

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт *физики высоких технологий*

Направление подготовки *Материаловедение и технологии материалов*

Кафедра *Материаловедение в машиностроении*

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Упрочняющая термическая обработка свинцово-оловянистой бронзы, легированной никелем

УДК 669.35-047.37:621.785.5:669.24

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б21	Щипов Сергей Евгеньевич		21.06.2016

Руководители

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электроник	Егоров Юрий Петрович	К.т.н., доцент		
Доцент	Зенин Борис Сергеевич	К.ф.-м.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Технологии литейного производства и термического упрочнения сплавов»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры МТМ	Клочков Николай Сергеевич			

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры менеджмента	Грахова Елена Александровна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Назаренко Ольга Брониславовна	Д.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Материаловедение в машиностроении	Панин В.Е.	Д. ф.-м.н., акад. РАН		

Томск – 2016 г.

Планируемые результаты обучения по ООП 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов (бакалавриат)

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Применять основные положения и методы гуманитарных наук при решении социально-общественных и профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P2	Использовать современное информационное пространство при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P3	Разрабатывать, оформлять и использовать техническую документацию, включая нормативные документы по вопросам интеллектуальной собственности в области материаловедения и технологии материалов
P4	Проводить элементарный экономический анализ ресурсов, технологий и производств при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов
P5	Эффективно работать в коллективе на основе принципов толерантности, использовать устную и письменную коммуникации на родном и иностранном языках в мультикультурной среде
P6	Эффективно выполнять трудовые функции по реализации высокотехнологичных производств материалов и изделий
P7	Проводить комплексную диагностику материалов, процессов и изделий с использованием технических средств измерений, испытательного и производственного оборудования
P8	Готовность к мотивированному саморазвитию, самоорганизации и обучению для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности в области материаловедения и технологии материалов
P9	Успешно использовать методы и приемы организации труда, обеспечивающие эффективное, экологически, социально и технически безопасное производство
P10	Использовать принципы производственного менеджмента и управления персоналом в производственной деятельности в области материаловедения и технологии материалов

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт *физики высоких технологий*

Направление подготовки *Материаловедение и технологии материалов*

Кафедра *Материаловедение в машиностроении*

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Панин В. Е.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
4Б21	Щипов Сергей Евгеньевич

Тема работы:

Упрочняющая термическая обработка свинцово-оловянистой бронзы, легированной никелем

Утверждена приказом директора ИФВТ

Приказ № 505/с от 29.01.2016г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

21.06.2016

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования является сплав свинцово-оловянистой бронзы с добавками никеля. Образцы были получены плавкой чистых шихтовых материалов.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Получить образцы заданного состава для исследований. Определить фазовый состав бронзы после старения. Определить оптимальный режим для получения максимальной твердости, для исследуемых сплавов. Выявить тип химического соединения новых фаз, полученных после режимов термической обработки материалов.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Презентация (20 слайдов)
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	

Раздел	Консультант
<i>«Технологии литейного производства и термического упрочнения сплавов»</i>	<i>Клочков Николай Сергеевич, ассистент кафедры МТМ</i>
<i>Финансовый менеджмент</i>	<i>Грахова Елена Александровна, ассистент кафедры менеджмента</i>
<i>Социальная ответственность</i>	<i>Назаренко Ольга Брониславовна, профессор, д.т.н.</i>
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Реферат	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электроник	Егоров Юрий Петрович	К.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4Б21	Щипов Сергей Евгеньевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 73 с., 19 рис., 20 табл., 33 ист.

Ключевые слова: свинцово-оловянистая бронза, термическое упрочнение, микроструктура, твердость.

Объектом исследования является сплав свинцово-оловянистой бронзы с добавками никеля. Образцы были получены плавкой чистых шихтовых материалов.

Цель работы – определить возможность термического упрочнения литой свинцово-оловянистой бронзы, легированной никелем.

В процессе исследования проводился анализ структурных составляющих бронзы под действием термической обработки для упрочнения.

В результате исследования определен тип химического соединения, которое является причиной упрочнения материала. Выбран режим термической обработки для получения максимальной твердости выбранных сплавов.

Степень внедрения: научно-исследовательская работа находится на стадии разработки и исследования. Полученные режимы для термического упрочнения свинцово-оловянистой бронзы с добавками никеля были использованы для увеличения твердости опытных образцов зубчатых колес для червячной передачи по заказу ОАО «ТЭМЗ», г.Томск.

Область применения: узлы трения (подшипники скольжения), уплотнительные устройства, изготовления колес червячных редукторов.

Экономическая эффективность работы: в предлагаемой методике упрочнения материала отсутствует операция закалки. Данная операция закалки характеризуется высокими энергозатратами

В будущем планируется продолжить исследования с целью точного определения типа химического соединения за счет которого происходит упрочнение после старения материала. Также необходимо завершить процесс внедрения полученных результатов для серийного производства изделий из свинцово-оловянистой бронзы, легированной никелем.

ABSTRACT

Variable solubility of components in solid enables considerable strengthening of alloys by heat treatment.

There are currently a large number of alloys on aluminum, copper, iron, nickel and other bases which strength properties can be considerably increased by heat treatment. At the same time durability can be increased due to age-hardening after quenching.

Age-hardening alloys undergo phase transformations in solid and are exposed to quenching without polymorphic transformation. Quenching, or processing on solid solution, pursues two aims: to prepare an alloy for aging and to achieve the maximum plasticity for further deformation. As it is known, when molding into a metal form which is characterized by high speed of cooling, the structural condition of an alloy, received at high temperature of melting, is fixed. Therefore, at high speeds of cooling there are conditions for creation of supersaturated condition of solid solution of an alloy. At this state aging of an alloy is possible without quenching. This is especially important in the construction of, down to details interior stairs.

This work offers the possible way of thermal hardening of the stannic bronze alloyed with nickel without quenching. This alloy is received by molding into a metal chill mold with help of centrifugal way of molding.

Оглавление

Введение	8
1. Обзор литературы	9
1.1. Оловянистые бронзы. Диаграммы состояний, фазовые превращения и свойства в зависимости от ввода легирующих добавок	9
1.1.1 Влияние свинца на структурно-фазовые превращения и свойства оловянистых бронз	11
1.1.2 Влияние никеля на структурно-фазовые превращения и свойства оловянистых бронз	12
1.2. Технология центробежного литья	15
1.2.1. Особенности охлаждения и затвердевания отливок в поле центробежных сил	16
1.3. Термическое упрочнение бронзы	19
2. Методы исследования	21
2.1. Методика ведения плавки и заливки	21
2.2. Термическая обработка	22
2.3 Металлографические исследования	22
2.4 Фазовый рентгеновский анализ	24
3. Результаты проведенного исследования	24
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	34
5. Социальная ответственность	54
Заключение	69
Список публикаций	70
Список использованных источников	71

Введение

В настоящее время используется большое количество марок бронз для изготовления ответственных узлов различных механизмов. Бронзы применяются для изготовления узлов терния (подшипники скольжения), уплотнительных устройств (компрессорные кольца, сегментные уплотнения), для изготовления колес червячных редукторов т.д. Данные изделия должны удовлетворять жестким требованиям по качеству и надежности, которые предъявляются со стороны промышленности. Для обеспечения высокого уровня эксплуатации ответственных узлов данные изделия должны обладать высокой твердостью, прочностью и износостойкостью.

Известно, что литая бронза не обладает высокими эксплуатационными свойствами. Для повышения прочностных характеристик существует ряд способов. Одним из таких способов является термическое упрочнение. При термическом упрочнении прочность возрастает в результате дисперсионного твердения после закалки и отпуска. 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. При данном состоянии старение сплава возможно без проведения операции закалки.

В данной работе рассмотрена возможность термического упрочнения свинцовисто-оловянистой бронзы, легированной никелем, без применения операции закалки. Данный сплав получен литьем в металлический кокиль, применяя центробежный способ литья.

1 Обзор литературы

1.1 Оловянистые бронзы. Диаграммы состояний, фазовые превращения и свойства в зависимости от ввода легирующих добавок

Оловянистые бронзы относятся к металлическим сплавам, известным с давних времен, тем не менее, их строение и свойства изучены еще недостаточно. В исследовании нуждаются применяемые в промышленности сложнолегированные высокооловянистые бронзы, в состав которых помимо олова входят цинк, свинец, никель и иные элементы [1, 2].

Характер взаимодействия олова с медью при их сплавлении обуславливается диаграммой состояния медь - олова, данной на рисунке 1.

