



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

Институт            Электронного образования  
 Специальность   Оборудование и технологии сварочного производства  
 Кафедра            Оборудование и технологии сварочного производства

**ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ/РАБОТА**

Тема работы
<b>Особенности формирования структуры биметаллического соединения в условиях диффузионной сварки.</b>

УДК 621.791.18:621.791.05:669.018-419

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4602	Ларкин С.С.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гнюсов С.Ф.	д.т.н., профессор		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Петухов О.Н.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гуляев М.В.	доцент		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. Кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОТСП	Киселев А.С.	к.т.н., доцент		

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

Институт электронного образования  
 Направление подготовки (специальность) оборудования и технология сварочного производства  
 Кафедра оборудования и технология сварочного производства

УТВЕРЖДАЮ:  
 Зав. кафедрой ОТСП  
 \_\_\_\_\_ Киселев А.С.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ

#### на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Дипломная работа
------------------

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

Студенту:

Группа	ФИО
3-4602	Ларкин Сергей Сергеевич

Тема работы:

Особенности формирования структуры биметаллического соединения в условиях диффузионной сварки.
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	3051/С от 20.04.2016 г.
---	-------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	03.06.2016 г.
--	---------------

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(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.).</i></p>	<p>Образцы, соединения стали 30Х3ВА и бронзы БрО10С2НЗ, полученного диффузионной сваркой.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования;</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Аналитический обзор литературы по теме исследования</li> <li>2. Постановка задачи исследования</li> <li>2. Объект и методы исследования</li> <li>3. Результаты и обсуждение работы</li> </ol>
<p><i>содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по</i></p>	<p><i>обсуждение результатов выполненной работы</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение</li> <li>5. Социальная ответственность</li> <li>6. Заключение</li> </ol>

<i>работе).</i>	
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Название, цель, задачи исследования</li> <li>2. Материалы и методы исследования</li> <li>3. Эскиз заготовки блока цилиндров</li> <li>4. Эскизы втулки и шайбы</li> <li>5. Блок цилиндров в графитовом приспособлении</li> <li>6. Микроструктура исходного материала</li> <li>7. Структура сварных стыков сталь 30Х3ВА + бронза БрО10С2НЗ в зависимости от температуры диффузионной сварки</li> <li>8. Структура сварного стыка сталь 30Х3ВА + бронза БрО10С2НЗ полученного при температуре диффузионной сварки 915°С</li> <li>9. Профили микротвердости в области сварных стыков</li> <li>10. Выводы</li> </ol>

<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> <i>(с указанием разделов)</i>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
1. Обзор литературы 2. Объект и методы исследования 3. Аналитический обзор 6. Заключение	Гнюсов Сергей Федорович
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Петухов Олег Николаевич
5. Социальная ответственность	Гуляев Милий Всеволодович

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	12.01.2016 г.
---	---------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гнюсов С.Ф.	д.т.н., проф.		12.01.2016 г.

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-4602	Ларкин С.С.		12.01.2016 г.

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

Институт Электронного образования  
 Направление подготовки 150202 Оборудование и технология сварочного производства  
 Уровень образования Высшее  
 Кафедра Оборудование и технология сварочного производства  
 Период выполнения (весенний семестр 2016 учебного года)

Форма представления работы:

Дипломная работа
------------------

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
 выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	03.06.2016 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
15.02.2016	1 Обзор литературы	15
30.04.2016	2 Объект и методы исследования	10
25.05.2016	3 Аналитический обзор	30
06.05.2016	4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
15.05.2016	5 Социальная ответственность	10
25.05.2016	6 Заключение	10
02.06.2016	7 Демонстрационные слайды	15

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Гнюсов С.Ф.	д.т.н., профессор		12.01.2016 г.

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. Кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОТСП	Киселев А.С.	к.т.н., доцент		12.01.2016 г.







## Реферат

Выпускная квалификационная работа – 54 страниц, 9 рисунков, 2 таблиц, 10 использованных источников.

Ключевые слова: диффузионная сварка, бронза БрО10С2Н3, сталь 30Х3ВА, вакуумная печь, микротвердость,

Предметом исследования является изучение формирования структуры биметаллического соединения в условиях диффузионной сварки в зависимости заданных режимов сварки.

Объектом исследования являются образцы полученные диффузионной бронзы БрО10С2Н3 со сталью 30Х3ВА.

Цель работы – изучить влияние режима диффузионной сварки стали 30Х3ВА с бронзой БрО10С2Н3 на качество сварного соединения.

В процессе работы исследовалась микроструктура и микротвердость образцов полученных диффузионной сваркой бронзы БрО10С2Н3 со сталью 30Х3ВА в местах сварного соединения.

Для достижения цели были произведены следующие мероприятия:

- обзор литературы по теме, поставка задача и цель исследования;
- подготовлены образцы полученные с разными режимами сварки;
- анализ структуры сварного соединения в зависимости от температуры сварки;
- построен профиль микротвердости по толщине образца;
- по проделанной работе сделаны соответствующие выводы.

Определения, обозначения, сокращения и нормативные ссылки

В настоящей работе применены следующие термины с соответствующими определениями.

Диффузия — процесс взаимного проникновения молекул или атомов одного вещества между молекулами или атомами другого.

Эвтектоид - смесь двух стабильных твердых фаз, образованных одновременно из твердого раствора при эвтектоидном распаде и имеющая постоянную для данной системы состав.

Биметалл – металлический материал, состоящий из 2 слоев разнородных металлов или сплавов.

Антифрикционные материалы — это группа материалов, обладающих низким коэффициентом трения, или материалы, способные уменьшить коэффициент трения других материалов.

Сорбит — одна из структурных составляющих сталей и чугунов; представляет собой высокодисперсную разновидность перлита — эвтектоидной смеси феррита и цементита.

Карбиды — соединения металлов и неметаллов с углеродом.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	12
1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....	14
1.1 ДИФФУЗИОННАЯ СВАРКА КАК СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ .....	14
1.2. ОСОБЕННОСТИ СВАРКИ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ С МЕДЬЮ И СПЛАВАМИ НА ЕЁ ОСНОВЕ .....	16
1.2.1 МЕДЬ И ЕЕ СПЛАВЫ.....	18
1.2.2 ТЕПЛОУСТОЙЧИВАЯ СТАЛЬ 30Х3ВА .....	22
1.3. ОСОБЕННОСТИ ДИФФУЗИОННОЙ СВАРКИ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ С БРОНЗОЙ.....	23
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ .....	25
2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	27
3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ .....	31
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	36
4.1 ПРЕДПРОЕКТНЫЙ АНАЛИЗ .....	36
4.2. ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПОТРЕБИТЕЛИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ. ....	36
4.3. АНАЛИЗ КОНКУРЕНТНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ С ПОЗИЦИИ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ.....	37
4.5. ОПИСАНИЕ ГЛАВНЫХ, ОСНОВНЫХ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ, ВЫПОЛНЯЕМЫХ ОБЪЕКТОМ .....	37
4.6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧИМОСТИ ВЫПОЛНЯЕМЫХ ФУНКЦИЙ ОБЪЕКТОМ.....	39
4.7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧИМОСТИ ФУНКЦИЙ .....	41
4.8. ПОСТРОЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНОЙ ДИАГРАММЫ ОБЪЕКТА И ЕЕ АНАЛИЗ .....	43
4.9. ОПТИМИЗАЦИЯ ФУНКЦИЙ ВЫПОЛНЯЕМЫХ ОБЪЕКТОМ.....	43
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....	45
5.1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБЛАСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ..	45

5.2. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ .....	45
5.2.1. АНАЛИЗ ВЫЯВЛЕННЫХ ВРЕДНЫХ ФАКТОРОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОЕКТИРУЕМОГО РЕШЕНИЯ .....	46
5.2.2. АНАЛИЗ ВЫЯВЛЕННЫХ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОЕКТИРУЕМОГО РЕШЕНИЯ .....	49
5.3. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.....	52
5.4. БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ.....	54
5.5. ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ .	55
ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ.....	57
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	58

## Введение

Процесс диффузионной сварки в вакууме был разработан в 1953 году профессором Казаковым Н.Ф.. Он дал следующее определение данному виду сварки: «Диффузионная сварка – это соединение однородных и разнородных металлов, сплавов и не металлических материалов, осуществляемый путем диффузии атомов через поверхность стыка, возникающего действия давления и нагрева в течение заданного времени» [4].

В настоящее время диффузионной сваркой соединяют различные материалы: однородные и разнородные металлы и их сплавы, а так же не металлические материалы (стекло, керамику, кварц). Достоинствами диффузионной сварки являются:

- исключается расплавление соединяемых материалов;
- отсутствует необходимость в обязательном применении драгоценных металлов в виде припоев;
- прочность соединений может изменяться в широком диапазоне в зависимости от требований к сварному узлу, превышая при этом прочность клеевых и паяных соединений;
- возможно совмещение процессов сварки и термической обработки материалов с целью получения определенных свойств;
- соединение разнородных по физико-химическим свойствам материалов исключает дополнительные промежуточные операции, например вжигание паст, содержащих серебро;
- процесс диффузионной сварки легко поддается автоматизации.

Современное представление о процессах, протекающих при диффузионной сварке, базируется на достижениях в области физики и химии твердого тела, а также смежных отраслей науки.

В ряде агрегатов авиационной техники требуется соединение разнородных материалов, в частности, при производстве плунжерных насосов, использующихся для нагнетания давления в гидравлическую систему. Подвижные детали плунжерных насосов вращаются относительно

друг друга с большими скоростями (до 4500 об/минуту) и прикладываемыми давлениям. Для уменьшения коэффициента трения рабочие поверхности таких деталей армируют оловянистой бронзы. Так входящий в плунжерный насос блок цилиндров изготавливается из оловянисной бронзы и стали 30ХЗВА. Неразъемное соединение из этих материалов получают диффузионной сваркой. Качество данного соединения зависит от режима диффузионной сварки.

Цель работы – изучить влияние режима диффузионной сварки стали 30ХЗВА с бронзой БрО10С2НЗ на качество сварного соединения.

## 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

### *1.1 Диффузионная сварка как способ формирования неразъемных соединений*

Согласно принятой классификации все виды сварки подразделяются на сварку плавлением, при осуществлении которой соединяемые материалы разогревают до температуры плавления или несколько более высокой температуры, и сварку в твердой фазе (без расплавления соединяемых материалов).

В конце 1950-х гг. в СССР было выдано авторское свидетельство на «способ соединения керамических и металлических деталей, например режущих пластин с державками, отличающийся тем, что его осуществляют в вакууме, обеспечивая взаимную диффузию атомов и молекул соединяемых материалов». Этот способ — одна из разновидностей сварки давлением — получил название диффузионной сварки [4].

**Диффузионная сварка** — сварка за счёт взаимной диффузии на атомарном уровне свариваемых поверхностей деталей. Этим видом сварки производится полуавтоматическая, автоматическая в различных пространственных положениях, черных и цветных металлов и сплавов широко диапазона толщин. Определения и сущность диффузионной сварки описаны в ГОСТ Р ИСО 857-1-2009 [7].

