

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

Инженерная школа новых производственных технологий

Отделение материаловедения

Направление подготовки: *Материаловедение и технологии материалов*

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

| Тема работы |
|---|
| Температурные условия формирования многослойных покрытий при газотермическом напылении |

УДК 621.793.7-419:536.5

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|------------|---------|------|
| 154Б71 | Тун Лилинь | | |

Руководитель

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--------------------------------------|--------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент отделения материаловедения | Зенин Борис Сергеевич | к.ф.-м.н. | | |

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|-------------------------------|---------------------------|---------|---------------|
| Доцент ОСГН ШБИП | Былкова Татьяна Васильевна | к.э.н., доцент | | 01.02.2021 г. |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------------|-----------------------------|------------------------|---------|---------------|
| Профессор ОКД ОБД | Сечин Александр Иванович | д.т.н., профессор | | 26.02.2021 г. |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Руководитель ООП | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---|--------------|------------------------|---------|------|
| 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов | Ваулина О.Ю. | к.т.н., доцент | | |

Томск – 2021 г.

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

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

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

Школа Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки (специальность) Материаловедение и технологии материалов
Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ О.Ю.Ваулина

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

| |
|---------------------|
| Бакалаврской работы |
|---------------------|

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|------------|
| 154Б71 | Тун Лилинь |

Тема работы:

| | |
|---|-------------------------------|
| Температурные условия формирования многослойных покрытий при газотермическом напылении | |
| Утверждена приказом директора ИШНПТ | Приказ № 57-52/ от 26.02.2021 |

Срок сдачи студентом выполненной работы:

21.06.21 г.

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.).

В работе был проведен сравнительный анализ энергетических условий формирования газотермических покрытий из различных материалов. Объект исследования состоит из подложки сталь 20 и частиц Ni, Ti, Mo.

Работа носит теоретический характер. При получении экспериментальных данных и анализе использовалось численное моделирование процесса, в связи с чем негативное воздействие на окружающую среду отсутствует.

Численное моделирование проводилось на компьютере при помощи компьютерной программы, написанной на основании разработанных моделей.

Кроме того, учтены и проанализированы опасные и вредные факторысвязанные с технологическими процессами наесения газотермических покрытий: высокое электромагнитное излучение, недостаточная освещенность рабочей зоны, высокая температура, превышение уровня шума, запыленность воздуха, нервно-психические перегрузки, пожар и безопасность, и предложены соответствующие решения и контрмеры для формирования безопасного промышленного производства.

В соответствии с фактическим процессом исследования вычисляются производственный цикл продукта, процесс исследования, расчет затрат, вознаграждение за инвестиционный риск и доход.

| | |
|--|--|
| <p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(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).</i></p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Литературный обзор, включающий влияния различных параметр и факторов на качество газотермических покрытий и энергетические условия формирования газотермических покрытий из различных материалов. 2. Исследовать энергетические условия формирования газотермического покрытия на уровне взаимодействия отдельной напыляемой частицы 3. Провести сравнительный анализ влияния параметров напыления на образование адгезионных и когезионных связей в покрытиях из различных материалов. 4. На основании полученных данных предполагается построить энергетическую модель формирования газотермических покрытий. 5. Дополнительные разделы: «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», «Социальная ответственность». |
| <p>Перечень графического материала</p> | <p>Презентация ВКР в Power Point</p> |

| Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы | |
|---|--|
| Раздел | Консультант |
| <i>Финансовый менеджмент</i> | Былкова Татьяна Васильевна, доцент ОСГН,ШБИП |
| <i>Социальная ответственность</i> | Сечин Александр Иванович, профессор |
| Материалы и методика исследования | Зенин Борис Сергеевич, доцент отделения материаловедения |
| Результаты исследования | Зенин Борис Сергеевич, доцент отделения материаловедения |
| Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках: | |
| | |
| | |
| | |
| | |

| | |
|---|------------|
| Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику | 26.04.2021 |
|---|------------|

Задание выдал руководитель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------------------|------------|------------------------|---------|------|
| Доцент отделения материаловедения | Зенин Б.С. | к.ф.-м.н | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|------------|---------|------|
| 154Б71 | Тун Лилинь | | |

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 78с., 25 рис., 29 табл., 6 источников.

Ключевые слова: газотермическое напыление, материалы частиц, материалы подложка, адгезионная прочность, когезионная прочность, подготовка поверхности, скорость частицы, температура в контакте.

Объектом исследования являются температуры в контакте на границе частица-подложка

Цель работы – определить, какие материалы могут обеспечить более долговечное покрытие, а также скорость распыления частиц, и как использовать для этого промежуточный слой (многослойное покрытие).

В ходе исследования были проведены расчеты температуры в контакте на границе частиц-подложек, описывающие условия образования адгезионной связи (прочность связи).

Результаты исследования могут быть использованы для определения технологии газового термопокрытия распыления в разработке технологии напыления лучший технологический параметр высокоадгезионное покрытие.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: главные технологические параметры процесса напыления, которые определяют адгезию и когезию покрытия это – теплофизические характеристики материалов частицы и основы, температура частиц, их скорость и контактная температура на границе частицы с подложкой.

Степень внедрения: на стадии отработки методики расчетов.

Область применения: Разработка технологии нанесения газотермических покрытий с требуемыми показателями по адгезии и когезии.

Экономическая эффективность/значимость работы: проведено определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

В будущем планируется расширить список исследуемых материалов, включая металлические и неметаллические материалы.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| Введение..... | 7 |
| 1. Механизм формирования покрытий при газотермическом напылении..... | 9 |
| 1.1 Схема напыления и методы газотермического напыления покрытий..... | 9 |
| 1.1 Слоистая структура покрытия..... | 10 |
| 1.2 Взаимодействие напыленной частицы с подложкой..... | 16 |
| 1.4 Условия формирования границы частица-подложка..... | 18 |
| 2. Расчет контактной температуры на границе частица-подложка..... | 22 |
| 3. Экспериментальная часть..... | 24 |
| 3.1 Постановка задачи..... | 24 |
| 3.2 Исследованные материалы и условия напыления..... | 24 |
| 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..... | 36 |

ВВЕДЕНИЕ

К современной технике предъявляются высокие требования. Это связано во многих случаях с тяжелыми условиями эксплуатации – повышенными нагрузками, высокими скоростями, агрессивной средой, в которой работают детали машин и механизмов. Конструкторы и технологи решают задачу повышения срока службы машин и механизмов разными способами. Так одним из направлений, в котором работают технологи, является повышение качества поверхности за счет направленного изменения химического состава и структуры рабочей поверхности деталей. Например, технологии наплавки и напыления в качестве упрочнения поверхности могут успешно решить эту проблему [1].

В настоящее время широко применяются методы нанесения покрытий газотермическим напылением. Использование современной технологии горячего газотермического напыления (ГТН) покрытия может решить ряд важных задач в машиностроении. Во - первых, эти материалы и покрытия обладают уникальными свойствами, необходимыми для разработки новых технологий.

Газотермическое напыление — это процесс нанесения мелких нагретых высокотемпературным газом частиц на рабочую поверхность детали с образованием покрытия с требуемыми свойствами. Этот метод широко применяется при изготовлении новых изделий для упрочнения рабочей поверхности изделий, защиты их от коррозионной среды и восстановления изнашиваемых деталей, что увеличивает срок их службы.

Большинство исследователей Кудинов, Борисов и др. исследуют процесс формирования газотермических покрытий. К технологии в зависимости от скорости и температуры частиц, от первоначальной температуры подложки. Эти параметры в значительной степени определяют такие прочностные свойства покрытия, как адгезия и когезия [2].

К технологиям газотермического напыления покрытий относятся такие методы, как газопламенное напыление, электродуговая металлизация, плазменное напыление, детонационное напыление и др. Каждый метод напыления имеет свой источник тепловой энергии, каждый источник тепловой энергии имеет свои особенности, которые определяют энергетические характеристики распыляемых частиц (температуру, скорость).

Метод плазменного напыления среди существующих способов газотермического напыления покрытий представляет наибольший интерес как самый универсальный метод в отношении напыляемых материалов. Любой тугоплавкий материал может быть использован для распыления плазменной струей (при температуре 15 000 - 20 000 К).

