA, I.M. POLETIKA, T.A. KRYLOVA*

*Institute of Strength Physics and Materials Science of Siberian Branch Russian Academy  
of Sciences*

[mv\\_perovskaya@inbox.ru](mailto:mv_perovskaya@inbox.ru)

*Annotation. Wear – and corrosion resistant coatings with satisfactory plasticity and a ultradispersive and nanostructure have been obtained by electron accelerator of powder mixtures chrome carbide with chrome and titanium carbide. Due to the investigation the coating structure and its phase composition the effect of wear resistance and plasticity increase has been studied. This effect is due to a modifying influence of titanium carbide.*

**Введение.** Цель работы - получить на низкоуглеродистой стали Ст3 износостойкие и коррозионно-стойкие покрытия с ультрадисперсной структурой методом наплавки в пучке релятивистских электронов с использованием для наплавки смеси