Диффузионная сварка производится воздействием давления и нагревом свариваемых деталей в защитной среде. Перед сваркой поверхность детали обрабатывают по 6 классу шероховатости и промывают для обезжиривания ацетоном.

Температура нагрева составляет 0,5 – 0,7 от температуры плавления металла свариваемых деталей. Высокая температура обеспечивает большую скорость диффузии и большую пластичность деформирования металла.

Процесс сварки осуществляется с использованием разных источников нагрева. В основном применяют индукционный, радиационный, электронно-лучевой нагрев, нагрев проходящим током, тлеющим разрядом или в расплаве солей.

Сварка протекает при давлении в камере –  $10^{-2}$  мм. рт. ст. или в атмосфере инертного газа. Вакуум или защитная атмосфера предохраняет свариваемые поверхности от загрязнения.

Сварка производится сжатием деталей с давлением  $1 - 4$  кгс/мм<sup>2</sup>. Давление, применяемое при способах сварки без расплавления материалов, способствует разрушению и удалению окисных пленок и загрязнений на поверхности металла, сближению свариваемых поверхностей до физического контакта и эффективного атомного взаимодействия, обеспечению активации поверхностей для протекания диффузии и рекристаллизации. Различается сварка с высокоинтенсивным силовым воздействием (свыше 20 МПа) и сварка с низкоинтенсивным силовым воздействием (до 2 МПа) [4].

Диффузионная сварка проходит в две стадии:

- сжатие свариваемых поверхностей, при котором все точки соединяемых материалов сближаются на расстоянии межатомных взаимодействий;
- формирование структуры сварного соединения под влиянием процессов релаксации.

Недостатки:

- необходимость вакуумирования рабочей камеры;
- тщательная подготовка и очистка свариваемых поверхностей.

Преимущества:

- диффузионная сварка не требует сварочных припоев, электродов;
- не нужна дополнительная механическая обработка свариваемых поверхностей;
- высоко качество сварного соединения;
- мал расход затрачиваемой энергии;

- широк диапазон толщин свариваемых деталей – от долей мкм, до нескольких метров.

## *1.2. Особенности сварки конструкционных сталей с медью и сплавами на её основе*

За время, прошедшее после получения этим способом первого сварного соединения, в России и за рубежом выполнено большое число научно-исследовательских работ теоретического и прикладного характера по диффузионной технологии. Данная технология применяется почти во всех отраслях хозяйства, а в ряде случаев именно благодаря наличию такого эффективного способа соединения материалов стало возможным создание принципиально новой промышленной продукции.

Проблема сварки конструкционной стали с медью имеет исключительно важное значение для электротехники и приборостроения, что связано со снижением затрат на выпускаемую продукцию. Получить такое соединение до применения диффузионной сварки удавалось только с помощью холодной сварки, что требовало значительных деформаций (82-90%) обоих свариваемых металлов. Поэтому тонкие элементы сваривать этим методом невозможно или необходима последующим механическая и термическая обработка.

Пайка не дает необходимой прочности. Сварка плавлением стали и меди вообще невозможна. В твердом состоянии железо и медь имеют весьма незначительную взаимную растворимость.

Из диаграммы состояния Fe – Cu следует [4], что при диффузии железа в меди образуется  $\epsilon$ -твердый раствор ограниченной растворимости. Растворимость железа монотонно увеличивается от 0,3 – 0,35% при 700 °C до 2,6 – 2,9% при 1000 °C. При диффузии меди в  $\alpha$ -железе также образуется твердый раствор ограниченной растворимости. В диапазоне 750 – 835 °C растворимость меди увеличивается до 3,5%. Пересыщение  $\alpha$ - и  $\epsilon$ - твердых растворов приводит к образованию при 835 ° эвтектоида  $\alpha+\epsilon$ . В интервале температур 835 – 910 °C растворимость меди в  $\alpha$ -Fe уменьшается причем

медь снижает температуру  $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращения в железе. При этих температурах могут сосуществовать как  $\alpha$ -твердый раствор меди в железе так и  $\gamma$ -твердый раствор меди в железе, причем предельная растворимость меди в  $\gamma$ -Fe больше, чем в  $\alpha$ -Fe.

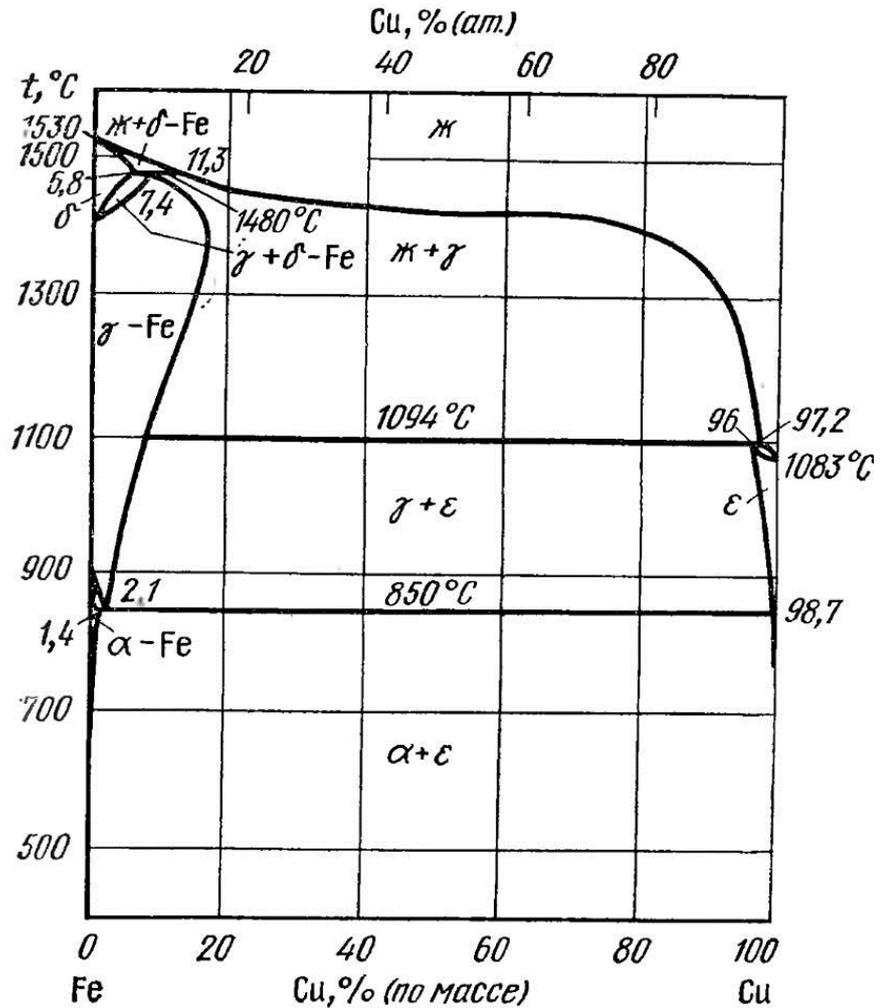


Рисунок 1 – диаграмма состояния Fe – Cu [4].

Ухудшает взаимную растворимость железа и меди наличие в стали углерода, а улучшают марганец и кремний. Марганец снижает критическую точку и расширяет область  $\gamma$ -твердого раствора, в котором медь растворяется в большем количестве, а кремний упрочняет зерна твердого раствора.

Проблема сварки стали с бронзой обусловлена тем что при температуре 1023°K из бронзы выделяется свинец, который не входит в

состав твердого раствора и вводится в бронзу для снижения коэффициента трения.

### *1.2.1 Медь и ее сплавы*

Медь имеет кристаллическую решетку ГЦК. Плотность меди 8,94 г/см<sup>3</sup>; температура плавления 1083°C [2].

Характерными свойствами меди являются её высокая теплопроводность и электропроводность ( $\rho=0,0178$  ом\*мм<sup>2</sup>/м) [1]. Кроме этого медь обладает хорошей сопротивляемостью коррозии, легко обрабатывается давлением, но при этом плохо режется, а так же обладает невысокими литейными свойствами.

Медь и ее сплавы находят широкое применение в электротехнической промышленности, электронике, приборостроении, плавильном производстве, двигателестроении.

Медь подразделяется на марки: М00, М0, М1, М2, М3, М4 и т.д. Разделение меди по маркам производится по степени чистоты меди. Чистая медь Марок М00, М0, и М1 применяется для изготовления электропроводов. Для изготовления сплавов используется медь марок М2 и М3, в которых допускается большее содержание примесей. Медь этих марок служит также для изготовления электроконтактов, шин и других токопроводящих деталей, различных прокладок, уплотнительных колец, заглушек, стопоров, нипелей и т.п. Кроме того медь может быть использована при производстве металлокерамических материалов.

Некоторые примеси сильно влияют на свойства меди.

Висмут и свинец почти не растворимы в меди в твердом состоянии и образуют с ней легкоплавкие эвтектики, плавящиеся при низких температурах (270 и 360°C, соответственно).

Поэтому уже при небольшом содержании этих элементов медь проявляет в условиях горячей обработки давлением хрупкость, объясняемую плавлением этих эвтектик. В связи с этим свинец и висмут являются вредными примесями, и допустимыми в малых количествах.

К числу вредных примесей относят также кислород, понижающий пластичность меди как в горячем так и в холодном состоянии. При значительных содержаниях кислорода медь проявляет «водородную болезнь», становясь хрупкой после отжига в восстановительной атмосфере, содержащей водород. Это выражается в появлении трещин и надрывов при деформации, а также в образовании пузырей на поверхности прокатанных изделий после отжига.

Примеси сильно влияют на электропроводность меди. Особенно резко снижают электропроводность фосфор и кремний.

Медь устойчива против коррозии в атмосферных условиях, однако разрушается под действием аммиака, сернистого газа, азотной кислоты и других агрессивных сред. При нагреве медь легко окисляется [2].

Медь является сравнительно дорогим металлом и, по возможности, заменяется более дешевыми материалами. В некоторых случаях она может быть заменена биметаллическими (например, стальными проводами или трубопроводами, покрытыми слоем меди) или сталями нанесенными на них антикоррозионными покрытиями.

**Латуни** – сплавы меди с цинком. Содержание цинка в латунях до 45%. В некоторые латуни вводят также свинец, олово, алюминий, кремний, марганец, железо и другие элементы.

Вследствие узкого температурного интервала кристаллизации латуни обладают хорошими литейными свойствами.

По своей коррозионной стойкости латуни значительно превосходят железо, углеродистую сталь и многие сорта легированной стали.

При сплавлении меди с цинком образуется ряд твердых растворов  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\epsilon$ , из которых  $\alpha$  является твердым раствором цинка в меди с предельной растворимостью 39%. Фазы  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\epsilon$  являются твердыми растворами на базе электронных соединений:  $\beta$  –  $\text{CuZn}$ ,  $\gamma$  –  $\text{Cu}_5\text{Zn}$ ,  $\epsilon$   $\text{CuZn}_3$  [1].