1. Механизм формирования покрытий при газотермическом напылении

1.1 Схема напыления и методы газотермического напыления покрытий

Для технологии газотермального напыления (ГТН) характерно, что полученное покрытие формируется направленным потоком, в котором напыляемые частицы имеют средний размер 10-200 мкм. Структура покрытия образуется из таких частиц, которые при ударе деформируются и затвердевают на поверхности основания (подложки) или на поверхности предыдущих остывших частиц. На рисунке (1.1.1) показано, как образуется слоистый материал, состоящий из деформированных частиц (сплэтов) [4].

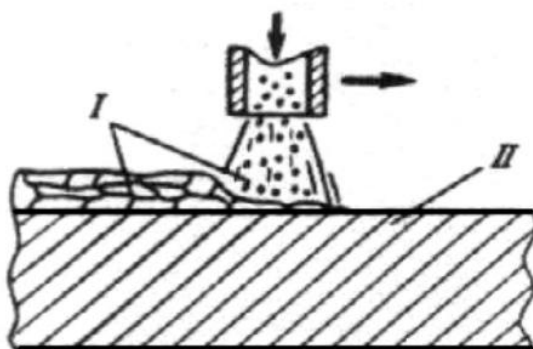


Рисунок 1.1.1 - Схема нанесения газотермических покрытий; I – материал покрытия, II – изделие

Процесс газотермического напыления покрытия можно разделить на два этапа: формирование двухфазного потока (газовой струи с дисперсными частицами) и образование слоистого покрытия. (Рисунок 1.1.2).

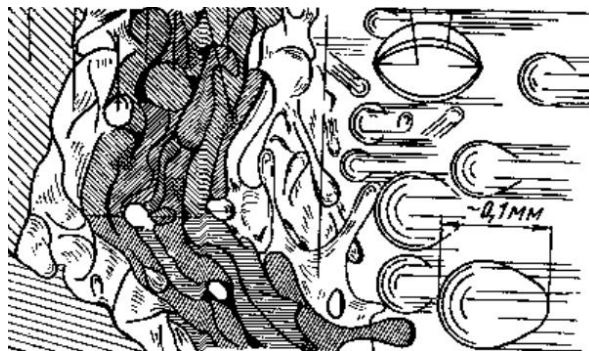


Рисунок 1.1.2 – Схема формирования покрытия

1.1 Слоистая структура покрытия

На рисунке 1.2.1 можно увидеть схему напыленного покрытия. Прочность соединения покрытия (адгезия покрытия) определяется состоянием границы раздела между покрытием и основой – 1. Характер самого покрытия, прочность сцепления между частицами (когезия покрытия) определяется состоянием границы – 3.

Адгезия и когезия – являются определяющими характеристиками любого покрытия. При создании многослойных покрытий их роль возрастает. Величина адгезии покрытий определяется условиями на уровне контактного взаимодействия частица – подложка, а величина (когезии) условиями на уровне контактного взаимодействия частица – частица и зависят от таких технологических параметров, как температуры частиц, температуры подложки, размер и скорость частиц в момент столкновения, времени контакта при высокой температуре и др.

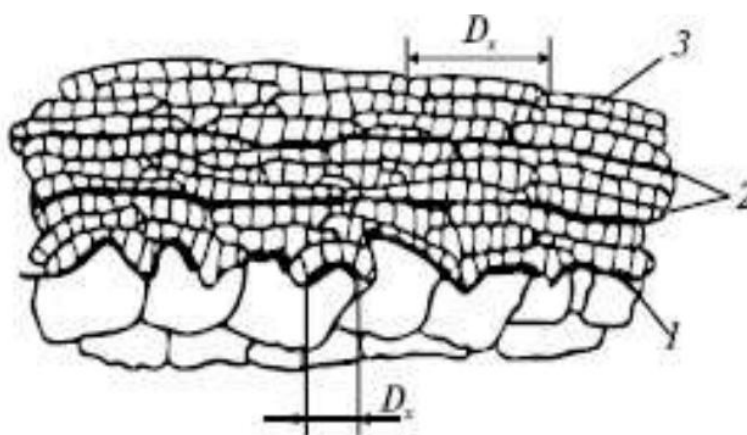


Рисунок 1.2.1 - Схема структуры ГТП: 1 - граница между покрытием и подложкой; 2 - граница между слоями; 3 - граница между частицами в слое; D_x - диаметр пятна поверхности контакта, на котором произошло приваривание частиц

Методы газотермического напыления покрытий

Сравнительные характеристики различных видов напыления.

Напыление - это процесс образования покрытия за счет наложения друг на друга частицы расплавленного металла. Развитие технологии газотермического напыления покрытия можно проследить на примере разработки новых методов распыления. Одной из главных задач такой технологии является повышение скорости напыляемых частиц (Рисунок 1.2.2).



Рисунок 1.2.2 – История повышения скорости частиц порошка на примере различных способов газотермического напыления [5]

Практика показывает, что скорость частиц (v) и температура частиц (T) вместе с частицами и подложками являются основными параметрами на практике, которые влияют на их адгезионные и когезионные свойства и формирование покрытия.

В этом ряду представляет интерес новая технология - холодное газодинамическое напыление (ХГН), которую только условно можно отнести к газотермическому напылению. В основе этой технологии лежит процесс формирования металлического покрытия при столкновении холодных металлических частиц с холодной поверхностью. В этом случае основным источником энергии является кинетическая энергия распыленных частиц. Минимальное тепловое взаимодействие частиц с окружающей средой обеспечивает повышение качества получаемого покрытия.

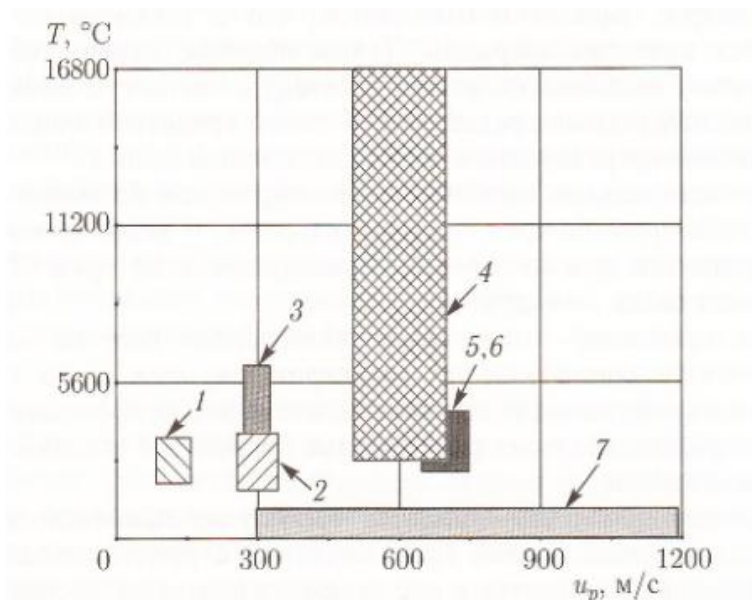


Рисунок 1.2.3 - Диаграмма используемых значений температуры T и скорости частиц для сравнения различных методов напыления. 1- низкоскоростной газопламенный, 2- высокоскоростной газопламенный, 3- электродуговой, 4- плазменный, 5,6- детонационный и высокоскоростной жидкотопливный, 7- холодное газодинамическое напыление [6]

Температура частиц, как и их скорость, являются важными технологическими параметрами любого метода напыления. На рисунке 1.2.3 для сравнения показаны области температур и скоростей, характерные для разных методов напыления.

Различные методы напыления имеют различные источники тепловой энергии, каждый из которых имеет свои особенности, они определяют тепловые и ускоренные характеристики распыляемых частиц покрытий. Характеристики некоторых методов представлены в таблице 1.2.1.

Технология газотермического напыления покрытий нашла применение на любом уровне производства - от индивидуального и малосерийного до высокопроизводительного автоматизированного.

Среди существующих способов газотермического напыления покрытий метод плазменного напыления представляет наибольший интерес как самый универсальный метод в отношении напыляемых материалов. Любой

тугоплавкий материал может быть использован для распыления плазменной струей (при температуре 15 000 - 20 000 К).

