

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение
 Отделение школы (НОЦ) Отделение машиностроения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование механических характеристик уплотнений компрессора изготовленных из бронзовых сплавов

УДК 621.512-762:669.35.055:669.6

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM01	Федоров Геннадий Сергеевич		04.06.22

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМШ ИШНПТ ТПУ	Утьев О.М.	К.Т.Н.		04.06.22

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН ШБИП ТПУ	Гасанов М.А.	Д.Э.Н., профессор		01.06.22

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ИШНКБ ТПУ	Антоневич О.А.	Д.Т.Н., профессор		04.06.22

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении	Мартюшев Н.В.	К.Т.Н.		04.06.22

Томск – 2022 г.

Результаты обучения по ООП Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способность осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способность управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла, получать и обрабатывать информацию из различных источников с использованием современных информационных технологий, применять прикладные программные средства при решении практических вопросов с использованием персональных компьютеров с применением программных средств общего и специального назначения в том числе в режиме удаленного доступа
УК(У)-3	Способность организовать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способность применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия (-ий), анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-5	Способность на научной основе организовывать свой труд, самостоятельно оценивать результаты своей деятельности, владеть навыками самостоятельной работы в сфере проведения научных исследований, создавать и редактировать тексты профессионального назначения
УК(У)-6	Способность определить и реализовать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки, а также использовать приемы первой помощи, методы защиты в условиях чрезвычайных ситуаций
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способность формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки
ОПК(У)-2	Способность применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
ОПК(У)-3	Способность использовать иностранный язык в профессиональной сфере
ОПК(У)-4	Способность осуществлять экспертизу технической документации
ОПК(У)-5	Способность организовывать работу коллективов исполнителей, принимать исполнительские решения в условиях спектра мнений, определять порядок выполнения работ, организовывать в подразделении работы по совершенствованию, модернизации, унификации выпускаемых изделий, и их элементов, по разработке проектов стандартов и сертификатов, обеспечивать адаптацию современных версий систем управления качеством к конкретным условиям производства на основе международных стандартов
ОПК(У)-6	Способность к работе в многонациональных коллективах, в том числе при работе над междисциплинарными и инновационными
ОПК(У)-7	Способность обеспечивать защиту и оценку стоимости объектов

	интеллектуальной деятельности
ОПК(У)-8	Способность проводить маркетинговые исследования и подготавливать бизнес-планы выпуска и реализации перспективных и конкурентоспособных изделий в области машиностроения
ОПК(У)-9	Способность обеспечивать управление программами освоения новой продукции и технологий, проводить оценку производственных и непроизводственных затрат на обеспечение требуемого качества продукции, анализировать результаты деятельности производственных подразделений
ОПК(У)-10	Способность организовывать работу по повышению научно-технических знаний работников
ОПК(У)-11	Способность подготавливать отзывы и заключения на проекты стандартов, рационализаторские предложения и изобретения в области машиностроения
ОПК(У)-12	Способность подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения
ОПК(У)-13	Способность разрабатывать методические и нормативные документы, предложения и проводить мероприятия по реализации разработанных проектов и программ в области машиностроения
ОПК(У)-14	Способность выбирать аналитические и численные методы при разработке математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов в машиностроении
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способность разрабатывать технические задания на проектирование и изготовление машин, приводов, оборудования, систем и нестандартного оборудования и средств технологического оснащения, выбирать оборудование и технологическую оснастку
ПК(У)-2	Способность разрабатывать нормы выработки и технологические нормативы на расход материалов, заготовок, топлива и электроэнергии в машиностроении
ПК(У)-3	Способность оценивать технико-экономическую эффективность проектирования, исследования, изготовления машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов, принимать участие в создании системы менеджмента качества на предприятии
ПК(У)-4	Способность подготавливать заявки на изобретения и промышленные образцы, организовывать работы по осуществлению авторского надзора при изготовлении, монтаже, наладке, испытаниях и с даче в эксплуатацию выпускаемых изделий и объектов машиностроения
ПК(У)-5	Способность разрабатывать планы и программы организации инновационной деятельности на предприятии, оценивать инновационные и технологические риски при внедрении новых технологий, организовывать повышение квалификации и тренинг сотрудников подразделений в области инновационной деятельности и координировать работу персонала при комплексном решении инновационных проблем в машиностроении
ПК(У)-6	Способность разрабатывать мероприятия по комплексному использованию сырья, по замене дефицитных материалов и изысканию способов утилизации отходов машиностроительного производства

ПК(У)-7	Способность организовать развитие творческой инициативы, рационализации, изобретательства, внедрение достижений отечественной и зарубежной науки, техники, использование передового опыта, обеспечивающих эффективную работу подразделения, предприятия
ПК(У)-8	Способность организовать и проводить научные исследования, связанные с разработкой проектов и программ, проводить работы по стандартизации технических средств, систем, процессов оборудования и материалов
ПК(У)-9	Способность разрабатывать физические и математические модели исследуемых машин, приводов, систем, процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере, разрабатывать методики и организовывать проведение экспериментов с анализом их результатов
ПК(У)-10	Способность и готовность использовать современные психолого-педагогические теории и методы в профессиональной деятельности
ПК(У)-11	Способность подготавливать технические задания на разработку проектных решений, разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты технических разработок с использованием средств автоматизации проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных изделий, участвовать в рассмотрении различной технической документации, подготавливать необходимые обзоры, отзывы, заключения в области профессиональной деятельности
ПК(У)-12	Способность составлять описания принципов действия и устройства проектируемых изделий и объектов с обоснованием принятых технических решений в области профессиональной деятельности
ПК(У)-13	Способность применять новые современные методы разработки технологических процессов изготовления изделий и объектов в сфере профессиональной деятельности с определением рациональных технологических режимов работы специального оборудования в машиностроении

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

Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки 15.04.01 «Машиностроение»
Отделение машиностроения

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

_____ Мартюшев Н.В.

«__» _____ 2022 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ01	Федорову Геннадия Сергеевичу

Тема работы:

Исследование механических характеристик уплотнений компрессора изготовленных из бронзовых сплавов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№55-45/с от 24.02.2022

Срок сдачи студентом выполненной работы:	04.06.2022
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).	— Оловянная бронза марки БрО8Ц1Н1 — Оловянная бронза марки БрО8Ц1Н3 — Оловянная бронза марки БрО8Ц1Н5
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	— Литературный обзор; — Разработка режимов термической обработки; — Экспериментальное определение влияния легированием никелем на прочностные характеристики трехкомпонентной оловянной бронзы ;
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Демонстрационный материал (презентация в MS PowerPoint)

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
--------	-------------

Исследовательский	Утьев О.М.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Гасанов М.А.
Социальная ответственность	Антоневич А.О.
Обязательное приложение на английском языке	Сыскина А.А
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Introduction, literary review, basic methodic of research/	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	30.09.2020
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМШ ИШНПТ ТПУ	Утьев О.М.	к.т.н.		30.09.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ01	Федоров Геннадий Сергеевич		30.09.2020

Оглавление

1. Обзор литературы и постановка задач исследования.....	9
1.1. Актуальность работы	9
1.2. Физико-химические свойства	10
1.3. Отличия бронзовых сплавов.....	11
1.3.1. Термическая обработка	11
1.3.2. Сплав Медь-Олово.....	11
1.3.3. Сплав Медь-Никель	14
1.3.4. Сплав Медь-Цинк.....	17
1.3.5. Легирующий элемент Ti	18
1.4. Вывод по литературному обзору	22
1.5. Задачи исследования	22
2. Расчетно-практическая часть.....	23
2.1. Материал и методики исследований	23
2.1.1. Выбор материала для исследований.....	23
2.1.2. Методика ведения плавки и заливки	23
2.1.3. Металлографические исследования.....	25
2.1.4. Определение механических характеристик.....	26
2.1.5. Термическая обработка	30
2.2. Влияние никеля на структуру и свойства оловянной бронзы.....	31
2.2.1. Подготовка шихтовых материалов для изготовления образцов.....	31
2.2.2. Исследование микроструктуры литых сплавов	31
2.2.3. Исследование микроструктуры литых сплавов после обработки старением.....	34
2.2.4. Исследование влияния термической обработки старением на отлитые в кокиль заготовки...37	
2.2.5. Исследование влияния термической обработки старением на механические характеристики материала.....	41
2.2.6. Исследование микроструктуры сплавов после закалки	43
2.2.7. Исследование влияния термической обработки закалкой на отлитые в кокиль заготовки	46
2.2.8. Исследование микроструктуры образцов, прошедших термическую обработку закалкой и старением.....	50
2.2.9. Исследование влияния термической обработки закалкой и старением на отлитые в кокиль заготовки	51
2.2.10. Исследование влияния термической обработки закалки и старением на ударную вязкость материала.....	53
3. Социальная ответственность	58
3.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	59
3.2. Производственная безопасность	60
3.2.1. Анализ вредных и опасных факторов производственной среды.....	61
3.2.2. Повышенный уровень шума на рабочем месте.....	63

3.2.3.	Недостаточная освещенность рабочей зоны	63
3.2.4.	Повышенный уровень электромагнитных излучений.....	65
3.2.5.	Мероприятия по снижению электромагнитного излучения:	65
3.2.6.	Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	66
3.2.7.	Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия вредных и опасных факторов на исследователя	67
3.3.	Экологическая безопасность	68
3.4.	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	70
4.	ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	76
	Введение	76
4.1.	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований.....	76
4.1.1.	Потенциальные потребители результатов исследования	76
4.1.2.	Анализ конкурентных технических решений	77
4.1.3.	Технология QuaD.....	79
4.2.	Планирование научно-исследовательских работ	83
4.2.1.	Структура работ в рамках научного исследования.....	83
4.2.2.	Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения	84
4.3.	Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	88
4.3.1.	Расчет материальных затрат НТИ	88
4.3.2.	Расчет затрат на специальное оборудование	89
4.3.3.	Основная заработная плата	90
4.3.4.	Дополнительная заработная плата исполнителей темы	92
4.3.5.	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	92
4.3.6.	Накладные расходы.....	93
4.3.7.	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	93
4.4.	Определение ресурсосберегающей и финансовой эффективности исследования	94
	Заключение.....	98
	Источники	99

1. Обзор литературы и постановка задач исследования

1.1. Актуальность работы

В настоящее время в машиностроении активно используются сплавы на основе бронзы. Благодаря таким свойствам, как высокие антифрикционные характеристики, высокая обрабатываемость резанием, целесообразно использовать этот материал не только при производстве подшипников, но и для колес зубчатых передач, маслоплотных и поршневых колец, уплотнений гидроцилиндров и т.д., для которых помимо хорошей износостойкости, требуются достаточные прочностные характеристики. Детали, выполненные из подобных сплавов ориентированы на работу, сопровождаемую износом. Однако статистика с начала эксплуатации содержит значительное количество случаев разрушения данных изделий.

Попытки упрочнения бронз были выполнены в ряде работ и нашли свое применение в промышленности. Для улучшения эксплуатационных свойств бронзы применяют специальные виды литья и модифицирование структуры. Для получения более высоких механических характеристик необходимо определить минимальное легирование никелем для компонентной оловянистой бронзы.

Цель работы. Исследование влияния никеля на микроструктуры и механические характеристики четырехкомпонентных оловянистых бронз. Повышение механических прочности и твердости, при экономном легировании.

Задачи исследования:

1. Провести исследование микроструктуры на фазовый состав и размер зерна.
2. Определить влияние легирования никелем на прочностные характеристики четырехкомпонентной оловянистой бронзы.
3. Разработка режимов термической обработки.

1.2. Физико-химические свойства

По внешним признакам бронзовые, латунные, медные и алюминиевые изделия сложно отличимы. В отличие от латуни продукция из бронзы более стойкая к абразивному износу. Бронза обладает большей плотностью, чем алюминий.

На свойства бронзы главное влияние оказывает ее хим. состав. Даже небольшие легирующие включения могут сильно повлиять на прочностные, механические и физические качества бронзы. .

Влияние легирующих веществ:

- олово, фосфор и железо —упрочняют и повышают твердость бронзы, повышают устойчивость к коррозионному воздействию;
- свинец — делают сплав податливей к резке.
- цинк и хром — повышают жаропрочность бронзы;
- никель, кремний, марганец и цирконий —положительно влияют на пластичность сплава;
- бериллий — препятствует окислению, образуя на поверхности материала защитную пленку.

Таблица 1 Физико-химические свойства бронз

Марка	Температура плавления, °C	Плотность γ , кг/м ³	Удельное электросопротивление $\rho \cdot 10^6$, Ом*м	Теплопроводность λ , Вт/(м*К)	Удельная теплоемкость c_p , Дж/(кгК)	Температурный коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹
БрОФ4-0,25	1080	8900	0,091	83,6	—	17,6
БрОФ6,5-0,15	995	8850	0,123	71	377	17,8
БрОФ6,5-0,4	955	8850	0,176	67	377	17,1
Бр0ф7-0,2	950	8750	0,17	65,8	377	17
БрОФ8-0,3	880	8700	0,175	63	377	17
БрОЦ4-3	1045	8800	0,087	83,5	—	18
БрОЦС4-4-2,5	1018	8900	0,09	70,7	377	18,2
БрОЦС4-4-4	1015	9100	0,11	67	—	18,1

1.3. Отличия бронзовых сплавов

Каждый тип бронзы уникален, за счет характеристик, определяемых его хим.составом, которые определяются содержанием химических элементов и приобретаются при определенных термических обработках.

1.3.1. Термическая обработка

В контексте бронзы, из термической обработки нам интересны следующие технологии:

Закалка - При закаливании увеличивается технологичность сплава, его пластичность.

Старение - при старении бронзы упрочняются и повышают свои механические свойства.

Насталивание(чугунение) – использование чугуна, как источника углерода в бронзе, для упрочнения и повышения износостойкости, при последующих проковках чугун выжимается, оставляя после себя маленькие частички высокоуглеродистой стали.

1.3.2. Сплав Медь-Олово

Далее (Рис.1) указана диаграмма состояния, построенная на основе большого количества работ [5, 20].

В области α -твердого раствора повышение содержания олова в сплавах приводит к увеличению твердости, временного сопротивления, уменьшению относительного удлинения. Так как сплавы обладают широким интервалом кристаллизации и составы жидкой и твердой фаз в системе Cu - Sn сильно различаются, развивается интенсивная дендритная ликвация. [5] Особенно сильная дендритная ликвация наблюдается в отливках при центробежном способе заливки расплава в форму.

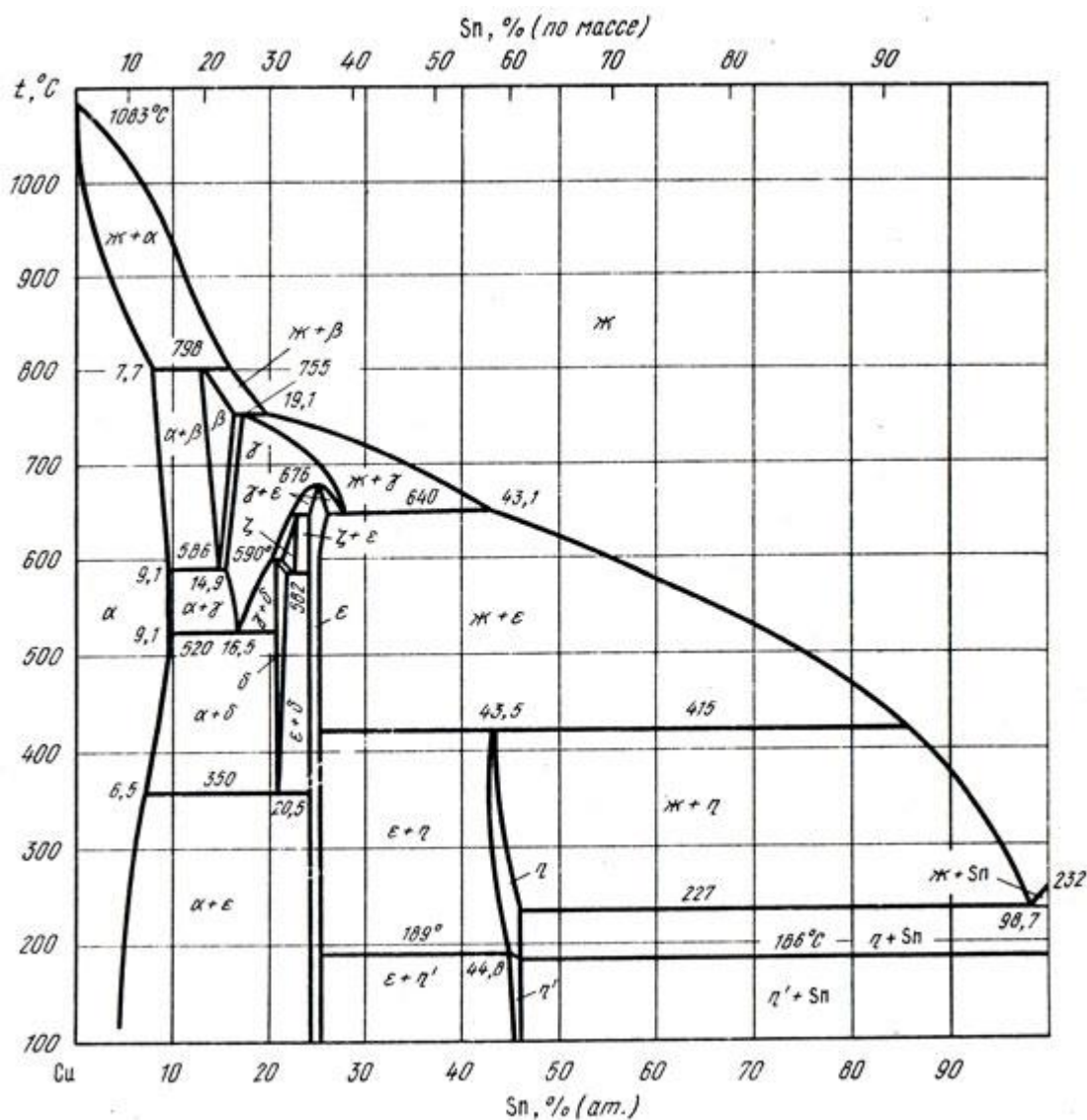


Рис.1 Диаграмма состояния сплавов системы медь – олово [6]

Прочность материалов можно повысить с помощью различных распространенных методов, таких как измельчение зерна, деформационное упрочнение, упрочнение твердым раствором, закалочное упрочнение, дисперсионное упрочнение и дисперсионное упрочнение. Спинодальное упрочнение - это развивающийся метод, с помощью которого также можно повысить прочность бронзовых сплавов. Это относится к процессу, в котором перенасыщенный твердый раствор разлагается на богатые растворенными веществами и обедненные растворенными веществами области, когда он выдерживается при подходящей температуре. В результате внутри твердого тела образуется модулированная структура, и последующее старение приводит к образованию упорядоченной структуры. Поле деформации вокруг модулированной

структуры, создаваемое спинодальным распадом вместе с упорядоченной структурой, препятствует движению дислокаций и тем самым вызывает затвердевание. В работе[13] утверждается что в процессе старения прочность сплава увеличивается до трех раз в зависимости от состава сплава, количества холодной обработки и температуры старения.

В той же работе [13] был проведен ряд исследований на сплавах спинодальной бронзы (Cu-Ni-Sn) для оценки микроструктуры и механических свойств, но были проведены ограниченные исследования для определения характеристик износа, поскольку эти сплавы являются потенциальными кандидатами для использования в высокоэффективных установках. В [14] говорится о влиянии содержания Sn на твердость сплавов Cu-Ni-Sn при сохранении фиксированного значения Ni равной 10 % от массы.

Чтобы узнать влияние олова (Sn) на процесс упрочнения, рассматривалось два различных аспекта механизмов упрочнения: (1) упрочнение твердого раствора из-за растворенных в матрице растворенных веществ Sn, (2) спинодальное упрочнение из-за образования модулированной структуры вместе с реакцией упорядочения. Был построен график зависимости твердости от содержания Sn в состоянии, обработанном раствором, как показано на Рис 2. Из рисунка видно, что твердость в первом случае увеличивается с увеличением содержания Sn, тем самым иллюстрируя его влияние на аспект упрочнения раствора.

На том же рисунке 2 нанесены экспериментальные значения, относящиеся к обработке старением, чтобы оценить вклад Sn в спинодальное упрочнение при втором случае. Кроме того, максимальная твердость увеличивается с увеличением содержания Sn.

Следует отметить важный момент: линии тренда для обоих случаев почти параллельны, и поэтому можно сделать вывод об отсутствии дополнительного

вклада из-за спинодального упрочнения при увеличении содержания Sn с 4 до 8 % от массы.

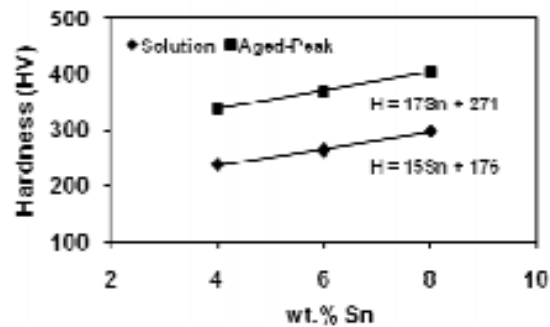


Рис.2 Изменение твердости в зависимости от содержания олова(Sn)[13]

1.3.3. Сплав Медь-Никель

Диаграмма состояния системы медь - никель(Рис.3) представляет собой систему с непрерывным рядом твердых растворов. [5] Сплавы этой системы являются основой промышленных сплавов типа мельхиора, который хорошо деформируется, а упрочняется деформационным наклепом. [7]

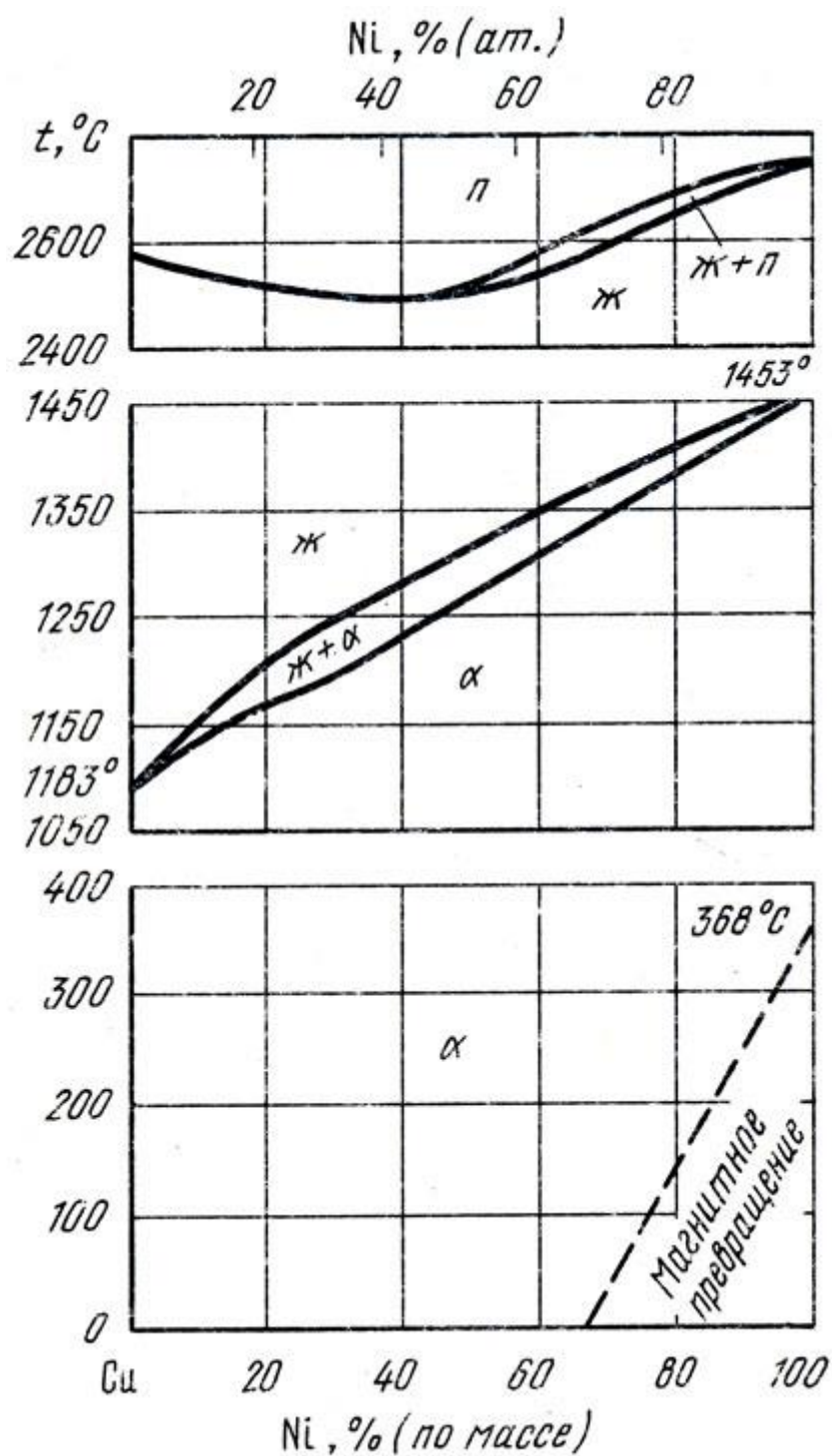


Рис.3 Диаграмма состояния системы медь-никель[6]

Содержание никеля в бронзе увеличивает интервал кристаллизации, несколько снижает жидкотекучесть, особенно при содержании никеля свыше 0,5... 1 %, измельчает структуру сплава, повышает горячеломкость. Также с увеличением содержания никеля твердость и прочность сплавов повышаются. [10]

Никель-медные (Cu-Ni) сплавы называются медными сплавами с основным металлическим элементом-Ni и возможными вкраплениями некоторых других металлов, например олова (Sn), обладают высокой электропроводностью и невысокой стоимостью. Результаты статьи [12] показывают, что благодаря спинодальному распаду, происходит преобразование микроструктуры в малую гладкую структуру и деление процесса на 2 фазы: $\alpha + \gamma$.