В зависимости от состава имеются: однофазные латуни состоящие из  $\alpha$ -твердого раствора и двухфазные  $\alpha+\beta$ -латуни.

Обрабатываемость резанием латуней улучшается присадкой в состав латуни небольшого количества свинца.

Латуни имеют хорошую коррозионную стойкость. Это свойство повышается присадкой небольшого количества олова. Присадка в латунь никеля и железа повышает механическую прочность  $\sigma_b$  до 55кГ/мм<sup>2</sup> [1].

Латуни применяются для изготовления арматур, деталей приборов в судостроении и в общем машиностроении, гаек нажимных винтов, подшипники, втулки.

**Бронза** – это двойной или многокомпонентный сплав, состоящий из меди и других элементов, улучшающих основные свойства металла, кроме цинка. Такие элементы называются легирующими. В составе бронзы их более 2,5% по массе. В качестве легирующих компонентов применяются олово, алюминий, свинец, кремний, бериллий, хром; соответственно различают бронзы оловянистые, алюминиевые, свинцовистые, кремнистые, бериллиевые, хромовые. Маркируют сплавы сочетанием «Бр», буквами, которые обозначают основные легирующие компоненты и цифрами, указывающими их содержание.

Высокие литейные свойства бронзы определяются исключительно малой усадкой, которую имеет бронза. Наиболее сложные по конфигурации отливки обычно делают из бронзы, например, художественное бронзовое литье. Текучесть бронзы в расплавленном состоянии небольшая, вследствие большой разницы температур между бронзами с различным содержанием олова. По этой же причине бронза не дает концентрированной усадочной раковины и для отливки бронз нет необходимости иметь большие прибыли. По этой же причине отливки из бронзы редко удается получить высокой плотности, рассеянные усадочные поры по всему объему отливки понижают ее герметичность.

*Оловянные бронзы* – это сплавы с основным легирующим компонентом оловом. Кроме олова, в качестве дополнительных компонентов могут присутствовать свинец, фосфор и цинк.

Влияние олова на механические свойства меди в сплаве бронзы, такое же, как и влияние цинка, но более резкое. Уже при содержании около пяти процентов олова пластичность бронзы начинает падать. Прочность бронзы начинает падать при содержании олова около двадцати процентов, когда в структуре слишком много  $\beta$  - фазы и сплав становится хрупким.

В литой бронзе наличие включений твердого эвтектоида обеспечивает высокую стойкость против стирания, и поэтому бронза с содержанием олова на десять и более процентов является одним из наилучших антифрикционных материалов и широко применяется как подшипниковый сплав. Плотность бронзы с учетом добавления различных элементов тоже различная и может колебаться процентов на двадцать относительно  $8 \text{ г/см}^3$ .

Для лучшей обрабатываемости в бронзу вводят от трех до пяти процентов свинца, который присутствует в виде обособленных включений, обеспечивающих ломкость стружки при ее обработке на металлорежущих станках. Фосфор вводится в бронзу как раскислитель и устраняет хрупкие включения окиси олова. При наличии около одного процента фосфора такую бронзу принято называть фосфористой. Фосфор при его содержании более 0,2 процента образует твердые включения, повышая антифрикционные свойства бронзы.

*Бериллиевая бронза* является лидером по показателю твёрдости среди других сплавов меди. В закалённом состоянии обладает хорошей пластичностью, технологичностью, а в состаренном состоянии – высокими механическими свойствами. Дополнительно повысить уровень механических свойств можно при помощи пластической деформации перед старением. Из бериллиевой бронзы изготавливают пружины, мембраны и инструменты.

*Алюминиевая бронза* характеризуется высокой плотностью, устойчивостью к агрессивным факторам окружающей среды и химическим элементам, хорошей стойкостью к морской воде. Такой вид бронзы поддаётся обработке режущими инструментами. Из неё изготавливают ленты и полосы труб.

*Кремнистая бронза* позволяет изготавливать изделия сложных форм, за счёт повышенной текучести в расплавленном состоянии. Такая бронза обладает высокой степенью сопротивления сжатию и не искрит при механических воздействиях.

*Свинцовистая бронза* обладает отличными антифрикционными свойствами, хорошо противостоит ударным нагрузкам, а также отличается высокой прочностью и тугоплавкостью. Применяется она для сильно нагруженных подшипников.

### *1.2.2 Теплоустойчивая сталь 30Х3ВА*

Теплоустойчивые стали предназначены для изготовления деталей, работающих в нагруженном состоянии при температуре до 600 °С в течение длительного времени. Легированной называется сталь, в которой наряду с обычными примесями имеются легированные элементы, резко улучшающие ее свойства: хром, вольфрам, никель, ванадий, молибден и др., а также кремний и марганец в большом количестве. Примеси вводятся в процессе плавки. К данным сталям относится и Сталь 30Х3ВА. Теплоустойчивая сталь 30Х3ВА – это сталь, длительно работающая при температуре до 600 °С. Теплоустойчивая сталь 30Х3ВА изготавливается согласно ГОСТ 20072-74 [2]. ГОСТ 20072-74 - стандарт распространяется на легированную теплоустойчивую сталь перлитного и мартенситного классов горячекатаную и кованую диаметром или толщиной до 200 мм, калиброванную, изготавливаемую в прутках, полосах и мотках.

Качество и вид поставки стали 30Х3ВА соответствует: классификация, номенклатура и общие нормы – ОСТ 1 90005-91; болванки, заготовки, - ТУ 1-92-156-90; сортовой и фасонный прокат – ТУ 14-1-950-86.

Высокая конструкционная прочность стали 30Х3ВА, достигается путем рационального выбора химического состава, режимов термической обработки, методов поверхностного упрочнения, улучшением металлургического качества. Решающая роль в составе конструкционных

сталей отводится углероду. Он увеличивает прочность стали 30Х3ВА, но снижает пластичность и вязкость, повышает порог хладноломкости.

Влияние на конструкционную прочность стали 30Х3ВА оказывают легирующие элементы. Повышение конструкционной прочности при легировании связано с обеспечением высокой прокаливаемости, уменьшением критической скорости заковки, измельчением зерна. Применение конструкционной теплоустойчивой легированной стали 30Х3ВА повышает долговечность изделий, увеличивает производительность, упрощает проектирование и потому в прогрессивной технике приобретает решающее значение. Применение стали 30Х3ВА в промышленности: для изготовления силовых деталей ракетных двигателей, в том числе азотируемых, работающих при температурах до 400—500 °С; азотируемых деталей авиастроения. Азотирование этой стали проводится при температуре 500—525 °С при диссоциации аммиака 15—30% [2].

### *1.3. Особенности диффузионной сварки конструкционной стали с бронзой.*

Для улучшения эксплуатационных характеристик (ресурса работы) гидроагрегатов на авиационных предприятиях для пар трения (башмак с плунжером – опорный диск, блок цилиндров – распределительный золотники т.п.) широко используется метод диффузионной сварки (или бронзирования). Стабильность этого технологического процесса обеспечивается, если на начальной стадии при температуре 600 °С удельное давление равно (или близко) величине  $5 \text{ кгс/мм}^2$ , что соответствует пределу текучести используемой бронзы БрО10С2НЗ при этой температуре. Такое удельное давление для каждого типоразмера свариваемых деталей как физическими свойствами заготовок (размеры, площадь сечения, модуль упругости и коэффициент линейного расширения материалов), так и используемого для сварки приспособления. Для данного процесса сварки используются приспособления для обеспечения необходимого удельного давления. Особое внимание следует уделять материалу используемого в приспособлениях. Чаще всего в качестве материала приспособления используются

жаропрочные стали типа 20X13 или графитовое волокно. Приспособления из стали имеют малый срок службы, так как температура выдержки в печи 900 – 950 °С. Графитовые приспособления служат значительно дольше, но при этом и значительно дороже в изготовлении и не всегда есть возможность их использования из-за конструктивных особенностей свариваемых деталей.

Для получения качественного сварного соединения необходима тщательная подготовка свариваемых поверхностей. Не допускаются на свариваемых поверхностях различного рода загрязнения. Окончательной промывке подлежит то количество изделий которое будет обработано за смену. Так же время после окончательной механической обработки свариваемых поверхностей до проведения сварочных работ не более 3-х суток. Свариваемые поверхности должны плотно прилегать друг к другу по всей поверхности. Шероховатость свариваемых поверхностей  $Ra=0,63$  мкм.

После подготовки поверхностей необходимо собрать свариваемое изделие и установить необходимое усилие прижатия свариваемых поверхностей. Для этого используются различного рода приспособления, которые описывались ранее.

После сборки изделие устанавливается в вакуумную печь, таким образом, чтобы нагрев изделия проходил наиболее равномерно. В печь так же устанавливается термомпара для контроля скорости нагрева и времени выдержки при определенных температурах.

В печи создается для сварки определенная защитная среда. В качестве защитной среды может создаваться вакуум, закачиваться защитный газ, или устанавливаться соляная ванна. Во многих случаях совместно со сваркой производится термообработка, азотирование или цементация поверхности свариваемого изделия.

Далее производится нагрев до определенной температуры, с необходимой скоростью нагрева. Обычно температура сварки составляет 0,5 – 0,9 температуры плавления материала изделия. Диффузионная сварка разнородных материалов проходит при условии одностороннего или

взаимного растворения элементов свариваемых материалов. Основным элементом бронзы – медь и железо (основным элементом конструкционных сталей) взаимно растворимы при температуре выше 750 °С. При температуре 900 °С взаимная растворимость меди с железом на уровне 3 – 3,5 %.

Из выше сказанного в нашем случае сварку необходимо вести в интервале температур 850 – 950 °С.

После выдержки при необходимой температуре следует охлаждение в заданном режиме. Необходимо соблюдать режим охлаждения для необходимой термообработки свариваемого изделия.

#### *Постановка задачи*

В ряде агрегатов авиационной техники требуется соединение разнородных материалов, в частности, при производстве плунжерных насосов, используемых для нагнетания давления в гидравлическую систему. Подвижные детали плунжерных насосов вращаются относительно друг друга с большими скоростями (до 4500 об/минуту) и прикладываемыми давлениями. Для уменьшения коэффициента трения рабочие поверхности таких деталей армируют оловянистой бронзы. Так входящий в плунжерный насос блок цилиндров изготавливается из оловянистой бронзы и стали 30Х3ВА. Неразъемное соединение из этих материалов получают диффузионной сваркой. Качество данного соединения зависит от режима диффузионной сварки.

Исходя из сказанного **целью работы** является изучение влияния режима диффузионной сварки стали 30Х3ВА с бронзой БрО10С2НЗ на качество сварного соединения.

Для достижения поставленной цели в работе необходимо решить следующие задачи.

1. Провести диффузионную сварку стали 30Х3ВА с бронзой БрО10С2НЗ в виде детали блока цилиндров плунжерного насоса по двум технологическим режимам.

2. Изучить структуру и фазовый состав бронзы и стали в непосредственной близости к сварному соединению.

3. Построить распределение микротвердости в сварном соединении и в непосредственной близости к нему со стороны бронзы и стали.