Таблица 1.2.1 - Характеристики газотермических методов напыления

| Наименование параметра | Методы напыления | | |
|------------------------------|---|--|--|
| | Газопламенный | Плазменный | Детонационный |
| Источник тепловой энергии | Горючая смесь газов ($O_2 + C_2H_2$, O_2 + пропан и др.) при сжигании газовой горелке | Электрическая дуга, плазмообразующий газ (N_2 , Ar и др.) в плазмотроне | Горючая смесь газов ($O_2 + C_2H_2$) в детонационной пушке |
| Температура газовой струи, К | 2700 - 3100 | 15000 - 20000 | 3000 - 4000 |
| Скорость газовой струи, м/с | 400 - 600 | 500 - 750 | 2000 - 2500 |

Газопламенное напыление покрытий

При газопламенном напылении в качестве исходного материала может использоваться порошок, пруток или проволока. Эти материалы нагреваются, расплавляются в пламени ацетилено-кислородной горелки и ускоряются высокотемпературным газовым потоком, попадая на поверхность детали в виде мелких диспергированных частиц. Широкое применение при газопламенном напылении нашли порошки разных видов: металлические и неметаллические, чистые металлы и сплавы. Были созданы специальные порошки для получения газотермических покрытий, которые повышают качество покрытия, и в частности, адгезию и когезию. К таким порошкам относятся композиционные, самофлюсующиеся, терморреактивные порошки.

Для самофлюсующихся порошков обычно требуется дополнительная термическая обработка с использованием ацетилено-гидроксида натрия. Терморреактивный порошок позволяет получать покрытия с повышенной прочностью (адгезией и когезией).

Область применения: повышение износостойкости, коррозионностойкости, восстановление изношенных деталей.

Кинетическая энергия: до 100 м/сек; термическая энергия: максимум 3160К; производительность 1-6 кг/час.

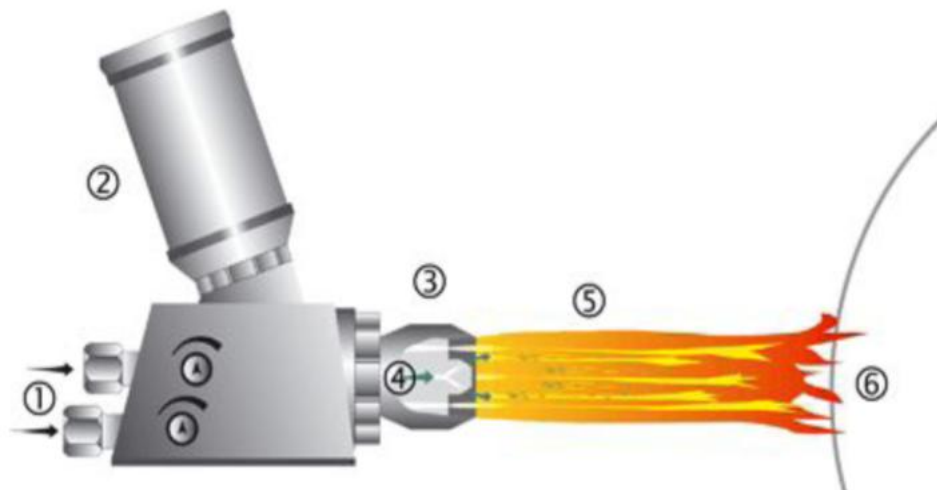


Рисунок 1.2.4 - газопламенное напыление порошком; 1 - Ацетилен/Кислород; 2 - Ёмкость с порошком; 3 – Сопло; 4 - Газ + Порошок; 5 - Ацетилен-кислородное пламя и напыляемые частицы; 6 – Деталь

Детонационное напыление

Для технологии детонационного метода напыления характерно периодическое распыление порошка порциями. Схема установки для напыления (детонационная пушка) показана на рисунке 1.2.5. Используя взрыв газа для получения высокой энергии, ускорит и нагревает порошок, чтобы частицы пыли с высокой температурой и скоростью бомбардировать поверхность обрабатываемой детали для образования покрытия. При распылении, сначала вдыхайте давление, пропорциональный кислород и ацетилен из воздухозаборника в камеру водяного охлаждения распылителя, затем порошком питается отверстие для подачи порошка, затем зажигается свеча зажигания, смесь кислорода и ацетилена сжигается и взрывается, образуя высокотемпературный высокоскоростной поток, производство

высокотемпературного высокоскоростного потока нагревает порошок, и высокоскоростной удар на поверхность основного материала, образует покрытие, проникает в азот очистка ствола для подготовки следующего распыления. Так повторите.

Наибольшая особенность напыления взрывом - высокая скорость полета частицы, высокая энергия движения, поэтому покрытие разрывного напыления имеет: во - первых, высокая прочность комбинации покрытия и основания. Во - вторых, покрытие плотное, а пористость низкая. В - третьих, после обработки поверхности покрытия низкая шероховатость. В - четвертых, температура поверхности изделия низкая.

Область применения: отремонтировать лопадки двигателей самолёта, передние шестерни вертолётта, коленчатые вала двигателя внутреннего сгорания или компрессора или кулачковый вал.

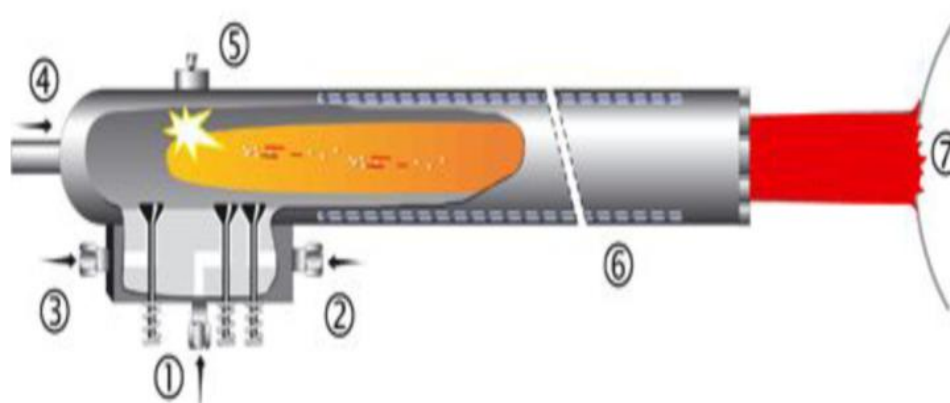


Рисунок 1.2.5 - Детонационное напыление; 1 – Ацетилен; 2 – Кислород; 3 – Азот; 4 - Напыляемый порошок; 5 - Устройство поджига; 6 - Выходная труба с водяным охлаждением; 7 – Деталь

Плазменное напыление

Плазменная напыление - это метод, при котором плазменная дуга, движущаяся постоянным током, используется в качестве источника тепла для нагрева керамики, сплавов, металлов и других материалов в расплавленное или

полурасплавленное состояние, а высокоскоростное распыление на предварительно обработанную поверхность обрабатываемой детали образует прочное покрытие поверхности. При распылении частиц, сначала между катодом и анодом возникает дуга постоянного тока, эта дуга ионизирует поступающий рабочий газ с подогревом, образуя высокотемпературную плазму, а также выбрасывая из сопла, образуя плазменное пламя, температура плазменного пламени очень высока, его центральная температура достигает 30 000К, температура выходного сопла может достигать 15 000 - 20 000К. порошковый порошок плавится в пламени и ускоряется от потока пламени быстрее, чем 150 м/сек, впрыскивается на основной материал пленки, термическая энергия: до 20000К, производительность 4-8 кг/час.

Область применения: часто используется в медицинских целях, распыление покрытия на поверхности искусственного скелета на десятки микрометров в качестве способа укрепления искусственных костей и укрепления их аффинности.