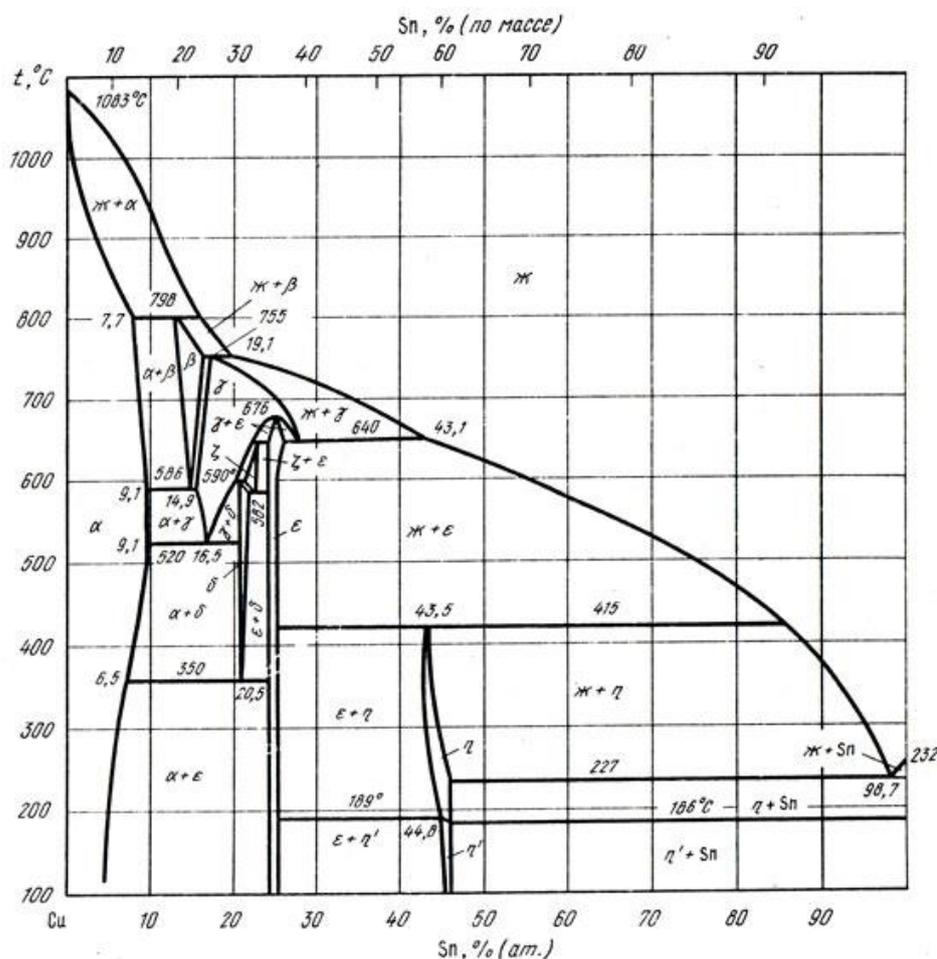


Рисунок 1 - Диаграмма состояния системы Cu – Sn

Максимальным практическим значением обладают сплавы, которые содержат до 20% олова, в следствии этого наиболее досконально

рассматриваются характеристики фаз, образующихся в данной доли диаграммы

Богатая медью α -фаза имеет решетку меди (гранцентрированного куба) и является твердым раствором олова в меди. Широкая область α -твердых растворов, отмеченная на диаграмме непрерывной чертой, характерно лишь только для равновесных сплавов, т.е. сплавов, подвергнутых крайне медленному охлаждению.

В настоящих промышленных условиях оставания при литье в землянные и металлические формы данная область существенно сужается. Главным фактором подобных расхождений замечаемых структур, являются большая предрасположенность бронз к ликвации, а также замедленный процесс действий диффузии, протекающих в сплавах олова с медью. Подобным способом существенно сужается область α -твердого раствора, его концентрация фактически никак не изменяется с снижением температуры, не происходит эвтектоидного превращения δ -фазы.

При содержании олова более 7 % в структуре сплавов имеется эвтектоид ($\alpha + \delta$), где δ -фаза – химическое соединение $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ со сложной кубической решеткой. Оно обладает хрупкостью и высокой твердостью. Возникновение δ -фазы в структуре бронз вызывает неожиданное убавление их пластичности и вязкости. В следствии этого практическое значение обладают бронзы, содержание олова у которых 10-15% [3].

Большая часть литейных оловянистых бронз относится к нестандартным сплавам, которые используют с целью производства ответственных отливок [4]. Состав таковых сплавов выбирается в зависимости от условий эксплуатации детали. С целью обеспечения требуемых эксплуатационных свойств вводят различные легирующие элементы, подобные как никель, свинец.

1.1.1 Влияние свинца на структурно-фазовые превращение и свойства оловянистых бронз

Общеизвестно, что свинец ограничено растворяется в жидких сплавах и не вступает во взаимодействие в оловянистых бронзах в твердом состоянии. На рисунке 2 показана диаграмма состояния Cu-Pb [5].

Кристаллизация свинцово-оловянистых бронз начинается с появлением богатых медью кристаллов α – твердого раствора, основной расплав обогащается при этом свинцом и оловом. В определенный момент кристаллизации в зависимости от состава сплава количество свинца в основном расплаве увеличивается настолько, что начинается монотектическая реакция с выделением из сплава свинцовых включений. Этот процесс заканчивается после кристаллизации основного расплава. Оставшиеся свинцовая составляющая, содержащая 98% Pb и 2% Sn, кристаллизуется при температуре 326°C. Свинцовые включения располагаются как в междендритном пространстве α -твердого раствора, и по границам зерен, в местах выделения эвтектоида [6].

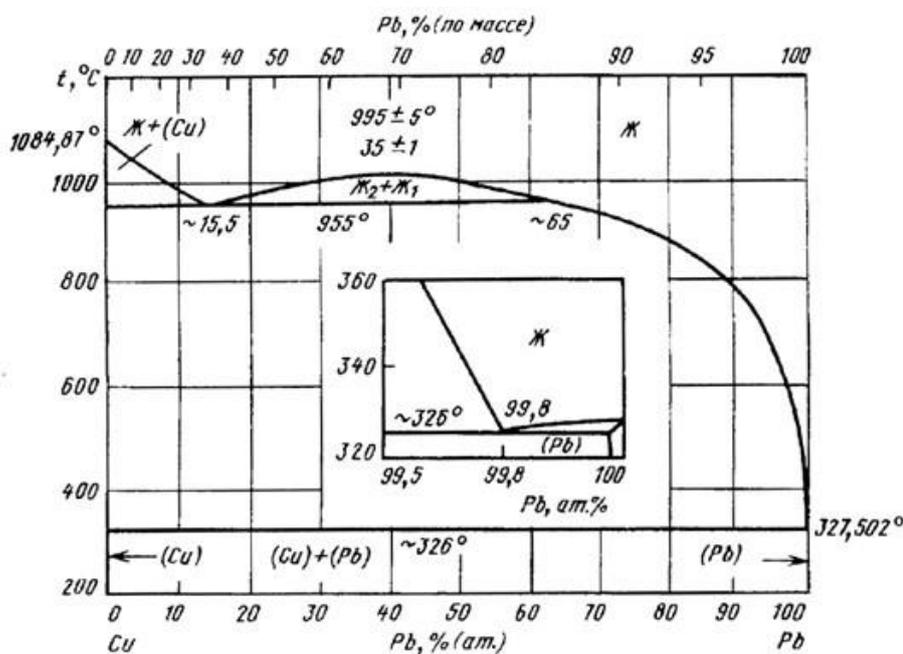


Рисунок 2 – Диаграмма состояния Cu-Pb

В работах [7,8,9] было установлено, что свинец активно влияет на структурообразование свинцово-оловянистых бронз и оказывает воздействие на процесс кристаллизации.

Экспериментальным путем установлено, что при введении в расплав от 1 до 5% Pb число большого размера зерен заметно возросло, а их средний размер уменьшился, приблизительно с 40 до 14мм². Данная особенность объясняется понижением поверхностного натяжения бронз при добавках свинца, что создает подходящие условия для роста скорости самопроизвольного появления центров кристаллизации в сплаве. При содержании в сплаве 10% свинца структура характеризуется как мелкозернистая, что соответствует наименьшим значениям поверхностного натяжения сплава бронзы с 10%Pb [7].

Свинец воздействует на форму роста дендритов, сдерживая рост зерен в поперечном направлении и делая их наиболее тонкими. Свинцовые включения располагаются в междендритном пространстве и по границам зерен [6,10].

1.1.2 Влияние никеля на структурно-фазовые превращения и свойства оловянистых бронз

Как известно, никель оказывает положительное влияние на свойства медных сплавов. Интенсивное изучение свойств свинцово-оловянистых бронз начались в первой половине XX в. и продолжаются до настоящего времени [11,12].