Также, благодаря статье[12] можно подчеркнуть, что сплав Cu-Ni-Sn увеличивает прочность при термообработке. Свойства сплава Cu-Ni-Sn, такие как прочность или предел упругости также можно регулировать путем комбинирования термической и механической обработок.

После завершения термообработки, такой как закалки при 800 ° C, холодной прокатки на толщину от 40% до 0,35 мм, термообработки старением при 350 ° C и 1,5 ч для проявления спинодального механизма, сплав Cu-9Ni-3Sn упрочнился до 1200МПа, упругость увеличилась до 1100МПа, твердость повысилась до 300НВ, а электропроводность стала около 8,4%. [22-24]

Из этого следует, что сплав Cu-9Ni-3Sn может быть использован для изготовления электрических контактов с требованиями высокой прочности, высокого предела упругости, высокой коррозионной стойкости и абразивного износа. Диаграмма Cu-Ni-Sn представлена на рис.4. Наибольший интерес для получения литейных сплавов представляет область $\alpha + \theta$. Авторы диаграммы состояния Cu-Sn-Ni [18,19] считали, что θ –фаза по составу должна соответствовать одному из химических соединений Ni_3Sn или Ni_4Sn . Фаза θ обладает переменной растворимостью в зависимости от температуры, что позволяет применять к оловянно-никелевым бронзам термическую обработку-закалку и последующее старение.

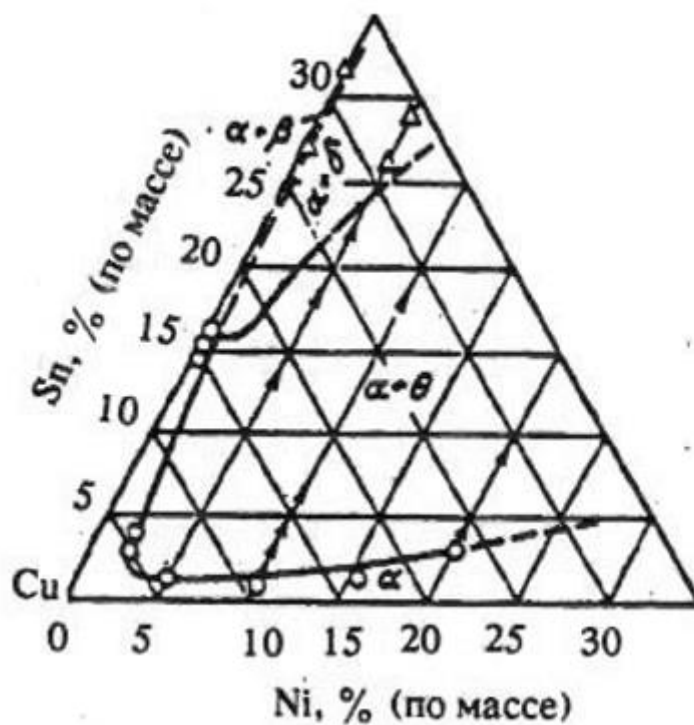


Рис.4 Изотермический разрез диаграммы состояния сплава Cu-Ni-Sn.

1.3.4. Сплав Медь-Цинк

Диаграмма состояния системы медь - цинк изображена на рис.5

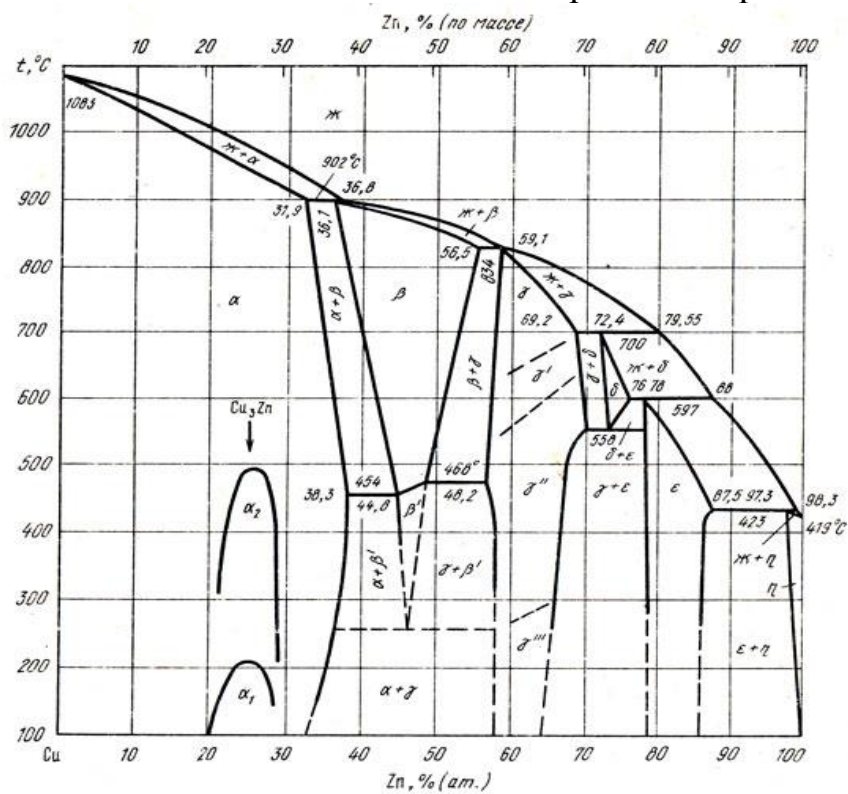


Рис.5 Диаграмма состояния сплавов системы медь-цинк[6]

Наличие цинка в бронзе улучшает жидкотекучесть, снижает прочность и пластичность, повышает твердость, ухудшает коррозионную стойкость, а также уменьшает газонасыщенность расплава.

1.3.5. Легирующий элемент Ti

Исследовано влияние добавки Ti на микроструктуру и механические свойства сплавов Cu-15Ni-8Sn. Оптическая микроскопия (ОМ), сканирующая электронная микроскопия (SEM) и просвечивающая электронная микроскопия (ТЕМ) использовались для определения размера зерна и распределения вторых фаз в сплавах. Результаты показывают, что свойства при растяжении сплавов Cu-15Ni-8Sn значительно улучшаются при добавлении Ti. Относительное удлинение при растяжении увеличилось с 2,7% для сплава без Ti до 17,9% для сплава с 0,3% Ti, в то время как предел прочности при растяжении сохранился и даже увеличился с 935 МПа до 1024 МПа. Улучшение механических свойств сплавов Cu-15Ni-8Sn за счет добавления Ti объясняется измельчением зерна и подавлением прерывистого выделения во время термообработки.

Сплавы Cu-Ni-Sn считаются привлекательной заменой сплавам Cu-Be и широко применяются для изготовления переключателей, соединителей и пружинных компонентов в электронной промышленности. Благодаря своей превосходной прочности и высокой износостойкости сплав Cu-15Ni-8Sn также является идеальным кандидатом в качестве высокопроизводительных подшипников и износостойких компонентов для аэрокосмических и механических систем.

Было обнаружено, что сплав Cu-15Ni-8Sn может достигать предела прочности на разрыв, превышающего 1000 МПа, при соответствующей термомеханической обработке. Однако такая термомеханическая обработка обычно приводит к неутешительно низкой пластичности. Также известно, что

предел прочности сплава Cu-15Ni-8Sn достигал 1140 МПа, а относительное удлинение составляло всего 3%. Прерывистое осаждение считается одной из основных причин потери пластичности, которая появляется на границах зерен в процессе старения. Во многих работах предпринимались попытки подавить прерывистое осаждение за счет оптимизации термомеханической обработки. Первоначальная работа по термомеханической обработке сплава Cu-Ni-Sn была выполнена Дж. Т. Плевесом [15], показав, что реакция пластичности является следствием конкурентного баланса между спинодальным и прерывистым превращением. Лефевр [16,17] указал, что спинодальное упрочнение в сплаве Cu-15Ni-8Sn ограничено прерывистым выделением. Несмотря на падение предела текучести, пластичность все еще оставалась низкой в процессе разупрочнения.

С другой стороны, было подтверждено, что добавление микроэлементов может эффективно подавлять прерывистую реакцию осаждения. Нерастворимые мелкие частицы наблюдались в матрице и границах зерен сплавов Cu-10Ni-8Sn с различными добавками Si, Al или Cr. Эти частицы занимали места зародышеобразования для подавления зародышеобразования прерывистого осаждения и замедляли миграцию продвигающихся границ клетки за счет эффекта Зинера, подавляющего рост клетки и измельчения зерен; Между тем, добавки практически не снизили максимальную твердость сплавов. В сплаве Cu-15Ni-8Sn с добавкой кремния зарождение и рост прерывных выделений подавлены, вызванные образованием частиц Ni₂Si и Ni₃Si. Добавление Nb, Ta, V или Fe также значительно повысило пластичность сплава Cu-15Ni-8Sn при соответствующей холодной обработке и старении.

Было обнаружено, что добавление Ti также оказывает эффект подавления прерывистого выделения и измельчения зерна в сплаве Cu-10Ni-8Sn из-за образования нерастворимых частиц. Как обсуждалось выше, сплавы Cu-15Ni-8Sn с высокой прочностью имеют важное техническое применение; однако их низкая

пластичность ограничивает их более широкое применение. Ожидается, что механические свойства сплава Cu-15Ni-8Sn могут быть улучшены за счет подавления прерывистого выделения и измельчения зерна за счет добавления Ti. Поэтому в работе[11] изучалось влияние добавки Ti на высокопрочный сплав Cu-15Ni-8Sn; пластичность сплавов была эффективно улучшена при сохранении сверхвысокого уровня прочности.

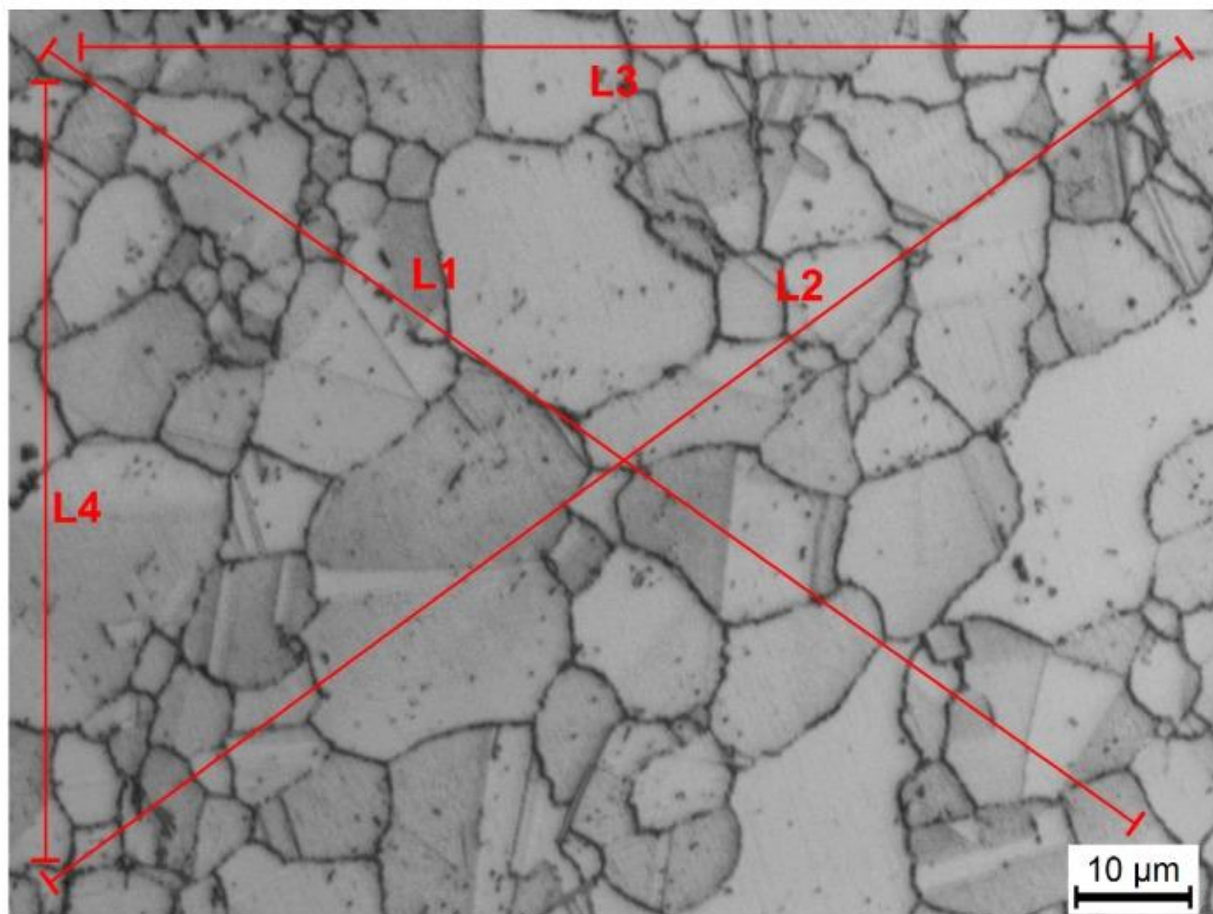


Рис.8 Репрезентативное изображение оптической микроскопии (ОМ) определения размера зерен методом линейного пересечения.[11]

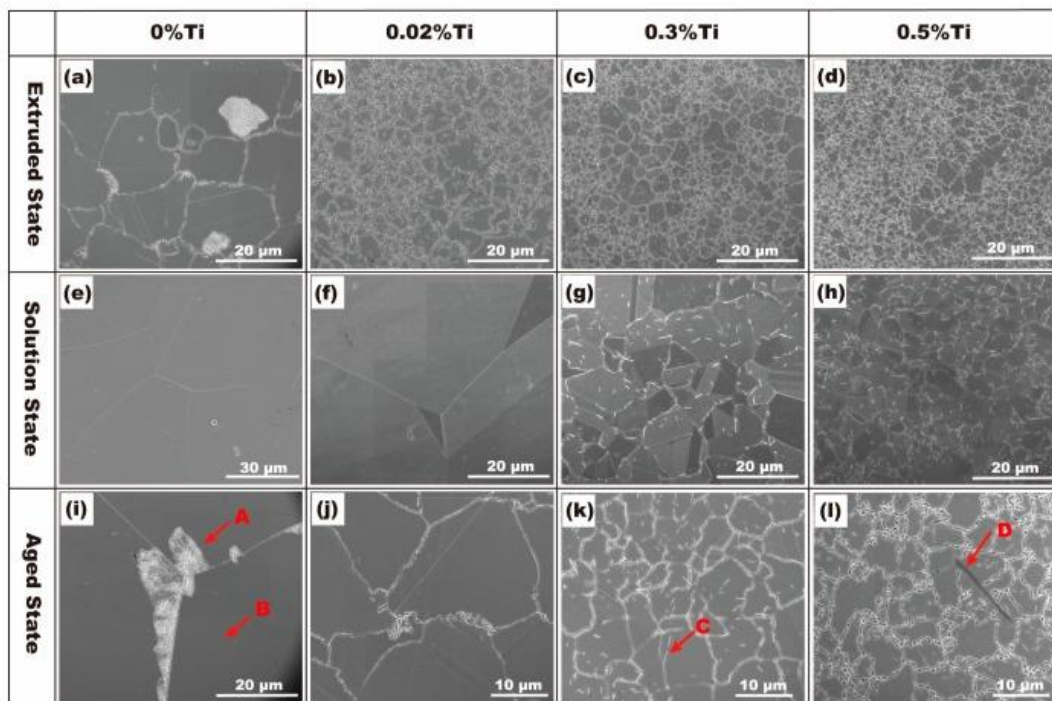


Рис.9 СЭМ-Микрофотографии сплавов с разным содержанием Ti в разных условиях: (а – d) горяче-катанное состояние; (е – h) Обработка твердого раствора при 820 ° C в течение 1 ч; (i – l) Обработка старением при 400 ° C в течение 4 часов.[11]

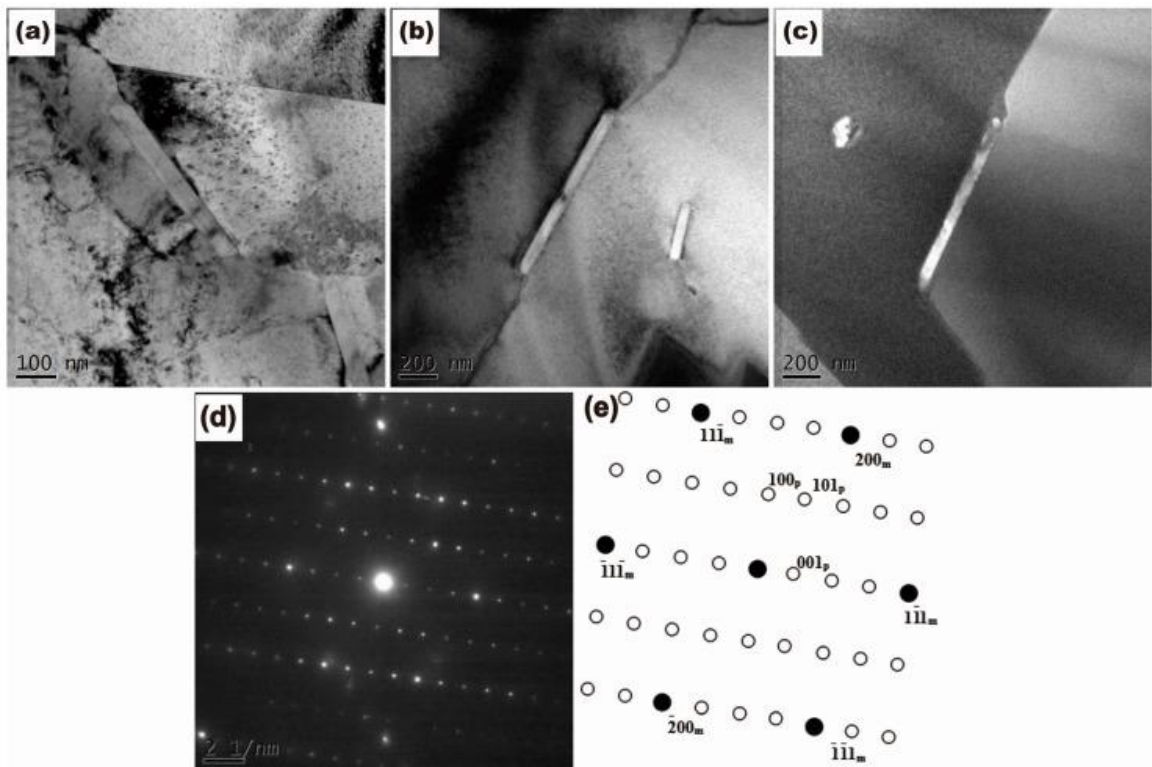


Рис.10.ПЭМ-Изображения выделений Ni_3Ti , распределенных по границам зерен в сплавах с 0,5% Ti: (а) горячекатаный сплав; (b) твердый раствор сплава; (с) состаренный сплав; (d) SADP фазы Ni_3Ti в состаренном 0,5% Ti сплаве; (е) Схема SADP в изображении d . [11]

1.4. Вывод по литературному обзору

На основе литературного обзора можно сделать промежуточный вывод: отличным материалом для уплотнений будет бронза с содержанием кремния выше 5%, однако кремний не является экономически выгодным материалом. Неплохим и дешевым аналогом является бронза с присадкой алюминия, но подобный материал лишен пластичности, а значит чуть более хрупкий. Оптимальным выбором будет оловянистая бронза с содержанием никеля около 1-5%, или с присадкой титана около 0.3-0.5%, также с возможными присадками цинка и свинца. Подобный материал изначально должен обладать повышенной прочностью, но также может повысить прочностные качества во время термообработки старением при 230-480 ° С и 2 ч, закалкой при 700 ° С

1.5. Задачи исследования

На основании проведенного исследования литературных источников по выбранной теме, были поставлены следующие задачи:

- Определить комплексное влияние легирующих элементов на структуру, механические свойства и температуру фазовых превращений оловянной бронзы.
- Изучить влияние никеля на упрочнение оловянной бронзы термической обработкой.
- Разработать технологию термического упрочнения оловянной бронзы, легированной никелем.
- Изготовить экспериментальные образцы из термически упрочненной бронзы с добавками никеля и провести испытание механических характеристик.

2. Расчетно-практическая часть

2.1. Материал и методики исследований

2.1.1. Выбор материала для исследований

В 1-й главе указано, что оловянистая бронза с добавками никеля и цинка обладают высокими механическими свойствами. Данный вид бронз обладает высокими литейными качествами и хорошо обрабатывается резанием.

С увеличением олова свыше 10% происходит уменьшение пластичности за счет образования в структуре хрупкого эвтектоида. Поэтому следует использовать количество олова, не превышающего 10%.

Введение в сплав никеля до 6% увеличивает твердость сплава, за счёт измельчения структуры, и обеспечивает равномерное распределение включений упрочняющих фаз.

Небольшие добавки цинка повысят твердость состава, существенно не влияя на пластичность материала.

Анализируя имеющиеся данные, был выбран следующий состав бронз для исследований: 8%Sn, 1% Zn и 1...5% Ni.

2.1.2. Методика ведения плавки и заливки

Для исследования влияния комплексного легирования элементов на структуру и свойства отливок из бронзы, полученных центробежным литьем, были изготовлены втулки массой 2,7 кг с наружным диаметром 108 мм, с внутренним диаметром 36 мм, и высотой 130 мм.

Компоненты плавил на высокочастотной тиристорной установке в тигле из силицированного графита емкостью 5 кг. Шихтой служили: катодная медь марки М1к(ГОСТ 859-78), прутковое олово марки О1(ГОСТ 860-75), цинк в чушках марки Ц1 (ГОСТ 3640–94) и прутковый никель марки Н1 (ГОСТ 849). В качестве раскислителя использовали фосфористую медь МФ1(ГОСТ 4515-93).

Последовательность плавки была следующей:

1)Разогрев тигля до 1200 градусов.

2) Введение в тигель 50% массы меди.

3) После расплавки массы, проводим снятие шлака с поверхности.

4) Загрузка в расплавленную медь никеля для отсутствия окисления последнего, и прижимаем его второй частью меди.

5) По мере расплавления меди, происходит растворения в ней никеля.

6) После расплавления лигатуры добавляем олово и цинк.

7) После окончательного снятия шлака, проводим раскисление расплава в тигле печи фосфористой медью (Cu_3P) из расчета 0,05 % на вес всей шихты, для удаления кислорода из сплава.

8) Расплав, через желоб, заливаем в заранее смазанный оксидом циркония кокиль (Рис.11), который закреплен в трехкулачковом самоцентрирующемся патроне центробежной машины (Рис.12).

9) После кристаллизации расплава, полученные отливки выбили из кокиля.



Рис.11-Кокиль.



Рис.12. Устройство для центробежного литья. (1-Двигатель, 2-трехкулачковый самоцентрирующий патрон, 3-Кокиль, 4-Желоб).

2.1.3. Металлографические исследования

Анализ микроструктуры выполняли с помощью исследовательского оптического микроскопа AxioObserver A1.m фирмы Carl Zeiss, произведенного в Германии, и программного продукта AxioVision v.4. Для исследования микроструктуры были изготовлены металлографические шлифы с помощью шлифовальных шкур с различным размером зерна абразива. Полировка проводилась на сукне с применением водного раствора хрома. Структура выявлялась травлением образцов концентрированной соляной кислоты. Образцы для металлографических исследований вырезали из центробежных отливок в продольном направлении. Всего было приготовлено около 60 образцов.

Для расчёта среднего размера зерна твердого раствора, применялся метод секущих. Пример расчета размера приведен на рис.13

Всего за время работы было сделано и обработано около 50 микрофотографий.

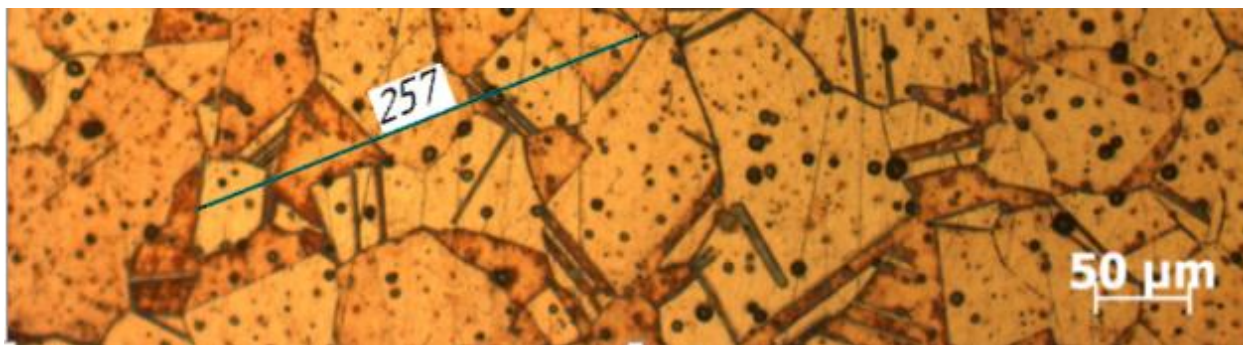


Рис.13.Пример расчета размера зерна методом секущих. Размер зерна равен $(257/5)$ 51.4 мкм.

2.1.4. Определение механических характеристик

При выполнении работы, определялись следующие характеристики: твердость, ударная вязкость, прочность. Всего для работы было изготовлено около 80 образцов разных форм и размеров.

2.1.4.1. Измерение твердости

Твердость образцов в литом состоянии определялась на твердомере Бринелля(рис14) по ГОСТ 9012-59 с нагрузкой 250 кг и диаметром стального шарика 5 мм.



Рис.14.Твердомер по Бринелю

2.1.4.2. Испытания на ударный изгиб

Наиболее оперативным методом определения трещиностойкости является испытание на ударную вязкость. Этим методом можно достаточно надежно и просто оценивать уровень качества литой бронзы.