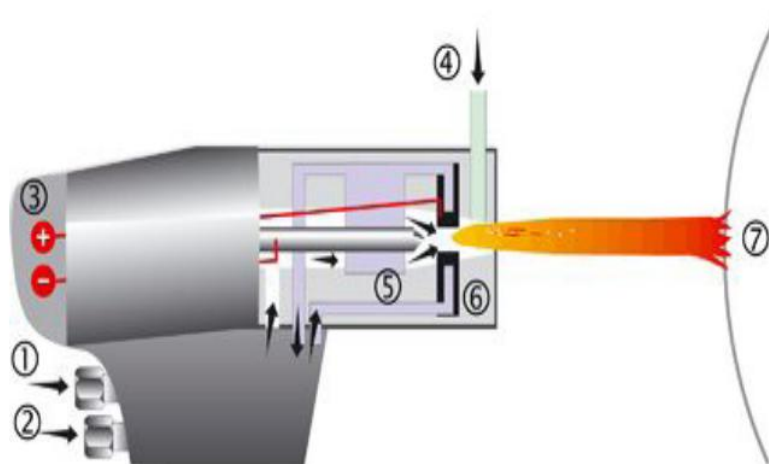


Рисунок 1.2.6 - Плазменное напыление; 1 - Инертный газ; 2 - Охлаждающая вода; 3 - Постоянный ток; 4 – Порошок; 5 – Катод; 6 – Анод; 7 – Деталь

1.2 Взаимодействие напыленной частицы с подложкой

При различных методах напыления используются различные материалы из разных видов. Проволоки или прутков для горячего напыления, порошковое

напыление спользуется для детонации и плазменного распыления, а проволоки или прутки используются для электродугового и электроимпульсного напыления. Порошкообразные материалы текут в высокотемпературных газах, распыление на поверхности основного материала не изменит его формы. Для проволоки или прутков, расплавленных при нагревании в виде частиц мелкого распыления и распыляемых высокоскоростным газом на основной металл. В то время как проволока или прутки сначала расплавлены с подогревом, а затем распыляются в виде частиц мелкого распыления, из высокоскоростной газовой струи на основной металл. При столкновении частиц с поверхностью основания, частицы соответствуют неровности поверхности. Это может происходить только при определенной скорости и температуре, при каплях и частицах.

Скорость напыляемых частиц

При газопламенном напылении из стальной проволоки или прутков, пропускать сжатый воздух при перемещении частиц материала из расплава проволоки на поверхность продукта, тогда они вступают в контакт с поверхностью быстрее, чем при порошковом газопламенном напылении. Размеры частиц в различных материалах различны, и при газопламени частицы с меньшим размером легче разгонять газообразными струями, а чем ниже скорость струи, тем она ниже свою скорость.

Температура напыляемых частиц

При дуговой металлизации проволоки частицы напыленного материала имеют температуру выше, чем при порошковом напылении, и при столкновении с субстратом они находятся в жидком состоянии. при распылении порошка, из-за теплопередачи от поверхности частицы к середине частицы, порошок расплавится. Если предположить, что частицы порошка являются сферическими, то температура поверхности мгновенно достигнет точки плавления, то можно определить максимальный размер частицы, при котором происходит полное ее расплавление.

Если предположить, что температура плазменной струи значительно выше, чем температура плавления порошка, то Порошкообразные частицы находятся в течение 0,1 мс и каждая частица расплавляется на 90% от своего радиуса, т. е. почти до своего середины. Это означает, что порошок почти полностью расплавился. Это создает проблемы с размером крупнейшей частицы D в порошке, в котором порошок практически полностью расплавился. размер частиц зависит от теплофизических свойств порошка, включая теплопроводность, теплоемкость и плотность напыленного материала. Чем больше значение d_{max} , тем лучше процесс распыления порошка.

При использовании мелкозернистых порошков почти все частицы полностью расплавляются в процессе напыления. Поэтому, используя более тонкие порошковые фракции распыления материала, можно получить более плотное и качественное покрытие. С уменьшением фракций порошка структура покрытия становится менее плотной пористостью. Уменьшение фракций порошкового напыленного материала сопровождается повышением прочности сцепления покрытия с подложкой.

1.4 Условия формирования границы частица-подложка

Принцип независимости

В практическом применении большое значение имеют плотность покрытия, износостойкость, прочность сцепления и другие свойства. Но они не могут помочь нам понять основные физико - химические явления, которые приводят к образованию покрытия отдельных частиц распыления. В связи с этим были разработаны специальные методы исследования для разработки теории покрытия. Они изучают различные материалы на основе анализа пространственно - временной структуры процесса образования покрытия и механизмов и динамики физико - динамического взаимодействия в контакте частиц.

Покрытие - частицы из расплавленного состояния, покрытые распылением на поверхности детали, образуя таким образом слоистая структура, и поэтому возникает проблема термического воздействия покрытия в процессе образования покрытия. Явно, что существует несколько возможных вариантов взаимодействия частиц между точками распыления:

1) расплавленные частицы были наложены на первую не полностью кристаллическую частицу;

2) расплавленные частицы падают на отверженные, но не полностью охлажденные частицы, т.е. температура выше основной. Мы называем такую частицу термически активной частицей;

3) расплавленная частица наложена на первую частицу, которая пропускает тепло на подложку (массивной системе по сравнению с самой частицей) и охлаждает ее.

Определим условие, когда напыляемая частица падает на поверхность, образованную слоем частиц, которые полностью не затвердели. Для этого необходима скорость роста толщины покрытия равная или больше $v = h/\tau_0$, где h – высота частиц, застывших в течение времени τ_0 . Для многих материалов (порошков) такая скорость роста толщины покрытия соответствует очень высокой 2-х или 3-х кратной производительности распыления (расходу порошка), которая, как правило, не превышает 5 – 20 кг/ч.

Из этого можно сделать вывод, что образование покрытия можно рассматривать как напыление отдельных частиц, когда каждая частица проходит стадии деформации, кристаллизации и охлаждения самостоятельно. Таким образом, принимая во внимание принцип независимости частиц, можно описать реальную картину формирования покрытия.

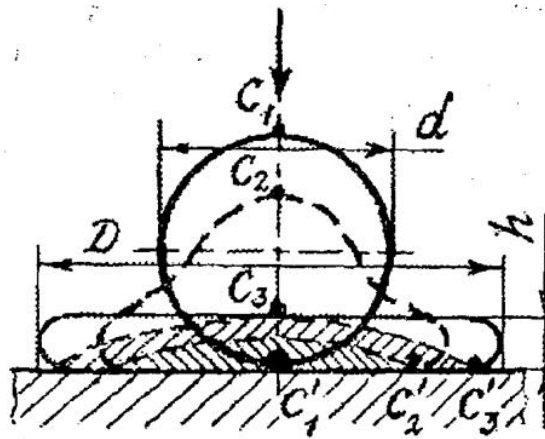


Рисунок 1.4.1 - Схема деформации и одновременного затвердевания (заштрихована твердая фаза) расплавленной частицы при ударе о плоскую поверхность

Энергетические условия на границе частица – подложка

Взаимодействие частиц с поверхностью напыления является основным процессом, который лежит в основе всего процесса формирования покрытия и в значительной степени определяет его характер. В покрывающем слое можно выбрать структурные элементы, отражающие процесс его формирования, и разделить их между разделами с определенными свойствами. Сцепление между покрытием и подложкой называется адгезией, а между частицами покрытия - когезии.

Из многих работ видно, что температурные условия, сформировавшиеся на подложке (поверхности) и границе частиц распыления, играют важную роль в процессе адгезии, причем наиболее важной из них является температура контакта T_k . Контактная температура является энергетическим параметром, который определяет условия активации при взаимодействии частиц и атомов подложки.

Отличительной особенностью процесса ГТН является напыление нагревательных порошков (до температуры плавления $T_{пл}$) на холодные (в некоторых случаях) основания. Важной особенностью такого взаимодействия является энергия активации E_a , определяемая двумя составляющими (Рисунок 1.4.2) : тепловая энергия разогретой расплавленной частицы – E_T и кинетическая энергия частицы – E_v , чтобы определять её скоростью.

При взаимном столкновении кинетическая энергия преобразуется в тепловую, что обеспечивает дополнительное нагревание частиц. Рассматриваемые энергетические условия границ определяют температуру контакта T_k и как следствие, величину адгезии.

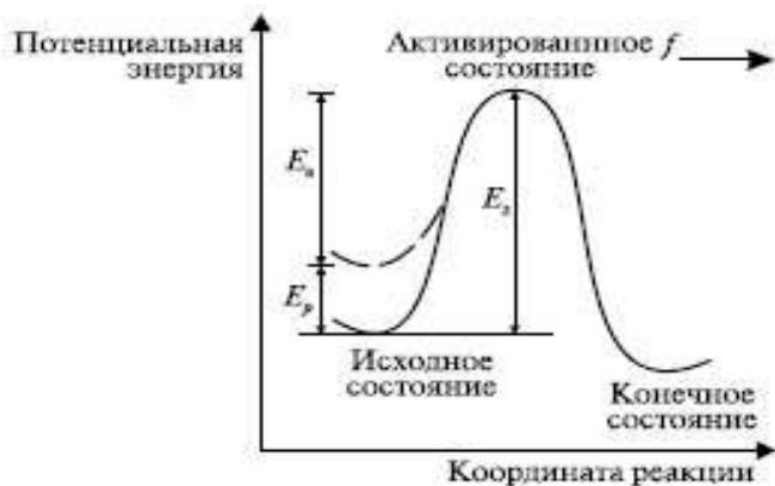


Рисунок 1.4.2 - Условная схема, поясняющая изменение потенциальной энергии системы атомов материала частицы и основы в зоне контакта при их взаимодействии

2. Расчет контактной температуры на границе частица-подложка

В работе А.П. Алихимова [3] и др. (ИТПМ СО РАН) рассматривается процесс деформации напыляемой частицы на подложке и предлагается метод расчёта температурных условий на границе.