Добавление 2% Ni в свинцово-оловянистые бронзы значительно изменяет вид диаграммы состояния и характеристики присутствующих фаз. При увеличении количества Ni приводит к незначительным изменениям, например, сужение области α – твердого раствора, поэтому более изучен политермический разрез с содержанием никеля 2% [2,6,13].

В начале 30-х годов прошедшего века была отчасти исследована диаграмма состояния Cu-Sn-Ni и горизонтальный разрез при 20°C (рисунок 3 и 4). Природа α -твердого раствора при добавке никеля не приобретает коренных

конфигураций. Как и в двойственных сплавах меди с оловом, кристаллическая решетка α -твердого раствора — это гранецентрированный куб, однако параметр ее на некоторое количество возрос. К примеру, параметр решетки двойного сплава с 12% Sn растёт от 3,673 до 3,680 Å при добавлении в сплав 2% никеля [6,13].

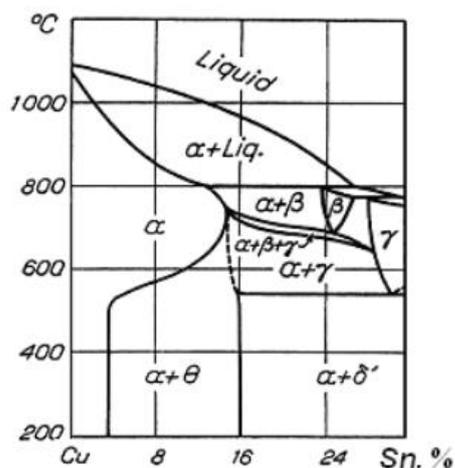


Рисунок 3 – Политермический разрез диаграммы состояния сплавы Cu-Sn-Ni содержащего 2% Ni

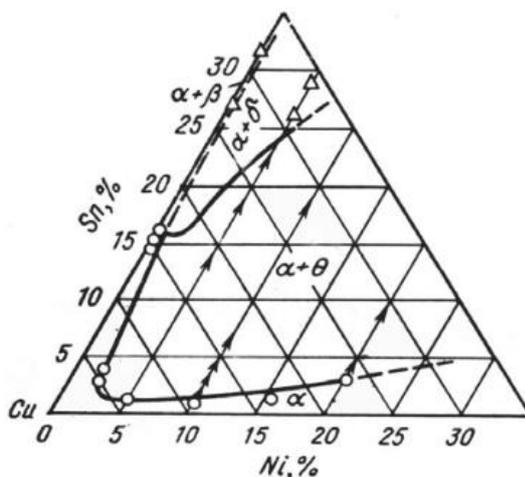


Рисунок 4 – Изотермический разрез (медный угол) диаграммы состояния сплава Cu-Sn-Ni при 20°C

Возникает область $\alpha + \beta + \gamma$ фаз, в которой происходит эвтектоидный распад $\beta \leftrightarrow (\alpha + \beta)$, температура которого увеличивается с 587 до 685°C. Температурный интервал распада составляет около 17°C. Эвтектоидный распад

$\gamma \leftrightarrow (\alpha + \delta)$ начинается при температуре 539°C по сравнению с 520°C в двойных сплавах меди с оловом, при этом δ' - фаза сообразно природе грубо отличается от δ - фазы двойных сплавов Cu-Sn. Это отличие найти можно лишь при рассмотрении ее в поляризованном свете. При повороте ее в поляризованном свете на 360° она изменяет собственный цвет, становясь дважды голубой и белой. Это указывает на то, что δ' - фаза имеет не кубическую решетку, а тетрагональную или гексагональную [13].

Большой интерес для получения литейных сплавов представляет область $(\alpha + \theta)$ фаз. Включения θ - фазы в литых сплавах, которые содержат 2% Ni, наблюдается уже при содержании олова около 4%.

Согласно диаграмме состояния, Cu-Sn-Ni [13,14] считается, что θ -фаза сообразно должна соответствовать одному из химических соединений Ni_3Sn или Ni_4Sn .

Результаты рентгенофазового анализа [6] показали, что фаза θ -фаза является тройным химическим соединением олова, никеля и меди, что указывает на постоянство состава θ -фазы. После рентгеноструктурного анализа сплавов БрОН 15-15 и БрОН 8-8 имелось совершенное совпадение расчетных значений квадратов синуса угла отражения с индексом 010, 122, 230, 022, которые дали ярко выраженные полосы, с данными для соединения $Ni_3Cu_2Sn_3$, приведенными в работе [13,14]. На основании полученных данных можно сделать вывод, что θ -фаза является химическим соединением $Ni_3Cu_2Sn_3$ с отношением количества валентных электронов к количеству атомов 7/4 и имеет гексагональную решетку с параметрами: $a=4,09 \text{ \AA}$, $c=5,19 \text{ \AA}$, $c/a=1,26$ [24]. Фаза θ владеет неустойчивой растворимостью в зависимости от температуры, что дает возможность применять к свинцово-оловянистым бронзам термическую обработку.

Также в работах [2,4] рекомендуют диаграмму Cu-Sn-Ni дополнительно исследовать. Наличие θ - фазы, показано как это на рисунке 3 и 4, и фазы δ' в пограничной области противоречит правилу фаз. Поэтому наиболее четкое определение природы θ - фазы требует последующих исследований.

Добавление никеля и более тугоплавкого элемента до 1,5% имеющего схожую форму и недалёкую сообразно объемам к меди кристаллическую решетку, содействовало убавлению размеров зерен медных сплавов сходственно свинцу [7,8,9]. В отличии от свинца, никель увеличивает поверхностное натяжение расплава и содействует наиболее однородному распределению свинца в отливках. Скорее всего это разъясняется тем, что никель увеличивает температуру начала кристаллизации бронзы, понижая при этом коэффициент диффузии в расплаве. Чем меньше коэффициент диффузии, тем наибольшее количество твердой фазы имеет возможность выделиться вблизи температур ликвидуса сплавов, которые лежат в области где линии ликвидуса и солидуса расходятся. [6]. Отмеченные обстоятельства содействуют улучшению однородного распределения свинца в отливке. Быстро возникающий скелет изначальных кристаллов механически мешает ликвации свинца. Известно [15], что добавление 1,0...1,5% Ni довольно достаточно для увеличения износостойкости бронзы БрОС 5-25 с высокими признаками усталостной прочности. В отливках из БрОСЦ 5-5-5 с содержанием 2% никеля частицы никеля равномерно распределены сообразно размеру и имеют форму в виде зубьев [16]. Последующие прибавки никеля (до 4,2%) в присутствии 4,5% олова оказывали лучшее воздействие на прочность при растяжении. Ударная вязкость и пластичность при этом снижались.

2 Технология центробежного литья

Принцип центробежного литья заключается в том, что заполнение формы расплавом и формирование отливки происходят при вращении формы вокруг вертикальной, горизонтальной или наклонной оси, либо при ее вращении по сложной траектории. Этим достигается дополнительное воздействие на расплав и затвердевающую отливку поля центробежных сил. Данный процесс реализуется на особых центробежных машинах и столах.

Чаще используют два варианта способа, в которых расплав заливается в форму с горизонтальной либо вертикальной осью вращения. В начальном

варианте получают отливки – тела вращения малой и большой протяженности, во втором – тела вращения малой протяженности и фасонные отливки [33].

Более часто встречаемым считается способ литья пустотелых цилиндрических отливок в металлические формы с горизонтальной осью вращения. Сообразно данному способу (рисунок 5) отливка 4 создается в поле центробежных сил с вольной цилиндрической поверхностью, а формообразующей поверхностью служит внутренняя поверхность изложницы. Расплав 1 из ковша 3 заливают во вращающуюся форму 5 через заливочный желоб 2. Расплав растекается по внутренней поверхности формы, создавая под действием поля центробежных сил пустотелый цилиндр. После затвердевания сплава и приостановки формы отливку 4 извлекают. Этот способ характеризуется наиболее большим технологическим выходом годного (ТВГ = 100%), так как отсутствует расход металла на литниковую систему [33].