4. Сделать анализ полученных результатов.

5. Дать рекомендации по наиболее рациональному режиму диффузионной сварки стали 30Х3ВА с бронзой БрО10С2Н3, обеспечивающему полную сплошность по границе раздела сварного соединения.

## 2. Материалы и методики исследования

В ходе эксперимента для создания приближенных условий диффузионной сварки блока цилиндров плунжерного насоса необходимо создать образцы соответствующей формы и размеров. В качестве исходных материалов были использованы заготовки из стали 30Х3ВА и шайбы с втулками из бронзы БрО10С2НЗ. Эскизы заготовок представлены на рисунках 2.1. – Эскиз заготовки блока цилиндров, 2.2. – эскиз втулки и 2.3. – эскиз шайбы.

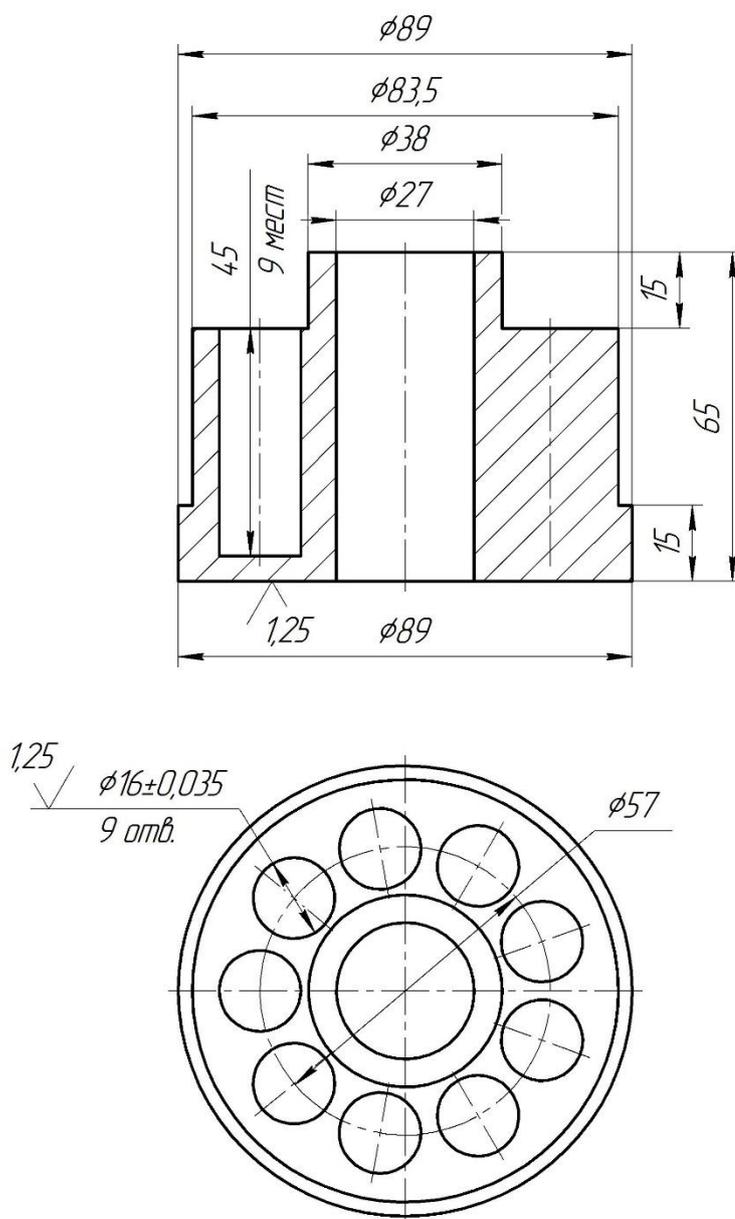


Рисунок 2.1 – Эскиз заготовки блока цилиндров

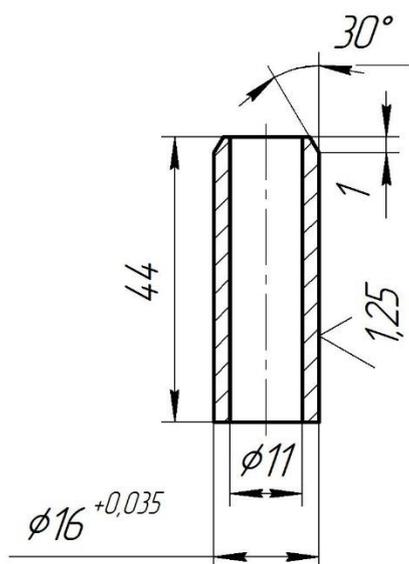


Рисунок 2.2. – Эскиз втулки

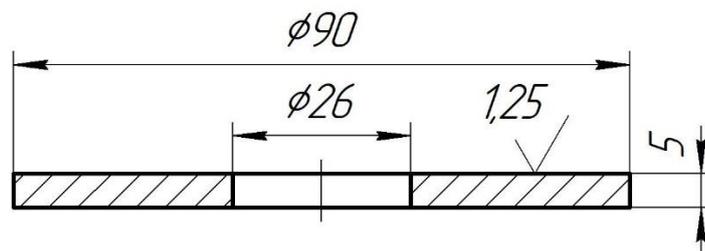


Рисунок 2.3. – Эскиз шайбы

Неплоскостность торцов блока цилиндров и бронзовой шайбы, по которым производится сварка не более 0,01 мм. Овальность поршневых отверстий в блоке цилиндров и наружного диаметра втулок не более 0,004 мм. Для обеспечения необходимого давления сопрягаемых поверхностей втулки изготовлены с натягом 0,003 – 0,008 мм от минимального размера сопрягаемого отверстия в блоке цилиндров. Поршневые отверстия маркируются порядковыми номерами. После окончательной обработки втулки также маркируются на торце согласно порядковому номеру поршневого отверстия в блоке цилиндров.

Непосредственно перед сваркой бронзовые детали очищаются в гальваническом цехе. Все свариваемые детали промыты в ацетоне и тщательно протерты бязевой салфеткой смоченной в спирте.

Далее запрессовываются втулки соответственно номерам поршневых отверстий в блоке цилиндров.

Для необходимого усилия прижатия шайбы к блоку цилиндров при диффузионной сварке использовали графитовое приспособление. Блок цилиндров установленный в графитовое приспособление изображен на рисунке 2.4.

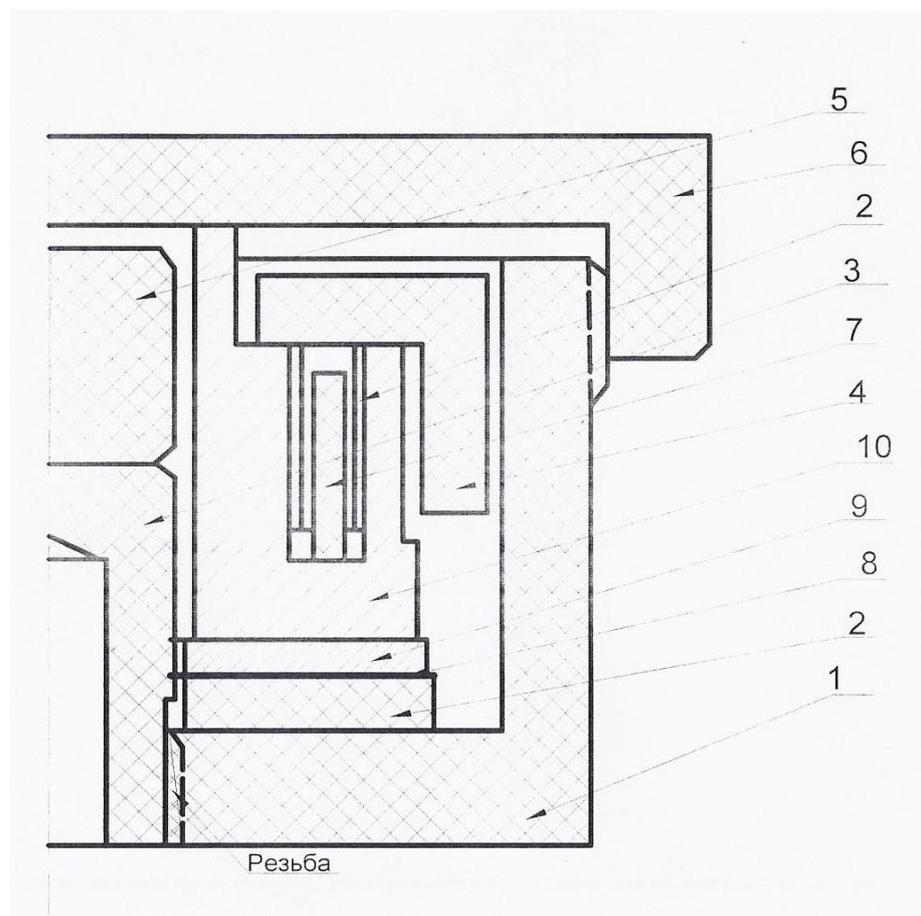


Рисунок 2.4. – Блок цилиндров в графитовом приспособлении. 1 – графитовый стакан, 2 – опорный диск, 3 – Графитовая центрирующая втулка, 4 – графитовая вставка, 5 – графитовый стержень, 6 – графитовая крышка, 7 – графитовая вставка цилиндр, 8 – стальная прокладка, 9 – бронзовая шайба, 10 – стальной блок цилиндров.

Процесс сварки производился совместно с термообработкой (закалкой) в вакуумной печи СВГ. На керамическое основание печи устанавливалась металлическая подставка и на нее сборку приспособления с блоком цилиндров, обеспечивая равномерный зазор между нагревательными элементами печи и графитовым приспособлением. Необходимо так же установить центральную термопару в отверстие графитовой центрирующей втулки (3, рисунок 2.4.) на глубину 25 мм. Опустить колпак печи, включить нагрев печи, время прогрева сборки до температуры сварки 50 – 60 мин. Температуру контролировали по термопаре, установленной в центрирующей втулке приспособления. После нагрева до температуры сварки проводилась

выдержка в течение 30 минут. После выдержки быстрое охлаждение до температуры 150...200°C осуществлялось за счет перекачки аргона. Затем проводился отпуск деталей при температуре 560±10 °С в течение 5 часов, далее охлаждение на спокойном воздухе. Для стабилизации структуры дополнительно проводили обработку холодом при температуре -60...-70°C в течение 2 часов с последующим нагревом образцов до комнатной температуры.

После осуществления процесса сварки образцы были разрезаны через центральные оси двух рядом расположенных поршневых отверстий и подготовлены шлифы. Образцы шлифовали на наждачной бумаге тканевой водостойкой, поставляемой по ГОСТ 13344-79, далее использовали алмазные пасты по ГОСТ 25593-83. Завершающим этапом подготовки шлифов было полирование с использованием порошка оксида хрома.

Микротвёрдость измеряли с помощью микротвердомера ПМТ-3 с нагрузкой 0.480 Н. Анализ макро- и микроструктуры проводили с помощью оптического микроскопа Olympus GX51, снабженного анализатором изображений SIAMS 700.