Температуру в контакте "частица - подложка" можно определить, как

$$T_c(\xi, \tau) = T_c^0(\xi, \tau) + \Delta T_v(\xi, \tau), \quad (2.1)$$

где T_c^0 - температура в контакте двух различно нагретых тел без учета скорости; ΔT_v - температура дополнительного подогрева контакта за счет тепла, выделяемого при ударе.

В первом приближении температуру контакта двух полубесконечных тел можно оценить по формуле (2.2) и (2.3):

$$T_c^0(\xi, \tau) = T_c^0 = \frac{T_s + K_p T_p}{1 + K_p}, \quad (2.2)$$

где K_p – критерий тепловой активности частицы по отношению к подложке; T_s, T_p температуры подложки и частицы перед ударом.

$$K_p = \sqrt{\frac{\lambda_p c_p \rho_p}{\lambda_s c_s \rho_s}}, \quad (2.3)$$

где $\rho_s, \rho_p, \lambda_s, \lambda_p, c_s, c_p$ – плотность, коэффициент теплопроводности и коэффициент теплоемкости подложки (s) и частицы (p) соответственно.

Для более точного определения температура в контакте необходимо учитывать скорость напыляемой частицы (кинетическую энергию). Согласно уравнению (1), для этого необходимо знать температуру дополнительного подогрева контакта за счет тепла, выделяемого при ударе.

Для расчёта температуры дополнительного подогрева рассмотрим баланс энергии, принимая, что вся кинетическая энергия частицы переходит в тепловую энергию.

$$E_{\text{кин}} = Q,$$

где $E_{\text{кин}}$ – кинетическая энергия, Q – тепловая энергия.

$$E_{\text{кин}} = \frac{mv^2}{2},$$

где m – масса частицы, v – скорость частицы перед столкновением.

$$Q = mc \Delta T,$$

где c – теплоёмкость материала частицы.

$$\frac{mv^2}{2} = mc\Delta T, \quad \Delta T = \frac{v^2}{2c}, \quad \Delta T_v = \frac{K_p \Delta T}{1 + K_p},$$

Контактную температуру для произвольной скорости частицы можно определить по формуле

$$T_v = \frac{T_s + K_p (T_m + \Delta T)}{1 + K_p}, \quad (2.4)$$

где $(T_s + \Delta T)$ – температура частицы в момент соударения; T_m – температура частицы, которую она приобрела в полете до столкновения с подложкой; ΔT – дополнительный подогрев частицы за счёт кинетической энергии.

3. Экспериментальная часть

3.1 Постановка задачи

В работе поставлена задача, провести сравнительный расчет условий формирования адгезии (образование межатомных связей при контактной температуре на границе частица-подложка) и когезии (образование межатомных связей при контактной температуре на границе частица-частица) при газотермическом напылении покрытия.

3.2 Исследованные материалы и условия напыления

В качестве материала покрытия в работе выбраны Ni Ti, Mo. Частицы с заданными характеристиками наносим на подложку из стали Ст20.

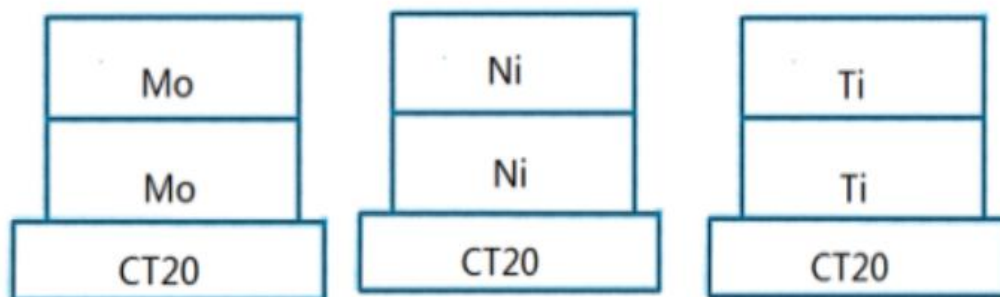


Рисунок 3.2.1 - Схемы покрытий: удельная плотность материала – ρ , удельная теплоёмкость – c , коэффициент теплопроводности – λ , температура плавления – T_m). Индексы (s) и (p) соответствуют значению свойств материалов при комнатной (s) и при высокой (p) температуре.

Теплофизические характеристики исследуемых материалов подложки (s) и частицы (p) представлены в таблице 3.2.1

Таблица 3.2.1 - Теплофизические характеристики исследуемых материалов

| Материал | ρ , кг/м ³ | c , Дж/кг*К | λ , Вт/м*К | T_m , К |
|----------|-------------------------------|------------------|-----------------------|--------------|
| Ni (s) | 8900 | 443.6 | 90.4 | – |
| Ni (p) | 8100 | 625 | 78.5 | 1728 |
| Ti (s) | 4500 | 530.8 | 22.3 | – |
| Ti (p) | 4260 | 854.1 | 33 | 1944 |
| Ст20(s) | 7850 | 690 | 50.7 | – |
| Mo(s) | 10210 | 249.9 | 139.8 | – |
| Mo(p) | 9100 | 420 | 89.7 | 2896 |

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

| | |
|---------------|------------|
| Группа | ФИО |
| 154Б71 | Тун Лилинь |

| | | | |
|----------------------------|--------------|----------------------------------|---|
| Школа | ИШНПТ | Отделение школы (НОЦ) | ОМ |
| Уровень образования | Бакалавриant | Направление/специальность | 12.03.04 Материаловедение и технология материалов |

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

| | |
|---|--|
| <i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> | Исследование проводится для ООО «Сибирская машиностроительная компания» При проведении исследования используется база лабораторий НИ ТПУ кафедра ММС; в исследовании задействованы 2 человека: студент-исполнитель и научный руководитель. |
| <i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i> | В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность» |
| <i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i> | Отчисления по страховым взносам – 30 % |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|---|--|
| <i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i> | 1. Анализ конкурентных технических решений 2. SWOT-анализ |
| <i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i> | 1. Планирование работ 2. Разработка графика Ганта 3. Формирование бюджета затрат |
| <i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i> | Описание пртенциального эффекта |

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

| |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Оценка конкурентоспособности технических решений 2. Матрица SWOT 3. Альтернативы проведения НИ 4. График проведения и бюджет НИ 5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ |
|---|

| | |
|---|-------------|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | 01.02.2021г |
|---|-------------|

Задание выдал консультант:

| | | | | |
|-------------------|-------------|-------------------------------|----------------|--------------|
| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| Доцент ОСГН, ШБИП | Былкова Т.В | канд.экон.наук | | 01.02.2021г. |

Задание принял к исполнению студент:

| | | | |
|---------------|------------|----------------|--------------|
| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
| 154Б71 | Тун Лилинь | | 01.02.2021г. |

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Данный дипломный проект относится к научно-исследовательским работам (НИР), которые выполняются с целью расширения, углубления, систематизации знаний по определенной научной проблеме и анализ потребителей результатов исследования, т.е. теоретического и экспериментального характера.

Тема моей дипломной работа «Температурные условия формирования многослойных покрытий при газотермическом напылении». Для разных материалов "частица - подложка" провести расчет температуры в контакте на границе частица-подложка, которые характеризуют условия образования адгезионной связи (прочности соединения).

Актуальность исследования определяется тем, что анализируя полученные данные можно определить, какие материалы дают более прочные покрытия, при какой скорости напыляемой частицы, как можно использовать для этой цели нанесение промежуточного слоя (многослойные покрытия). Работа представляет несомненный интерес для многих предприятий машиностроительной, судостроительной, авиастроительной, химической отраслей. Предприятиям важно продлевать срок службы деталей машин и их узлов [14].