Для проведения испытаний применяли маятниковый копер 2130КМ-0.3 с максимальным запасом энергии 300 Дж (Рис.15). Объектами исследований являлись образцы Шарпи размером 55x10x10 с надрезом в глубинной 2 мм и радиусом 1 мм (ГОСТ 9454-78) (рис. 16). Количество образцов составляло 2 для каждой серии испытаний.

Свободная энергия маятника составляла 5.4 Дж. Ударная вязкость (КС) определялась как отношение работы (А), затраченной на разрушение образца к его площади поперечного сечения (F_0):

$$КС = \frac{A}{F_0}$$



Рис.15. Маятниковый копер 2130КМ-0.3



Рис.16. Образец Шарпи

2.1.4.3. Испытания прочности

Подготовленные заготовки, выполненные по ГОСТ 1497-84(Рис.17) помещаются в машины для растяжения и разрыва заготовок (Рис.18). Машина прикладывает нарастающую силу, до того момента пока заготовка не порвется, а специальная программа выводит данные процесса на экран компьютера. С помощью этих данных можно узнать силу, которую нужно приложить для разрыва образца, а также рассчитать относительное удлинение образца.



Рис.17. Готовый образец на растяжение, общая длина 62 мм, длина 1 и 3 участка 10 мм, 1 и 3 участка диаметр 12 мм, длина 2 участка 42 мм, диаметр 2 участка 6 мм.



Рис.18. Машина испытательная МИРИ-100К

Относительное удлинение считается по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{6,8}{44} = 0,1545 = 15,45\%$$

Где ε - относительное удлинение, Δl - абсолютное удлинение, значение берется из значений, выводимых программой (пример на рис.19), l_0 - начальная длина образца (у всех образцов она одинаковая и равна 44 мм).

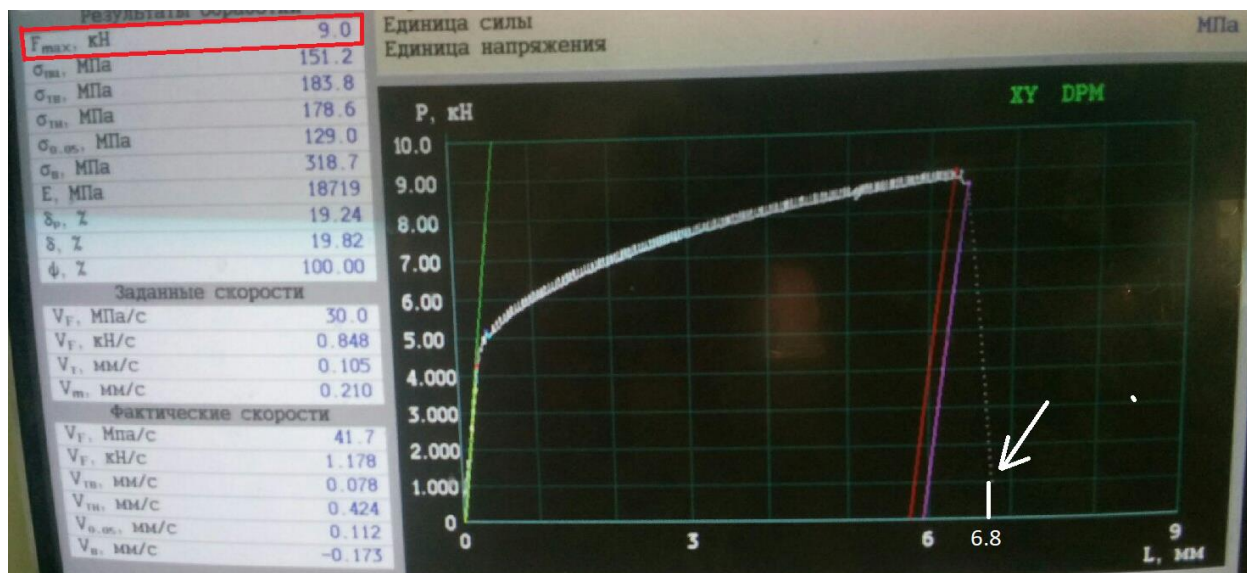


Рис.19. Пример отбора данных для будущих расчетов. (красная рамка выделяет значение максимально приложенной силы, контурная линия, на которую указывает стрелка, показывает абсолютное удлинение).

2.1.5. Термическая обработка

Термическая обработка осуществлялась в электропечи ПКЭ БУАН-41(Рис.20).

Были осуществлены термические обработки закалкой и старением.



Рис.20. ПКЭ БУАН-41

2.2. Влияние никеля на структуру и свойства оловянной бронзы

2.2.1. Подготовка шихтовых материалов для изготовления образцов.

Исследования проводились на бронзе (Cu-Sn-Zn-Ni).

Была подготовлена шихта для литья в кокиль. Расчет шихты велся из расчета по массе для в металлический кокиль – 2500гр. В составе для каждого сплава менялось доля содержания Ni от 1% до 5% в замен Cu.

Состав сплава для каждой отливки представлен в таблице 1.

Табл.2.- Химический состав и маркировка исследуемых сплавов

№ плавки	(маркировка)	Содержание элементов, % масс.			
		Cu	Sn	Zn	Ni
1	БрО8Ц1Н1	90	7,9 - 8,0	0,9 - 1,0	1
2	БрО8Ц1Н3	88			3
3	БрО8Ц1Н5	86			5

В качестве легирующих элементов были взяты олово марки О1 по ГОСТ 860-75 в прутках, цинк марки Ц1 по ГОСТ 3640–94 в чушках и никель марки Н1 по ГОСТ 849 в прутках.

2.2.2. Исследование микроструктуры литых сплавов

Для оценки микроструктуры материала была проведена операция по травлению с помощью серной кислоты с добавкой хромовой кислоты.

Протравленные пластины были рассмотрены под микроскопом с применением разных увеличений.

Ниже представлены результаты:

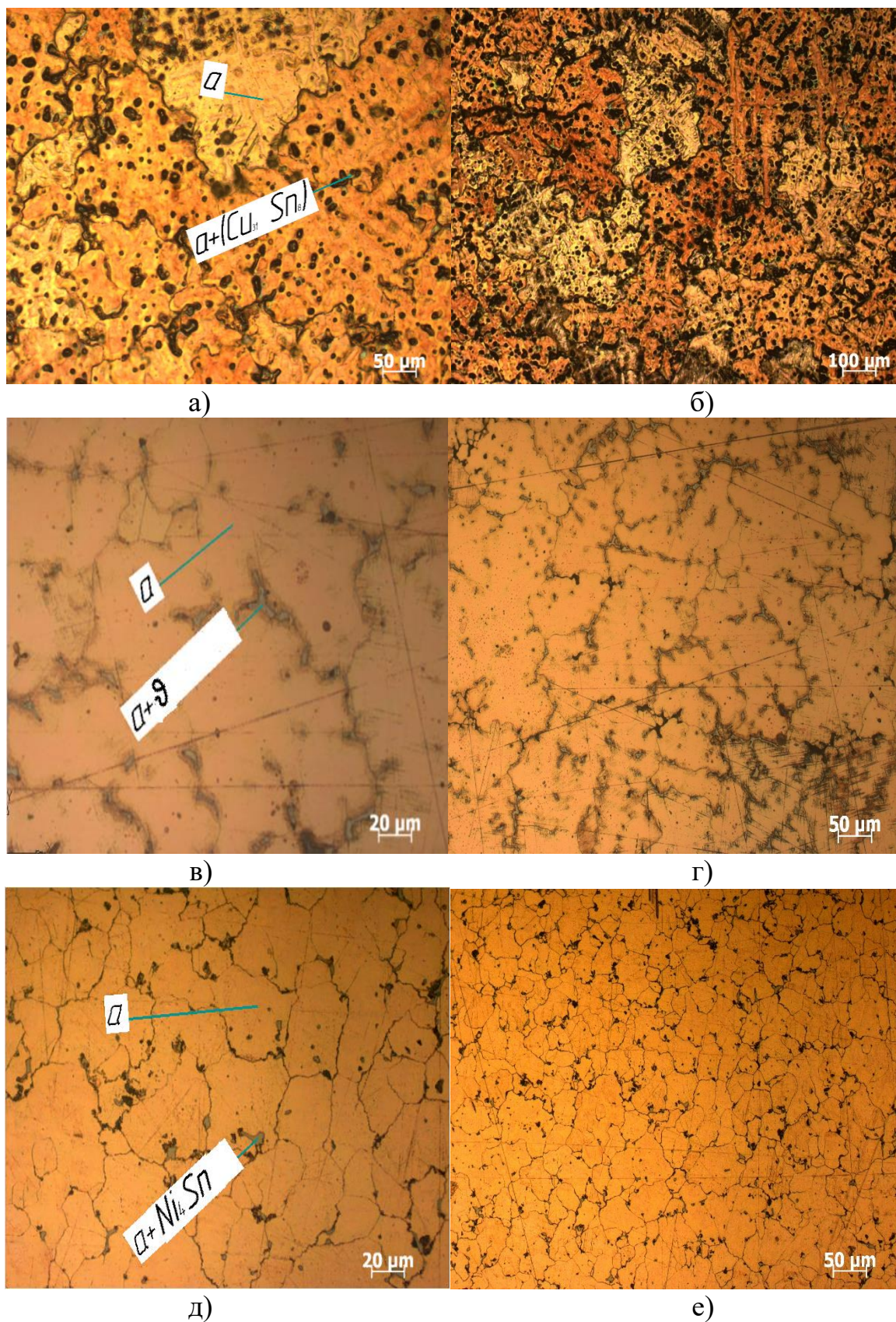


Рис.21 Микроструктура сплавов.(а,б-микроструктура сплава с Ni=1%, в,г-микроструктура сплава с Ni=3%, д,е-микроструктура сплава с Ni=5%)

На рисунке 21(а,б) изображена микроструктура неоднородного по химическому составу твердого раствора. Дендритная ликвация. Светлые участки-зерна богатые медью и светлые оси дендритов богатые никелем.[25] Темные участки-Дендриты твердого раствора олова в меди и темные межосные пространства. Структура сплава в основном состоит из зерен α -фазы, обладающих высокой пластичностью, но также имеются разрозненные включения зерен эвтектоида $\alpha + \delta$ ($\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$), обладающих повышенной прочностью. Такая структура обеспечивает оптимальный баланс между пластичностью и прочностью, однако их эксплуатационные свойства следует улучшать легированием. Влияние легирования никелем в процентном содержании, равным 1% имеет неявный характер.

На рисунках 21(в,г) изображена микроструктура сплава с содержанием легирующего элемента Ni равным 3%. С увеличением содержания никеля количество светлых дендритов увеличивается, начинается формирование полноценных зерен, что приводит к повышению твердости. Размер зерна рассчитывается с помощью метода секущих: отрезок (длиной 94,55 мкм) пересекает 6 зерен. Размер зерна равен $(94,55 / 4) 23.64$ мкм. Структура сплава в основном также состоит из зерен α -фазы, обладающих высокой пластичностью, и включений зерен эвтектоида $\alpha + \theta$ (Ni_4Sn), обладающих повышенной прочностью, но эвтектические включения с увеличением содержания никеля до 3% становятся расположены более систематично и равномерно, сконцентрировано в зонах между зернами. Также атомы никеля упрочняют твердый α -раствор бронзы. Твердость и прочность материала растет. Видна незначительная деформация($\sim 1\%$), что указывает на все еще высокую пластичность, которая присутствует благодаря α -фазе, однако наличие никеля значительно ее понизило.

На рисунках 21(д,е) изображена микроструктура сплава с содержанием легирующего элемента Ni равным 5%. Размер зерна рассчитывается с помощью метода секущих: отрезок (длиной 291,77 мкм) пересекает 13 зерен. Размер зерна равен $(291,77/14) 20.79$ мкм.

С увеличением содержания никеля до 5% дендритная структура уже не видна. Никель обеспечивает измельчение зерен медных сплавов.

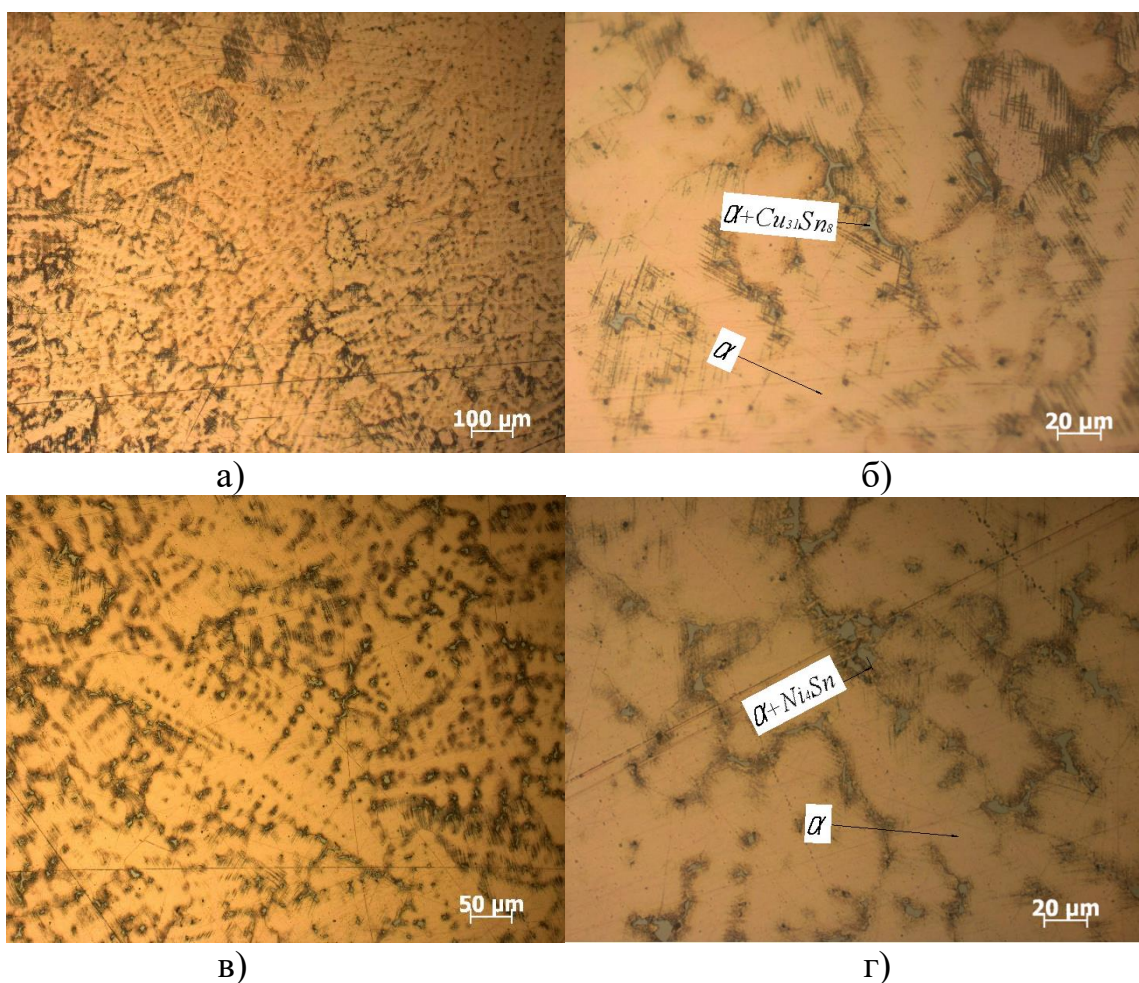
Зерна эвтектоида $\alpha + \theta$ (Ni_4Sn), являющиеся укрепляющей фазой, приобрели более компактную форму. Зерна α -фазы стали меньше. Деформация окончательно исчезла, из-за упрочнения α -фазы атомами никеля.

Вывод: Легирование никелем в процентном содержании 3-5 % приводит к упрочнению оловянной бронзы с содержанием Sn около 8% и снижению ее пластичности, посредством уменьшения зерна α -фазы и компоновки эвтектоида $\alpha + \theta$.

2.2.3. Исследование микроструктуры литых сплавов после обработки старением.

Для оценки микроструктуры материала была проведена операция по травлению с помощью серной кислоты с добавкой хромовой кислоты.

Протравленные пластины были рассмотрены под микроскопом с применением разных увеличений. Ниже представлены результаты:



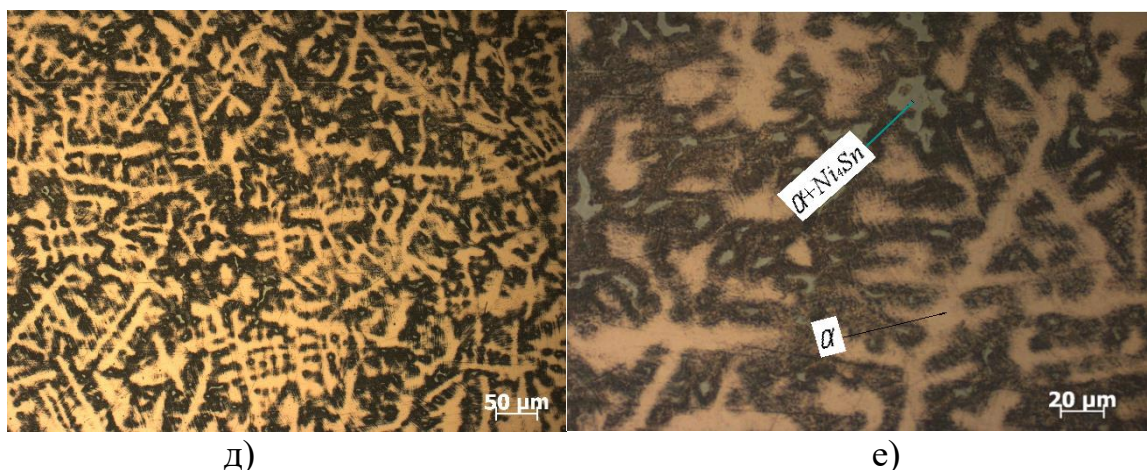


Рис.22 Микроструктура сплавов.(а,б-микроструктура сплава с Ni=1%, в,г-микроструктура сплава с Ni=3%, д,е-микроструктура сплава с Ni=5%)

Во всех трех отливках, после старения образовалась дендритная ликвация.

На рис.22(а,б) изображена структура сплава в основном состоящая из зерен α -фазы, обладающих высокой пластичностью, но также имеются разрозненные включения зерен эвтектоида $\alpha + \delta$ ($\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$), обладающих повышенной прочностью. Влияние легирования никелем в процентном содержании, равным 1% имеет неявный характер.

На рисунках 22(в,г) изображена микроструктура сплава с содержанием легирующего элемента Ni равным 3%. Структура сплава в основном также состоит из зерен α -фазы, обладающих высокой пластичностью, и включений зерен эвтектоида $\alpha + \theta$ (Ni_4Sn), обладающих повышенной прочностью, но эвтектические включения с увеличением содержания никеля до 3% становятся расположены более систематично и равномерно. Также атомы никеля упрочняют твердый α -раствор бронзы. Твердость и прочность материала растет.

На рисунках 22(д,е) изображена микроструктура сплава с содержанием легирующего элемента Ni равным 5%.

Зерна эвтектоида $\alpha + \theta$ (Ni_4Sn), являющиеся укрепляющей фазой, существенно увеличились. Участки α -фазы стали меньше. С увеличением содержания никеля стали появляться участки с выделением дисперсных частиц Cu_9NiSn_3 (рис.23), наличие которых увеличивает твердость материала и прочность материала. [26]

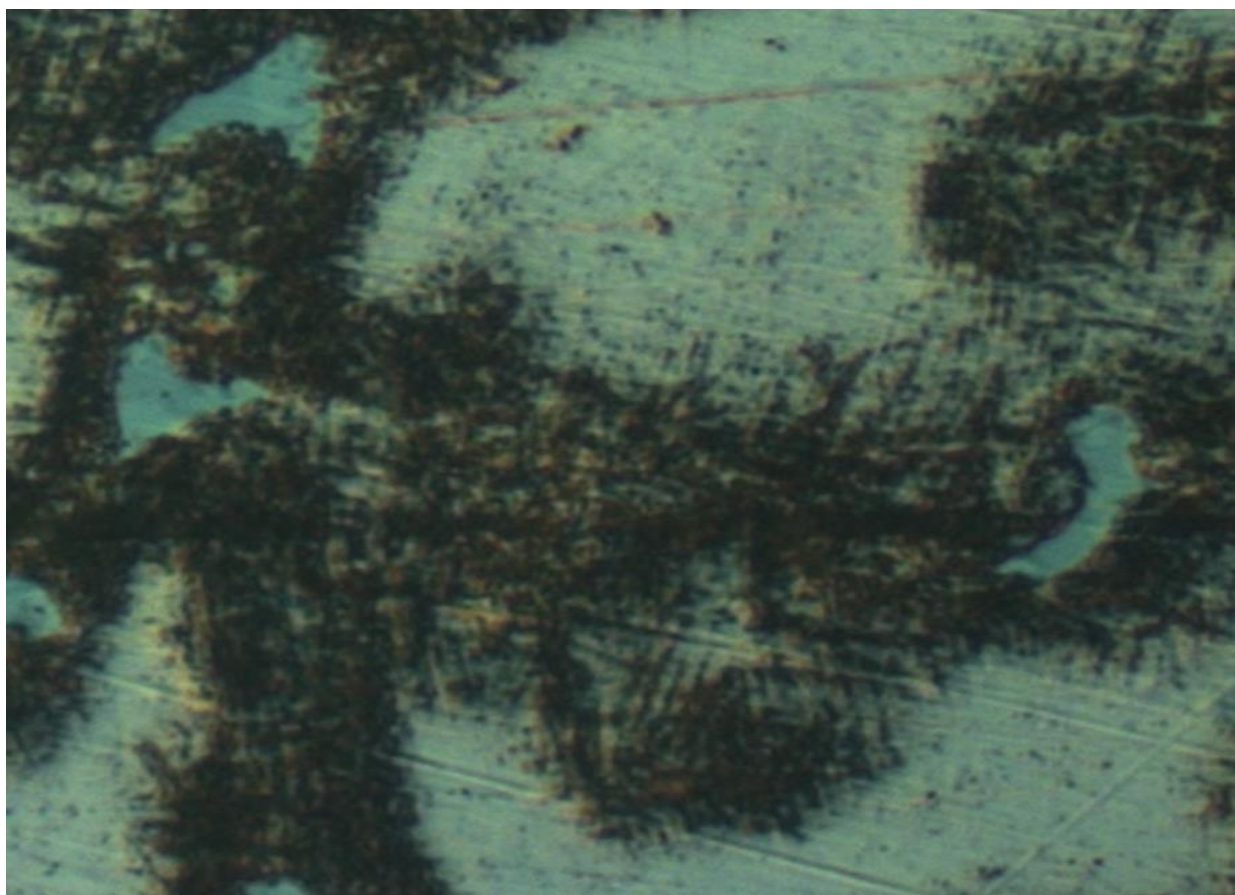


Рис.23 Дифференциально интерференционный контраст(ДИК) микроструктуры сплава БрО8Ц1Н5, светлые участки-дисперсные частицы.

Вывод: Старение литых заготовок приводит к повышению твердости материала. В результате старения происходит выделение дисперсных частиц, количество которых прямо пропорционально содержанию никеля. Этот эффект наблюдается тем больше, чем выше содержание легирующих компонентов (Ni, Sn).

2.2.4. Исследование влияния термической обработки старением на отлитые в кокиль заготовки

На твердость были проверены все три сплава в литом состоянии, а также после термической обработки старением (2 часа, охлаждение воздушное), при этом температура старения изменялась в интервале от 230 °С до 480 °С с шагом в 50 °С. Полученные значения были занесены в таблицу.