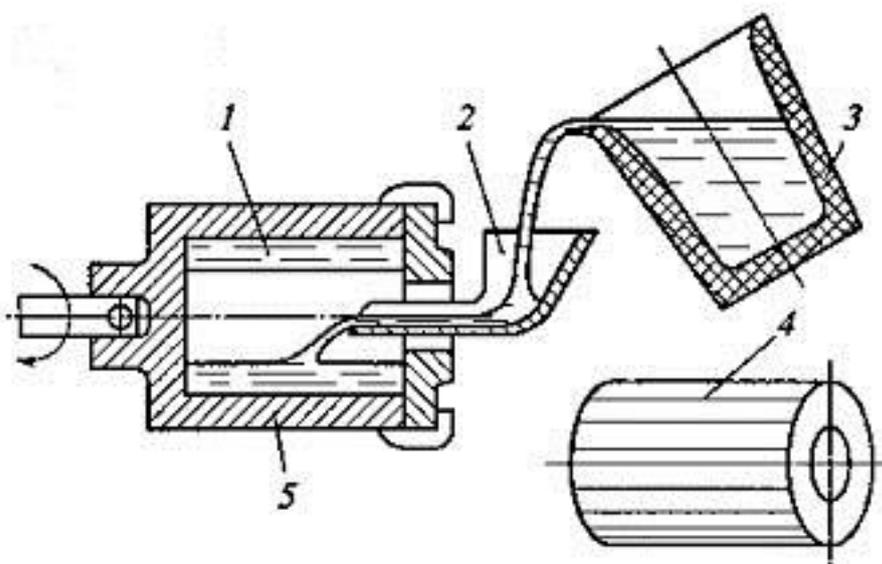


Рисунок 5 – Схема получения отливки при вращении формы вокруг горизонтальной оси: 1 – расплав; 2 – заливочный желоб; 3 – ковш; 4 – отливка; 5 – форма

1.2.1 Особенности охлаждения и затвердевания отливок в поле центробежных сил

При производстве отливок со свободной поверхностью охлаждение расплава в изложнице происходит неравномерно по объему. Через стенку

изложницы и ее крышку отводится некая доля теплоты, а часть – конвекцией и излучением со стороны свободной поверхности. Количество теплоты, которая отводится в воздушное пространство от свободной поверхности отливки, значительно. Воздух, находящийся в полости отливки, вовлечен в процесс вращения и находится в постоянном движении. Вдоль оси вращения на смену нагретому воздуху поступают порции холодного. Более функциональное циркулирование воздуха наблюдается в случае вращения формы с расплавом вокруг вертикальной оси за счет естественного подъема вверх горячего воздуха.

Такая неравномерность охлаждения, особенно толстостенных отливок, приводит к появлению в расплаве конвективных потоков: наименее густой и горячий расплав перемещается от свободной поверхности – наружу, а наиболее густой и охлажденный расплав перемещается от свободной поверхности внутрь затвердевающей отливки. По этой причине, в радиальном направлении циркулируют конвективные потоки в расплаве (рисунок 4, а). В условиях центробежного литья данное явление имеется в том числе и при малом различии плотностей и температур металла, так как действующие в этой системе силы увеличиваются пропорционально величине гравитационного коэффициента. Это содействует направленному затвердеванию отливки в радиальном направлении, которое в свою очередь выражено тем сильнее, чем больше угловая скорость вращения формы [33].

При направленном затвердевании изложницы фронт возрастающих в радиальном направлении кристаллов находится перед значимым лишним давлением расплава, обусловленным действием поля центробежных сил. Поэтому, в направлении поступающего расплава (рисунок 6, б), растут кристаллы, вследствие этого они наклонены в необходимую сторону по направлению вращения. Давление которое развивается при вращении расплава, способствует прониканию его в межкристаллитные пространства, что и улучшает питание затвердевающей отливки и увеличивает ее плотность.

В заключительную очередность свободная поверхность расплава затвердевает и форма свободной поверхности не изменяется и остается - цилиндрической

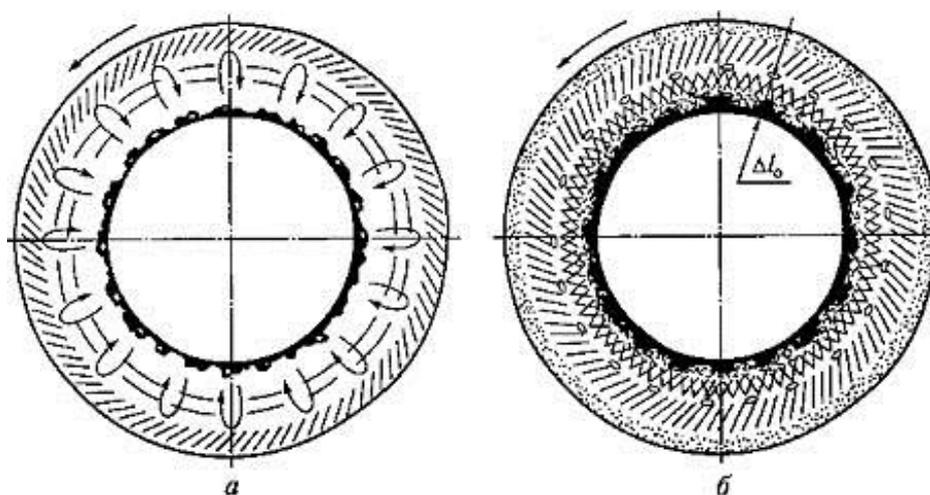


Рисунок 6 – Схема возникновения конвективных потоков (показаны фигурными стрелками) во вращающемся затвердевающем расплаве (а) и схема кристаллического строения отливки (б): l_0 – глубина расположения усадочной пористости; стрелкой показано направление вращения изложницы

Скоростью остывания отливки разрешено управлять. Так, с внешней стороны это достигается путем теплофизических свойств огнеупорного покрытия или изменения толщины слоя, изменением скорости охлаждения формы. С данной целью можно использовать со стороны внутренней поверхности экзотермические смеси или огнеупорные сыпучие материалы [33].

Отличительные черты формирования отливки при центробежном литье таковым образом связаны как с большими преимуществами, так и с недостатками. К превосходствам данного метода можно отнести: вследствие уменьшения количества усадочных пор, шлаковых, газовых и неметаллических включений, раковин - повышается плотность отливок; повышение выхода годного и уменьшению массы литников при изготовлений отливок или уменьшение расхода металла, благодаря отсутствию литниковой системы при изготовлении отливок типа колец, труб, втулок или уменьшению массы

литников при изготовлений фасонных отливок; исключаются затраты на стержни при изготовлении отливок типа труб и втулок. [33].

К недостаткам центробежного литья можно отнести трудности получения отливок из сплавов, которые предрасполагаются к ликвации; также необходимость повышенных припусков на обработку поверхностей отливок и погрешность размеров, вызванная скоплением неметаллических включений в материале отливки вблизи данной поверхности и отклонениями точности дозы расплава, заливаемого в форму; загрязнение свободной поверхности отливок неметаллическими включениями; [33].

1.3 Термическое упрочнение бронзы

Термической обработкой называется совокупность операций нагрева и охлаждения сплава с целью изменения его структуры и свойств в необходимом направлении. В зависимости от того, как изменяются свойства в результате термической обработки, различают упрочняющую термическую обработку, при которой увеличивается прочность, износостойкость и твердость, также разупрочняющую обработку, которая повышает вязкость и пластические свойства, снижающую сопротивление деформации и твердость.

Возможность значительно упрочнять сплавы путем термической обработки дает переменная растворимость компонентов в твердом состоянии

В настоящее время разработано достаточное количество сплавов на железной, алюминивой, никелевой, медной, и других основах, у которых значительно можно 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: добиться максимальной пластичности для дальнейшей деформации и подготовить сплав к старению.

В некоторых бронзах при понижении температуры растворимость легирующей компоненты резко падает и её выделение из твердого раствора приводит к эффекту дисперсионного твердения. Данный процесс сопровождается внезапным изменением механических и физических свойств.

Бронзы, способные к дисперсионному твердению, дают возможность упрочнение изделий из них за счет специальной термообработки (облагораживание, старение). В результате возрастают твердость, пределы прочности и текучести, повышается электро- и теплопроводность, улучшается коррозионная стойкость.

Как известно, термическое упрочнение цветных сплавов осуществляется в 2 этапа: сплав на первом этапе нагревают под закалку до такой температуры, при которой достигается максимальное растворение легирующих элементов в меди. Быстрое охлаждение, чаще всего в воду, предотвращает выделение растворенных в твердом растворе элементов, т.е. в результате закалки фиксируется структурное состояние сплава, достигнутое при высокой температуре. Атомы растворенных легирующих элементов остаются в пересыщенном (переохлажденном) твердом растворе, из него при столь быстром охлаждении не успевают выделиться фазы добелённых элементов в сплав. Этот пересыщенный твердый раствор будет неустойчивым при комнатной температуре. Пересыщенный твердый раствор представляет собой неравновесную структуру с повышенным уровнем свободной энергии. Поэтому, как только подвижность атомов окажется достаточно большой, твердый раствор будет распадаться – начнется процесс старения.