### 3. Экспериментальная часть

На рисунке 3.1а представлена исходная структура оловянистой бронзы. Видно, что она состоит из двух фаз, одна из которых имеет два морфологических строения: вытянутые крупные выделения и мелкие равноосные частицы в матрице на основе твердого раствора меди. Согласно литературе [2] данная фаза представляет собой твердый раствор меди в олове. На крупных выделениях данного твердого раствора удалось померить твердость, которая составляет 1.6 ГПа и она превышает твердость матрицы на 0,6 ГПа. На рисунке 3.1б представлена структура стали 30Х3ВА после закалки в струе аргона, высокого отпуска ( $560 \pm 10$  °С) и последующей обработке холодом. Она представляет собой сорбит отпуска с дисперсными выделениями карбидов на основе хрома и вольфрама. Микротвердость такой стали равна  $\sim 2,4$  ГПа.

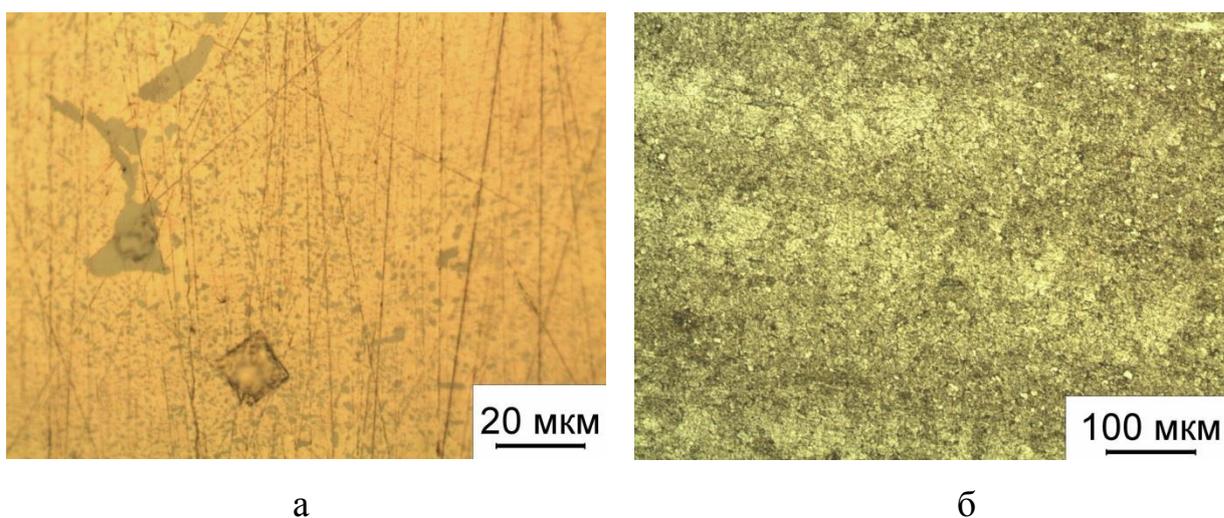


Рисунок 3.1 – Микроструктура оловянистой бронзы (а) и стали 30Х3ВА после термической обработки (б)

Внешний вид сварных стыков сталь 30Х3ВА + бронза БрО10С2НЗ после сварки и термической обработке представлен на рисунке 3.2. Видно, что для режима сварки с меньшей температурой ( $885^{\circ}\text{C}$  (а,в)) наблюдаются отдельные несплошности на границе сталь 30Х3ВА + бронза БрО10С2НЗ. При диффузионной сварке с большей температурой выдержки ( $915^{\circ}\text{C}$ ) таких пор или несплошностей на всей длине сварного стыка не наблюдается как в

области поршневых отверстий, так и в области подошвы, рисунок 3.2б,г и рисунок 3.3.

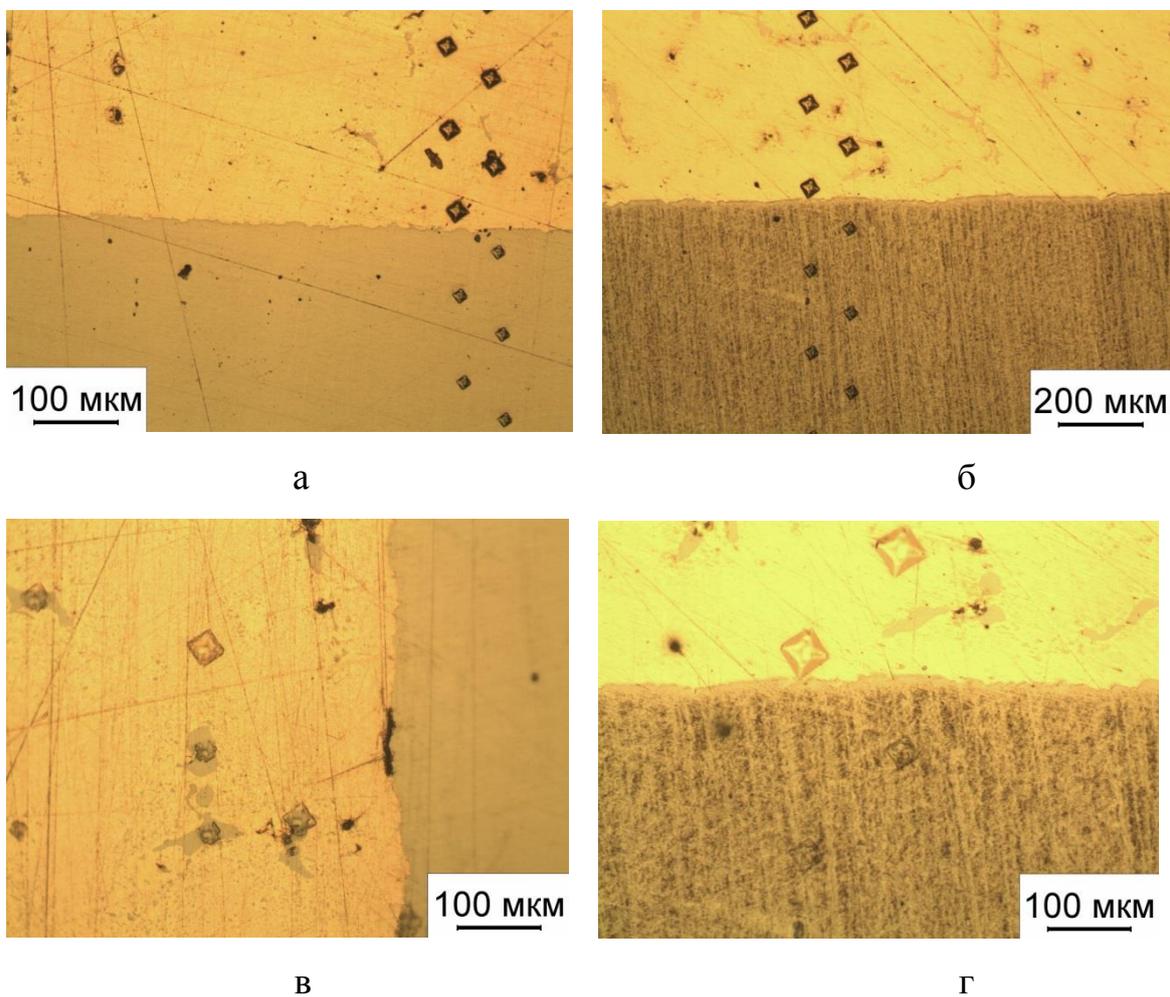
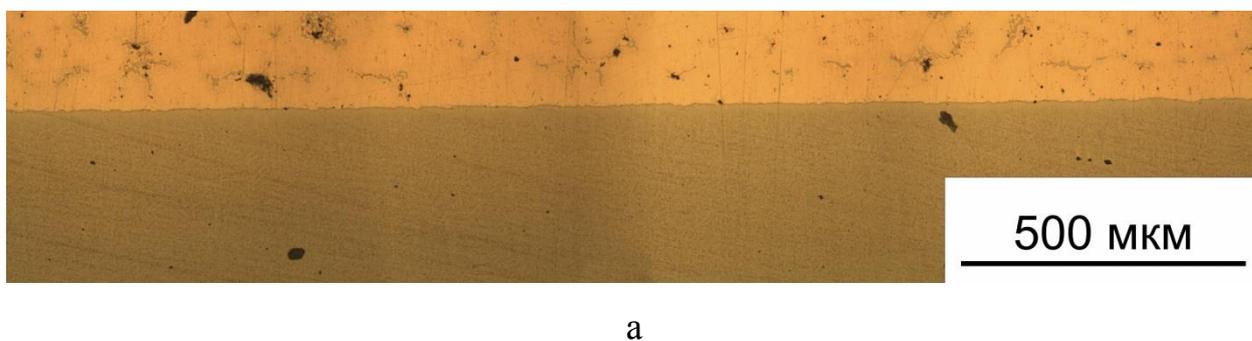


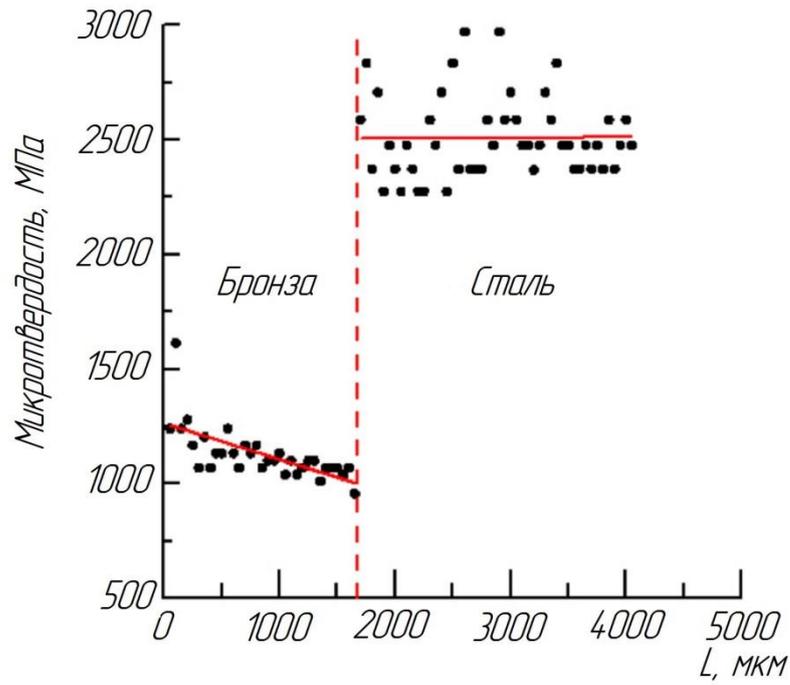
Рисунок 3.2 – Структура сварных стыков сталь 30X3BA + бронза BrO10C2H3 в зависимости от температуры диффузионной сварки: а, в – 885°С и б, г - 915°С