Табл.3 Значения твердости образцов

Сплав	Литые.			230 °С			280 °С			330 °С			380 °С		
1 сплав	89.7	101	95	89.7	84.9	89.7	89.7	101	84.9	89.7	89.7	89.7	84.9	95	89.7
2 сплав	95	89.7	107	89.7	101	101	95	89.7	101	89.7	101	95	107	107	107
3 сплав	95	107	101	107	114	107	101	101	101	101	121	107	107	114	114

Для удобства построения графика, приведем значения нескольких опытов к среднему значению:

Табл.4 Среднее значение твердости

Сплав	В литом.	230 °С	280 °С	330 °С	380 °С	430 °С	480 °С
1 сплав	95.233	88.1	91.867	89.7	89.867	91.467	91.633
2 сплав	97.233	97.233	95.233	95.233	107	107	101
3 сплав	101	109.333	101	109.667	111.667	148	88.1

По полученным данным строим графическую зависимость (рис 24 и 25):

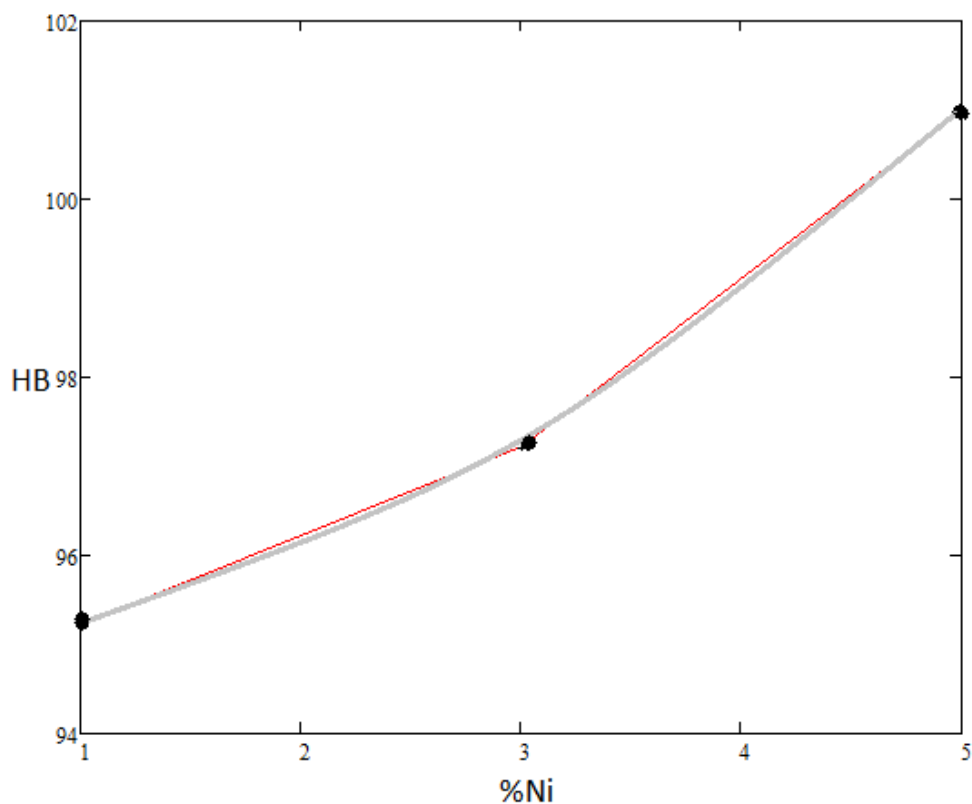


Рис.24 Зависимость твердости от процентного содержания никеля

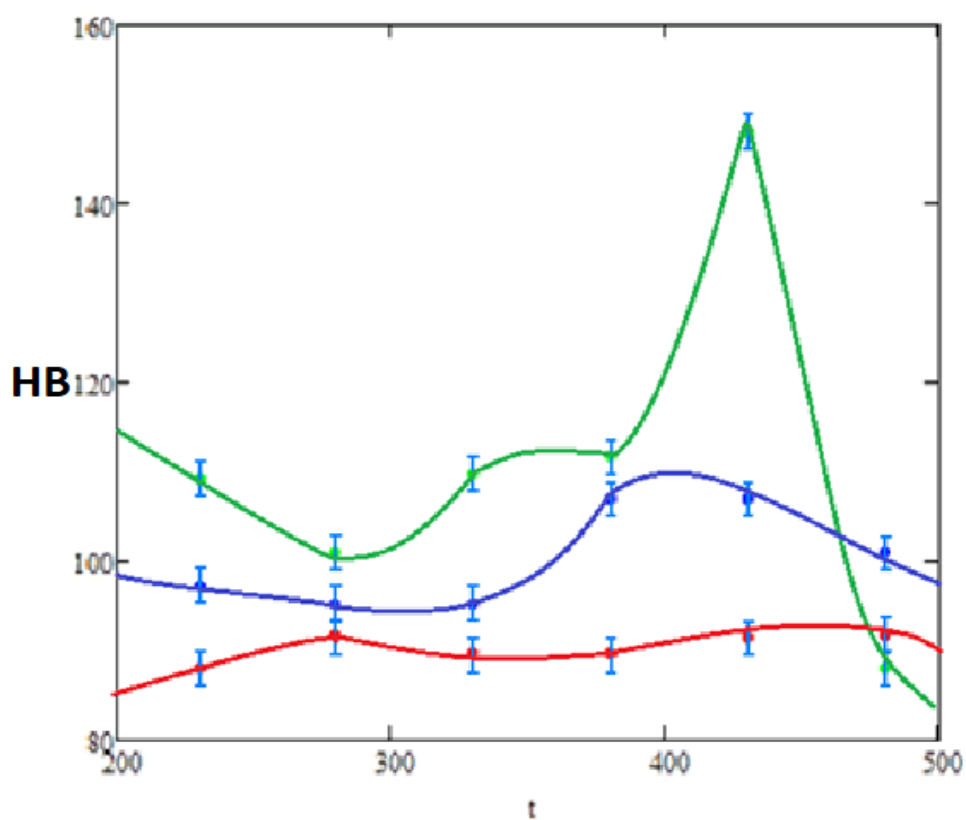


Рис.25 Зависимость твердости образцов от температуры старения (красный-1%Ni, синий-3%Ni, зеленый-5%Ni)

Из зависимости можно сделать следующие выводы: сплав с содержанием никеля, равным 5 процентам приводит к повышению твердости на почти на всех этапах исследования. Термическая обработка старением повышает твердость сплава в зависимости от процентного содержания никеля. Повышение содержания никеля смещает температуру старения, необходимую для максимального повышения твердости сплава.

Материал содержащий 1 процент никеля, оказался самым мягким.

Также было проведено измерение микротвердости с помощью DuraScan 20, при $HV=0,025$.

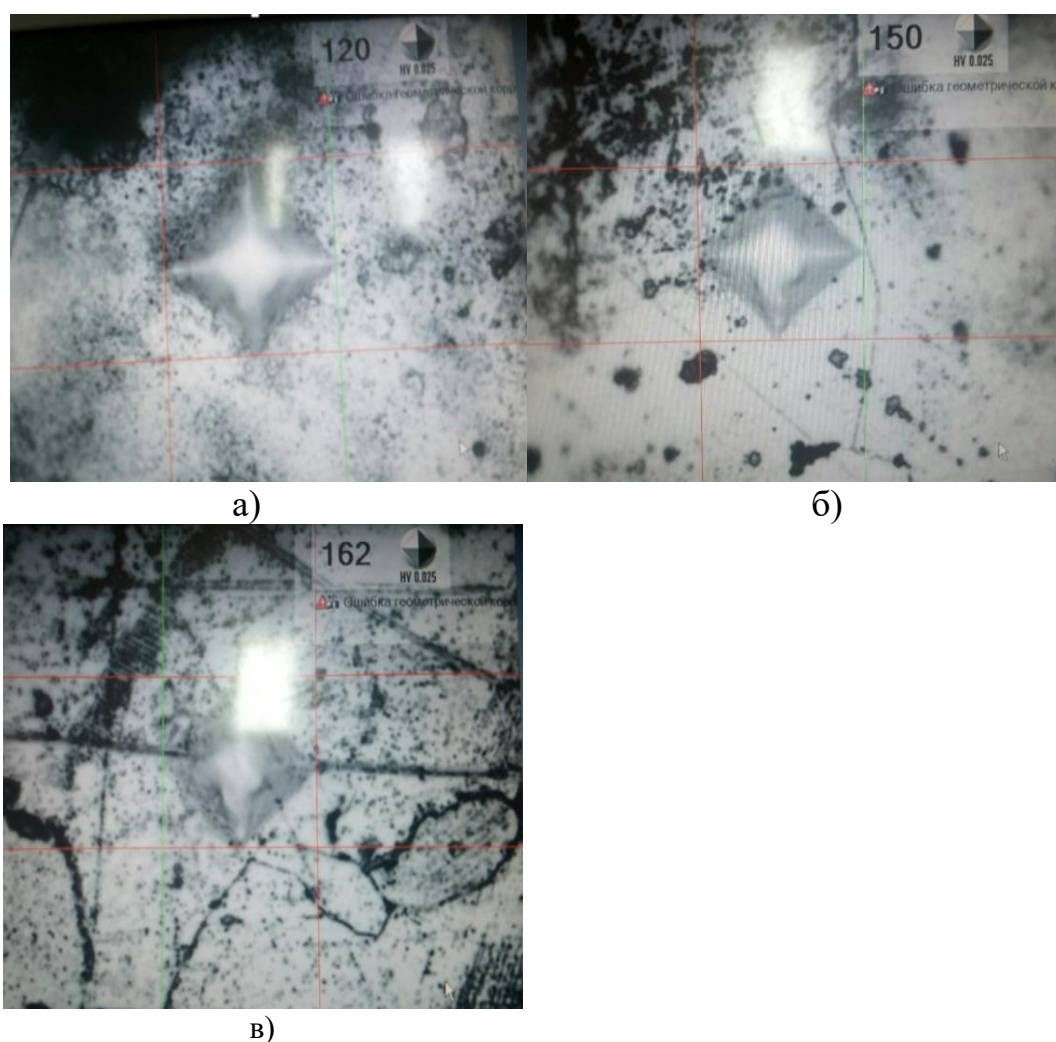


Рис.26 Отпечаток для измерения микротвердости (а-Ni=1%, б-Ni=3%, в-Ni=5%)

Табл. 5 Средний значение микротвердости твердого α -раствора.

Процент Ni.	1%	3%	5%
Среднее значение	117.2	147.4	164.2

Микротвердости при HV=0,025.			
---------------------------------	--	--	--

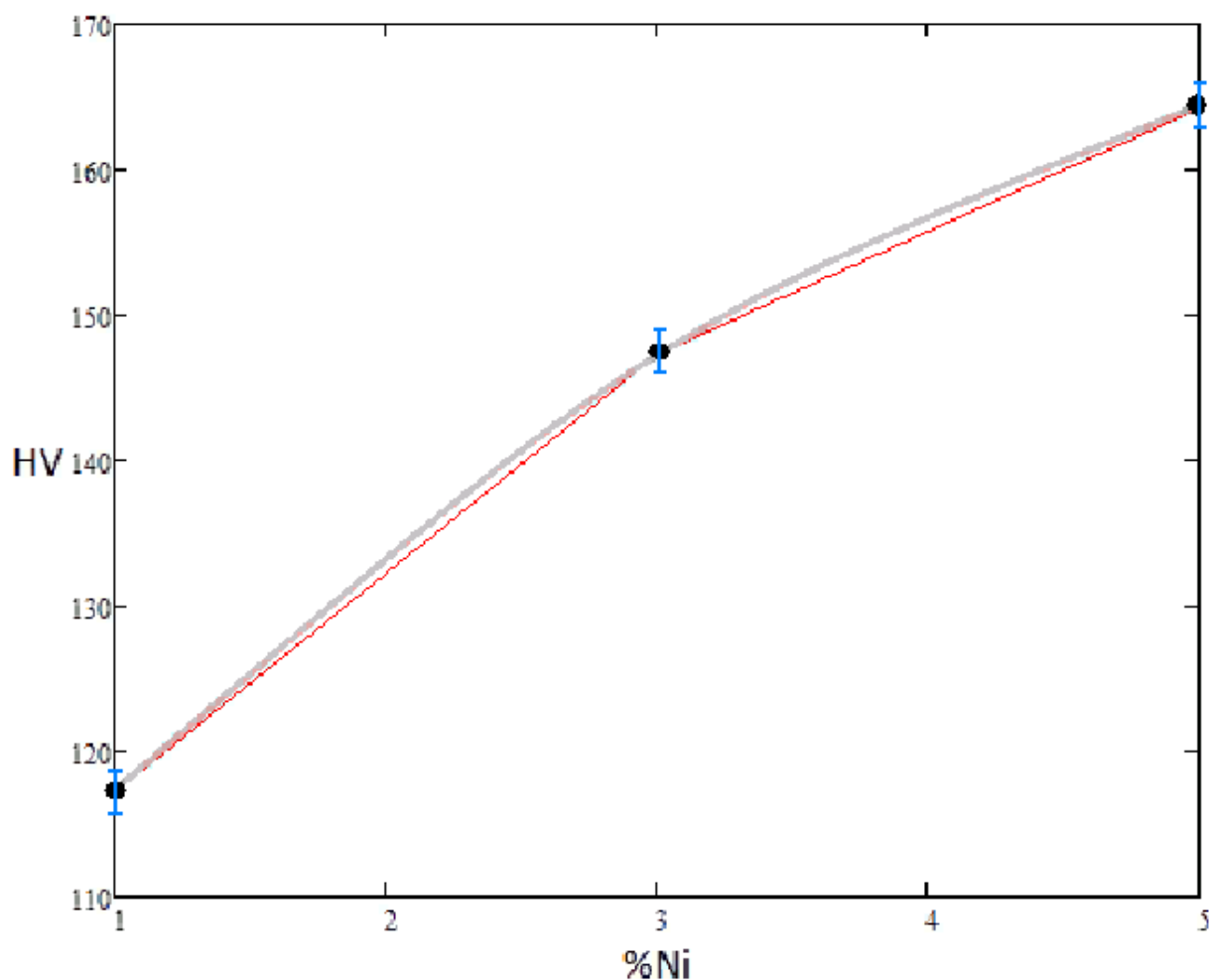


Рис.27 Зависимость микротвердости от процентного содержания никеля в литых заготовках.

С увеличением процентного содержания Ni, твердость литых образцов возросла. Повышение твердости связано с увеличением легированности никелем. Видна корреляция значений микротвердости и твердости по Бринеллю.

Никель в оловянной бронзе повышает твердость на ~15 HB при содержании его 5,0 %. При этом микротвердость α -твердого раствора возрастает на ~50 HV.

2.2.5. Исследование влияния термической обработки старением на механические характеристики материала

Были сломаны образцы Шарпи, в литом состоянии и после процесса старения. Результаты измерялись в точке излома. Результаты приведены в таблицах ниже.

Табл.6 Ударная вязкость литых заготовок

	F_0 (мм ²)	A(Дж)	КС(Дж/мм ²)
1 сплав	10.1 x 7.9 =79,79	24	0.3
2 сплав	10 x 8 =80	41.2	0.515
3 сплав	10 x 8 =80	15	0.1875

Табл.7 Ударная вязкость старенных заготовок

	F_0 (мм ²)	A(Дж)	КС(Дж/мм ²)
1 сплав	9.9 x 7.5 =74,25	24.6	0.33
2 сплав	10 x 7.5 =75	22.8	0.304
3 сплав	10.1 x 7.4 =74,74	10.2	0.1365

На основе данных были построены графические зависимости (рис. 28)

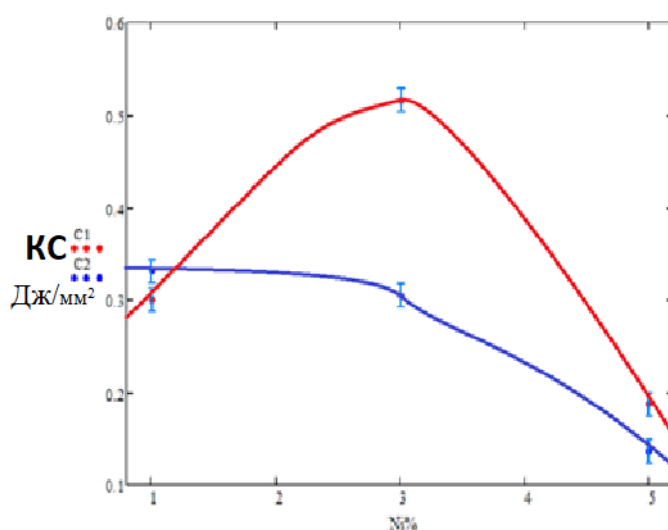
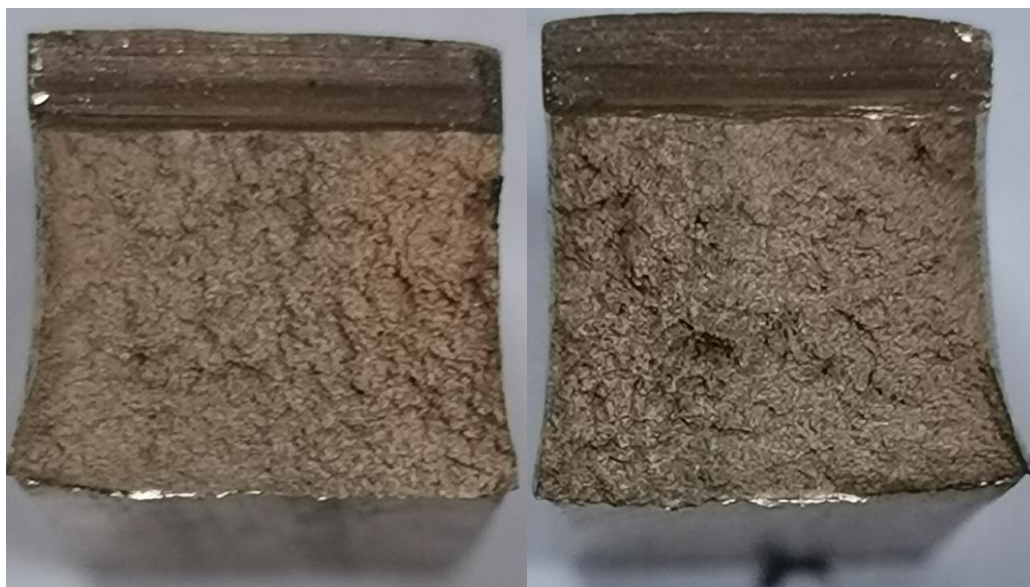


Рис.28 Значения ударной вязкости от содержания Ni в сплаве.(C1-Литой материал,C2-Литой-Старенный)



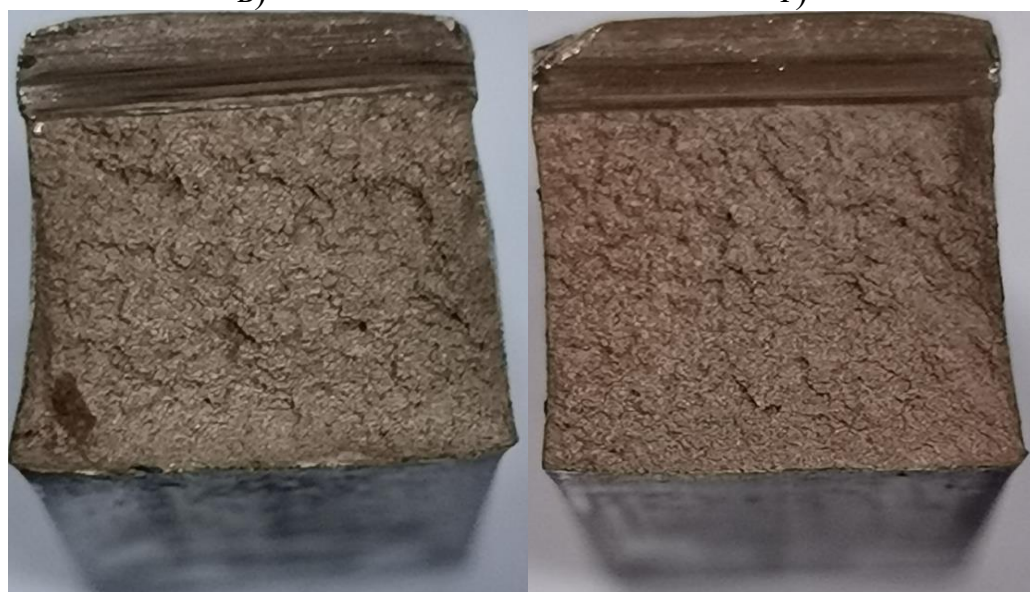
а)

б)



в)

г)



д)

е)

Рис.29 Фрактограммы(а-Литая Ni=1%, б-Литая Ni=3%, в-Литая Ni=5%, г-Старенная Ni=1%, д-Старенная Ni=3%, е-Старенная Ni=5%)

Из анализа графической зависимости можно сделать вывод, что после старения, ударная вязкость и пластичность материала снизилась. Влияние никеля становится заметно после Ni=3%. Эти данные коррелируют с анализом микроструктуры и измерениями твердости образцов, потому что значение ударной вязкости и пластичности обратно пропорционально значениям твердости и прочности.

Анализ фрактограмм показывает, что излом в первую очередь идет по укрепляющим фазам. С повышением содержания никеля поверхность изломов становится более однородной. Значения ударной вязкости напрямую связаны с падением ударной вязкости и пластичности.

Вывод: Операция старения понижает ударную вязкость и пластичность материала.

Было проведено несколько исследований прочностных характеристик литых заготовок с помощью испытательной машины МИРИ-100К, полученные данные были занесены в таблицу

Табл.8 Прочностные характеристики литых заготовок

	$\varepsilon 1, \%$	$\varepsilon 2, \%$	$\varepsilon 3, \%$	$F1, \text{кН}$	$F2, \text{кН}$	$F3, \text{кН}$
1 сплав	15,45	19,09	28,41	9	10	7,3
2 сплав	12,27	22,16	25,91	11,9	9,1	10,2
3 сплав	11,14	14,21	15,19	13,1	10,3	11,1

Вывод: из таблицы видно, что с повышением содержания Ni, относительное удлинение при растяжении заготовки снижалось, а прикладываемая сила росла. Прочность заготовок возрастает, пластичность падает, из-за образования укрепляющих фаз.

2.2.6. Исследование микроструктуры сплавов после закалки

Для оценки микроструктуры материала после закалки была проведена операция по травлению с помощью серной кислоты с добавкой хромовой кислоты.

Протравленные пластины были рассмотрены под микроскопом с применением разных увеличений.

Ниже представлены результаты:

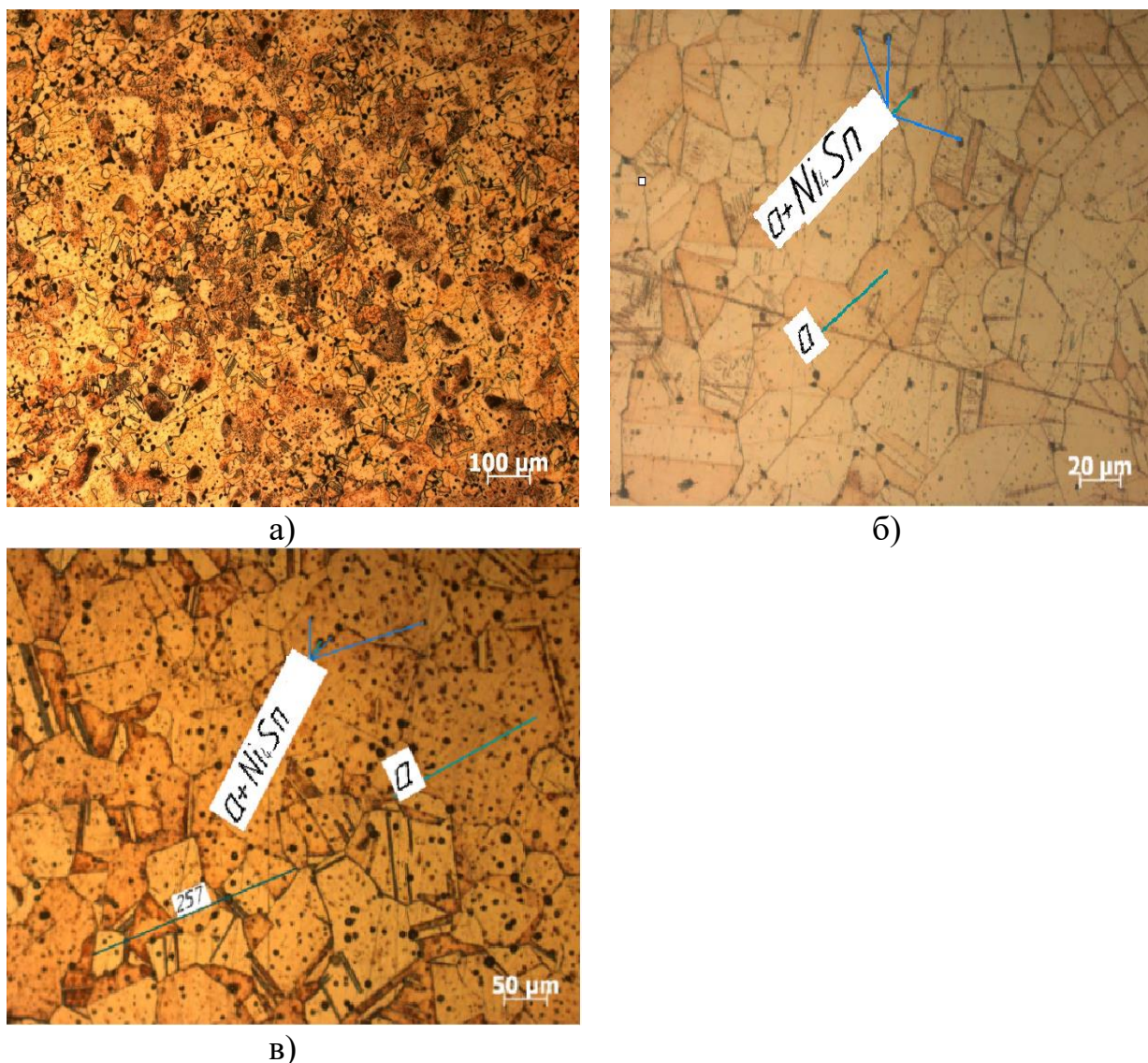


Рис.30 Микроструктура сплавов после закалки.(а-микроструктура сплава с Ni=1%, б-микроструктура сплава с Ni=3%, в-микроструктура сплава с Ni=5%)

На рисунке 30(а) изображена дендритная ликвация. Неоднородный по химическому составу твердый раствор. Структура сплава в основном состоит из зерен α -фазы, обладающих высокой пластичностью, но также имеются разрозненные включения зерен эвтектоида $\alpha + \delta$ ($\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$), обладающих повышенной прочностью. Как и в случае с литыми образцами, легирование никелем до 1% не имеет явного эффекта.

Отдельно стоит отметить дефект проявляющийся из-за операции закалки материала, подразумевающей высокие скорости обработки. Некоторые зерна быстро делятся на две части симметрично относительно друг друга. Материал становится более хрупким из-за высокого шанса возникновения микротрещин. Такой процесс именуется двойникованием(рис.31)

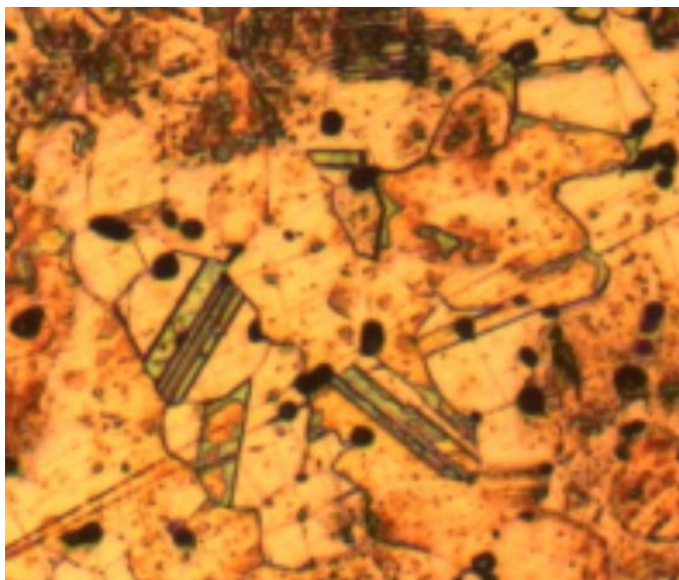


Рис.31 Двойники в структуре.