Исследуя рынок потенциальных потребителей, можно выделить ряд предприятий, которым потенциально интересны результаты исследований. В связи с этим напыление покрытий газотермическим методом является конкурентоспособным по нескольким параметрам: цена, срок службы и другим. Информация о компании и каталоге продукции в таблице 4.1.

Таблица 4.1.1 - Информация о компании и продукции.

| Информация о компании | Продукции |
|--|--|
| ОАО «Металл-Коаплект Денпр» г.Каменск-Уральский | Фланцы на номинальное давление до PN 250 ГОСТ 33259-2015Ж; HAWLE задвижки и затворы (149) и др. |
| Открытое акционерное общество «Воронежское акционерное самолетостроительное Общество», г. Воронеж. | Sukhoi Superjet 100 – это региональный самолет нового поколения, который объединяет в себе новейшие технологии в области авиастроения. |
| ОАО «Вертолеты России», г. Москва. | ЗИЛ-5301 «Бычок» — российский малотоннажный грузовой автомобиль производства Завода имени Лихачева. Серийно выпускается с 1996 года. |

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

В ходе исследования было рассчитано расчет, для данной детали необходимо использовать сплавы.

1) Сплавы твердые спеченные(T15K6)

Для обработки материалов резанием: Получернового точения при непрерывном резании, чистового точения при прерывистом резании ; сплошных поверхностей,

2) Сталь P6M5 является быстрорежущей и относится к одному из видов инструментальной стали.. Скорость работы шлифовальных, сверлильных приборов, где ее применяют, при этом превосходит в разы скорость, которую дает обычный сплав.

Детальный анализ необходим, т.к. каждый тип сплав имеет свои достоинства и недостатки. В таблице 4.1.1 показано сравнение разработок конкурентов и разработки данного НИ с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 4.1.1.1 - Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

| Критерии оценки | Вес критерия | Баллы | | | Конкурентоспособность | | |
|---|--------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------|-----------------|
| | | Б _ф | Б _{к1} | Б _{к2} | К _ф | К _{к1} | К _{к2} |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Технические критерии оценки ресурсоэффективности | | | | | | | |
| 1. Повышение производительности труда пользователя | 0,1 | 5 | 3 | 4 | 0,5 | 0,3 | 0,4 |
| 2. Энергоэкономичность | 0,10 | 5 | 2 | 3 | 0,5 | 0,2 | 0,3 |
| 3. Ударопрочность | 0,14 | 4 | 3 | 5 | 0,56 | 0,42 | 0,70 |
| 4. Стабильность соединения с подложкой | 0,2 | 4 | 5 | 3 | 0,8 | 1 | 0,6 |
| 5. Помехоустойчивость | 0,05 | 5 | 4 | 4 | 0,25 | 0,2 | 0,2 |
| 6. Эффективность работы | 0,05 | 5 | 5 | 5 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| 7. Безопасность | 0,1 | 4 | 4 | 4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| 8,Простота эксплуатации | 0 | 5 | 4 | 5 | 0 | 0 | 0 |
| Экономические критерии оценки эффективности | | | | | | | |
| 1. Цена сырья | 0,12 | 4 | 4 | 5 | 0,48 | 0,48 | 0,6 |
| 2.Предполагаемый срок эксплуатации | 0,06 | 4 | 3 | 4 | 0,24 | 0,18 | 0,24 |
| 3. Функциональная мощность(предоставляемые возможности) | 0,08 | 5 | 4 | 4 | 0,4 | 0,32 | 0,32 |
| Итого | 1 | 45 | 37 | 41 | 4,38 | 3,75 | 4.01 |

Расчет конкурентоспособности, на примере стабильности срабатывания, определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (4.1.1.1)$$

Где К – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что исследование является наиболее актуальным и перспективным, имеет конкурентоспособность.

4.1.2 SWOT-анализ

SWOT-анализ — метод стратегического планирования, заключающийся в выявлении факторов внутренней и внешней среды организации и разделении их на четыре категории: сильные стороны, слабые стороны, возможности, угрозы.

Для исследования внешней и внутренней среды проекта, в этой работе проведен SWOT-анализ с детальной оценкой сильных и слабых сторон исследовательского проекта, а также его возможностей и угроз.

Первый этап, составляется матрица SWOT, в которую описаны слабые и сильные стороны проекта и выявленные возможности и угрозы для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, приведены в таблице 4.1.2.1

Таблица 4.1.2.1 - Матрица SWOT

| | Сильные стороны научно-исследовательского проекта | Слабые стороны научно-исследовательского проекта |
|---|--|---|
| | <p>С1. Более низкая стоимость производства по сравнению с другими технологиями.</p> <p>С2. Квалифицированный персонал.</p> <p>С3. Новый научный подход</p> <p>С4. Имеется лаборатория физического материаловедения оборудованная современной техникой: компьютеры, сканер, принтер.</p> | <p>Сл1. Отсутствие необходимого оборудования для проведения экспериментов.</p> <p>Сл2. Отсутствие интерфейса.</p> <p>Сл3. Нехватка персонала.</p> |
| <p>Возможности</p> <p>В1. Использование инновационной структуры ТПУ.</p> <p>В2. Заключение хоздоговоров с предприятиями для ремонта изношенных деталей.</p> <p>В3. Появление дополнительной прибыли за счет привлечения спонсоров.</p> | <p>С помощью предоставленного оборудования есть возможность реализовывать проект, выплачивать заработную плату, конкурировать с разработчиками схожей технологии. Также чтобы проект воплотить в производственных масштабах необходима помощь спонсоров. При наличии оборудования можно вывести проект на самоокупаемость за счет заключения хоздоговоров.</p> | <p>Средств ТПУ без дополнительной поддержки спонсоров не достаточно. Из-за нехватки оборудования и группы ученых реализовать проект становится проблематично.</p> |
| <p>Угрозы.</p> <p>У1. Активное развитие конкурирующих отраслей.</p> <p>У2. Вредное производство.</p> <p>У.3 Нехватка финансирования.</p> | <p>Развитие нанотехнологий и их активное финансирование затрудняют продвижение данного продукта на рынке в связи с его моральным устареванием.</p> | <p>Персонал, обладающий необходимыми знаниями и умениями, уходит конкурирующие области из-за повышенного спроса на готовый продукт конкурентов, более высокую заработную плату.</p> |

На втором этапе на основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы 91 возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации. Соотношения параметров представлены в таблицах 4.1.2.2 – 4.1.2.5.

Таблица 4.1.2.2 - Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

| Сильные стороны проекта | | | | | | |
|-------------------------|-----------|----|----|----|----|----|
| Возможности проекта | | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 |
| | B1 | + | + | - | + | + |
| | B2 | - | + | + | 0 | 0 |
| | B3 | - | + | + | - | 0 |
| | B4 | + | - | 0 | 0 | 0 |

Таблица 4.1.2.3 - Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

| Слабые стороны проекта | | | | | | |
|------------------------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Возможности проекта | | СЛ1 | СЛ2 | СЛ3 | СЛ4 | СЛ5 |
| | B1 | + | + | - | - | - |
| | B2 | - | - | - | - | - |
| | B3 | - | - | - | - | - |
| | B4 | - | - | 0 | 0 | - |

Таблица 4.1.2.4 - Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

| Сильные стороны проекта | | | | | | |
|-------------------------|-----------|----|----|----|----|----|
| Угрозы проекта | | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 |
| | У1 | + | + | - | - | - |
| | У2 | + | + | - | - | - |

Таблица 4.1.2.5 - Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

| Слабые стороны проекта | | | | | | |
|------------------------|----|----|----|----|----|----|
| Угрозы проекта | | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 |
| | У1 | + | + | - | - | - |
| | У2 | - | - | - | - | - |

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 4.1.2.6.