Второй этап заключается в том, что из полученного при закалке твердого раствора постепенно с течением времени будет выделяться частицы растворенных элементов, образуя дисперсные частицы, в этом и состоит старение сплава

Под старением сплава понимают процесс распада твердого раствора, происходящие самопроизвольно в предварительно закаленном сплаве и приводящие к изменению структуры и свойств с течением времени.

Дисперсные частицы, возникающие в твердом растворе в процессе выдержки после закалки, препятствуют скольжению дислокаций при деформировании; чтобы преодолеть их действие требуется затратить больше энергии или приложить большое усилие.

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.

2 Методы исследования

В соответствии с поставленными задачами для дипломной работы необходимо провести исследование структурных составляющих бронзы под действием термической обработки для упрочнения. В качестве структурных исследований применялись: металлографический анализ с применением оптической микроскопии, различных методик металлографического травления структуры, цифровой фотосъемки и компьютерной программы обработки изображений; растровая электронная микроскопия (РЭМ), рентгеноструктурный фазовый анализ.

2.1 Методика ведения плавки и заливки

Для исследования закономерностей формирования структуры и параметров вертикальных центробежных отливок из бронзы, были изготовлены втулки литьем во вращающиеся металлические формы. Скорость заливки расплава для всех экспериментов была постоянной - 0,2 кг/с и температурой нагрева формы — 100 °С. Наружный диаметр отливок - 108 мм; внутренний - 36 мм; высота - 130 мм, масса ~ 2,7 кг.

Бронзу плавил в высокочастотной индукционной тигельной печи из технически чистых металлов. В качестве материала тигля использовался силицированный графит. Шихтой служили: прутковое олово марки 0-1 (ГОСТ

860-75), листовой свинец марки С-2 (ГОСТ 3778-77), катодная медь марки М1к (ГОСТ 859-78), гранулированный никель марки Н-1 (ГОСТ 849-70). В качестве раскислителя использовали фосфористую медь марки МФ1 (ГОСТ 4515-93).

В прокаленный предварительно тигель загружали медь, форсированно плавил, перегревали до $1160 \pm 10^\circ\text{C}$ и раскисляли порцией фосфористой меди из расчета 2,5 % на вес всей шихты; затем в расплав добавляли свинец и олово. Печь отключали, подогретый и измельченный никель присаживали, расплав перемешивали, второй порцией фосфористой меди раскисляли и разливали в формы. Температуру заливки сплава контролировали, при помощи инфракрасного быстродействующего оптического пирометра ТПТ-90 фирмы Агента (Швеция) с лазерным наведением.

2.2 Термическая обработка

Термическую обработку материала проводилась в муфельной печи. Время выдержки при выставленной температуре составляло 2 часа. Температура выдержки материала находилась в интервале $250-500^\circ\text{C}$. Образцы охлаждали на воздухе. На твердомере Бринелля ТШ-2 определяли твердость образцов в литом состоянии по ГОСТ 9012-59 с н заданной нагрузкой 250 кг и диаметром стального шарика равным 5 мм. Измерения проводили на торцевых частях ударных образцов, при этом контролируя параллельность двух сторон.

2.3 Металлографические исследования

Для металлографического анализа структуры применяли исследовательский оптический микроскоп AxioObserver A1.m фирмы Carl Zeiss (Германия) и программного продукта AxioVision v.4. Образцы для металлографических испытаний вырезали из центробежных отливок в радиальном направлении. Исследуемая поверхность образца представляла собой прямоугольник размерами 35x14 мм. Высота шлифов составляла 11... 16 мм, в общем было приготовлено около 30 шлифов.

Микроструктура отливок из бронзы, содержащей до 15% Sn (рисунок 7) состоит из дендритов α -твердого раствора олова, никеля в меди и эвтектоида

(α +химическое соединение $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$). Образование эвтектоида в структуре бронзы возможно при содержании олова более 7%

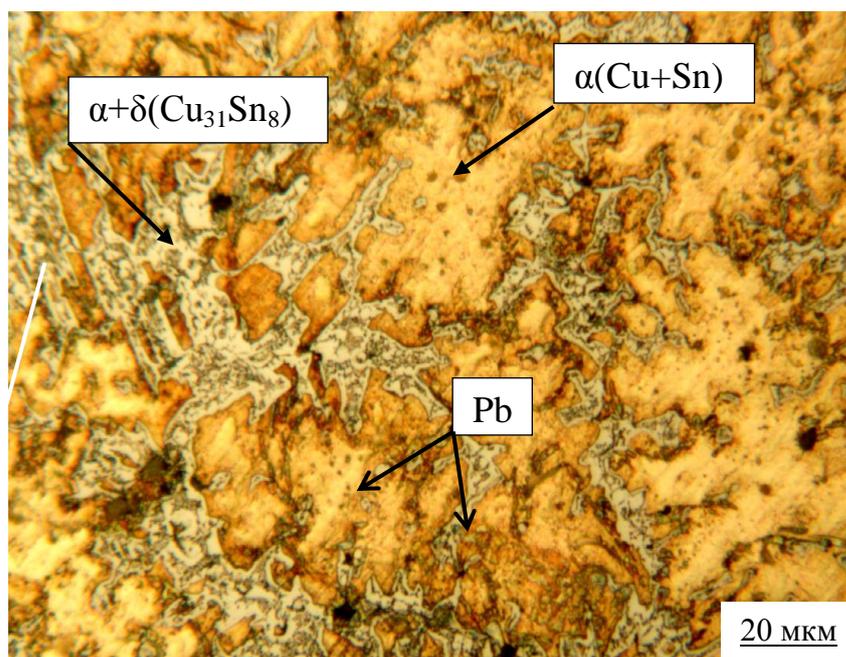


Рисунок 7 – Микроструктура БрС10О15

Свинец в основном расположен в межзерновых прослойках. Как показал металлографический анализ, эвтектоид (α +химическое соединение $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$) не присутствует в структуре бронзы, содержащей 5% олова. Наличие эвтектоида возможно для неравновесной кристаллизации при содержании Sn от 7% [20].

Структура бронзы, содержащей до 15% Sn состоит из дендритов α -твердого раствора и эвтектоида. Свинец в структуре представлен компактными включениями, которые располагаются по границам дендритов в местах выделения эвтектоида. Данная особенность морфологии свинцовых включений наблюдается в сплавах с 10 и 15% Sn.

Вследствие несогласий, которые встречаются в литературе, состав эвтектоида исследуемой бронзы требует особенного уточнения. Поэтому в данной главе, включения избыточной упрочняющей составляющей, временно называются как частицы ($\alpha+\delta$) эвтектоида.

В настоящее время структура сплавов и металлов выявляют путем химического или электролитического травления. К основным видам травления относится травление нанесением капли жидкого реактива на поверхность шлифа, попеременное погружением поверхности шлифа в разные реактивы,

травление втиранием тампоном, пропитанным реактивом, в поверхность шлифа, и т. д. [17]. Трудности здесь представляют необходимость выполнения ряда сложных процедур, к примеру, связанных с нагревом реактивов, смешиванием большого количества компонентов реактивов, соблюдение высокой точности при взвешивании отдельных компонентов.

В данной работе применяли следующий способ травления. Структуру выявляли травлением образцов концентрированной соляной кислотой. На полированный шлиф наносят несколько капель травителя и поворачивают его до равномерного распределения по поверхности. При появлении первых признаков травления (через 1...10 с) шлиф промывают спиртом.

2.4 Фазовый рентгеновский анализ

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

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки проекта;
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- рассчитать бюджет НИИ;
- произвести оценку ресурсной и экономической эффективности исследования.

4.1 Инициализация исследования и его технико-экономическое обоснование

Темой дипломного проекта является «Упрочняющая термическая обработка свинцово-оловянистой бронзы, легированной никелем».

В настоящее время используется большое количество марок бронз для изготовления ответственных узлов различных механизмов. Бронзы применяются для изготовления узлов терния (подшипники скольжения), уплотнительных устройств (компрессорные кольца, сегментные уплотнения), для изготовления колес червячных редукторов т.д. Данные изделия должны удовлетворять жестким требованиям по качеству и надежности, которые предъявляются со стороны промышленности. Для обеспечения высокого уровня эксплуатации ответственных узлов данные изделия должны обладать высокой твердостью, прочностью и износостойкостью.

Разработка НИР производится группой квалифицированных работников, состоящей из трех человек – руководителя, ассистента и студента.