На рисунке 32(б) изображена микроструктура сплава с содержанием легирующего элемента Ni равным 3%.

Размер зерна рассчитывается с помощью метода секущих: отрезок (длиной 236 мкм) пересекает 9 зерен. Размер зерна равен $(236/9) 26.22$ мкм.

После термической закалки укрепляющая фаза $\alpha + \theta$ (Ni_4Sn) перераспределилась на небольшие включения, расположенных случайным образом. Зерно существенно увеличилось. Присутствует пластическая деформация ≈ 1 и двойникование. Легирование никелем упрочняет лишь твердый α -раствор бронзы. Все вышеперечисленное приводит к существенному снижению твердости и разупрочнению.

На рисунке 33(в) изображена микроструктура сплава с содержанием легирующего элемента Ni равным 5%.

Размер зерна рассчитывается с помощью метода секущих: отрезок (длиной 257 мкм) пересекает 5 зерен. Размер зерна равен $(257/5) 51.4$ мкм.

После термической заковки укрепляющая фаза $\alpha + \theta$ (Ni_4Sn) также перераспределилась на небольшие включения, расположенных случайным образом. Зерно увеличилось. Легирование никелем в процентном содержании равном 5% приводит к отсутствию пластической деформации.

Из-за термической заковки также образуются двойники. Твердость существенно снижается. Происходит разупрочнение .

Вывод: обработка заковкой оловянной бронзы, легируемой никелем, приводит к перераспределению укрепляющих фаз $\alpha + \theta$ (Ni_4Sn) и увеличению зерна, а также из-за процесса заковки, подразумевающего высокие скорости обработки, образуются дефекты-двойники. Твердость снижается.

2.2.7. Исследование влияния термической обработки заковкой на отлитые в кокиль заготовки

На твердость были проверены все три сплава после термической обработки заковкой (30 минут, охлаждение водяное), при температуре 700°C и 750°C

Результаты представлены в таблице.

Табл.9 Значение твердости

Сплав.	Отлитые.			700°C (заковка) 30 мин.			750°C (заковка) 30 мин.		
1 сплав	89.7	84.9	89.7	80.4	84.9	76.3	80.4	72.4	72.4
2 сплав	89.7	89.7	89.7	80.4	80.4	76.3	76.3	76.3	76.3
3 сплав	95	89.7	89.7	84.9	84.9	84.9	76.3	72.4	76.3

Для удобства построения графика, приведем значения нескольких опытов к среднему значению:

Табл.10 Среднее значение твердости

Спла в.	Отлитые.	700 °С (закалка) 30 мин.	750 °С (закалка) 30 мин.
1 спла в	88.1	80.533	75.067
2 спла в	89.7	79.033	76.3
3 спла в	91.467	84.9	75

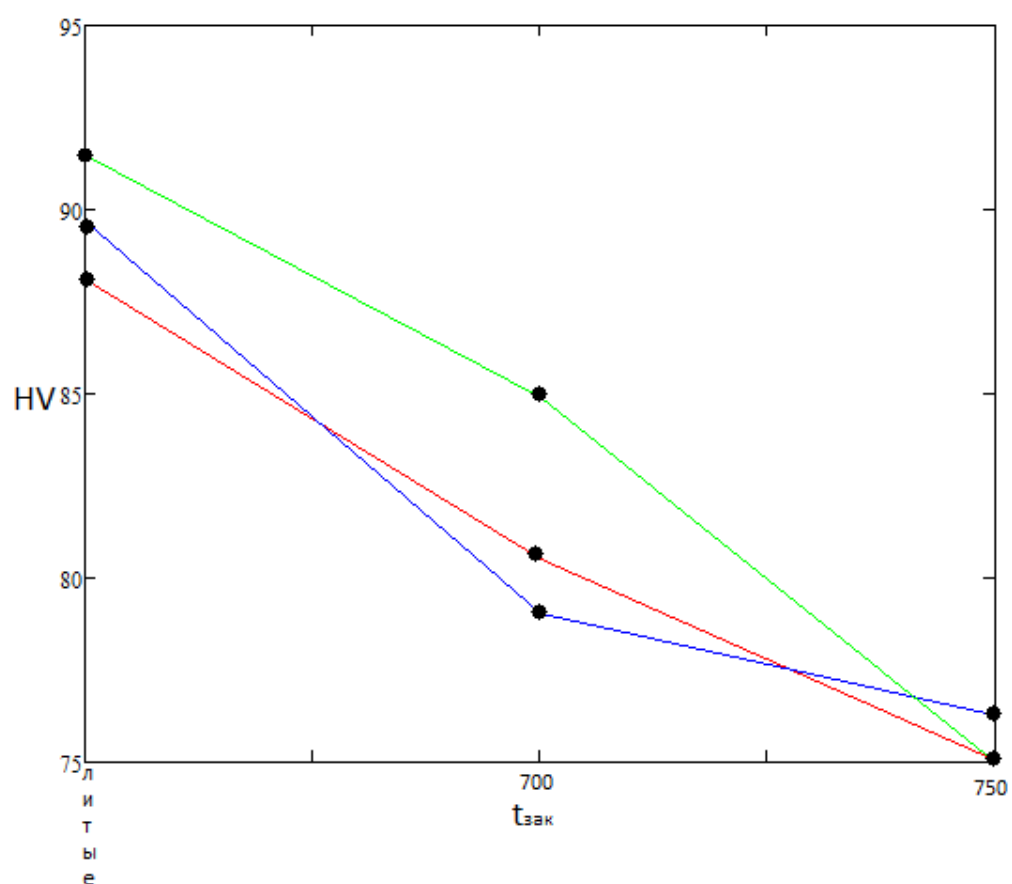


Рис.32 Зависимость твердости образцов от температуры закалки (красный-1%Ni, синий-3%Ni, зеленый-5%Ni)

С применением операции закаливания, твердость образцов уменьшилась. Данные графика соответствуют информации полученной из анализа микроструктуры.

Также было проведено измерение микротвердости с помощью DuraScan20, при $HV=0,025$.

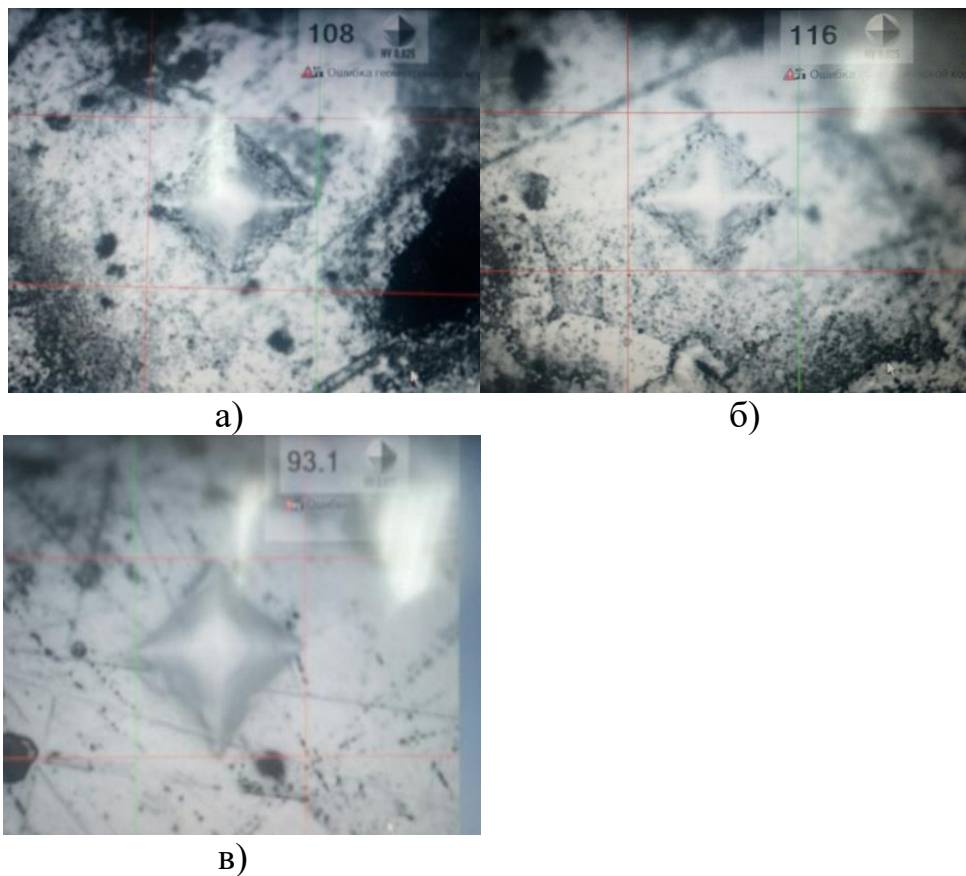


Рис.33 Отпечаток для измерения микротвердости (а-Ni=1%, б-Ni=3%, в-Ni=5%)

Табл. 11 Средний значение микротвердости твердого α -раствора.

Процент Ni.	1%	3%	5%
Среднее значение микротвердости	110.667	119.667	91.133

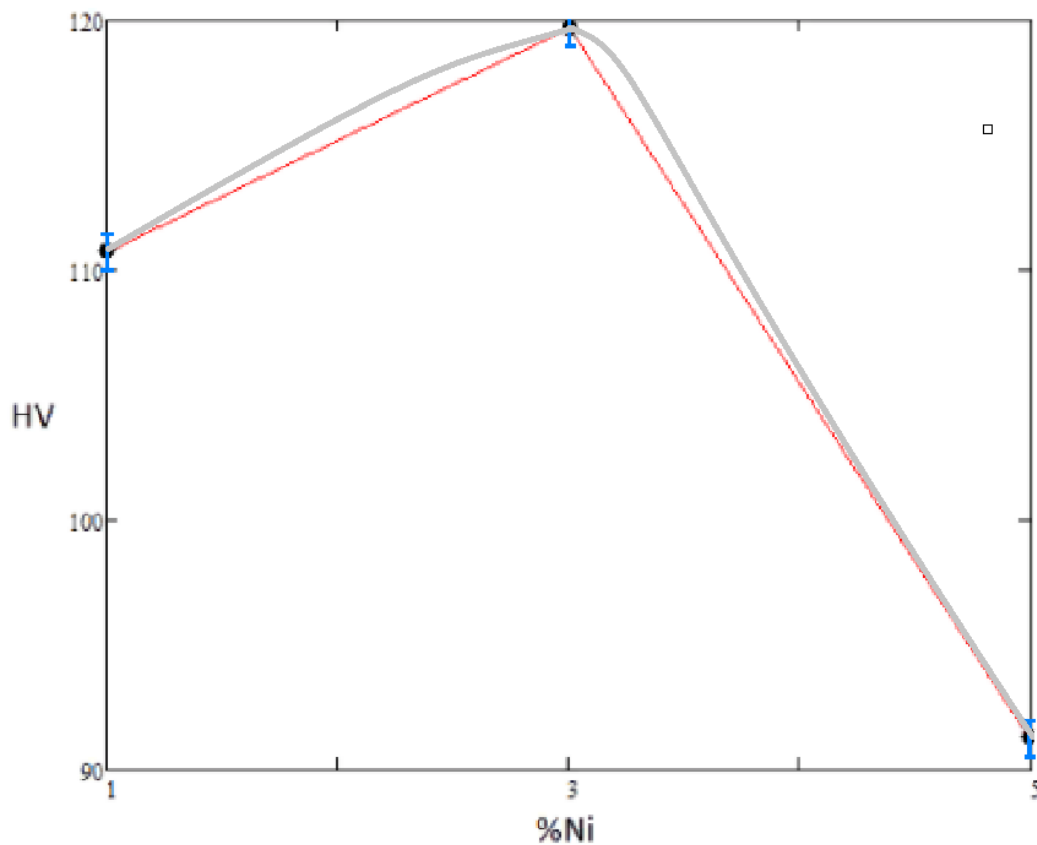


Рис.34 Зависимость микротвердости образцов от процентного содержания никеля

С применением операции закаливания, твердость образцов уменьшилась.

Значения твердости коррелируют со значением микротвердости.

Операция по закаливанию понизила твердость материала.

Вывод: Операция по закаливанию понизила твердость материала. Происходит это из образования дефективных образований-двойников, делающих материал менее прочным и более хрупким.

2.2.8. Исследование микроструктуры образцов, прошедших термическую обработку закалкой и старением.

Для оценки микроструктуры материала после закалки была проведена операция по травлению с помощью серной кислоты с добавкой хромовой кислоты.

Протравленные пластины были рассмотрены под микроскопом с применением разных увеличений.

Ниже представлены результаты:

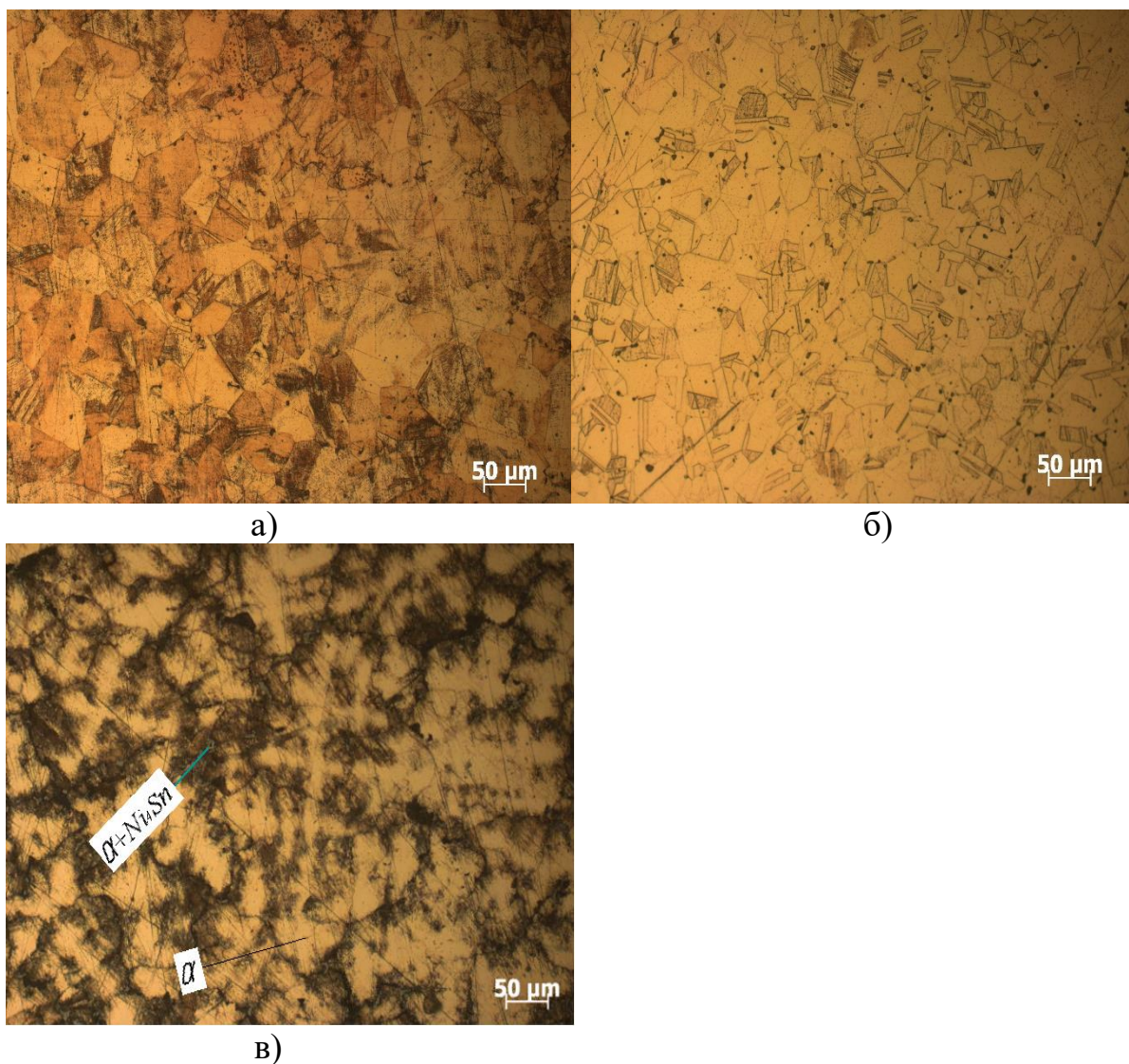


Рис.35 Микроструктура сплавов после закалки. (а-микроструктура сплава с Ni=1%, б-микроструктура сплава с Ni=3%, в-микроструктура сплава с Ni=5%)

На рисунке 35 изображена микроструктура неоднородного по химическому составу твердого раствора. Структура сплава состоит из зерен α -фазы, обладающих высокой пластичностью. Влияние легирования никелем в процентном содержании, равным 1% имеет неявный характер. Средний размер зерна равен 25,61 мкм. Присутствует дефект-двойникование.

На рисунках 35 изображена микроструктура сплава с содержанием легирующего элемента Ni равным 3%. Размер зерна равен 24.66 мкм. Структура сплава состоит из зерен α -фазы, обладающих высокой пластичностью. Атомы никеля упрочняют твердый α -раствор бронзы. Присутствует дефект-двойникование. Прочность материала растет незначительно. Твердость сопоставима твердости литых заготовок, не подверженных термической обработке.

На рисунках 35 изображена микроструктура сплава с содержанием легирующего элемента Ni равным 5%. Размер зерна равен 23.44 мкм. Никель обеспечивает измельчение зерен медных сплавов, что приводит к незначительному упрочнению.

Зерна эвтектоида $\alpha + \theta$ (Ni_4Sn), являющиеся укрепляющей фазой, образовались и распределились между зернами твердого α -раствора. Зерна α -фазы стали меньше.

Вывод: Обработка старением, проведенная над закаленными образцами, приводит к незначительному упрочнению и повышению твердости, относительно закаленных образцов, не прошедших обработку старением.

2.2.9. Исследование влияния термической обработки закалкой и старением на отлитые в кокиль заготовки

На твердость были проверены все три сплава после термической обработки закалкой (30 минут, охлаждение водяное), при температуре 700 °C и последующей обработки старением. Результаты представлены в таблице.

Табл.12 Среднее значение твердости

Спла в.	230 °C	430 °C	480 °C
1 спла в	82.033	99	93.233
2 спла в	91.467	89.867	93.233
3 спла в	89.7	101	132

На основе данных из таблицы была построена цифровая зависимость (рис.36)

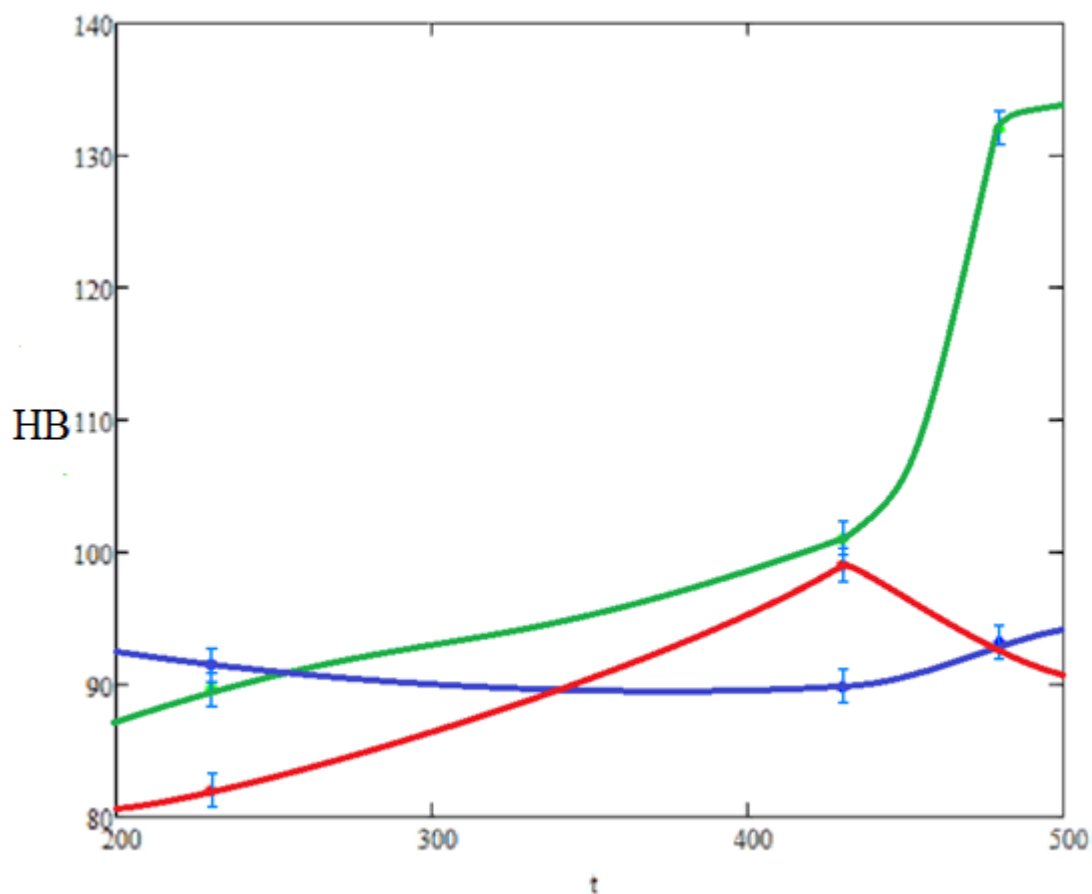


Рис.36 Зависимость твердости закаленных образцов от температуры старения (красный-1%Ni, синий-3%Ni, зеленый-5%Ni)

Из зависимости можно сделать следующие выводы: сплав с содержанием никеля, равным 5 процентам приводит к повышению твердости на почти на всех этапах исследования. Термическая обработка старением, проведенная на закаленными образцами, повышает твердость сплава в зависимости от процентного содержания никеля. Повышение содержания никеля смещает температуру старения, необходимую для максимального повышения твердости сплава.

Материал содержащий 1 процент никеля, оказался самым мягким.

Термообработка старением над закаленными образцами оказалась менее эффективной, чем термообработка старением литых образцов.

2.2.10. Исследование влияния термической обработки закалки и старением на ударную вязкость материала

Были сломаны образцы Шарпи, в закаленном состоянии после старения. Результаты измерялись в точке излома. Результаты приведены в таблице ниже.

Табл.13 Ударная вязкость закаленных-старенных заготовок

	F_0 (мм ²)	A(Дж)	КС(Дж/мм ²)
1 сплав	10.2 x 8.2 =83,64	84	0.996
2 сплав	10.2 x 8 =81,6	73.6	1.11
3 сплав	10.5 x 8.4 =88,2	29.4	0.333

Данные из таблицы были добавлены на графическую зависимость, изображенную на рис. (Рис.37)

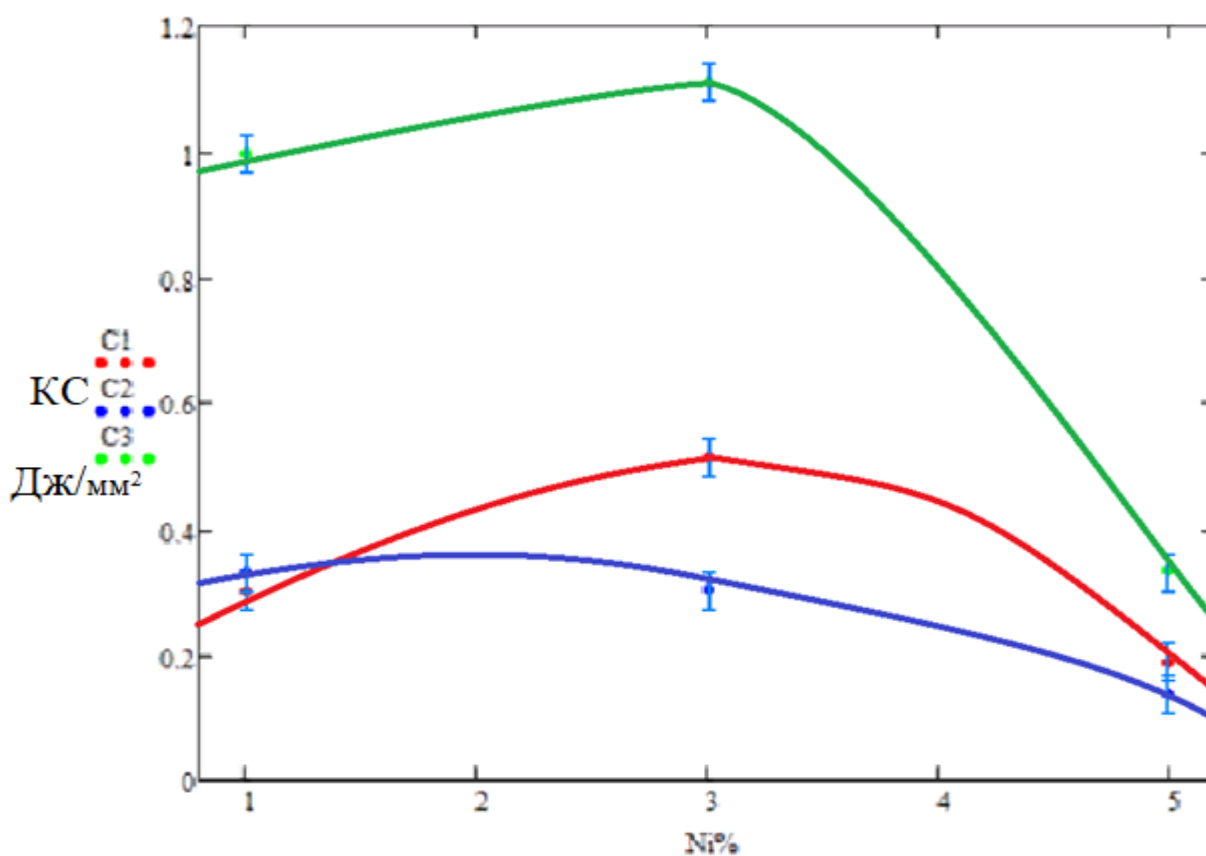


Рис.37 Значения ударной вязкости от содержания Ni в сплаве.(C1-Литой материал, C2-Литой-старенный, C3-Закаленный-старенный).