Таблица 4.1.2.6 – Итоговая таблица SWOT-анализа

| | | |
|--|--|---|
| | <p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>C1.Наличиебюджетного финансирования</p> <p>C2.Наличиеопытного руководителя</p> <p>C3.Низкая цена исходного сырья.</p> <p>C4.Экологичность технологии.</p> <p>C5. Квалифицированны</p> | <p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>Сл1. Развитие новых технологий.</p> <p>Сл2. Высокие требования к экспериментальному оборудованию.</p> <p>Сл3. Отсутствие ссылок и материалов для соответствующих научных исследований.</p> <p>Сл4.Эксперимент необходимо повторить большое количество раз</p> <p>Сл5.Вероятность получения брака.</p> |
| <p>Возможности</p> <p>В1. Сотрудничество сзарубежными профессорами в этой области</p> <p>В2. Использование оборудования ИНШПТ ТПУ и ИФПМ СО РАН</p> <p>В3. Внедрение технологии в аэрокосмической области.</p> <p>В4. Внедрение на мировой рынок, экспорт за рубеж.</p> | <p>Направления развития</p> <p>1) Высокая трещиностойкость и ударопрочность продукции позволяет расширить спрос, использование новейшей информации и технологий соответствует потенциальному спросу на новые разработки.</p> <p>2) Высокая трещиностойкость и ударопрочность продукции и экологичность технологии являются хорошим основанием для внедрения технологии в аэрокосмической области.</p> <p>3) Низкая цена исходного сырья И высокая трещиностойкость и ударопрочность продукции являются основой для экспорта за рубеж и выхода на мировой рынок.</p> | <p>Сдерживающие факторы</p> <p>Использование новейшего оборудования для удовлетворения требований исследований, также может уменьшить экспериментальную ошибку и пр</p> |

| | | |
|---|---|--|
| Угрозы У1. Появление новых технологий и сертификации программы. У2. Снижение стоимости разработок конкурентов. | Угрозы развития Несмотря на снижение стоимости разработок конкурентов, наши продукты имеют лучшие механические свойства, больше перспектив развития. Наши продукты обладают лучшими механическими свойствами, являются более привлекательными мировом рынке. | Уязвимости Введение систем совершенствования производственных процессов для снижения погрешности и неопределенности. |
|---|---|--|

Результаты научно – исследовательской работы могут быть устаревшими, если на рынке появятся материалы с высокими свойствами и низкой стоимостью. На данный момент и результаты работы и сама технология являются конкурентоспособными.

4.2 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Таблица 4.2.1 - Морфологическая матрица для фланца

| | | | | | |
|-------------------------------|--------------------|-----------------------|--|------------------|-------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| А.Материал исходной заготовки | Сталь 40 | Сталь 40Х | Чугун | Сплав | Железо |
| Б.Медот разработки | Формовка | Поковка | Прокатка | Штамповка | |
| В.Тип производства | Мелкосерийный | среднесерийный | Массовое | Единичное | |
| Г.Применение | В промышленном | На заводе | В области аэрокосмической деятельности | В машине сборки | |
| Д. Договечность | Более 20 лет | 20 -15 лет | 15 – 10 лет | 10- 5 лет | Менее 5 лет |
| Е.Стандарты производства | Китайский стандарт | Американский стандарт | Немецкий стандарт | Русский Стандарт | Японский стандарт |

Выбрать наиболее желательных функционально конкретных решений. Для данной матрицы это может быть А2Б3В2Г4Д3Е1.

4.3 Планирование научно-исследовательских работ

4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

С оставление этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 4.3.1.1.

Таблица 4.3.1.1 - Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

| Основные этапы | № раб | Содержание работ | Должность исполнителя |
|--|-------|---|----------------------------|
| Разработка технического задания | 1 | Составление и утверждение технического задания | Руководитель Зенин Б.С. |
| Выбор направления исследований | 2 | Подбор и изучение материалов по теме | Тун Лилинь |
| | 3 | Проведение патентных исследований | Тун Лилинь |
| | 4 | Выбор направления исследований | Руководитель Тун Лилинь |
| | 5 | Календарное планирование работ по теме | Руководитель Тун Лилинь |
| Теоретические и экспериментальные исследования | 6 | Проведение теоретических расчетов и обоснований | Тун Лилинь |
| | 7 | Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов | Руководитель Тун Лилинь |
| | 8 | Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями | Руководитель Тун Лилинь |
| | 9 | <i>Заполняется дипломником самостоятельно</i> | Руководитель Тун Лилинь |
| Обобщение и оценка результатов | 10 | Оценка эффективности полученных результатов | Руководитель Тун Лилинь |
| | 11 | Определение целесообразности проведения ОКР | Руководитель Зенин Б.С. |
| <i>Проведение ОКР</i> | | | |
| Разработка технической документации и проектирование | 12 | Разработка блок-схемы, принципиальной схемы | Бакалавр Тун Лилинь |
| | 13 | Выбор и расчет конструкции | Бакалавр Тун Лилинь |
| | 14 | Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия | Бакалавр Тун Лилинь |
| | 15 | <i>Заполняется дипломником самостоятельно</i> | Бакалавр Тун Лилинь |
| Изготовление и испытание макета (опытного образца) | 16 | Конструирование и изготовление макета (опытного образца) | Бакалавр Тун Лилинь |
| | 17 | Лабораторные испытания макета | Бакалавр Тун Лилинь |

| | | | |
|---|----|--|------------------------|
| Оформление отчета но НИР (комплекта документации по ОКР) | 18 | Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации) | Бакалавр Тун Лилинь |
| | 19 | Оформление патента | Бакалавр Тун Лилинь |
| | 20 | Размещение рекламы | Бакалавр Тун Лилинь |

4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоёмкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (4.3.2.1)$$

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

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

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

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (4.3.2.2)$$

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

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

\mathcal{C}_i – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

4.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4.3.3.1)$$

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

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (4.3.3.2)$$

где, $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

В 2017-ом году

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения свести в таблице 5. На основе таблице 4.3.3.1. троится календарный план таблице 4.3.3.2.

Таблица 4.3.3.1 – Временные показатели проведения научного исследования

| Номер работы | Трудоёмкость работ | | | | | | Длительность работ в рабочих днях, | Длительность работ в календарных днях, | | |
|--------------|--------------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------------------------------|--|------------|--------|
| | , чел-дни | | , чел-дни | | чел-дни | | | | | |
| | Зенин Б.С. | Тун Л. | Зенин Б.С. | Тун Л. | Зенин Б.С. | Тун Л. | Зенин Б.С. | Тун Л. | Зенин Б.С. | Тун Л. |
| 1 | 3 | 3 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 |
| 2 | - | 5 | - | 12 | - | 8 | - | 8 | - | 12 |
| 3 | - | 5 | - | 12 | - | 8 | - | 8 | - | 12 |
| 4 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 5 | 5 |
| 5 | 3 | 3 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 |
| 6 | - | 8 | - | 13 | - | 10 | - | 10 | - | 15 |
| 7 | 1 | - | 2 | - | 1 | - | 1 | - | 2 | - |
| 8 | - | 4 | - | 6 | - | 5 | - | 5 | - | 7 |
| 9 | 2 | 4 | 3 | 6 | 2 | 5 | 2 | 5 | 4 | 4 |
| 10 | - | 1 | - | 2 | - | 1 | - | 1 | - | 2 |
| 11 | - | 13 | - | 17 | - | 15 | - | 15 | - | 22 |
| 12 | - | 10 | - | 13 | - | 11 | - | 11 | - | 17 |
| 13 | 3 | 3 | 7 | 7 | 5 | 5 | 5 | 5 | 7 | 7 |

Таблица 4.3.3.2 - Календарный план

| № | Вид работ | Исполнители | $T_{к\bar{л}}$, кал. дн. | Продолжительность выполнения работ | | | | | | | | | | | | |
|----|---|----------------|---------------------------|------------------------------------|---|------|---|---|--------|---|-----|---|---|---|---|---|
| | | | | февр. | | март | | | апрель | | май | | | | | |
| | | | | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | | |
| 1 | Составление ТЗ | Исп 1 Исп 2 | 6 6 | ■ | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Изучение литературы | Исп 2 | 12 | ■ | ■ | | | | | | | | | | | |
| 3 | Проведение патентных исследований | Исп 2 | 12 | | | ■ | | | | | | | | | | |
| 4 | Выбор направления исследований | Исп 1 Исп 2 | 5 5 | | | | ■ | ■ | | | | | | | | |
| 5 | Календарное планирование работ по теме | Исп 1 Исп 2 | 6 6 | | | | ■ | ■ | | | | | | | | |
| 6 | Проведение теоретических расчетов и обоснований | Исп 2 | 15 | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | |
| 7 | Построение макетов (моделей) и проведение экспериментов | Исп 1 | 2 | | | | | | | ■ | | | | | | |
| 8 | Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями | Исп 2 | 7 | | | | | | | ■ | | | | | | |
| 9 | Заполняется дипломником самостоятельно | Исп 1 Исп 2 | 4 4 | | | | | | | ■ | ■ | | | | | |
| 10 | Оценка эффективности полученных результатов | Исп 2 | 2 | | | | | | | | | ■ | | | | |
| 11 | Писание отчёт | Исп 2 | 22 | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | |
| 12 | Готовить другие | Исп 2 | 17 | | | | | | | | | | | ■ | ■ | |
| 13 | Проверить отчет | Исп 1 | 7 | | | | | | | | | | | | | ■ |