4.1.1 Потенциальные потребители результатов НИИ

Потенциальными потребителями данного научно технического исследования бронзового сплава, являются промышленные машиностроительные заводы, которые выпускают различные типы деталей для промышленной отрасли, военной и авиационной. Данное научно техническое исследование было выполнено для ОАО «ТЭМЗ» (город Томск). В связи с бурным развитием литейной промышленности, в некоторых случаях можно приобрести низкое качество изделий, получаемых способом литья. Что в последствие может сказаться пагубно на ответственных деталях, так же есть возможность выйти из строя, не испытав свой срок эксплуатации. Финансовая значимость работы заключается в повышении эксплуатационного срока изделий. Таким вопросом занимается данное исследование: изучение, влияние термической обработки на исследуемый образец с последующим анализом. Ограничение в сроках выполнения исследования существует, машиностроительная промышленность каждый день ставит перед собой цели, выпустить быстро качественную продукцию из поставленного полуфабриката. Финансирование осуществляется из фонда заказчика. Средства выделяются на основе рассчитываемой сметы.

4.1.2 SWOT анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

SWOT – анализ проекта позволяет оценить факторы и явления способствующие или препятствующие продвижению проекта на рынок [25]. Для анализа проекта составлена таблица 2.

Сперва описываются сильные и слабые стороны проекта, для выявления возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 2 – SWOT анализ проекта

Сильные стороны	Возможности во внешней среде
<p>С1. Методика исследования материалов в данной работе является эффективной;</p> <p>С2. Методика, описанная в работе, несет в себе экономичность и ресурсоэффективность;</p> <p>С3. Возможность применения данной методики, для деформируемых и литейных металлов;</p> <p>С4. Актуальность разработки;</p> <p>С5. Наличие опытного руководителя.</p>	<p>В1. Простая адаптация научного исследования под иностранные языки;</p> <p>В2. Большой потенциал применения методики в России;</p> <p>В3. Единственный метод изучения свойств материала</p>
Слабые стороны	Угрозы внешней среды
<p>Сл1. Завышенные требования к оборудованию т.к. для проведения эксперимента требуются сложные испытательные установки</p> <p>Сл2. Возможность появления новых методов</p> <p>Сл3. Большой объем методики</p> <p>Сл4. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой</p>	<p>У1. Возможность создание более доступной в цене аналогового метода определения металла;</p> <p>У2. Отсутствие спроса на новую методику;</p> <p>У3. Закрытие машиностроительных предприятий на территории РФ.</p>

Следующий этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Таблица 3 – сильные стороны проекта

		C1	C2	C3	C4	C5
Возможности проекта	B1	+	0	+	+	+
	B2	+	+	+	-	0
		+	+	+	+	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильные сторон и возможности: B1C1C3C4C5, B2C1C2C3.

Таблица 4 – слабые стороны проекта

Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	В1	0	0	+	0
	В2	0	+	-	+
	+	+	+	+	+

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и возможности: В1Сл3, В2Сл2Сл4.

Таблица 5 – сильные стороны проекта

Угрозы		С1	С2	С3	С4	С5
	У1	+	+	0	-	0
	У2	+	0	0	+	0
	У3	-	-	-	-	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и угроз: У1С1С2, У2С1С4.

Таблица 6 – слабые стороны проекта

Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	+	-	-
	У2	0	-	+	+
	У3	0	-	0	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и угроз: У1Сл4.

Проведен комплексный анализ научно-исследовательской работы. Самой большой угрозой для данной работы является возможность создания более доступного в цене аналогового метода определения структуры, свойств и химического анализа, что на данном этапе не прогнозируется, поскольку данная методика имеет теоретическую, математическую и экспериментально обоснованную базу, которая является наиболее удобной и целесообразной в использовании. Также среди угроз можно отметить низкий темп роста (иногда спад), ведущих отраслей машиностроения, что в свою очередь может привести к закрытию некоторых машиностроительных предприятий.

Данная проблема является актуальной для России, выходом здесь может послужить – поиск перспективных действующих предприятий на территории РФ, а также налаживание партнерских отношений с производственными предприятиями стран СНГ и «Ближнего зарубежья».

Что касается слабых сторон, то экспериментальное исследование материалов, подразумевает использование –дорогостоящих испытательных машин. Поэтому для работы с данными машинами требуется привлечение опытных кадров.

Проблема об отсутствии у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой, так как для ее применения требуются знания в области материаловедения для решений данной проблемы необходимо обучение персонала.

4.2 Планирование комплекса работ на научно-техническое исследование

Комплекс работ по созданию научно технического исследование включает в себя 2 этапа:

- исследование образцов металлографическим анализом с применением оптической микроскопии, растровой электронной микроскопии (РЭМ) и рентгеноструктурным фазовым анализом.

- исследование структуры образцов и свойств после термической обработки.

4.2.1 Составление перечня работ

Трудоемкость выполнения НИР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Разделим выполнение дипломной работы на этапы, представленные в таблице 7:

Таблица 7 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работы	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка задания на НИР	1	Составление и утверждение задания ВКР	Егоров Ю.П. – руководитель; Клочков Н.С. – ассистент; Щипов С.Е. – студент-дипломник.
Проведение НИР			
Выбор направления исследования	2	Изучение металлографических методик, термической обработки материалов по теме	Щипов С.Е.
	3	Выбор материала для проведения эксперимента	Егоров Ю.П., Клочков Н.С., Щипов С.Е.
	4	Календарное планирование работ	Егоров Ю.П., Клочков Н.С., Щипов С.Е.
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование проведения термической обработки свинцово-оловянистой бронзы, легированной никелем.	Егоров Ю.П., Клочков Н.С., Щипов С.Е.
	6	Исследование снимков микроструктуры исследуемых сплавов.	Егоров Ю.П., Клочков Н.С., Щипов С.Е.
	7	Обработка полученных данных	Егоров Ю.П., Клочков Н.С., Щипов С.Е.
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ полученных результатов, выводы	Щипов С.Е.
	9	Оценка эффективности полученных результатов	Егоров Ю.П., Щипов С.Е.
Оформление отчета по ВКР	10	Составление пояснительной записки	Щипов С.Е.

4.2.2 Определение трудоемкости работ

Расчет трудоемкости осуществляется опытно-статистическим методом, основанным на определении ожидаемого времени выполнения работ в человеко-днях по формуле

$$t_{ожі} = \frac{3 \cdot t_{\min i} + 2 \cdot t_{\max i}}{5}, \quad (1)$$

Где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Рассчитаем значение ожидаемой трудоёмкости работы:

Для установления продолжительности работы в рабочих днях используем формулу:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (2)$$

Где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Для удобства построения календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k, \quad (3)$$

Где T_{ki} – продолжительность выполнения одной работы, календ. дн.;

T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

k – коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}}, \quad (4)$$

Где: $T_{кг}$ – количество календарных дней в году;

$T_{вд}$ – количество выходных дней в году;

$T_{пд}$ – количество праздничных дней в году.

Определим длительность этапов в рабочих днях и коэффициент календарности:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}} = \frac{365}{365 - 104 - 10} = 1,45,$$

тогда длительность этапов в рабочих днях, следует учесть, что расчетную величину продолжительности работ T_k нужно округлить до целых чисел [21].

Результаты расчетов приведены в таблице 8.

Для начала следует определить удельное значение каждой работы в общей продолжительности работ:

$$Y_i = \frac{T_{pi}}{T_p} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где Y_i – удельное значение каждой работы в %;

T_{pi} – продолжительность одной работы, раб.дн.;

T_p – суммарная продолжительность темы, раб.дн.

Тогда техническую готовность темы Γ_i , можно рассчитать по формуле:

$$\Gamma_i = \frac{\sum_{i=1} T_{pi}}{T_p} \cdot 100\%, \quad (6)$$

где $\sum T_{pi}$ – нарастающая продолжительность на момент выполнения i -той работы [21].

Результаты расчетов приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Временные показатели проведения НИР

№ раб.	Исполнители	Продолжительность работ						
		t_{\min} чел- дн.	t_{\max} чел- дн.	$t_{\text{ож}}$ чел- дн.	T_p раб.дн.	T_k кал.дн.	Y_i , %	Γ_i , %
1	Егоров Ю.П., Ключков Н.С., Щипов С.Е.	1	3	2	1,2	3	1,72	1,05
2	Щипов С.Е.	23	42	33	27	32	34,35	39,41

3	Егоров Ю.П., Клочков Н.С., Щипов С.Е.	6	11	9	3,8	7	5,32	39,01
4	Егоров Ю.П., Клочков Н.С., Щипов С.Е.	5	13	7	2,8	5	5,65	45,60
5	Егоров Ю.П., Клочков Н.С., Щипов С.Е.	13	21	16	18	33	21,41	69,5
6	Егоров Ю.П., Клочков Н.С., Щипов С.Е.	6	15	7	3	7	3,72	78,26
7	Егоров Ю.П., Клочков Н.С., Щипов С.Е.	7	11	8	3,7	13	6,83	83,32
8	Щипов С.Е.	1	8	4	0,79	4	6,30	87,91
9	Егоров Ю.П., Клочков Н.С., Щипов С.Е.	4	13	7	2,7	6	6,79	92,11
10	Щипов С.Е.	3	9	6	4.1	8	6,02	100
ИТОГО						118		

Наиболее удобным и наглядным видом календарного плана работ является построение ленточного графика проведения ВКР в форме диаграмм Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ [22].

График строится в рамках таблицы 9 с разбивкой по месяцам и неделям (7 дней) за период времени дипломирования.

При этом работы на графике выделяются различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу

Таблица 9 – Календарный график проведения ВКР

Этапы	Вид работы	Исполнители	T_k	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь
1	Составление и утверждение задания ВКР	Егоров Ю.П. Клочков Н.С., Щипов С.Е.	3					
2	Изучение металлографических методик, термической обработки поиск материалов по теме	Щипов С.Е.	32					
3	Выбор материала для проведения эксперимента	Егоров Ю.П. Клочков Н.С., Щипов С.Е.	7					
4	Календарное планирование работ	Егоров Ю.П. Клочков Н.С., Щипов С.Е.	5					
5	Планирование проведения термической обработки свинцово-оловянистой бронзы, легированной никелем.	Егоров Ю.П. Клочков Н.С., Щипов С.Е.	33					
6	Исследование снимков микроструктуры исследуемых сплавов.	Егоров Ю.П. Клочков Н.С., Щипов С.Е.	7					
7	Обработка полученных данных	Егоров Ю.П. Клочков Н.С., Щипов С.Е.	13					
8	Анализ полученных результатов, выводы	Щипов С.Е.	4					
9	Оценка эффективности полученных результатов	Егоров Ю.П. Клочков Н.С., Щипов С.Е.	6					
10	Составление пояснительной записки	Щипов С.Е.	8					

- руководитель/аспирант, - студент-дипломник.

Календарный план разработки проекта составлен с учетом всех выходных и праздничных дней. На разработку данного НИР потребуется 118 рабочих дней.

4.2.3 Расчет бюджета затрат на НИР

Затраты представляют собой все производственные формы потребления денег и измеримых в денежном измерении материальных ценностей, которые служат непосредственной производственной целью.

Рассчитываем смету расходов, включая затраты на приобретение необходимого оборудования для разработки проекта и текущие расходы. Затраты, образующие себестоимость продукции (работ, услуг), группируются в соответствии с их экономическим содержанием по следующим элементам:

$$K_{\text{проекта}} = I_{\text{мат}} + I_{\text{ам.техн}} + I_{\text{зп}} + I_{\text{соц.отч.}} + I_{\text{накл.расх}} + I_{\text{прочие}}$$

Материальные затраты отражают стоимость приобретенных материалов и сырья, которые входят в состав вырабатываемой продукции, образуя ее основу, или являются необходимыми компонентами при изготовлении продукции [22].

В данной работе использовался 1 образец свинцово-оловянистой бронзы. Стоимость 1 кг материала 415 руб. Вес одного образца 2,7 кг.

Стоимость 1 м² наждачной бумаги 120 руб. Затраты на наждачную бумагу, при условии, что на исследовании требуется 0,5 м² бумаги, составили 60 руб.

Таблица 10 – Затраты на получение образцов

Стоимость 1 кг материала, руб.	415
Вес образца, кг	2,7
Стоимость материала образцов, руб.	44
Стоимость наждачной бумаги, руб.	60
Общие затраты на получение образца, руб. 2130	

Для проведения научно-исследовательской работы требуются следующие виды оборудования: установка для исследования печь типа Снол, твердомер Бринелль, металлографический микроскоп, сканирующий электронный микроскоп (SEM) и компьютер.

Срок полезного использования каждого вида оборудования:

1) Печь типа Снол, твердомер Бринелль, – по пятой группе (оборудование испытательное): 10 лет.

2) Металлографический микроскоп, SEM, компьютер – по третьей группе (техника электронно- вычислительная): 5 лет. [23]

Рассчитываем материальные затраты ($I_{\text{мат}}$). Результаты расчета сведем в таблицу 11.

$$I_{\text{мат}} = I_{\text{исп. уст}} + I_{\text{кам}} + I_{\text{комп}} + I_{\text{обр}}$$

$$I_{\text{мат}} = 49000000 + 22000 + 28000 + 2130 = 4952130 \text{ руб.}$$

Таблица 11 – Материальные затраты

Материалы и оборудование	Ед. изм	Срок службы, год	Кол-во материала, ед	Цена за ед, руб	Затраты, руб
Печь типа СНОЛ	шт	10	1	27400	27400
Твердомер Бринелль	шт	10	1	88000	22000
Сканирующий электронный микроскоп	шт	5	1	6000000	6000000
Образец сплава	шт	-	1	415	415
Металлографический микроскоп	шт	5	1	1500000	1500000
Итого:					7549000

Амортизация основных фондов – сумма амортизационных отчислений на полное восстановление основных производственных фондов, вычисленная исходя из их балансовой стоимости и утвержденных норм амортизации. Корректно при расчете затрат учитывать в году приобретения и в последующие годы только ту часть затрат, которая происходит от старения основных фондов в каждом году [22].

Рассчитаем амортизацию оборудования техники $I_{\text{ам.обор}}$, по следующей формуле

$$I_{\text{ам. обор}} = \left(\frac{T_{\text{исп. обор}}}{365} \right) \times K_{\text{обор}} \times H_a,$$

Где: $T_{\text{исп.обор}}$ – время использования оборудование;

365 дней – количество дней в году;

$K_{\text{обор}}$ – стоимость оборудования;

H_a – норма амортизации.

$$H_a = \frac{1}{T_{\text{с.с. обор.}}},$$

Где: $T_{\text{с.с обор.}}$ – срок службы оборудования

$$I_{\text{ам.исп.уст.}} = (T_{\text{исп.исп.уст.}}/365) \times K_{\text{исп.уст.}} \times H_a = (1/365) \times 27400 \times (1/10) = 7,5 \text{ руб.}$$

$$I_{\text{ам.кам.}} = (T_{\text{исп.кам.}}/365) \times K_{\text{кам.}} \times H_a = (1/365) \times 88000 \times (1/10) = 24,1 \text{ руб.}$$

$$I_{\text{ам.комп.}} = (T_{\text{исп.комп.}}/365) \times K_{\text{комп.}} \times H_a = (1/365) \times 6000000 \times (1/10) = 1643,83 \text{ руб.}$$

$$I_{\text{ам.комп.}} = (T_{\text{исп.комп.}}/365) \times K_{\text{комп.}} \times H_a = (1/365) \times 1500000 \times (1/10) = 410,95 \text{ руб.}$$

$$\Sigma I_{\text{ам.обор}} = I_{\text{ам.исп.уст.}} + K_{\text{ам.кам.}} + K_{\text{ам.комп.}} = 7,5 + 24,01 + 1643,83 + 410,95 = 2086,29 \text{ руб}$$

Результаты расчета сведем в таблицу 12.

Таблица 12 – Затраты на амортизацию оборудования

Наименование оборудования	$K_{\text{обор}}$, руб.	$T_{\text{исп. обор}}$, дней.	$I_{\text{ам.обор}}$, руб
Печь типа СНОЛ	27400	1	7,5
Твердомер Бринелль	88000	1	24,1
Сканирующий электронный микроскоп	6000000	1	1643,83
Металлографический микроскоп	1500000		410,95
Итого:			2086,29

Расчет заработной платы – заработная плата рассчитывается в соответствии с занятостью исполнителей, с учетом районного и тарифного коэффициентов исполнителей.

В состав затрат на оплату труда включаются:

- выплаты заработной платы за фактически выполненную работу;
- выплаты стимулирующего характера по системным положениям;
- выплаты по районным коэффициентам;
- компенсации за неиспользованный отпуск;
- другие виды выплат [4].

Примем, что полный фонд заработной платы ($\Phi_{зп}$):

$$\Phi_{зп} = 30000 \text{руб.}$$

Отчисления на социальные нужды выражаются в виде единого социального налога, который включает в себя: обязательные отчисления по установленным законодательством нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда, государственного фонда занятости и медицинского страхования.