Рис.38 Фотографии излома (а-закаленная-старенная Ni=1%, б- закаленная-старенная Ni=3%, в- закаленная-старенная Ni=5%)

Из анализа графической зависимости можно сделать вывод, что после старения закаленных образцов Шарпи, ударная вязкость и пластичность материала заметно выросла. Происходит перестройка дендритной структуры в равноосную и при этом происходит растворение твердого эвтектоида, что приводит к увеличению пластичности и ударной вязкости. С увеличением содержания никеля выше 3% ударная вязкость резко снижается, потому что при содержании никеля выше 3% твердый эвтектоид растворяется не полностью. [27]. Эти данные коррелируют с анализом микроструктуры и измерениями твердости образцов, потому что значение

ударной вязкости и пластичности обратно пропорционально значениям твердости и прочности.

На фрактограммах излома видно, что после закалки, излом стал более вязким.

Вывод: Операция старения закаленных образцов повышает ударную вязкость и пластичность материала.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа 4АМ01		ФИО Федоров Геннадий Сергеевич	
Школа	Инженерная школа новых производственных технологий	Отделе ние (НОЦ)	ОМШ
Уровень образования	магистратура	Направление/ специальность	Машиностроение 15.04.01

Тема ВКР:

Исследование механических характеристик уплотнений компрессора изготовленных из бронзовых сплавов Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:		<i>Объект исследования:</i> <u>Бронза оловянная</u> <i>Область применения:</i> <u>металлургия</u> <i>Рабочая зона:</i> <u>аудитория</u> <i>Размеры помещения:</i> <u>7х15 метров</u> <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> <u>микроскоп AxioObserver – 1шт; Маятниковый копер 2130КМ-0.3 – 1шт; Машина испытательная МИРИ-100К – 1шт; образцы бронзы – 60 шт.</u> <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> <u>замеры механических характеристик бронзы, легированной никелем</u>	
		Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия		<u>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2022);</u> <u>ГОСТ12.1.003-83 – Шум. Общие требования безопасности</u> <u>ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты</u> <u>ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное.</u>	

при компоновке рабочей зоны.	Общие эргономические требования. <u>ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ</u>. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования; <u>ГОСТ 15150-69</u> Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды <u>ГОСТ 12.2.003-91</u> Оборудование производственное. Общие требования безопасности
2. Производственная безопасность при разработке технического решения – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов – Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора	Опасные факторы: – Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий – Движущиеся (в том числе разлетающиеся) твердые объекты, наносящие удар по телу работающего (в том числе движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; передвигающиеся изделия, заготовки, материалы; разрушающиеся конструкции); – Отклонение показателей микроклимата, связанные с возможными перепадами температур Вредные факторы: – Повышенный уровень шума; – Отсутствие или недостаток

	необходимого искусственного освещения;			
3. Экологическая безопасность <u>при эксплуатации</u>:	<u>Воздействие на селитебную зону:</u> не оказывает <u>Воздействие на литосферу:</u> утилизация бумаги и излишек бронзы <u>Воздействие на гидросферу:</u> не оказывает <u>Воздействие на атмосферу:</u> не оказывает			
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях <u>при эксплуатации</u>	Возможные ЧС: <u>пожар, землетрясение</u> Наиболее типичная ЧС: <u>пожар</u>			
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	16.02.2022			
Задание выдал консультант:				
Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	К.б.н.		
Задание принял к исполнению студент:				
Группа	ФИО	Подпись	Дата	
4АМ01	Федоров Геннадий Сергеевич			

3. Социальная ответственность

Цель выпускной квалификационной работы исследование влияния легирования никелем оловянной бронзы .

Экспериментальное исследование материала применяется в научных лабораториях и исследовательских институтах и позволяет получить необходимые теоретические сведения для проведения экспериментов по повышению механических характеристик конструкционных материалов (металлов), которые в дальнейшем могут быть использованы литейной и машиностроительной промышленности.

Исследование осуществлялось на специальных установках. Рабочая зона – аудитории 114-119, 16-го Б корпуса НИ ТПУ, оборудованная системами отопления,

пожарной и охранной сигнализации. В аудитории имеются источники естественного и искусственного освещения. Рабочее место – стационарное.

3.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

К нормативным актам, регулирующим вопросы охраны труда, в первую очередь относится Трудовой кодекс Российской Федерации [67].

Обязанности по обеспечению безопасных условий и охраны труда возлагаются на работодателя (статья 212 «Трудового кодекса Российской Федерации» от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019)) [68].

Нормативная продолжительность рабочего времени согласно статье 91 Трудового кодекса РФ не может превышать 40 часов в неделю.

Согласно статье 111 Трудового кодекса РФ работникам необходимо предоставить один выходной день при шестидневном рабочем графике.

В соответствии с СанПиН 2.22.542-96 [69] виды трудовой деятельности разделяются на 3 группы: группа А - работа по считыванию информации с экрана ВДТ (видеодисплейный терминал) с предварительным запросом; группа Б - работа по вводу информации; группа В - творческая работа в режиме диалога с ПЭВМ.

При выполнении в течение рабочей смены работ, относящихся к разным видам трудовой деятельности, за основную работу с ВДТ следует принимать такую, которая занимает не менее 50% времени в течение рабочей смены или рабочего дня.

Таблица 14 – Суммарное время регламентированных перерывов в зависимости от продолжительности работы, вида и категории трудовой деятельности с ВДТ.

Категория работы с ВДТ или ПЭВМ	Уровень нагрузки на рабочую смену при видах работ с ВДТ			Суммарное время регламентированных перерывов, мин.	
	группа А, количество знаков	группа Б, количество знаков	группа В, час.	при 8-часовой смене	при 12-часовой смене
I	до 20000	до 15000	до 2,0	30	70

II	до 40000	до 30000	до 4,0	50	90
III	до 60000	до 40000	до 6,0	70	120

Согласно ГОСТ 12.2.032-7 [70] конструкция рабочего места и взаимное расположение всех его элементов (сиденье, органы управления, средства отображения информации и т.д.) должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы.

Общие требования к организации рабочих мест пользователей ВДТ приведены в СанПиН 2.22.542-96.

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

Поверхность рабочего стола должна иметь коэффициент отражения 0,5-0,7. Высота рабочей поверхности стола для взрослых пользователей должна регулироваться в пределах 680-800 мм.

Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе ВДТ. Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула (кресла) должна быть полумягкой, с нескользящим, слабо электризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

3.2. Производственная безопасность

В данном разделе рассматривается рабочая зона – аудитория 118, находящаяся в 16 Б корпусе ТПУ.

В аудитории расположено: 6 ПК, Микроскоп AxioObserver A1.m фирмы Carl Zeiss, Копер маятниковый, Машина испытательная МИРИ-100К, система охраны и сигнализации, маршрутизатор локальной сети (LAN), розетки и проводка сети АС 220 В, освещение.

Составим обобщающую таблицу «Возможные опасные и вредные факторы» (Таблица 15), которая необходима для целостного представления обо всех

характерных для рабочего места вредных и опасных факторах, связи их с запроектированными видами работ.

Для идентификации потенциальных опасных и вредных факторов используем ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [71].

Таблица 15 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка модели	Изготовление	Эксплуатация	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
2. Повышенный уровень шума на рабочем месте	+	+	+	ГОСТ 12.1.003–2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация[
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*
4. Повышенный уровень электромагнитных излучений	+	+	+	ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности.
5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	Правила устройств электроустановок - 7-е изд. - М.: Энергоатомиздат, 2001-640с.

3.2.1. Анализ вредных и опасных факторов производственной среды

Отклонение показателей микроклимата

Высокая температура воздуха способствует быстрой утомляемости работающего, может привести к перегреву организма, тепловому удару. Низкая температура воздуха может вызвать местное или общее охлаждение организма, стать причиной простудного заболевания либо обморожения. Высокая

относительная влажность при высокой температуре воздуха способствует перегреванию организма, при низкой же температуре увеличивается теплоотдача с поверхности кожи, что ведет к переохлаждению.

Санитарные нормы устанавливают оптимальные и допустимые метеорологические условия в рабочей зоне помещения, в соответствии с «СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» [72].

Таблица 16 – Оптимальные величины показателей микроклимата

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia* (до 139)	22 - 24	60 - 40	0,1
Теплый	Ia* (до 139)	23 - 25	60 - 40	0,1

* К категории Ia относятся работы с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением

Таблица 17 – Допустимые величины показателей микроклимата

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	20,0-25,0	15-75	0,1
Теплый	Ia (до 139)	21,0-28,0	15-75	0,1-0,2

Таблица 18 – Допустимые величины интенсивности теплового облучения поверхности тел работающих от производственных источников

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м ² , не более
50 и более	35
25-50	70
Не более 25	100

При наличии теплового облучения работающих температура воздуха на рабочих местах не должна превышать 25°С - при категории работ Ia.

В целях профилактики неблагоприятного воздействия микроклимата используется: механизация и автоматизация технологических процессов; устройство

систем вентиляции, системы местного кондиционирования воздуха и отопления; установка регламента времени работы [73].

3.2.2. Повышенный уровень шума на рабочем месте

Источником возникновения шума в аудитории 118 являются 6 ПК (процессор, охлаждение внутри системного блока, оптические приводы, DVD-ROM), Копер маятниковый (когда используется), Машина испытательная МИРИ-100К(когда используется).

Длительное воздействие повышенного шума на рабочем месте способно привести к развитию у работника потери слуха, увеличению риска артериальной гипертензии, болезней сердечно-сосудистой, нервной системы и др. [74].

Таблица 19 – Допустимые значения уровней звукового давления в октавных полосах частот и уровня звука, создаваемого ВДТ и ПЭВМ [75]

Вид трудовой деятельности, рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБ
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Творческая деятельность, руководящая работа с повышенными требованиями, научная деятельность, конструирование и программирование	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Уровень шума блока питания компьютера составляет примерно 5–10 дБА, уровень шума охлаждающего устройства процессора 15–20 дБА, уровень шума исходящий из установок примерно 30-35дБА.

Для защиты от шума согласно «ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация» [76] применяется рациональное размещение оборудования.

3.2.3. Недостаточная освещенность рабочей зоны

В аудитории 118 предусматривается естественное (окно) и искусственное освещение.

Неудовлетворительное в количественном или качественном отношении освещение не только утомляет зрение, но и вызывает утомление организма в целом. Нерационально организованное освещение может, кроме того явиться причиной травматизма. Вредной для человека является как недостаточная освещенность, так и чрезмерная.

Общее освещение при использовании люминесцентных светильников следует выполнять в виде сплошных или прерывистых линий светильников, расположенных сбоку от рабочих мест, параллельно линии зрения пользователя при рядном расположении видеодисплейных терминалов.

СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* [77] – определяет нормы освещенности.

Таблица 20 – Нормативные показатели освещения основных помещений общественных, жилых и вспомогательных зданий

Плоскость (Г-горизонтальная, В-вертикальная) нормирования освещенности и КЕО	Разряд и подразряд зрительно й работы	Искусственное освещение		Естественное освещение		Совмещенное освещение	
		Освещенность, лк		КЕО* е _н , %			
		при системе комбин ированн ого освеще ния	при системе общего освещения	при верхнем или комбини рованном освещени и	при боково м освеще нии	при верхнем или комбини рованном освещени и	при боко вом осве щени и
В-1,2 – на экране дисплея	Б-2	-	200	-	-	-	-
Г-0,8 – на рабочих столах	А-2	500/300	400	3,5	1,2	2,1	0,7

Таблица 21 – Требования к освещению на рабочих местах, оборудованных ПЭВМ и ВДТ

Освещенность на рабочем столе:	300-500 лк
Освещенность на экране ПЭВМ:	не выше 300лк
Блики на экране:	не выше 40 кд/м ²
Прямая блескость источника света:	200 кд/м ²

Показатель ослепленности:	не более 20
Показатель дискомфорта:	не более 15
Отношение яркости	
- между рабочими поверхностями:	3:1-5:1
- между поверхностями стен и оборудования:	10:1
Коэффициент пульсации:	не более 5%.

Рабочее место соответствует нормам, кратко обозначенным в таблице 20.

Для обеспечения нормируемых значений освещенности в помещениях следует проводить чистку стекол оконных рам и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп.

3.2.4. Повышенный уровень электромагнитных излучений

В аудитории 118 расположено: 6 ПК, Микроскоп AxioObserver A1.m фирмы Carl Zeiss, Копер маятниковый, Машина испытательная МИРИ-100К, система охраны и сигнализации, маршрутизатор локальной сети (LAN), розетки и проводка сети АС 220 В, освещение.

Источники ЭМ полей (излучения): 1. Монитор персонального компьютера; 2. Системный блок ПК; 3. Электрооборудование (установки, сетевые фильтры, люминесцентные лампы, проводка, розетки, выключатели, система охраны и сигнализации); 4. Различные периферийные устройства (клавиатура, мышь); 5. Соседние ПК.

3.2.5. Мероприятия по снижению электромагнитного излучения:

1. Заземление аппаратуры; 2. Оптимальная расстановка рабочих мест; 3. Удаленность расположения электрооборудования; 4. Использование ЖК-экранов, на которых не образуется статического потенциала; 5. Экранирование электроники корпусом. Для снижения влияния внешних излучений и для снижения выхода собственных излучений во внешнюю среду; 6. Использование сетевых фильтров, для снижения влияния кондуктивных помех

(которые передаются по проводам); 7. Гальваническая развязка (система питания компонентов соединена звездой).

Система охраны получает питание постоянным током 10-25 В. Световая и звуковая сигнализация 12 В. Как источником помех ими можно пренебречь.

Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ приведены в таблице 22.

Таблица 22 – Временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ЭВМ

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц-2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц-400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц-2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц-400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

Организационные мероприятия: выбор рациональных режимов работы оборудования, соблюдение правил безопасной эксплуатации источников ЭМП, ограничение места и времени нахождения персонала в зоне воздействия ЭМП.

3.2.6. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

Основными причинами воздействия тока на человека являются: появление напряжения на металлических частях оборудования в результате повреждения изоляции, ошибочно поданное напряжение на рабочее место; отсутствие заземления, замыкание в результате аварии.

Электрический ток, протекая через тело человека, производит термическое, электролитическое, биологическое, механическое действие. Термическое действие характеризуется нагревом кожи, тканей вплоть до ожогов. Электролитическое действие заключается в разложении жидкостей, в изменении их состава и свойств. Биологическое действие проявляется в нарушении биологических процессов, протекающих в организме человека. Механическое действие приводит к разрыву тканей в результате электродинамического эффекта.

Электрические установки, к которым относятся ЭВМ, представляют для человека большую потенциальную опасность. В процессе эксплуатации или при

проведении профилактических работ человек может коснуться частей, находящихся под напряжением.

Согласно классификации помещений по опасности поражения электрическим током ВКР разрабатывался в помещении без повышенной опасности (ПУЭ)[78], характеризующимся наличием следующих условий: напряжение питающей сети 220 В, частота 50 Гц; относительная влажность воздуха не более 75 %; средняя температура не более 35 °С.

При нормальном режиме работы оборудования опасность электропоражения невелика, однако, возможны режимы, называемые аварийными, когда происходит случайное электрическое соединение частей оборудования, находящихся под напряжением с заземленными конструкциями.

Основными техническими способами и средствами защиты от поражения электрическим током являются: защитное зануление; выравнивание потенциалов; защитное заземление; электрическое разделение сети; изоляция токоведущих частей; оградительные устройства и другое.

К средствам защиты от повышенного уровня статического электричества относятся: заземляющие устройства; нейтрализаторы; увлажняющие устройства; антиэлектростатические вещества.

3.2.7. Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия вредных и опасных факторов на исследователя

Рабочая зона – аудитория 118, 16-го Б корпуса ОМ ИШНПТ ТПУ, оборудованная системами отопления, пожарной и охранной сигнализации. В аудитории имеются источники естественного и искусственного освещения. Рабочее место – стационарное, оборудованное ПК.

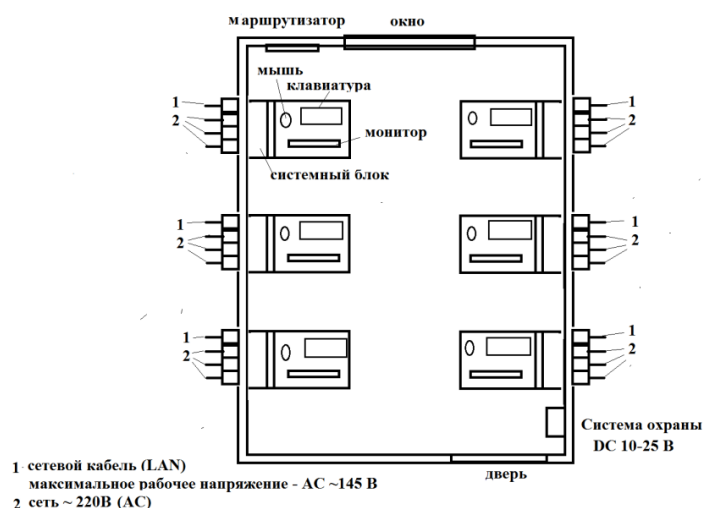


Рисунок 39 – План аудитории 118

Для поддержания нормальных параметров микроклимата в рабочей зоне применяются следующие основные мероприятия: устройство систем вентиляции; кондиционирование воздуха и отопление. Кроме того, большое значение имеет правильная организация труда и отдыха работников.

Нормируемые уровни шума обеспечиваются путем использования малошумного оборудования, применением незвуковых материалов (например, пластмассы), рациональным размещением оборудования, проведением периодического контроля шума на рабочих местах.

Для обеспечения нормируемых значений освещенности в помещениях проводится чистка стекол, оконных рам и светильников не реже двух раз в год и проводится своевременная замена перегоревших ламп. Рабочий стол рекомендуется устанавливать таким образом, чтобы световой поток был направлен слева от работника.

3.3. Экологическая безопасность

Влияние объекта исследования на окружающую среду

Каждый ПК содержит не только ценные цветные металлы, но и целый набор опасных для окружающей среды веществ. Это производные газов, тяжелые металлы, среди которых кадмий, ртуть и свинец. Попадая на свалку, все эти вещества под воздействием внешней среды постепенно проникают в почву, отравляют воздух и воду.

Также в процессе утилизации из техники извлекаются и материалы, которые могут быть использованы для вторичной переработки.

Техника, подвергающаяся процессу утилизации, проходит специальную процедуру: непосредственный процесс переработки; отправку некоторых частей оргтехники на аффинаж (это металлургический процесс изъятия высокочистых благородных металлов при отделении от них загрязняющих примесей, один из видов извлечения металлов). Полную процедуру утилизации офисной техники могут осуществлять только специализированные зарегистрированные предприятия.

Отходы, содержащие в себе части цветных металлов, относятся к категории металлолома и попадают под соответствующий регламент ГОСТ Р 54565-2011 [79].

ЖК-экраны один из источников парниковых газов, которые намного вреднее диоксида углерода.

К воздействию на литосферу можно отнести и образование отходов в виде использованной бумаги бронзовых образцов. Бумага используется в процессе проведения всей научной работы и требуется в больших количествах. После использования, бумага выносится в специальные контейнеры, предназначенные для сбора макулатуры на переработку для вторичного использования. Вторсырье, находящееся в специальных контейнерах отвозится на склад компании, на складе весь собранный материал преобразовывается: сортируется по типу и цвету, измельчается и превращается в полуфабрикат. Утилизируется бумага на специальных предприятиях, которые занимаются переработкой макулатуры. Бронзовые образцы являются объектом исследования, и откладываются на переработку, после проведенных с ними исследованиями.

Методы обеспечения экологической безопасности: совершенствование технологических процессов и разработка новой техники с меньшим уровнем негативного воздействия на окружающую среду; вовлечение образовавшихся отходов во вторичное производство.

3.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Наиболее вероятная ЧС: пожар.

Вопросы обеспечения пожарной безопасности производственных зданий и сооружений имеют большое значение и регламентируются специальными государственными постановлениями и указами ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда «Пожарная безопасность. Общие требования» (ред. от 12.09.2018) [80].

В соответствии с «НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» аудитория 118, 16-го Б корпуса ТПУ относится к категории «В4», так как в аудитории находятся твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы [81].

Источниками возникновения пожара могут быть электрические схемы от ЭВМ, устройства электропитания, кондиционирования воздуха. В данных объектах по некоторым причинам (снижение сопротивления изоляции, ослабление контактов, перегрузка сетей, короткое замыкание) возникает перегрев элементов, что приводит к появлению искр и возгоранию.

Горючие компоненты в помещении – строительные материалы для акустической и эстетической отделки помещений, перегородки, двери, полы, перфокарты и перфоленты, изоляция кабелей и др.

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты. В рабочей зоне размещены таблички с указанием номера телефона вызова пожарной охраны, кроме того, размещен схематичный план эвакуации людей при пожаре; дополнительно разработана инструкция, определяющая действия персонала в случае возникновения очага возгорания.

На рисунке 40 приведен план эвакуации людей в случае возникновения ЧС. Работы проводятся в аудитории 118.



Рисунок 40 – План эвакуации для 2 этажа 16 корпуса ТПУ

В аудитории находится памятка о соблюдении правил пожарной безопасности.

В целях обеспечения пожарной безопасности ЗАПРЕЩЕНО: курить; пользоваться неисправными электронагревательными приборами; использовать временную электропроводку и/или удлинители для питания электроприборов; перегружать электрическую сеть; скручивать, завязывать электрические провода; накрывать горючими материалами включенные электрические лампы; закрывать датчики пожарной сигнализации посторонними предметами. Нельзя загромождать пути эвакуации.

Необходимо знать: порядок эвакуации; место нахождения первичных средств пожаротушения.

Помещение оснащено первичными средствами пожаротушения: огнетушители и системой пожарной сигнализации.

В случае пожара звонить по телефону 01, 101, 112: назвать точный адрес; оповестить всех о случившемся; организовать эвакуацию граждан, документов и материальных ценностей; принять меры к ликвидации пожара.

В случае возникновения пожара, необходимо предпринять следующие меры: обесточить помещение, вызвать службу пожарной охраны. Если горит электроприбор (ПК) – накрыть его асбестовым одеялом или другим плотным

материалом и дождаться прекращения горения из-за отсутствия доступа кислорода. Затем воспользоваться порошковым огнетушителем.

Вывод по разделу

Проанализировав условия труда на рабочем месте, где была разработана дипломная работа, можно сделать вывод, что аудитория удовлетворяет необходимым нормам и в случае соблюдения техники безопасности и правил пользования компьютером работа в данном помещении не приведет к ухудшению здоровья работника.

Само помещение и рабочее место в нем удовлетворяет всем нормативным требованиям. Кроме того, действие вредных и опасных факторов сведено к минимуму. Деятельность, осуществляемая в помещении, не представляет опасности окружающей среде.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ01	Федорову Геннадию Сергеевичу

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Отделение материаловедения
Уровень образования	Магистратур а	Направление/специальность	15.04.01 Машиностроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Потенциальные потребители результатов исследования.

	<i>Анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ.</i> <i>Оценка готовности проекта к коммерциализации.</i>
2. <i>Определение возможных альтернатив проведения научных исследований</i>	<i>Определение целей и ожиданий, требований проекта.</i> <i>Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.</i>
3. <i>Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Определение структуры выполнения НИИ.</i> <i>Определение бюджета НИИ.</i> <i>Определение трудоемкости работ.</i> <i>Разработка графика проведения исследования.</i>
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Определение финансового и научно -технического эффекта.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Сегментирование рынка*
2. *Оценка конкурентоспособности технических решений*
3. *Матрица SWOT*
4. *График проведения и бюджет НИИ*
5. *Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
-----------	-----	---------------------------	---------	------

Профессор	Гасанов М.А.	д-р экон. наук		
-----------	--------------	-------------------	--	--

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ01	Федоров Геннадий Сергеевич		

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Введение

Цель раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» – определение экономической целесообразности исследования влияния никеля на микроструктуры и механические характеристики трёхкомпонентных оловянистых бронз, а также оценка ресурсоэффективности и конкурентоспособности проекта.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- Оценка коммерческого потенциала разработки.
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

4.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований

В настоящее время в машиностроении активно используются сплавы на основе бронзы для производства подшипников, колес зубчатых передач, маслоплотных и поршневых колец, уплотнений гидроцилиндров и т.д. В связи с этим необходимо определить минимальное легирование никелем для компонентной оловянистой бронзы и определить оперативный метод исследования влияния никеля на микроструктуры и механические характеристики трёхкомпонентных оловянистых бронз. Этот метод не должен требовать дорогостоящего оборудования, должен обеспечивать возможность оперативного анализа образцов из наиболее распространенных конструкционных материалов и быть доступным для большого круга исследователей.

Цель исследования – Определение влияния легирования никелем на прочностные характеристики трехкомпонентной оловянистой бронзы.

4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования

Чтобы определить потенциальных потребителей данной разработки, необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Научный проект осуществляется для определения влияния легирования никелем на прочностные характеристики трехкомпонентной оловянистой бронзы. Выпускная работа посвящена исследованию влияния никеля с помощью исследования механических характеристик подготовленных образцов.

Потенциальными потребителями данного научно-технического исследования являются сотрудники научно-исследовательских институтов; металлургические заводы, заводы по производству подшипников, колес зубчатых передач и т.д.