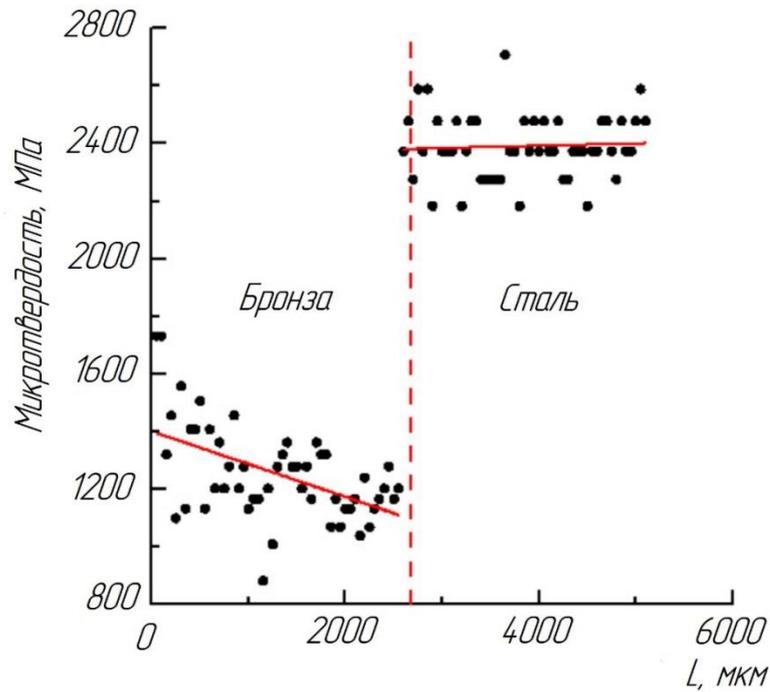


б

Рисунок 3.3 – Структура сварного стыка сталь 30X3BA + бронза BrO10C2H3 полученного при температуре диффузионной сварки 915°C в области подошвы (а) и поршневых отверстий (б)



а



б

Рисунок 3.4 – Профили микротвердости в области сварных стыков сталь 30ХЗВА + бронза БрО10С2НЗ в зависимости от температуры диффузионной сварки: а – 885°С и б – 915°С

Анализ распределения микротвердости в области сварных стыков свидетельствует о том, что (1) имеется четкая граница раздела между

свариваемыми материалами; (2) непосредственно у сварного стыка со стороны бронзы наблюдается уменьшение твердости до значения  $\sim 1000$  МПа; (3) со стороны стали 30Х3ВА уменьшения или увеличения микротвердости по сравнению с ее основным объемом не фиксируется. Отличительной особенностью является большой разброс значений твердости бронзы, используемой при сварке с большей температурой, рисунок 3.4б. Это связано с ее большей исходной пористостью, рисунок 3.3.

Таким образом, с точки зрения сварки наиболее предпочтительным является режим диффузионной сварки при температуре  $915^{\circ}\text{C}$ , обеспечивающий сплошность на границе раздела материалов по всей его длине.

## 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

### *4.1 Предпроектный анализ*

В настоящее время, вместе с развитием науки, бурно развиваются все отрасли промышленности. Всегда шла конкуренция между новыми технологиями и разработками, которые вытесняли с рынка устаревшую продукцию. Вытеснение старой технологии новой происходит тем быстрее, чем больше её надёжность и экономическая эффективность.

Всё, что нас окружает, создано из различных материалов, различающихся по своему строению, свойствам и ценой. Однако большинство из нас хочет иметь самое лучшее, что сможет себе позволить по доступной цене. Исключением не являются самые крупные и состоятельные компании мира, в том числе и промышленные предприятия. Ведь одним из самых главных секретов увеличения дохода является снижение затрат.

### *4.2. Потенциальные потребители результатов исследования.*

Данное исследование содержит результаты оптимального технологического процесса диффузионной сварки оловянистой бронзы с конструкционной сталью. Результаты исследования целесообразно применить в отрасли общего машиностроения для пар трения работающих на высоких скоростях.

Данный процесс используется для соединения тонкого слоя антифрикционных бронз с основным металлом из конструкционной стали, что позволяет использовать более прочный и дешевый основной материал и сохранять при этом антифрикционные свойства:

- Высокоскоростные пары трения;
- Промышленное оборудование в машиностроительной промышленности;
- Автомобилестроение и авиастроение.

В зависимости от области применения данного покрытия, от него требуются определённые прочностные характеристики, которые получают с помощью различных упрочняющих технологий.

Итак, целевой рынок результатов исследования будет включать в себя все отрасли машиностроения нуждающиеся в высокоскоростных подшипниках скольжения и пар трения. В исследовании рассматривается возможность получения качественного биметаллического соединения бронзы со сталью в условиях диффузионной сварки. Подобных технологий на сегодняшний день единицы, поэтому конкурентное производство отсутствует, и нет нужды в сегментировании целевого рынка.

*4.3. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.*

В качестве конкурентных упрочняющих технологий можно выделить: изготовление деталей подобного типа используя только антифрикционный материал, что в условиях больших деталей приводит к высокой стоимости изделия, и снижает прочностные характеристики основного металла.

*4.4. Fast – анализ*

В качестве предмета исследования выбрана вакуумная печь СВЧ, так как с помощью неё производились основная часть экспериментальных работ.

*4.5. Описание главных, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом*

Таблица 5 – Классификация функций, выполняемых объектом

Наименование детали (узла, процесса)	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Ранг функции		
			Главная	Основная	Вспомогательная
1.Печь вакуумная	1	Нагрев заготовки		X	
2.Вакуумный насос	1	Создание вакуума в печи	X		
3.Пульт управления	1	Управление процессом	X		
4.Монитор	1	Настройка параметров		X	
5. Перекачивающий насос	1	Подача охлаждающего газа		X	
6.Термопара	1	Контроль температуры			X
7.Блок коммутации и управления	1	Электропитание систем комплекса		X	
8.Блок управления двигателями	1	Управление температурой		X	
9. Блок питания оборудования печи	1	Электропитание оборудования печи	X		
10. Система управления давлением охл. газа	1	Управление подачи газа	X		
11. Привод колпака	1	Открытие/закрытие печи		X	
12. Система уравнивания давления	1	Управление скоростью охлаждения		X	

4.6. Определение значимости выполняемых функций объектом

Таблица 6 – Матрица смежности

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.Печь вакуумная	=	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
2.Вакуумный насос	>	=	<	>	>	>	>	>	=	>	>	>
3.Пульт управления	>	>	=	>	>	>	>	>	>	>	>	>
4.Монитор	>	<	<	=	>	=	=	=	=	=	=	=
5.Перекачивающий насос	>	<	<	=	=	=	<	<	<	<	<	<
6.Термопара	>	<	<	=	=	=	=	=	=	=	=	=
7.Блок коммутации и управления	>	<	<	=	>	=	=	=	=	=	=	=
8.Блок управления двигателями	>	<	<	=	>	=	=	=	<	=	=	=
9.Блок питания оборудования печи	>	<	<	=	>	=	=	>	=	=	=	=
10.Система управления давлением охл. газа	>	<	<	=	>	=	=	=	=	=	=	=
11.Привод колпака	>	<	<	=	>	=	=	=	=	=	=	=
12.Система уравнивания давления	>	<	<	=	>	=	=	=	=	=	=	=

Примечание: «<» – менее значимая; «=» – одинаковые функции по значимости; «>» – более значимая

Преобразовываем матрицы смежности в матрицы количественных соотношений функций.

Таблица 7 – матрица количественных соотношений функций

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Итого	Вес
1.Печь вакуумная	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	6,5	0,042
2.Вакуумный насос	1,5	1	0,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1	1,5	1,5	1,5	16	0,1
3.Пульт управления	1,5	1,5	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	17,5	0,11
4.Монитор	1,5	0,5	0,5	1	1,5	1	1	1	1	1	1	1	12	0,077
5.Перекачивающий насос	1,5	0,5	0,5	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	8,5	0,054
6.Термопара	1,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11,5	0,074
7.Блок коммутации и управления	1,5	0,5	0,5	1	1,5	1	1	1	1	1	1	1	12	0,077
8.Блок управления температурой	1,5	0,5	0,5	1	1,5	1	1	1	0,5	1	1	1	11,5	0,074
9. Блок питания оборудования печи	1,5	0,5	0,5	1	1,5	1	1	1,5	1	1	1	1	12,5	0,08
10.Система управления давлением охл. газа	1,5	0,5	0,5	1	1,5	1	1	1	1	1	1	1	12	0,077
11.Привод колпака	1,5	0,5	0,5	1	1,5	1	1	1	1	1	1	1	12	0,077
12. Система уравнивания	1,5	0,5	0,5	1	1,5	1	1	1	1	1	1	1	12	0,077



#### 4.4 Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования

Таблица 8 – Определение стоимости функций, выполняемых объектом исследования

Наименование детали (узла, процесса)	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Норма расхода, кг	Трудоемкость детали, нормо-часов	Стоимость материала, руб.	Заработная плата, руб.	Себестоимость, руб.	Итого, руб	Вес
1.Печь вакуумная	1	Нагрев заготовки	20	5	6 000	1 000	3 000	10 000	0,075
2.Вакуумный насос	1	Создание вакуума в печи	1	2	9 000	2 000	4 000	15 000	0,112
3.Пульт управления	1	Управление процессом	30	5	10 000	2 000	4 000	16 000	0,119
4.Монитор	1	Настройка параметров	2	3	2 000	500	1 000	3 500	0,026
5.Перекачивающий насос	1	Подача охлаждающего газа	5	4	5 000	1 000	2 000	8 000	0,06
6.Термопара	1	Контроль температуры	5	2	3 000	800	1 500	5 300	0,04
7.Блок коммутации и управления	1	Электропитание систем комплекса	5	3	6 000	1 500	2 500	10 000	0,075
8.Блок управления температурой	1	Управление температурой	5	3	6 000	1 200	2 000	9 200	0,069
9.Блок питания оборудования печи	1	Электропитание оборудования печи	5	4	7 000	1 800	3 000	11 800	0,088
10.Система управления давлением охл. газа	1	Управление подачи газа	8	5	12 000	3 000	4 000	19 000	0,142
11. Привод колпака	1	Открытие/закрытие печи	5	5	8 000	2 000	3 000	13 000	0,097
12.Система уравнивания давления	1	Управление скоростью охлаждения	5	5	7 000	2 000	4 000	13 000	0,097
							Σ	133 0	1

#### 4.8. Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ

Информация об объекте исследования, собранная в рамках предыдущих стадий, на данном этапе обобщается в виде функционально – стоимостной диаграммы (ФСД) (рис. ).