Единый социальный налог – 26%. [ссылка]

Рассчитываем отчисления на социальные нужды ($I_{\text{соц.отч.}}$):

$$I_{\text{соц.отч.}} = \text{ЕСН} = 0,26 \cdot \Phi_{зп} = 0,26 \cdot 28000 = 7800 \text{руб.}$$

Накладные расходы используют на следующее:

- 1) затраты на текущий ремонт;
- 2) амортизацию основных производственных фондов;
- 3) затраты на охрану труда и пожарную безопасность.

Для проектных отделов накладные затраты составляют 200% от полного фонда заработной платы Тогда:

$$I_{\text{накл.расх.}} = 2 \cdot \Phi_{зп} = 2 \cdot 30000 = 60000 \text{руб.}$$

Прочие затраты – затраты, к которым относятся налоги, сборы, отчисления в специальные внебюджетные фонды, платежи по обязательному страхованию имущества, вознаграждения за изобретение и рационализаторские предложения, за подготовку кадров, оплата услуг связи и т.д. Эти затраты составляют 2% от всех издержек и вычисляются по формуле:

$$I_{\text{прочее}} = 0,02 \times (K_{\text{мат}} + \Phi_{зп} + I_{\text{ам.обор}} + \text{ЕСН})$$

$$I_{\text{прочее}} = 0,02 \times (227960 + 30000 + 2086,29 + 7800) = 6439,1223$$

$$K_{\text{проекта}} = I_{\text{мат}} + \Phi_{\text{зп}} + I_{\text{ам.обор}} + I_{\text{соц.отч}} + I_{\text{накл.расх.}} + I_{\text{прочее}}$$

$$K_{\text{проекта}} = 227960 + 30000 + 2086,29 + 7800 + 60000 + 6439,1223 = 280,285$$

Рассчитываем плановые накопления (ПР). Стоимость проекта включает в себя 30% прибыли, таким образом:

$$\text{ПР} = 0,3 K_{\text{проекта}} = 0,3 * 280,285 = 8408,55$$

Рассчитываем стоимость проекта (Ц).

$$\text{Ц} = K_{\text{проекта}} + \text{ПР} = 280,285 + 8408,55 = 460854,424$$

В таблице 13 представлена смета затрат на НИР:

Таблица 13 - Смета затрат на научно-исследовательскую работу

Виды затрат	Обозначение	Сумма затрат, руб.
Материальные затраты	$I_{\text{мат}}$	227960
Амортизация оборудования	$I_{\text{ам,обор}}$	138,61
Затраты на оплату труда	ЗП	30000
Отчисления на социальные нужды	$I_{\text{соц.отч}}$	7800
Накладные расходы	$I_{\text{накл.расх}}$	60000
Прочие затраты	$I_{\text{прочие}}$	6439,1223
Себестоимость проекта	$K_{\text{проекта}}$	280,285
Плановые накопления (прибыль)	ПР	8408,55
Стоимость НИР (цена)	Ц	460854,424

Таким образом смета затраты на научно исследовательскую работу составляет 460854,424 рубля.

4.3. Оценка потенциала и эффективности НТИ

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Данная научно-исследовательская работа финансируется за счет средств государственного бюджета и по характеру получаемых результатов относится к

поисковым работам. Результаты данных работ, как правило, не заканчиваются созданием и промышленным внедрением новых видов материалов и средств изготовления продукции, поэтому оценивать её эффективность преждевременно.

Тем не менее, результаты НТИ являются ресурсоэффективными, так как решается задача повышения эксплуатационных характеристик изготавливаемых изделий. Также не возможно не отметить экономию ресурсов. В предлагаемой методике упрочнения материала отсутствует операция закалки. Данная операция закалки характеризуется высокими энергозатратами (нагрев электропечей, выдержка образцов в электропечах, увеличения продолжительности процесса изготовления изделия). При переходе на предполагаемую технологию упрочнения становится возможным использовать бронзовые сплавы вместо стали для изготовления зубчатых колес в редукторах запорных газовых задвижек. Благодаря хорошей обрабатываемости резанием бронзовых сплавов уменьшается время для производства изделий, уменьшается доля выхода из строя режущего инструмента.

Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности исследования необходимо: рассчитать коэффициент научно-технического уровня. Коэффициент НТУ рассчитывается при помощи метода балльных оценок, в котором каждому из признаков НТУ присваивается определенное число баллов по принятой шкале. Общую оценку приводят по сумме баллов по всем показателям с учетом весовых характеристик. Общая оценка рассчитывается по формуле:

$$НТУ = \sum_{i=1}^n k_i \cdot П_i ,$$

где k_i – весовой коэффициент i – го признака;

$П_i$ – количественная оценка i – го признака.

Таблица 14– Весовые коэффициенты НТУ

Признаки НТУ	Весовой коэффициент
Уровень новизны	0.6
Теоретический уровень	0.4

Возможность реализации	0.2
------------------------	-----

Таблица 15 – Шкала оценки новизны

Баллы	Уровень
1-4	Низкий НТУ
5-7	Средний НТУ
8-10	Сравнительно высокий НТУ
11-14	Высокий НТУ

Таблица 16– Значимость теоретических уровней

Характеристика значимости теоретических уровней	Баллы
Установка законов, разработка новой теории	10
Глубокая разработка проблем, многосторонний анализ, взаимозависимость между факторами	8
Разработка способа (алгоритм, устройство, программы)	6
Элементарный анализ связей между факторами (наличие гипотезы, объяснение версий, практические рекомендации)	2
Описание отдельных факторов (вещества, свойств, опыта, результатов)	0.5

Таблица 17– Возможность реализации по времени и масштабам

<u>Время реализации</u>	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2
<u>Масштабы реализации</u>	Баллы
Одно или несколько предприятий	2
Отрасль	4
Народное хозяйство	10

$$k_1 = 0.6, P_1 = 7, k_2 = 0.4, P_2 = 8,$$

$$k_3 = 0.2, P_3 = 10, k_4 = 0.2, P_4 = 4.$$

$$НТУ = 0.6 \cdot 7 + 0.4 \cdot 8 + 0.2 \cdot 10 + 0.2 \cdot 4 = 10.2$$

По полученным результатам расчета коэффициента научно-технического уровня можно сделать вывод, что данный проект имеет хорошие показатели новизны, значимость теоретического уровня, и при этом

используется в широком спектре отраслей за сравнительно небольшое время реализации.

Из оценки интегрального показателя ресурсоэффективности выполнения НИР можно сделать вывод о том, что данное научное исследования соответствует высокому уровню ресурсоэффективности.

SWOT анализ научного исследования выявил сильные и слабые стороны научно-исследовательской работы. Исследование имеет ряд значительных преимуществ, угрозы для выполнения исследования не ставят под угрозу возможность его реализации.

При планировании исследования была построена ленточная диаграмма Ганта, которая позволяет скоординировать работу исполнителей в ходе выполнения исследования.

Составлена смета научного исследования, с помощью которой можно оптимизировать затраты при проведении исследований. Сумма для выполнения НИР составила 460854,424 рубля

Оценка ресурсоэффективности проекта показала высокий результат, что говорит об эффективной реализации научного исследования.

Заключение

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 [18,19]. Как показывает таблица 2, рост твердости наблюдается с увеличением температуры. При температуре 300°C наблюдается максимальные значения твердости для исследуемых сплавов. Для сплавов БрС10О5Н5 и БрС10О10Н5 температура выдержки для получения твердости 95НВ и 138НВ соответственно, составила 300°C, для сплава БрС10О15Н5 температура выдержки для получения твердости 159 НВ, составила 350°C. Время выдержки при заданной температуре составляло 2 часа

Затем с повышением температуры твердость падает, что указывает на рост размера дисперсных частиц. Благодаря процессу выдержки образцов при повышенной температуре удалось на снимках микроструктуры обнаружить места выделения частиц новой фазы за счет их укрупнения после нагрева.

Применяя методы сканирующей микроскопии с возможностью определения элементного химического состава фаз и рентгенофазовый анализ был определен предположительный тип химического соединения, которое послужило причиной упрочнения сплава после проведения термической обработки.

Старение свинцово-оловянистой бронзы с добавками никеля, полученной литьем в металлическую форму, возможно без применения операции закалки.

Термоупрочнение свинцово-оловянистой бронзы, легированной никелем происходит за счет выделения химического соединения Ni_3Sn_4

Список публикаций

1. Щипов С.Е. Клочков Н.С. Термическое упрочнение свинцово-оловянистой бронзы, легированной никелем // Материалы и технологии новых поколений в современном материаловедении : сборник трудов международной конференции с элементами научной школы для молодежи, Томск, 9-11 Июня 2016. - Томск: ТПУ, 2016 - С. 137-141.