Таблица 23 – Карта сегментирования рынка

Сегмент	Продукт	
	Экспериментальное определение механических характеристик	Определение характеристик посредством литературного обзора.
1. Научно-исследовательские институты.		
2. Металлургические заводы.		

Из анализа карты, можно сделать вывод, что основным сегментом являются заводы по производству деталей.

4.1.2. Анализ конкурентных технических решений

С помощью данного анализа в научный проект вносятся коррективы, которые помогают успешно противостоять конкурентам. В ходе проведения анализа необходимо оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов. Для этой цели используется вся имеющаяся информация о конкурентных разработках.

Анализ проводится с помощью оценочной карты. Оценочная карта приведена в таблице. Для формирования оценочной карты отбираем два метода, с помощью

которых можно исследовать легирование металлов и используем всю имеющуюся о них информацию.

Оценку будем производить по 5 бальной шкале, где за наиболее слабую позицию принимается – 1 , а за наиболее сильную – 5. Суммарный вес показателей должен быть равен 1.

Экспертная оценка включает сравнение конкурентных разработок по техническим и экономическим критериям.

Сравнение будем делать на основе данных о двух методах, используемых в научных лабораториях при исследовании радиационной стойкости металлов. Рассматриваемые методы: Экспериментальное определение(ЭО) и Теоретический обзор по теме “Легирование оловянных бронз” (ТО).

Таблица 24 – Оценочная карта конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия В_і	Баллы		Конкурентоспособность	
		ЭО	ТО	КЭО	КТО
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Удобство в эксплуатации	0,12	3	5	0,36	0,6
2. Энергоэкономичность	0,05	3	5	0,15	0,25
3. Надежность	0,05	5	3	0,25	0,15
4. Простота эксплуатации	0,11	2	5	0,22	0,55
5. Безопасность	0,11	3	5	0,33	0,55

Продолжение таблицы 24- Оценочная карта конкурентных экономических решений

Критерии оценки	Вес критерия В_і	Баллы		Конкурентоспособность	
				КЭО	КТО

		ЭО	ТО		
1	2	3	4	5	6
Экономические критерии оценки эффективности					
1.Повышение производительности труда	0,2	3	5	0,6	1
2.Конкурентоспособность продукта	0,11	5	3	0,55	0,33
3.Уровень проникновения на рынок	0,06	4	4	0,24	0,24
4. Цена	0,05	1	5	0,05	0,25
5.Предполагаемый срок эксплуатации	0,14	5	5	0,7	0,7
Итого	1	34	45	3,45	4,62

Выражение для расчета анализа конкурентных технических решений:

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

где K – конкурентоспособность конкурента;

B_i – вес показателя;

B_i – балл i -го показателя.

Более высокие показатели теоретического обзора в сравнении с экспериментальным определением, обеспечиваются тем, что эксперименты требуют использования сложного оборудования, требуют участия высококвалифицированных сотрудников, больших временных и материальных затрат, в сравнении с теоретическим обзором процессов. Но, безусловно, результаты литературного обзора по своей точности и полноте, пока не могут приблизиться к результатам практических экспериментов. Самым оптимальным вариантом на данном этапе является объединение результатов, полученных с помощью двух представленных методов.

4.1.3. Технология QuaD

Технология QuaD представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, которые описывают качество новой разработки и ее перспективность

на рынке, и позволяют принимать решение целесообразности вложения денежных средств в разрабатываемый проект.

В основе технологии QuaD лежит нахождение средневзвешенной величины групп показателей: оценки коммерческого потенциала разработки и оценки качества разработки.

Таблица 25 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5×2)
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
1.Удобство в эксплуатации	0,12	70	100	0,70	0,08
2.Энергоэкономичность	0,05	80	100	0,80	0,04
3. Надежность	0,05	95	100	0,95	0,05
4.Простота эксплуатации	0,11	85	100	0,85	0,09
5. Безопасность	0,11	85	100	0,85	0,09
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
6.Повышение производительности труда у пользователя	0,2	90	100	0,90	0,18
7. Конкурентоспособность продукта	0,11	60	100	0,60	0,07
8.Уровень проникновения	0,06	80	100	0,80	0,05

на рынок					
9. Цена	0,05	90	100	0,90	0,05
10.Предполагаемый срок эксплуатации	0,14	90	100	0,90	0,13
Итого	1				0,83

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i \quad (23)$$

где P_{cp} – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Значение P_{cp} позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя P_{cp} получилось от 100 до 80, то такая разработка считается перспективной. Таким образом, в результате расчетов получено $P_{cp} = 83 \%$, следовательно, разработка перспективна.

SWOT- анализ

SWOT – анализ проводят для того, что бы исследовать внешнюю и внутреннюю среды проекта.

Проведение анализа осуществляется в несколько этапов:

- Описание сильных (**Strengths**) и слабых (**Weaknesses**) сторон проекта, выявление возможностей (**Opportunities**) и угроз (**Threats**), которые могут появиться во внешней среде проекта;
- Выявление соответствия внешним условиям среды сильных и слабых сторон исследовательского проекта;
- Составление итоговой матрицы SWOT-анализа.

SWOT-анализ проводим для исследования внешней и внутренней среды экспериментального исследования влияния легирования никелем на оловянные бронзы.

Результаты SWOT-анализа представлены в таблице 26.

Таблица 26 – Матрица SWOT

	Сильные стороны (S) С1.Высокая точность результатов исследования С2.Безопасность; С3.Большое количество информации;	Слабые стороны (W) Сл1.Требуется специальное оборудование; Сл2.Время исследования Сл3.Высокие расходы
Возможности (О) В1.Использование уже использованных образцов для переработки; В2. Исследование нескольких образцов за раз; В3.Контракты на исследование;	В1С3. Благодаря переработке уже использованных образцов, можно получить дополнительное количество информации о материале; В2С1. За счет многопоточности исследований, можно достигать высокой результативности В3С1С2С3. Безопасность, высокая точность, и углубленное исследование темы, позволяют проводить экспериментальные исследования на заказ;	В1Сл3. Благодаря возможности переработки образцов, можно снизить затраты на материалы; В2Сл2.Исследование нескольких образцов за раз, компенсирует не высокую скорость отдельных исследований. В3Сл1Сл3. За счет того, что исследования можно проводить на заказ, можно покрыть расходы, в том числе и на содержание оборудования.
Угрозы (Т) У1. Активность конкурентов; У2. Возможность технических неполадок.	У1С1С3. За счет точности и объема предоставляемой информации обеспечивается преимущество перед конкурентными разработками; У2С3. Объем полученной до инцидента информации, позволит	У1Сл2. Недостаточная скорость исследования, может привести к опережающим активным исследованиям со стороны конкурентов, но многопоточность и точность исследований, могут снизить такие риски .

	восстановить утерянные данные	
--	----------------------------------	--

Экспериментальное исследование влияния легирования никелем на оловянные бронзы целесообразно. Достоинства превосходят недостатки, к тому же имеются возможности по улучшению проекта.

4.2. Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование необходимых для осуществления проекта работ производится в следующей последовательности:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для исполнения проекта формируется рабочая группа, состоящая из научного руководителя (НР) и младшего научного сотрудника (МНС).

Составим список этапов и работ, производимых в проекте. Распределим этапы работ в соответствии с должностями исполнителей.

Результаты формирования структуры работ отражены в таблице 27.

Таблица 27 – Основные этапы работ

Основные этапы	№ работы	Содержание работ	Исполнитель
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	НР
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материала по теме	МНС
	3	Выбор направления исследований	НР, МНС
	4	Календарное планирование работ по теме	НР
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Обзор литературы	НР, МНС
	6	Выплавка и изготовление образцов для исследования влияния легирования никелем	НР, МНС
	7	Описание экспериментальных исследований	НР, МНС
Обобщение и оценка результатов	8	Обработка и анализ полученных результатов	НР, МНС
Оформление отчета	9	Составление пояснительной записки	НР, МНС

4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

Трудоемкость исследуемого проекта имеет вероятностный характер, из-за зависимости от большого количества тяжело учитываемых факторов. Оценивается трудоемкость экспертным путем.

Ожидаемое (среднее) значение трудоемкости $t_{ож\ i}$ находится по приведенной формуле:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{мин\ i} + 2t_{макс\ i}}{5}$$

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{мин\ i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{макс\ i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.;

Продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , определяем учитывая ожидаемую трудоемкость. T_p учитывает параллельное выполнение работ несколькими исполнителями (руководитель и инженер).

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. Дней.

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

$Ч_i$ – количество исполнителей, которые выполняют одновременно одну и ту же работу на определенном этапе, чел.

График проведения научного исследования (диаграмма Ганта) – график, выполненный в виде протяженных по времени отрезков, представляющих выполняемые в проекте работы.

Такой способ построения является наиболее удобным и наглядным.

Отрезки откладываются на временной шкале, в соответствии со сроком, отведенным по проекту каждой задаче.

Для того чтобы построение графика было более удобным, длительность каждой выполняемой работы из рабочих дней переводится в календарные дни.

Чтобы перевести рабочие дни в календарные, необходимо использовать следующую формулу:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

где T_{ki} – длительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – длительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Расчет коэффициента календарности на 2022 год осуществляется с помощью следующего выражения:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 66} = 1,22$$

где $T_{\text{кал}}$ – календарные дни за год;

$T_{\text{вых}}$ – выходные дни за год;

$T_{\text{пр}}$ – праздничные дни за год.

В таблицу 28 вносим все рассчитанные по данным формулам значения.

Таблица 28– Временные показатели проведения научного исследования

№ работы	Название работы	Трудоемкость работ						Длительно сть работ в рабочих днях T_{pi}		Длительно сть работ в календарн ых днях T_{ki}	
		$t_{min},$ чел.дн.		$t_{max},$ чел.дн		$t_{ожi},$ чел.дн.					
		НР	МНС	НР	МНС	НР	МНС	НР	МНС	НР	МНС
1	Составление и утверждение технического задания	1	0	3	0	1,8	0	1,8	0	2	0
2	Подбор и изучение материалов по теме	0	12	0	14	0	12,8	0	12,8	0	16

Продолжение таблицы 28

№ работы	Название работы	Трудоемкость работ						Длительно сть работ в рабочих днях T_{pi}		Длительно сть работ в календарн ых днях T_{ki}	
		$t_{min},$ чел.дн.		$t_{max},$ чел.-дн		$t_{ожi},$ чел.- дн.					
		НР	МНС	НР	МНС	НР	МНС	НР	МНС	НР	МНС
3	Выбор направления исследований	3	3	3	3	3	3	1,5	1,5	2	2
4	Календарное планирование работ по теме	3	0	4	0	3,4	0	3,4	0	4	0
5	Обзор литературы	1	15	2	17	1,4	15,8	0,7	7,9	1	10
6	Выплавка и изготовление образцов для исследования влияния легирования никелем	1	40	1	42	1	40,8	0,5	20,4	1	25
7	Описание	13	10	15	13	13,8	11,2	6,9	5,6	9	7

	экспериментальны х исследований										
8	Обработка и анализ полученных результатов	2	10	3	12	2,4	10,8	1,2	5,4	2	7
9	Составление пояснительной записки	2	10	3	12	2,4	10,8	1,2	5,4	2	7

Таблица 29 – Итоговая таблица

	Кол-во дней
Общее количество календарных дней для выполнения работы	82
Общее количество календарных дней, в течение которых работал младший научный сотрудник	74
Общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель	23

В соответствии с таблицей 29, построим график Ганта (таблица 30)

Таблица 30 – Календарный план-график проведения исследования

№ работы	Вид работы	Испол- нители	Ткi, кал. дн.	Продолжительность выполнения работ											
				февр		март			апрель			май			
1	Составление ТЗ	НР	2	■											
2	Изучение литературы	МНС	16	▨	▨										
3	Выбор напр. исследований	НР	2		■										
		МНС	2		▨										
4	Календарное планирование	НР	4			■	■								
5	Обзор литературы	МНС	10			▨	▨								
		НР	1			■									
6	Выплавка и изготовление образцов для исследования влияния легирования никелем	МНС	25				▨	▨	▨						
		НР	1				■								

$N_{расх\ i}$ – количество материального ресурса i -го вида, которое планируется для использования при выполнении научного исследования.

Результаты расчетов материальных затрат на исследование влияния легирования никелем в таблице 4.9.

В ходе научно-технического исследования у приобретенных видов продукции не было остатков, следовательно, не нужно исключать стоимость возвратных отходов.

Таблица 31 – Материальные затраты

Наименование	Ед. измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (1ш), руб.
Медь в слитках	граммы	6600	1	6600
Олово в прутках	граммы	600	10	6000
Цинк в чушках	граммы	75	8	600
Никель в прутках	граммы	225	10	2250
Печать формата А4	1 листов	75	2	150
Канцелярия	-	-	-	75
Итого				15 675

Материальные расходы на выполнение НТИ составили 15 675 рублей.

4.3.2. Расчет затрат на специальное оборудование

Данная статья включает затраты, связанные с приобретением оборудования, необходимого для проведения работ по теме. При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены.

Таблица 32 – Расчет затрат на приобретение спецоборудования

Наименование	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
Персональный компьютер	1	90	105

4.3.3. Основная заработная плата

Данный раздел посвящен расчету заработной платы младшего научного сотрудника и заработной платы научного руководителя.

Основная заработная плата состоит из оклада и премии, которая ежемесячно выплачивается в размере 20-30 % от оклада или тарифа.

Для руководителя и младшего научного сотрудника, непосредственно выполняющих проект, расчет основной заработной платы осуществляется по выражению:

$$З_{зн} = З_{осн} + З_{доп},$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20% от $З_{осн}$).

Для руководителя проекта производится расчет основной заработной платы по формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, которые выполняются работником, раб. дн. (таблица 28);

$З_{дн}$ – средняя за день заработная плата работника, руб.

Расчет среднедневной заработной платы осуществляется следующим образом:

Для младшего научного сотрудника, работающего по шестидневной рабочей неделе:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_{\partial}} = \frac{29004 \cdot 10,4}{299} = 1008,8 \text{ руб.},$$

Для руководителя, работающего по шестидневной рабочей неделе:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_{\partial}} = \frac{68250 \cdot 10,4}{299} = 2373,9 \text{ руб.},$$

где $З_m$ – должностной оклад работника за месяц, руб.:

Для руководителя:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p = 35000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 68250 \text{ руб.}$$

Для младшего научного сотрудника:

$$Z_m = Z_{mc} \cdot (1 + k_{np} + k_d) \cdot k_p = 14874 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 29004 \text{ руб.}$$

где Z_{mc} – заработная плата по тарифной ставке/оклад, руб.;

k_{np} – коэффициент на премии (0,3);

k_d – коэффициент, учитывающий доплаты и надбавки (0,2);

k_p – районный коэффициент (для г. Томск принимается 1,3);

M – число рабочих месяцев (без отпуска) за год: для 6-дневной недели, при отпуске в 48 раб. дней – $M = 10,4$ месяца.

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технических работников, раб. дн. (таблица 4.11).

Z_{mc} определили в соответствии с должностными окладами ППС и НС, НИ ТПУ.

Таблица 33 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	МНС
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	66	66
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	299	299

Таблица 34 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Z_{tc} , руб.	k_{np}	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{осн}$, руб.	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	35000	0,3	0,2	1,3	68250	2373,9	23	54599
Младший научный сотрудник	14874	0,3	0,2	1,3	29004	1008,8	74	74651

Итого	129250
-------	--------

4.3.4. Дополнительная заработная плата исполнительской темы

Дополнительная заработная плата исполнителей проекта учитывает величину доплат (в соответствии с Трудовым кодексом РФ) за отклонение условий труда от нормальных и величину выплат, обеспечивающих гарантии и компенсации.

Рассчитываем дополнительную заработную плату:

Руководитель: $Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,12 \cdot 54599 = 6551,8 (\text{руб.})$,

Младший научный сотрудник: $Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,12 \cdot 74651 = 8958 (\text{руб.})$,

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату (равен 0,12).

4.3.5. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Расчет отчислений производится по формуле:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}})$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент, учитывающий отчисления для уплаты в внебюджетные фонды.

Общая ставка взносов принимается равной 30 %, основываясь на ст.425, 426 НК РФ.

Таблица 35 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	$Z_{\text{осн}}$, руб.	$Z_{\text{доп}}$, руб.	$k_{\text{внеб}}$	$Z_{\text{внеб}}$
Руководитель	54599	6551,8	0,30	18345,3
МНС	74651	8958	0,30	25082,7
Итого	129250	15509,8	0,30	43427,94

4.3.6. Накладные расходы

В накладные расходы должны быть включены те затраты организации, которые не попали в предыдущие статьи расходов: оплата электроэнергии, услуг связи, размножение материалов, печать и ксерокопирование материалов и т.д.

Расчет накладных расходов производится по формуле:

$$З_{\text{накл}} = (З_{\text{м}} + З_{\text{об}} + З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} + З_{\text{внеб}}) \cdot k_{\text{нр}} = \\ = (15675 + 105000 + 129250 + 15509,8 + 43427,94) \cdot 0,16 = 49418 \text{ (руб)}$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент для учета накладных расходов (значение $k_{\text{нр}}$ принимаем равным 16%).

4.3.7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Основой при формировании бюджета затрат проекта является значение ранее вычисленных затрат научно-исследовательской работы.

Таблица 36 – Бюджет затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Доля, %	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	15 675	4,375	4.3.1
2. Затраты на спецоборудование	105000	29,307	4.3.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	129250	36,075	4.3.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	15509,8	4,329	4.3.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	43427,94	12,121	4.3.5
6. Накладные расходы	49418	13,793	4.3.6
Бюджет затрат НТИ	358 280,74	100	4.3.7

Из данных таблицы видим, итоговый расход на проектирование равен 358 тыс. руб. Большой процент затрат (36,075%) пришелся на затраты по основной заработной плате исполнителей проекта, следующими по величине стали затраты на спецоборудование (29,307%), далее накладные расходы (13,793%) и отчисления во внебюджетные фонды (12,121%). Материальные затраты проекта составляет (4,375%) от общего количества затрат. Минимальное количество затрат пришлось на дополнительную заработную плату для исполнителей (4,329%).

4.4. Определение ресурсосберегающей и финансовой эффективности исследования

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по формуле:

$$\Gamma_{\text{финр}}^{\text{исп } i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где $\Gamma_{\text{финр}}^{\text{исп } i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т. ч. аналоги);

Интегральные показатели будем рассчитывать для двух методов исследования влияния легирования никелем: теоретическое исследование и экспериментальная диагностика.

За Φ_{max} принимаем стоимость исследования влияния легирования никелем с помощью экспериментальной диагностики. За Φ_{pi} принимаем стоимость теоретического исследования.

Рассчитанные интегральные финансовые показатели для различных исполнений:

$$\Gamma_{\text{финр}}^{\text{исп } 1} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{277677}{349246} = 0,795$$

$$\Gamma_{\text{финр}}^{\text{исп } 2} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{349246}{349246} = 1$$

Полученная величина интегрального финансового показателя проекта отражает численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

То есть можно сделать вывод, что исследовать влияние легированием никеля теоретическим методом более выгодно с точки зрения финансовой составляющей, чем проводить подобные исследования с помощью экспериментов.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

В таблице 37 представлен расчет интегрального показателя ресурсоэффективности.

Таблица 37 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения

Критерии оценки	Весовой коэффициент параметра	Исп.1 (ТО)	Исп.2 (ЭО)
1. Удобство в эксплуатации	0,25	5	3
2. Энергоэкономичность	0,25	5	3
3. Надежность работы	0,20	3	5
4. Временные затраты	0,30	5	2
Итого:	1	4,6	3,1

Для разрабатываемого проекта, значение интегрального показателя ресурсоэффективности равно:

$$I_{p-исп1} = 0,25 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,2 \cdot 3 + 0,3 \cdot 5 = 4,6$$

$$I_{p-исп2} = 0,25 \cdot 3 + 0,25 \cdot 3 + 0,2 \cdot 5 + 0,3 \cdot 2 = 3,1$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{испi}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}} = \frac{4,6}{0,795} = 5,79$$

$$I_{исп2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{финр}} = \frac{3,1}{1} = 3,1$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 35) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{cp}$):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп1}}{I_{исп2}} = \frac{5,79}{3,1} = 1,87$$

Таблица 38– Сравнительная эффективность разработки

п/п	Показатели	Исп. 1	Ис п. 2
	Интегральный финансовый показатель разработки	0,79 5	1
	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	3,1
	Интегральный показатель эффективности	5,79	3,6 1
	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,87	

По результатам оценки ресурсоэффективности разрабатываемого проекта было получено значение показателя сравнительной эффективности проекта 1,87, которое говорит о том, что реализация научного исследования целесообразна.[82]

По результатам раздела можно сделать вывод, что цель раздела была достигнута с помощью поэтапного решения задач:

1) Проведен анализ конкурентных технических решений. Итогом анализа стал выбор моделирования для исследования влияния легирования никелем; Более высокие показатели теоретического обзора в сравнении с экспериментальным определением, обеспечиваются тем, что эксперименты требуют использования сложного оборудования, требует участия высококвалифицированных сотрудников,

больших временных и материальных затрат, в сравнении с теоретическим обзором процессов;

2) Следующим этапом было проведение QuaD-технологии и SWOT-анализа для исследования внешней и внутренней среды проекта. Оценив факторы, влияющие на проект, был сделан вывод о целесообразности осуществления проекта;

3) На этапе планирования был построен план-график выполнения этапов работ для руководителя и младшего научного сотрудника. С помощью графика, в календарных днях, было определено: общее количество дней необходимых для выполнения работы – 82 дня, количество рабочих дней младшего научного сотрудника – 74 и количество рабочих дней руководителя проекта - 23;

4) Был рассчитан бюджет научно-технического исследования. Из расчета видно, что на реализацию проекта необходимы затраты в размере 358 280,74руб.;

5) Последним этапом было определение и оценка эффективности исследования. Значение показателя сравнительной эффективности проекта больше единицы, что указывает на эффективность реализации данного проекта.

По итогам раздела было установлено, что проект отвечает необходимым требованиям в области ресурсоэффективности. Является конкурентоспособным и привлекательным с экономической точки зрения.

Заключение

1. Выявлены закономерности формирования структуры и свойств оловянной бронзы при введении добавок никеля. Никель способствует зарождению компактных и равномерно распределенных по объёму образца упрочняющих фаз. В результате легирования никелем оловянной бронзы происходит повышение твердости и прочности материала.
2. Выявлена способность оловянной бронзы, подвергаться упрочнению под действием термической обработки. Выявлено, что высокая скорость охлаждения при литье в металлическую форму, способствует образованию условий для проведения операции старения без закалки. Термическое упрочнение оловянной бронзы, легированной никелем, вызвано выделением дисперсных частиц химического соединения (Cu_9NiSn_3) в структуре сплава.
3. Перспективы дальнейшей разработки темы. Проведение комплекса теоретических и экспериментальных исследований по определению возможности использования результатов исследований данной работы, при создании материалов на основе оловянной бронзы, высокая прочность и твердость которых обеспечивается упрочнением твердого раствора и формированием компактной формы упрочняющей фазы $\alpha + \theta$ (Ni_4Sn) после проведения термической обработки. Особый интерес представляет собой изучение закона образования дисперсных частиц, образующихся в сплавах оловянной бронзы, легированной никелем, после термической обработки. Природа образующихся фаз нуждается в детальном исследовании.

Источники

- 1) <https://history-thema.com/istoriya-epohi-bronzyi/> (электронный ресурс, дата обращения: 03/11/2020)
- 2) <https://mirnovogo.ru/bronza/> (электронный ресурс, дата обращения: 03/11/2020)
- 3) Henry and Renée Kahane, «Byzantium's Impact on the West: The Linguistic Evidence», *Illinois Classical Studies* 06 1981, p. 395.
- 4) <https://cuprum-metall.ru/informatsiya/bronza/> -Сайт компании Фокс Металл(электронный ресурс, дата обращения: 05/11/2020)
- 5) Урвачев В.П., Кочетков В.В., Горина Н.Б. 'Ювелирное и художественное литье по выплавляемым моделям сплавов меди' - Челябинск: Металлургия, 1991 - с.166
- 6) Двойные и многокомпонентные системы на основе меди: Справочник/Под ред. Дрица М. Е.-М.: Наука.-1979.-246 с.
- 7) Курдюмов А. В. Пику нов М. В., Чурсин В. М. Литейное производство цветных и редких металлов. -М.: Металлургия. -1982. -351 с.
- 8) Смирягин А. П. Промышленные цветные металлы и сплавы: Справочник. - М.: Металлургия. -1974.-485 с.
- 9) Справочник металлиста/Под ред. Рахштадта А. Г. и Брострема В. А. -М.: Машиностроение. -1976.-Т. 2. -716 с.
- 10) Машиностроительные материалы: Краткий справочник/Под ред. Раскатова В. М. -М.: Машиностроение. -1980. -511 с.
- 11) Zhao J.C., Notis M.R. Spinodal decomposition, ordering transformation, and discontinuous precipitation in a Cu-15Ni-8Sn alloy // *Acta Metallurgica*. – 1998. – Vol. 46, iss. 12. – P. 4203–4218
- 12) Hoang.A.T., Nguyen L.H., Nguyen D.N. A Study of Mechanical Properties and Conductivity Capability of CU-9NI-3SN ALLOY/Orcid a0000- 0002-1767-8040ъ
- 13) S. Ilangovan, R. Sellamuthu - EFFECTS OF TIN ON HARDNESS, WEAR RATE AND COEFFICIENT OF FRICTION OF CAST CU-NI-SN ALLOYS/*Journal of Engineering Science and Technology* Vol. 8, No. 1 (2013) 34 – 43
- 14) Deyong, L.; Tremblay, R.; and Angers, R. (1990). Microstructural and mechanical properties of rapidly solidified Cu-Ni-Sn alloys. *Materials Science and Engineering A*, 124(2), 223-231.
- 15) Plewes J.T. High-strength Cu-Ni-Sn alloys by thermomechanical processing. *Metall. Mater. Trans. A*. 1975;6A:537–544. doi: 10.1007/BF02658411.
- 16) Spooner S., Lefever B.G. The effect of prior deformation on spinodal age hardening in Cu-15Ni-8Sn alloy. *Metall. Mater. Trans. A*. 1980;11A:1085–1093. doi: 10.1007/BF02668132.

- 17) Lefevre B.G., D'annessa A.T., Kalish D. Age hardening in Cu-15Ni-8Sn alloy. Metall. Mater. Trans. A. 1978;9A:577–586. doi: 10.1007/BF02646415.
- 18) Мартюшев Н.В. Кристаллизация свинцовистых бронз / Н.В. Мартюшев-Томск: Изд-во ТПУ, 2011-120 с.
- 19) Мартюшев Н.В. Корчмит А.В. Кристаллизация свинцовистых бронз / Н.В. Мартюшев, А.В. Корчмит.-Томск: Изд-во ТПУ, 2011-198 с.
- 20) Осинцев О.Е., Федоров В.Н. Медь и медные сплавы. Отечественные и зарубежные марки: Справочник. – М.:Машиностроение, 2004.-336 с.
- 21) Пресняков А.А., Новиков А.В. Изучение механических свойств оловянистых бронз с добавками цинка, фосфора, свинца и никеля // Труды института ядерной физики АН каз. ССР.-Алма-Ата: Изд. АН Каз.ССР, 1959.-Т.2.-98 с.
- 22) Сварика А.А. Свойства отливок из оловянных бронз // Литейное производство.-1970.-№9 -60 с.
- 23) Сучков Д.И. Медь и ее сплавы.-М.:Металлургия,1967-248 с.
- 24) Чурсин В.М. Плавка медных сплавов.-М.:Металлургия,1982.-152 с.
- 25) Шпагин А.И. Антифрикционные сплавы.-Металлургиздат, 1956.-320 с.
- 26) Золоторевский В.Г. Механические свойства металлов.- М.:Металлургия,1983.-350 с.
- 27) Конобеевский С.Т., Тарасова В.П. О границе растворимости α – фазы в сплаве Cu-Sn // Ж. эксперим. и теор. физ. -1934.-Т.4.-№3.-291 с.
- 28) Лебедев К.П., Райнес Л.С., Шеметев Г.Ф., Горячев А.Д. Литейные бронзы.- М.-Л.: Машиностроитель, 1973.-311 с.

Приложение 1

1. Physiochemical properties

By external signs, bronze, brass, copper and aluminum products are difficult to distinguish. Unlike brass, bronze products are more resistant to abrasive wear. Bronze is denser than aluminium. The properties of bronze are mainly influenced by chemical composition. Even small alloying inclusions can greatly affect the strength, mechanical and physical properties of bronze.

- tin, phosphorus and iron — strengthen and increase the hardness of bronze, increase resistance to corrosive effects;
- lead - make the alloy more amenable to cutting.
- zinc and chromium - increase the heat resistance of bronze;
- Nickel, silicon, manganese and zirconium - have a positive effect on the ductility of the alloy;
- beryllium - prevents oxidation by forming a protective film on the surface of the material.

2. Differences of bronze alloys

Each type of bronze is unique, due to the characteristics determined by chemical composition, which are determined by the content of chemical elements and acquired during certain heat treatments.

In the context of bronze, we are interested in the next technologies from heat treatment:

Hardening - Hardening increases the manufacturability of the alloy and ductility.

Aging - during aging, bronzes harden and increase their mechanical properties.

Steeling(with cast iron) - the use of cast iron as a source of carbon

in bronze, for hardening and increasing wear resistance, during subsequent forgings, the cast iron is squeezed out, leaving behind small particles of high-carbon steel.

3. Alloy Copper-Tin

Next (Fig. 1) shows the state diagram, built on the basis of a large number of works.

In the region of α -solid solution, an increase in the tin content in alloys leads to an increase in hardness, tensile strength, and a decrease in relative elongation. Since the alloys have a wide range of crystallization and the compositions of the liquid and solid phases in the Cu - Sn system are very different, intense dendritic segregation develops. Especially strong dendritic segregation is observed in castings with a centrifugal method of pouring the melt into a mold.

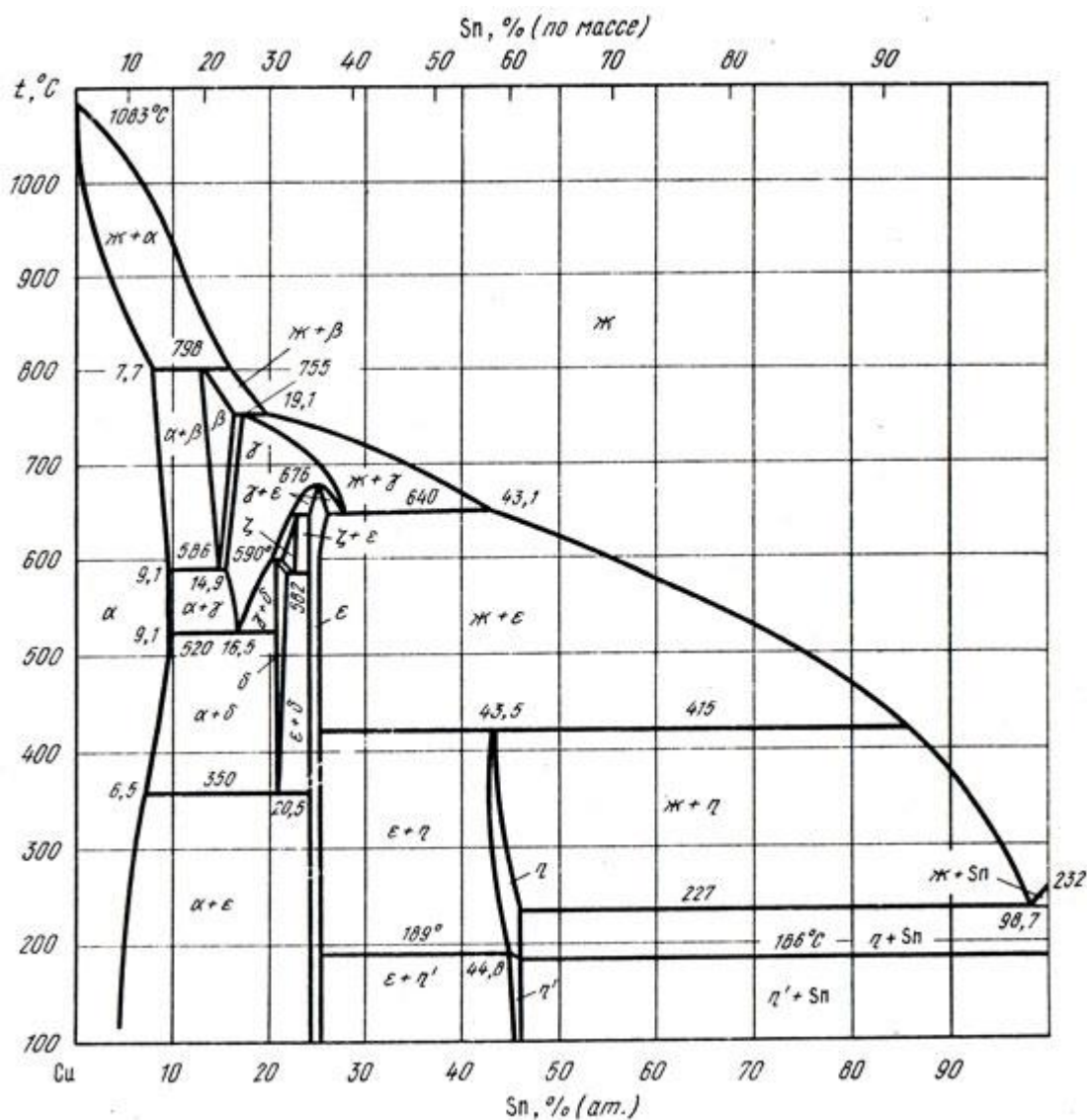


Fig.1 Diagram of the state of alloys of the copper-tin system

The strength of materials can be improved through various common methods such as grain refinement, work hardening, solid solution hardening, quench hardening, precipitation hardening, and precipitation hardening. Spinodal hardening is an emerging technique that can also increase the strength of bronze alloys. It refers to a process in which a supersaturated solid solution decomposes into solute-rich and solute-poor regions when it is kept at a suitable temperature. As a result, a modulated structure is formed inside the solid and subsequent aging leads to the formation of an ordered structure. The strain field around the modulated structure, created by spinodal decay together with the ordered structure, prevents the movement of dislocations and thereby causes solidification.

In the work, a number of studies were carried out on spinodal bronze alloys (Cu-Ni-Sn) to evaluate the microstructure and mechanical properties, but limited studies were carried out to determine the wear characteristics, since these alloys are potential candidates for use in high-performance installations. Other work said about the effect of Sn content on the hardness of Cu-Ni-Sn alloys while maintaining a fixed value of Ni equal to 10% by weight.

In order to know the effect of tin (Sn) on the hardening process, two different aspects of hardening mechanisms were considered: First of all: solid solution hardening due to Sn solutes dissolved in the matrix, and second: spinodal hardening due to the formation of a modulated structure along with an ordering reaction. A plot of hardness versus Sn content in the mortar treated state was plotted as shown in Figure 2. From the figure, it can be seen that the hardness in the first case increases with increasing Sn content, thus illustrating its effect on the strengthening aspect of the mortar.

In the same figure 2, the experimental values related to the aging treatment are plotted in order to evaluate the contribution of Sn to the spinodal hardening in the second case. In addition, the maximum hardness increases with increasing Sn content.

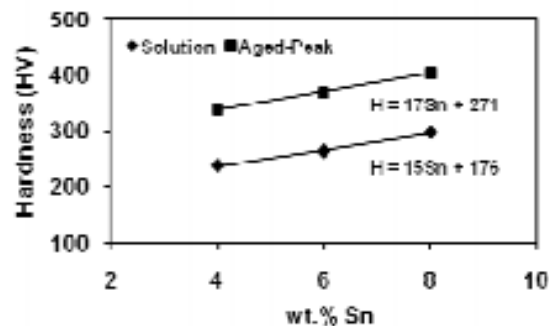


Fig.2 Change in hardness depending on the content of tin (Sn).

4. Alloy Copper-Nickel

The state diagram of the copper - nickel system (Fig. 3) is a system with a continuous series of solid solutions. The alloys of this system are the basis of industrial alloys of the cupronickel type, which are well deformed, and hardened by deformation work hardening

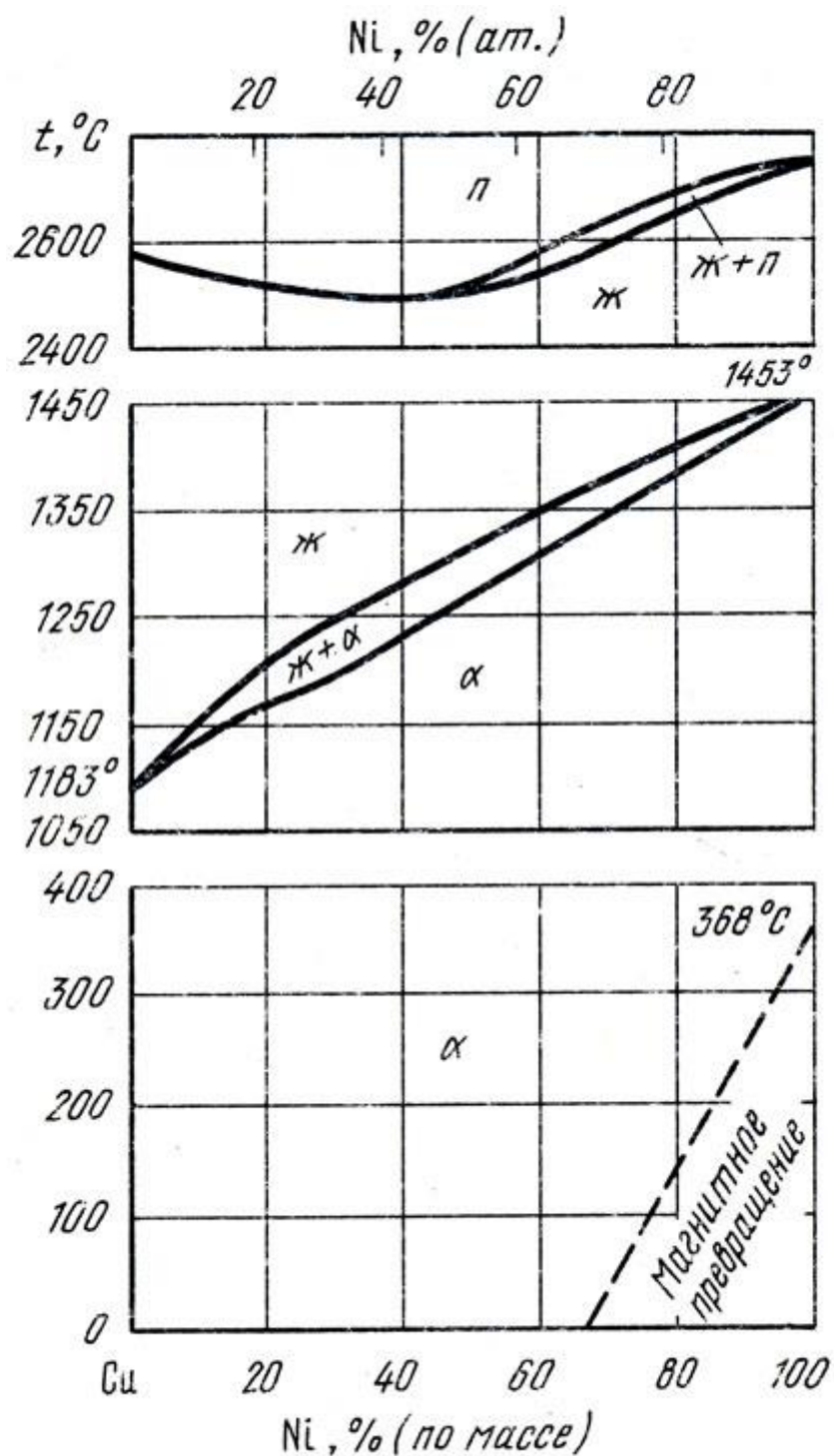


Fig.3 Diagram of the state of the copper-nickel system

The nickel content in bronze increases the crystallization interval, somewhat reduces fluidity, especially when the nickel content is over 0.5 ... 1%, refines the structure of the alloy, and increases hot brittleness. Also, with an increase in the nickel content, the hardness and strength of the alloys increase.

Nickel-copper (Cu-Ni) alloys are called copper alloys with the main metal element being Ni and possible inclusions of some other metals, such as tin (Sn), have high electrical conductivity and low cost.

The properties of the Cu-Ni-Sn alloy, such as strength or elastic limit, can also be controlled by combining heat and mechanical treatments.

The region $\alpha + \theta$ is of greatest interest for the production of cast alloys. The authors of the state diagram of Cu-Sn-Ni believed that the composition of the θ -phase should correspond to one of the chemical compounds Ni_3Sn or Ni_4Sn . The θ phase has a variable solubility depending on temperature, which makes it possible to apply heat treatment-quenching and subsequent aging to tin-nickel bronzes. (Fig.4)

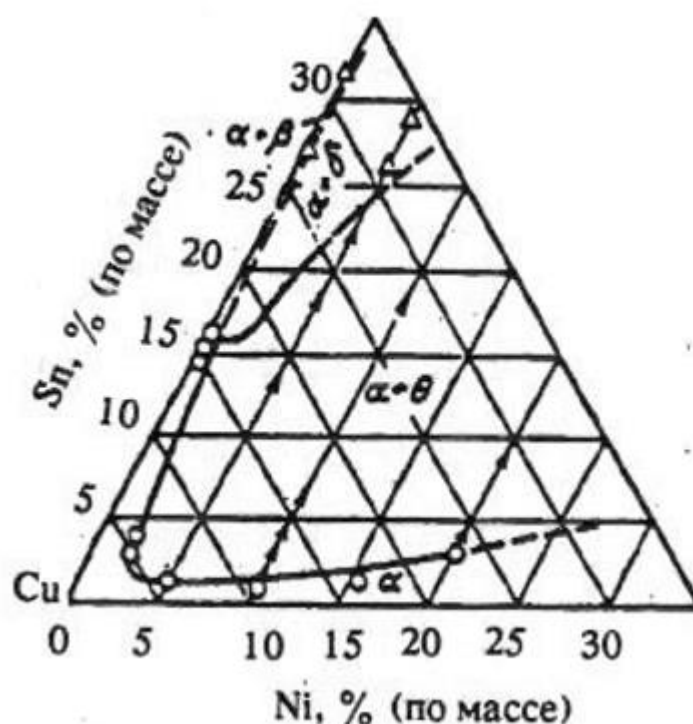


Fig.4 Isothermal section of the state diagram of the Cu-Ni-Sn alloy.

5. Alloy Copper-Zinc

The diagram of the state of the system copper - zinc shown in Fig. 5

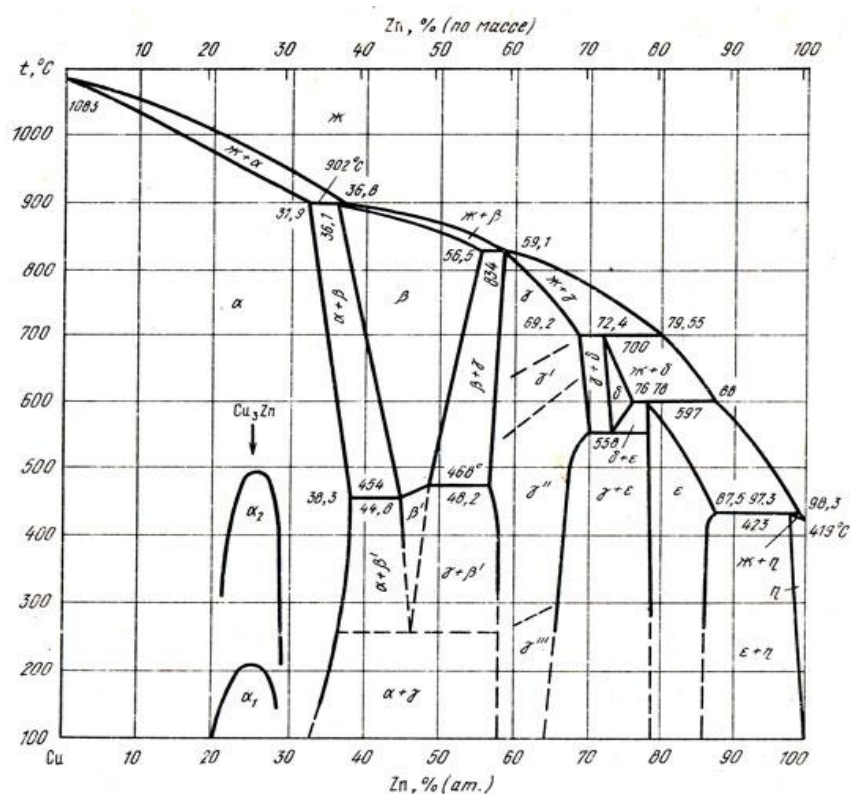


Fig.5 Diagram of the state of alloys of the copper-zinc system

The presence of zinc in bronze improves fluidity, reduces strength and ductility, increases hardness, deteriorates corrosion resistance, and also reduces the gas saturation of the melt.

6. Literature Review Conclusion

Based on the literature review, an intermediate conclusion can be drawn: bronze with a silicon content above 5% will be an excellent sealing material, but silicon is not an economically viable material. A good and cheap analogue is bronze with an aluminum additive, but such a material is devoid of ductility, which means it is a little more brittle. The best choice would be tin bronze with a nickel content of about 1-5%, or with a titanium additive of about 0.3-0.5%, also with possible additions of zinc and lead. Such a material should initially have increased strength, but can also increase strength properties during heat treatment by aging at 230-480 °C and 2 h, quenching at 700 °C.

7. Objectives of research

Based on the study of literary sources on the chosen topic, the following tasks were set:

- Determine the complex effect of alloying elements on the structure, mechanical properties and temperature of phase transformations of tin bronze.
- To study the effect of nickel on the hardening of tin bronze by heat treatment.
- Develop technology for thermal hardening of tin bronze alloyed with nickel.
- Make experimental samples from heat-hardened bronze with nickel additives and test mechanical characteristics.

8. Material and research methods

In the previous chapter, it is indicated that tin bronze with the addition of nickel and zinc has high mechanical properties. This type of bronze has high casting qualities and is well processed by cutting.

With an increase in tin over 10%, plasticity decreases due to the formation of a brittle eutectoid in the structure. Therefore, an amount of tin not exceeding 10% should be used.

The introduction of nickel into the alloy up to 6% increases the hardness of the alloy, due to the refinement of the structure, and ensures a uniform distribution of hardening phase inclusions.

Small additions of zinc will increase the hardness of the composition without significantly affecting the ductility of the material.

Analyzing the available data, the following composition of bronzes for research was chosen: 8% Sn, 1% Zn and 1...5% Ni.

a. The method of conducting melting and pouring

To study the effect of complex alloying of elements on the structure and properties of bronze castings obtained by centrifugal casting, bushings weighing 2.7 kg with an outer diameter of 108 mm, an inner diameter of 36 mm, and a height of 130 mm were made.

The melting sequence was as follows:

- 1) Heating the crucible up to 1200 degrees.
- 2) Introduction into the crucible of 50% of the mass of copper.
- 3) After melting the mass, we carry out the removal of slag from the surface.
- 4) Loading nickel into molten copper to prevent oxidation of the latter, and press it with the second part of copper.
- 5) As copper melts, nickel dissolves in it.
- 6) After melting the ligature, add tin and zinc.
- 7) After the final removal of slag, we deoxidize the melt in the crucible of the furnace with phosphorous copper (Cu_3P) at the rate of 0.05% by weight of the entire charge, to remove oxygen from the alloy.
- 8) The melt, through the chute, is poured into a chill mold pre-lubricated with zirconium oxide (Fig. 11), which is fixed in a three-jaw self-centering chuck of a centrifugal machine (Fig. 12).
- 9) After crystallization of the melt, the resulting castings were knocked out of the mold.



Fig.11 Chill mold



Fig.12 Machine for centrifugal casting.(1-motor, 2-jaw self-centering chuck, 3- chill mold, 4-chute).

b. Metallographic studies

Microstructure analysis was performed using an AxioObserver A1.m research optical microscope (Carl Zeiss, Germany) and the AxioVision v.4 software product. To study the microstructure, metallographic sections were made using abrasive skins with different abrasive grain sizes. Polishing was carried out on cloth using an aqueous solution of chromium. The structure was revealed by etching samples of concentrated hydrochloric acid. Samples for metallographic studies were cut from centrifugal castings in the longitudinal direction. In total, about 60 samples were prepared.

To calculate the average grain size of the solid solution, the secant method was used. An example of calculating the size is shown in Fig. 13 In total, about 50 microphotographs were taken and processed during the work.

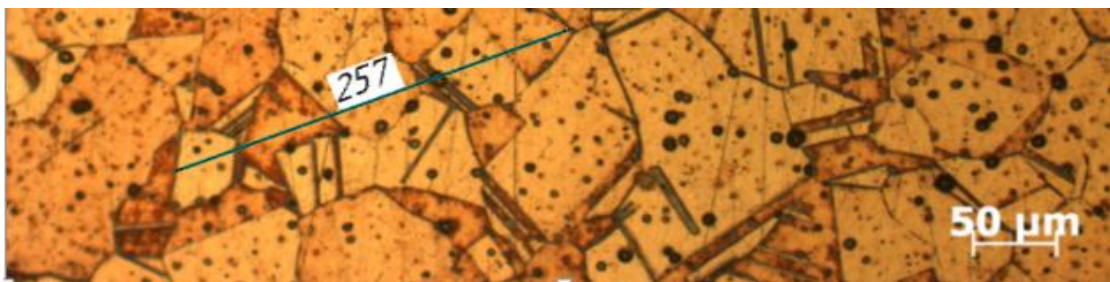


Fig.13. An example of calculating the grain size using the secant method. The grain size is $(257/5)$ 51.4 μm.

When performing work, the following characteristics were determined: hardness, impact strength, strength. In total, about 80 samples of various shapes and sizes were made for work.

c. Hardness test

The hardness of the samples in the cast state was determined on a Brinell hardness tester (Fig. 14) according to GOST 9012-59 with a load of 250 kg and a steel ball diameter of 5 mm.



Fig. 14. Brinell hardness tester

d. Impact Test

The most efficient method for determining crack resistance is the impact test. With this method, it is possible to reliably and simply assess the quality level of cast bronze.

For testing, a 2130KM-0.3 pendulum impact tester with a maximum energy reserve of 300 J was used (Fig. 15). The objects of research were Charpy samples 55x10x10 in size with a notch in the depth of 2 mm and a radius of 1 mm (GOST 9454-78) (Fig. 16). The number of samples was 2 for each test series.

The free energy of the pendulum was 5.4 Joyle. The impact strength (KC) was determined as the ratio of the work (A) spent on the destruction of the sample to its cross-sectional area (F_0):

$$KC = \frac{A}{F_0}$$



Fig.15. Pendulum pile driver 2130KM-0.3



Fig.16. Charpy pattern

e. Strength tests

Prepared blanks made in accordance with GOST 1497-84 (Fig. 17) are placed in machines for stretching and breaking blanks (Fig. 18). The machine applies increasing force until the workpiece breaks, and a special program displays the process data on the computer screen. Using this data, you can find out the force that needs to be applied to break the sample, as well as calculate the relative elongation of the sample.



Fig.17. Ready-made tensile specimen, total length 62 mm, length of 1 and 3 sections 10 mm, 1 and 3 sections diameter 12 mm, length of 2 sections 42 mm, diameter of 2 sections 6 mm.



Fig.18. Testing machine MIRI-100K

f. Heat treatment

Heat treatment was carried out in the PKE BUAN-41 electric furnace (Fig. 20). Heat treatments were carried out by quenching and aging.



Fig.20. PKE BUAN-41