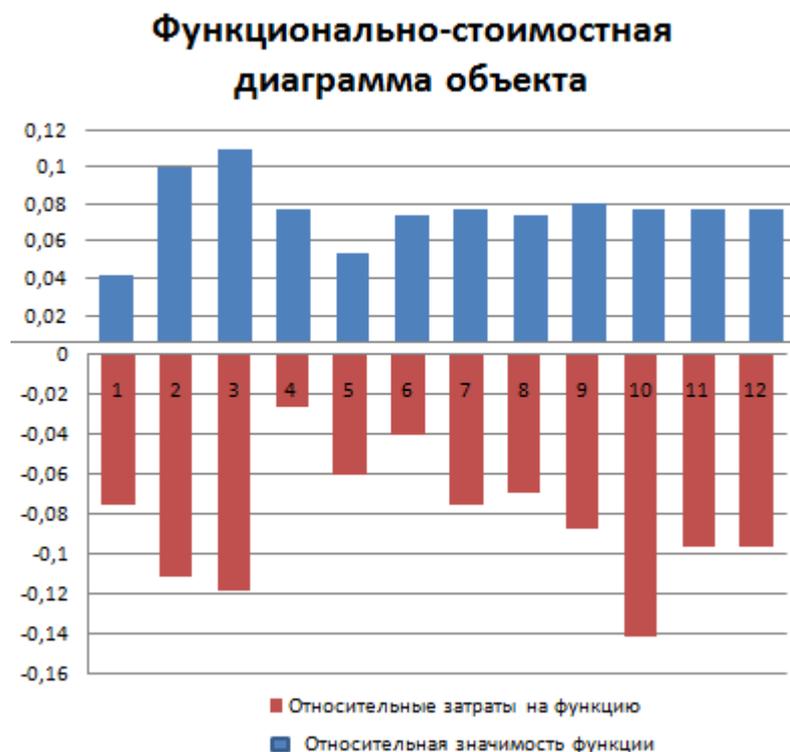


Рисунок – Функционально-стоимостная диаграмма

Анализ, приведенный выше ФСД показывает явное наличие рассогласования по функции 1, 4, 10 к которым относятся печь вакуумная, монитор и система охлаждения. Необходимо провести работы по ликвидации данных диспропорций.

#### 4.9. Оптимизация функций выполняемых объектом

В качестве оптимизации данных функций можно выделить следующее:

- 1) применения принципиально новых конструкторских решений;
- 2) унификации сборочных единиц и деталей;

- 3) использование новых заготовок и материалов;
- 4) оптимизация параметров надежности.

## 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

### *5.1. Характеристика объекта исследования и области его применения*

Объектом исследования является диффузионная сварка биметаллического соединения бронзы БрО10С2Н3 и стали 30Х3ВА.

Для осуществления диффузионной сварки в заводских условиях применялось следующее оборудование: в гальваническом цехе ванны для гальванических (электрохимических) операций; в термическом цехе используются вакуумные печи СВГ, оборудование для прокачки Аргона (баллоны с аргоном, газовый редуктор, вакуумный насос).

Для осуществления эксперимента и анализа полученного сварного соединения в лаборатории Томского Политехнического университета использовалось следующее оборудование и материалы: наждачная бумага тканевая водостойкая, поставляемая по ГОСТ 13344-79; алмазные пасты по ГОСТ 25593-83; порошок оксида хрома; микротвёрдость измеряли с помощью микротвердомера ПМТ-3; Анализ макро- и микроструктуры проводили с помощью оптического микроскопа Olympus GX51, снабженного анализатором изображений SIAMS 700.

### *5.2. Производственная безопасность*

В процессе осуществления технологического процесса диффузионной сварки и при проведении эксперимента применялись различные технические средства и химические элементы. Использование технических средств и химических элементов сопровождается с опасностью вредного воздействия на окружающую и организм человека.

### *5.2.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения*

При работе с химическими веществами.

В ходе выполненной работы применялись вещества способные нанести вред организму человека и окружающей среде, а именно щелочные растворы для очистки поверхности бронзовых заготовок перед сваркой, ацетон, спирт этиловый. Также использовались растворы кислот для травления образцов перед анализом микроструктуры. Выше перечисленные вещества способны вызвать химические ожоги и оказать токсическое воздействие на организм человека. При их использовании необходимо соблюдать ряд мероприятий для защиты человека и окружающей среды.

По установлению токсических свойств изучаемого вещества меры защиты могут быть различными и зависят от токсичности, характера действия вещества и от вида затравки, которая производится. Работы должны проводиться по строго разработанным и утвержденным инструкциям, составленным с учетом физических, химических и токсических свойств веществ.

При взятии вещества необходимо, чтобы тара с веществом и все необходимое было бы расположено так, чтобы случайные движения рабочего не могли опрокинуть их. Освободившаяся после опыта посуда, инструменты, бывшие в контакте с опасными веществами, должны быть немедленно дегазированы. Использованные при работе пробы, продукты дегазации и промывные воды сливают в специальную тару, сливать растворы этих веществ в канализацию категорически запрещается.

Работать с высокоопасными веществами следует в спецодежде: халат хлопчатобумажный, резиновые перчатки, нарукавники хлорвиниловые, прорезиненный фартук, головной убор. На рабочем месте должен находиться противогаз с соответствующей коробкой на случай аварии. В рабочем помещении, где проводятся работы с высокоопасными веществами

необходимо периодически проводить анализ воздуха при наличии метода анализа.

При работе с химическими реагентами имеет место их интенсивное испарение даже при слабых растворах. Особенно при их разбавлении и переливании. В целях устранения вредного воздействия испарений на рабочих необходимо устанавливать вытяжки над рабочими ваннами. Так же при работе в непосредственной близости с реагентами необходимо надевать респираторы спец одежду и резиновые перчатки.

При термической обработке металлов (процесс сварки).

При термической и химико-термической обработке металлов возможно воздействие на работников различных вредных производственных факторов, в их числе: аэрозоли фиброгенного действия (пыли); неблагоприятный микроклимат рабочей зоны; повышенная температура поверхностей оборудования и материалов; повышенная напряженность магнитного поля; повышенный уровень шума на рабочем месте.

Конструкция вакуумных печей должна удовлетворять требованию максимальной герметичности. Типы и производительность насосов, создающих и поддерживающих вакуум в рабочих камерах печей, определяются в каждом конкретном случае, исходя из необходимого вакуума, объема рабочей камеры и требований к чистоте рабочей среды.

Щиты управления электропечей должны быть закрытого типа. Допускается устройство открытых щитов панельного типа, но только в специально отведенных для них изолированных помещениях с окнами для наблюдения за приборами.

На щитах и пультах управления электропечей должна быть световая сигнализация о подаче напряжения на нагревательные элементы и о работе блокировочных устройств.

Электропечи с ручной загрузкой и выгрузкой деталей должны быть оборудованы блокировочными устройствами для автоматического снятия напряжения с нагревательных элементов при открывании дверей печи.

Находящиеся в воздухе аэрозоли и пыли имеющие дисперсионный состав оказывают негативное воздействие на дыхательные пути, слизистую оболочку глаз и кожный покров. Для предотвращения этого фактора необходимо обеспечить в цехе необходимый уровень вентиляции. Так же в цехе устанавливаются датчики и световая сигнализация срабатывающие на предельно допустимый уровень загрязнения воздуха в цехе.

Вредное воздействие повышенного уровня шума связана с работой в условиях работы вакуумной печи связан с подачей газа из баллона в печь под высоким давлением. Так же высокий уровень шума вызывают вакуумный и перекачивающий насосы, которые могут вызвать так же повышенный уровень вибрации. Путем предотвращения этих факторов является установка на присоединительные элементы насоса с печью резиновых прокладок и амортизирующих устройств.

Уровень вибрации оборудования, возникающей при работе вакуумного механического насоса, не должен превышать значений, определенных "Допустимыми уровнями вибрации на рабочих местах, в помещениях жилых и общественных зданий".

Для снижения уровня вибрации, превышающего допустимые величины, в месте соединения вакуумного насоса с вакуум - проводом должны быть установлены виброгасящие устройства: резиновые или металлические гофрированные трубки, сильфоны.

Естественное и искусственное освещение в помещениях термических цехов должно удовлетворять требованиям СНиП 23-05.

Запрещается загромождать световые проемы технологическим оборудованием, деталями, инструментами, материалами, тарой и другими предметами. Для окон, обращенных на солнечную сторону, рекомендуется предусматривать солнцезащитные устройства (жалюзи, экраны, козырьки, шторы и т.п.).

В термических цехах в качестве рабочего освещения, как правило, используется система общего освещения. Комбинированное освещение

требуется лишь на рабочих местах, где для качественного и безопасного выполнения производственных операций необходимо дополнительное освещение.

Устройство и эксплуатация осветительных установок (светильников) должны соответствовать требованиям "Правил устройства электроустановок" (ПУЭ), "Правил эксплуатации электроустановок потребителей", "Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей" и ГОСТ 15597.

#### *5.2.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения*

При термической и химико-термической обработке металлов возможно воздействие на работников различных опасных производственных факторов, в том числе: незащищенные подвижные элементы производственного оборудования; повышенная температура поверхностей оборудования и материалов; пониженная температура при обработке деталей холодом; поражение электрическим током; пожаро- и взрывоопасность [..].

Механические опасности на предприятиях представляют собой движущиеся машины и механизмы, незащищенные подвижные элементы производственного оборудования, передвигающиеся изделия; заготовки, материалы, разрушающиеся конструкции, острые кромки, стружка, заусенцы и шероховатости на поверхности заготовок, инструментов и оборудования, а также падение предметов с высоты. Уравновешивающие грузы заслонок, а также приводы механизмов печей должны быть ограждены.

В электропечах с принудительной циркуляцией рабочей атмосферы, в которой не исключается выброс горячего газа через открытый проем, должно быть предусмотрено блокировочное устройство, отключающее питание электродвигателей печных вентиляторов перед открытием дверцы или крышки.

В печах с механизированным подъемом и опусканием дверец или заслонок рабочих окон или крышек должна быть обеспечена возможность остановки дверцы в любом промежуточном положении, автоматическая остановка механизма подъема и опускания в конечных положениях и исключена возможность падения дверцы при отключении механизма.

Печи должны иметь автоматическую регулировку температуры. При повышении температуры выше установленной, должны включаться световые и звуковые сигналы.

Рабочие площадки, расположенные над сводом электропечи, должны быть теплоизолированы.

Вся группа электропечей должна иметь аварийный выключатель, снабженный соответствующей надписью и находящийся по возможности ближе к печам. Доступ к аварийному выключателю должен быть всегда свободен.

Электрический ток может явиться причиной тяжелых несчастных случаев, большая часть которых происходит из-за пренебрежения к опасности, которую представляет собой электрический ток.

Все токоведущие части электропечей должны быть изолированы или ограждены. Оградительные устройства и другие металлические нетоковедущие части должны быть заземлены.

Загрузка, разгрузка, осмотр, ремонт, очистка электропечей должны осуществляться при полностью снятом напряжении во избежание короткого замыкания и поражения электрическим током.

#### Взрывопожарная и пожарная безопасность

Для правильного выбора необходимых мер по пожарной защите цехов и участков следует определить категорию помещений и зданий по взрывопожароопасности, в зависимости от которой устанавливаются требования к степени огнестойкости здания, длине и ширине путей эвакуации, необходимости устройства системы дымоудаления, а также

выбираются типы пожарных извещателей, установок автоматического пожаротушения и т.д.

С учетом взрывопожароопасности в отдельных помещениях должны располагаться:

- участки травления, цианирования, жидкостного азотирования, свинцовых печей - ванн, подготовки твердого карбюризатора, диффузионной металлизации и борирования, если они расположены вне потока;

- участки охлаждения нагретых деталей;

- оборудование для очистки деталей;

- машинные преобразователи и ламповые генераторы тока высокой частоты (за исключением технически обоснованных случаев);

- участки сбора, сортировки, кратковременного хранения отходов термообработки;

- места хранения химических веществ.

Взрыво- и пожароопасные участки должны отделяться от других участков стенами из материалов, имеющих предел огнестойкости не менее 0,75 часа.

Во взрыво- и пожароопасных помещениях не следует применять асфальтовые полы, настилы из резины или линолеума.

В термических цехах на каждые 400 - 800 кв. м площади должны быть предусмотрены первичные средства пожаротушения в соответствии с ГОСТ 12.4.009.

Огнетушители должны быть опломбированы, иметь учетные номера и бирки, маркировочные надписи на корпусе, окрашены в красный сигнальный цвет и размещены на высоте не более 1,5 м от уровня пола.

Для обнаружения и предупреждения пожаров в системах пожарной сигнализации автоматического действия устанавливают датчики - извещатели: тепловые ДМД-70С, ДМ-70С и комбинированные СДПУ-1, СКПУ-1; в помещениях с повышенной влажностью извещатели АТП-3М-В,

АТП-3М, АТИМ; во взрывоопасных помещениях извещатели ТРВ-1, ТРВ-2 во взрывозащищенном исполнении.

Для контроля состава воздуха в помещениях с целью предотвращения образования взрыво- и пожароопасных смесей используются стационарные автоматические или переносные газоанализаторы с сигнализирующими устройствами, которые срабатывают при достижении концентрации, равной 0,5 от взрывоопасной.

Контроль пожарной безопасности необходимо осуществлять в соответствии с ГОСТ 12.1.044, "Правилами пожарной безопасности в Российской Федерации" и настоящими Правилами.

### *5.3. Экологическая безопасность*

Гальваника является одним из наиболее опасных производств с экологической точки зрения. Гальванические технологии нуждаются в потреблении огромных объемов воды. В большом объеме промывных и сточных вод содержатся практически все ионы тяжелых металлов, неорганические кислоты и щелочи, поверхностно-активные вещества, а также твердые высокотоксичные отходы. Что касается тяжелых металлов, которые содержатся в сточных водах гальванического производства, то они оказывают следующие виды воздействий на человека: токсическое, канцерогенное – вызывают злокачественные и аллергенное.

На этом производстве существует две опасности. Первая – это особая токсичность электролитов, а вторая – большие объемы сточных вод. Таким образом, в основе экологической защиты лежат водоочистные мероприятия, а так же замена особо токсичных электролитов на качественные и менее вредные.

Относительно загрязнения вод целесообразно повторное использование электролитов и растворов. Это приведет к уменьшению объемов потребляемых вод.

В настоящее время экологически чистые технологии гальванических производств основаны исключительно на методах очистки сточных вод.

Самый распространенный из них – реагентный. Данный метод проводят путем перевода ионов в малорастворимые соединения. Это может быть достигнуто путем нейтрализации сточных вод щелочными реагентами [5].

В качестве реагента используются и железосодержащие растворы. Это получило название ферритного метода. Очистка сточных вод данным методом основана на сорбции ионов тяжелых металлов магнитными гидроокисями железа и образовании ферритов.

В настоящее время особое внимание так же уделяется методу электрокоагуляции. Она применяется для очистки хромосодержащих сточных вод. Данный метод основан на физико-химических процессах, которые протекают в жидкости при воздействии электрического тока. Такие же процессы присущи и гальванокоагуляции. Принципиальным отличием выступает способ ведения ионов железа в очищаемый сток. Коагуляция протекает за счет разности электрохимических потенциалов железа и кокса (меди), через смесь которых пропускают сточные воды.

Одним из распространенных методов так же можно назвать ионообменную чистку. Такой метод считается эффективным для чистки вод от солей тяжелых металлов, щелочных и щелочноземельных металлов, минеральных кислот и щелочей. Здесь используются гранулы синтетических ионообменных смол, в состав которых входит подвижный ион, способный замещать ионы тяжелых металлов.

Основной же стратегией в плане защиты окружающей среды является переориентация гальванических производств с утилизации отходов на их регенерацию. Главным направлением становится создание замкнутых производств и циклов, а также использование природных источников сырья.

#### *5.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях*

При гальваническом производстве.

В соответствии с требованиями компетентных органов или проведенной оценкой рисков должен быть разработан ряд мер, необходимых в случае чрезвычайных ситуаций или аварий, возникающих в результате использования опасных химических веществ.

Эти меры, включая процедуры, которые нужно соблюдать, должны обновляться в свете новой информации, например той, которая предоставляется в спецификациях по химической безопасности, а также в соответствии с опытом использования химических веществ и с учетом изменений в рабочей деятельности.

Работники должны пройти обучение по соответствующим процедурам. Они должны описывать:

(а) порядок и методы поднятия тревоги;

(б) меры для вызова соответствующей помощи при чрезвычайных ситуациях, действующей либо на объекте либо вне его, например пожарных бригад в случае пожара или службы скорой помощи при чрезвычайных ситуациях;

(в) использование соответствующих средств защиты с учетом их ограничений;

(г) эвакуация из рабочей зоны, помещений или учреждения и установление места чрезвычайной ситуации и возможностей ее избежания;

(д) действия для минимизации аварии, например: меры по борьбе с пожаром, контроль за утечками или разливами, остановка работ в случае аварии, удаление переносных сосудов под давлением в случае пожара, а также действия, запрещенные в случае, если люди подвергаются риску;

(е) эвакуация из близлежащих помещений.

В некоторых случаях бывает необходимо обеспечить процедуры на случай возможных аварий в связи с выполнением смежных работ или в связи с деятельностью смежных учреждений, которые могут повлиять на уровень

безопасности при использовании химических веществ. В качестве примеров можно привести следующие меры:

(а) охлаждение сосудов или других контейнеров для предотвращения поднятия давления в случае пожара рядом;

(б) остановка процессов и оставление оборудования в безопасном состоянии в случае выброса химических веществ из соседней установки или объекта.

Если авария может оказать негативное воздействие на людей или собственность вне предприятия, где осуществляются работы, то должны быть разработаны соответствующие меры после консультаций с национальными властями или службами, которые могут нести соответствующую ответственность, например внешними службами по чрезвычайным ситуациям и местными властями.

#### *5.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности*

Правовой основой законодательства в области обеспечения БЖД является Конституция – основной закон государства. Законы и иные правовые акты, принимаемые в РФ, не должны противоречить Конституции РФ. Гарантом Конституции РФ является Президент. Президент РФ издает указы и распоряжения, обязательные для исполнения на всей территории РФ. Федеральные законы принимаются Государственной Думой, рассматриваются Советом Федерации, подписываются и обнародуются Президентом.

Охрана труда – это система обеспечения безопасности жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия.

Законодательство РФ об охране труда состоит из соответствующих норм Конституции РФ, основ законодательства РФ об охране труда и

издаваемых в соответствии с ними законодательных и иных нормативных актов.

Основные направления государственной политики в области охраны труда:

- признание и обеспечение приоритета жизни и здоровья работников по отношению к результатам производственной деятельности предприятий.

- установление единых нормативных требований по охране труда для предприятий всех форм собственности независимо от сферы хозяйственной деятельности и ведомственной подчиненности

- защита интересов работников, пострадавших в результате несчастных случаев на производстве и другие.

Каждый работник имеет право на охрану труда, в том числе:

- на рабочее место, защищенное от воздействия вредных или опасных производственных факторов

- на возмещение вреда, причиненного увечьем, профессиональным заболеванием либо иным повреждением здоровья, связанным с исполнением им трудовых обязанностей

- на обучение безопасным методам и приемам труда за счет работодателя и др.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

В ходе работы были проведены исследования двух образцов биметаллического сварного соединения «сталь 30Х3ВА + бронза БрО10С2НЗ», полученных диффузионной сваркой при разных температурах. На основании проведенных исследований сделаны следующие выводы.

1. Рабочая структура оловянистой бронзы состоит из двух фаз, одна из которых имеет два морфологических строения: вытянутые крупные выделения и мелкие равноосные частицы в матрице на основе твердого раствора меди. Данная фаза представляет собой твердый раствор меди в олове с твердостью 1,6 ГПа, и она превышает твердость матрицы (твердый раствор олова в меди) на 0,6 ГПа.
2. Структура стали 30Х3ВА после закалки в струе аргона, высокого отпуска ( $560 \pm 10$  °С) и последующей обработке холодом представляет собой сорбит отпуска с дисперсными выделениями карбидов на основе хрома и вольфрама. Микротвердость стали  $\sim 2,4$  ГПа.
3. Установлено, что для режима сварки с меньшей температурой (885°С) наблюдаются отдельные несплошности на границе сталь 30Х3ВА + бронза БрО10С2НЗ, которые отсутствуют после сварки при температуре 915°С.
4. Профили микротвердости в области сварных стыков имеют четкую границу раздела между свариваемыми материалами. Со стороны бронзы наблюдается уменьшение твердости до значения  $\sim 1000$  МПа при приближении к границе сварного стыка, в то время как со стороны стали 30Х3ВА этого не наблюдается. Отличительной особенностью является большой разброс значений твердости бронзы, используемой при сварке с большей температурой, что связано с ее большей исходной ее пористостью.
5. С точки зрения сварки наиболее предпочтительным является режим диффузионной сварки при температуре 915°С, обеспечивающий сплошность на границе раздела материалов по всей его длине.
6. Необходимо отдельно указать на необходимость контроля величины пористости бронзы в исходном состоянии.

## Список используемой литературы

1. Мозберг Р.К., Материаловедение. М.: Валгус, 1976. 553 с.
2. Вульф Б.К., Ромадин К.П. Авиационное материаловедение. М.: Машиностроение 1967. 387 с.
3. Казаков Н.Ф., Диффузионная сварка материалов. Справочник. М.: Машиностроение 1981. 271 с.
4. Люшинский А.В., Диффузионная сварка разнородных материалов. М.: Академия 2006. 208 с.
5. Казаков Н.Ф., Жуков В.В., Оборудование диффузионной сварки. М.: Москва 1973. 236 с.
6. Бачин В.А., Теория, технология и оборудование диффузионной сварки. М.: Машиностроение 1991. 350 с.
7. ГОСТ Р ИСО 857-1-2009 Сварка и родственные процессы. Словарь Часть 1. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2009. 55 с.
8. ПОТ Р М-005-97 Межотраслевые правила по охране труда при термической обработке металлов.
9. Белов С. В., Безопасность производственных процессов. Справочник – М.: Машиностроение, 1985.
10. Колосков М. М., Долбенко Е. Т., Каширский Ю. В., и др. Марочник сталей и сплавов. М.: - Машиностроение, 2001. 672 с.
11. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: метод. указания / Том. пол-й. ун-т. – Томск 2014. – 73 с.