Примечание: ■ – Исп 1 (Руководитель), ■ – Исп 2 (Дипломник)

4.3.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением. В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

4.3.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расхи}}, \quad (4.3.4.1.1)$$

где, m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расхи}}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Таблица 3.4.1 - Материальные затраты

| Наименование | Единица измерения | Количество | Цена за ед., руб. | Затраты на материалы, Z_m , руб. |
|-------------------|-------------------|------------|-------------------|------------------------------------|
| компьютер | шт. | 1 | 35000 | 35000 |
| Бумага формата А4 | лист. | 2 | 250 | 500 |
| Ручка шариковая | шт. | 3 | 80 | 240 |
| Итого | | | | 35740 |

4.3.4.2 Амортизация основных фондов

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

$$I_{\text{ам. обор}} = \left(\frac{T_{\text{исп. обор}}}{365} \right) \times K_{\text{обор}} \times H_a, \quad (4.3.4.2.1)$$

где, $T_{\text{исп.обор}}$ – время использования оборудование;

74 дней – количество дней в году;

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

H_a – норма амортизации.

$$H_a = \frac{1}{T_{\text{с.с. обор}}}, \quad (4.3.4.2.2)$$

где, $T_{\text{с.с обор}}$ – срок службы оборудования

Знание, что компьютера срок службы оборудования 5 лет, Флеш-картасрок службы оборудования 5 лет и Картриджа для принтера службы оборудования 1 год.

$$I_{\text{ам. комп}} = (T_{\text{исп.обор}}/74) * K_{\text{исп. ПМТ - 3}} * H_a = (1/74) * 35000 * (1/5) = 95 \text{ руб}$$

4.3.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Мы знаем, что статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (4.3.4.3.1)$$

где, $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

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

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (4.3.4.3.2)$$

где, $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (4.3.4.3.3)$$

где, $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. В таблице 4.3.4.3.1

Таблица 4.3.4.3.1 - Баланс рабочего времени

| Показатели рабочего времени | Руководитель |
|--|--------------|
| Календарное число дней | 40 |
| Количество нерабочих дней | |
| - выходные дни | 15 |
| - праздничные дни | |
| Потери рабочего времени | |
| - отпуск | 5 |
| - невыходы по болезни | |
| Действительный годовой фонд рабочего времени | 20 |

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (4.3.4.3.4)$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{\text{тс}}$);

$k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $Z_{\text{тс}}$);

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 4.3.4.3.2.

Таблица 4.3.4.3.2 - Расчёт основной заработной платы

| Исполнители | Разряд | k_T | $Z_{тс}$, руб. | $k_{пр}$ | k_d | k_p | Z_m , руб | $Z_{дн}$, руб. | T_p , раб. дн. | $Z_{осн}$, руб. |
|-----------------|--------|-------|--------------------|----------|-------|-------|----------------|--------------------|------------------------|---------------------|
| Руководитель | 1 | 0,3 | 26400 | 0,3 | 0,5 | 1,3 | 34320 | 1445 | 30 | 43350 |
| Итого $Z_{осн}$ | | | | | | | | | | 43350 |

Расчет основной заработной платы руководителя сводится в таблице 4.3.4.3.3.

Таблице 4.3.4.3.3 – Расчет основной заработной платы

| № п/п | Наименование этапов | Трудоемкость, чел.-дн. | Зарботная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс. руб. | Всего зарботная плата по тарифу (окладам), тыс. руб. |
|--------|-----------------------------------|------------------------|---|--|
| 1 | Составление темы | 6 | 1445 | 8670 |
| 2 | Выбор направления исследований | 5 | 1445 | 7225 |
| 3 | Календарное планирование работ | 6 | 1445 | 8670 |
| 4 | Проведение прессования и спекания | 2 | 1445 | 2890 |
| 5 | Сопоставление результатов | 4 | 1445 | 5780 |
| 6 | Проверка ВКР | 7 | 1445 | 10115 |
| Итого: | | | | 43350 |

4.3.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (4.3.4.4.1)$$

где, $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,13).

$$Z_{доп} = 0,13 \cdot 43350 = 5635$$

4.3.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (4.3.4.5.1)$$

где, $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды:

$$З_{\text{внеб}} = 0,271 \cdot (43350 + 5635,6) = 13275 \text{ руб.}$$

4.3.4.6 Накладные расход

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергия, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (4.3.4.6.1)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

4.3.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 4.3.4.7.1.

Таблица 4.3.4.7.1 - Расчет бюджета затрат НИИ

| Наименование статьи | Сумма, руб. | Примечание |
|---|-------------|-------------|
| 1. Материальные затраты НИИ | 35740 | Пункт 3.3.1 |
| 2. Амортизация основных фондов | 95 | Пункт 3.3.2 |
| 3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы | 43350 | Пункт 3.3.2 |
| 4. Отчисления во внебюджетные фонды | 5635 | Пункт 3.3.3 |
| 5. Отчисления во внебюджетные фонды | 13275 | Пункт 3.3.4 |
| 6. Накладные расходы | 15695 | Пункт 3.3.5 |
| Бюджет затрат НИИ | | 113790 руб. |

4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получен в процессе оценки бюджета затрат трех вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принят за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве аналогов данной НИР рассмотрены:

1.Слой полимера. Фланец стальной с ПП покрытием обладает высокой устойчивостью к развитию коррозионных процессов.

2.Слой цинка. Фланец стальной оцинкованный характеризуется высокими антикоррозионными показателями, что положительно влияет на срок службы.

Интегральный финансовый показатель разработки рассчитывается как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.4.1)$$

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения.

$$\Phi_{\text{текущ.проект}} = 433741,85 ; \Phi_{\text{исп.2}} = 609522,3 \text{ руб}; \Phi_{\text{исп.3}} = 654212,3 \text{ руб}.$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{тех.пр.}} = \frac{\Phi_{\text{тех.пр.}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{433741,85}{654212,3} = 0,66$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.2}} = \frac{\Phi_{\text{исп.2}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{609522,3}{654212,3} = 0,93$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.3}} = \frac{\Phi_{\text{исп.3}}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{654212,3}{654212,3} = 1$$

В результате расчета консолидированных финансовых показателей по трем вариантам разработки вариант 1 (текущий проект) с меньшим перевесом признан считается более приемлемым с точки зрения финансовой эффективности.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НИР (I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 4.4.1.).

Таблица 4.4.1 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР.

| Объект исследования Критерии | Весовой коэффициент параметра | Текущий проект | Исп.2 | Исп.3 |
|---|-------------------------------|----------------|-------|-------|
| 1. Безопасность при использовании установки | 0,15 | 4 | 5 | 4 |
| 2. Стабильность работы | 0,2 | 4 | 4 | 5 |
| 3. Технические характеристики | 0,2 | 5 | 3 | 4 |
| 4. Механические свойства | 0,3 | 5 | 3 | 3 |
| 5. Материалоёмкость | 0,15 | 5 | 4 | 4 |
| ИТОГО | 1 | 4,65 | 3,65 | 3,9 |

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^5 K_{вес.} \times T_{пр/ис.}, \quad (4.4.2)$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{р-исп.i}}{I_{финр.}}, \quad (4.4.3)$$

$$I_{исп.1} = \frac{4,65}{0,95} = 4.89 \quad I_{исп.1} = \frac{3,65}{0,93} = 3.92 \quad I_{исп.1} = \frac{3,9}{1} = 3.9$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 4.4.2).

Таблица 4.4.2 – Сравнительная эффективность разработки

| № п/п | Показатели | Текущий проект | Исп.2 | Исп.3 |
|-------|---|----------------|-------|-------|
| 1 | Интегральный финансовый показатель разработки | 0.66 | 0,93 | 1 |
| 2 | Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки | 4.65 | 3.65 | 3.9 |

| | | | | |
|---|--|------|------|------|
| 3 | Интегральный показатель эффективности | 4.89 | 3.92 | 3.9 |
| 4 | Сравнительная эффективность вариантов исполнения | 1 | 0,80 | 0,79 |

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 1 (текущий проект). Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентами.