

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование кафедры)

05.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Оборудование и технология сварочного производства»

(направленность (профиль)/специализация)

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Разработка технологии восстановления и упрочнения режущих кромок ножей для горячей резки металла»

Студент

А.Ю. Чурбаков

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

В.В. Ельцов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

А.Г. Егоров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

О.М. Сярдова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

П.А. Корчагин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор, В.В. Ельцов

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

«    »      20     г.

Тольятти 2019

## АННОТАЦИЯ

Эффективность использования прессового и штампового оборудования для горячей обработки металлов ограничена недостаточной стойкостью рабочего инструмента и существенно зависит от температурного и силового нагружения в процессе эксплуатации (так как рабочий инструмент непосредственно соприкасается с нагретым металлом и испытывает значительные механические нагрузки).

Цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности технологических процессов восстановления и упрочнения ножей для горячей резки металла.

Анализ современных источников научно-технической информации по вопросу восстановления и частей механизмов, работающих в условиях нагрева и циклического нагружения, позволил выделить следующие способы восстановления: 1) ручная дуговая наплавка; 2) механизированная наплавка в защитных газах; 3) наплавка под слоем флюса; 4) наплавка порошковыми самозащитными проволоками; 5) плазменная наплавка.

При выполнении выпускной квалификационной работы решены следующие задачи: 1) выполнить анализ альтернативных способов восстановительной наплавки и обосновать выбор способа восстановительной наплавки применительно к рассматриваемой детали; 2) повысить эффективность выбранного способа восстановительной наплавки за счёт применения наукоёмких технических решений; 3) составить проектную технологию восстановительной наплавки с применением предложенных ранее технических решений; 4) выполнить оценку безопасности и экологичности предложенных технических решений; 5) выполнить оценку экономической эффективности предложенных технических решений.

Пояснительная записка состоит из 67 страниц, графическая часть включает в себя 6 листов формата А1.

# СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 Анализ современного состояния вопроса восстановительной наплавки ножей для горячей резки металла	
1.1 Описание изделия и условий его работы	7
1.2 Сведения о материале изделия	9
1.3 Описание базовой технологии	10
1.4 Анализ содержания научных работ по тематике исследования	11
1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы	14
2 Проектная технология восстановления и упрочнения	
2.1 Обоснование выбора способа восстановления	
2.1.1 Ручная дуговая наплавка штучными электродами	16
2.1.2 Наплавка самозащитными порошковыми проволоками	20
2.1.3 Механизированная наплавка в среде защитного газа	24
2.1.4 Наплавка под флюсом	26
2.1.5 Плазменная наплавка	28
2.2 Выбор наплавочного материала	31
2.3 Операции восстановительной плазменной наплавки	32
2.4 Устройство для плазменной наплавки	34
3 Безопасность и экологичность технического объекта	
3.1 Технологическая характеристика объекта	38
3.2 Разработанные технические и организационные предложения по уменьшению выявленных при анализе проектной технологии профессиональных рисков	40
3.3 Разработанные технические и организационные предложения по обеспечению пожарной безопасности на участке сварки	42
3.4 Оценка безопасности для природной среды предлагаемых	

технических решений	45
3.5 Заключение по экологическому разделу	46
4 Оценка экономической эффективности выпускной квалификационной работы	47
4.1 Исходные данные для выполнения расчетов	47
4.2 Расчёт фонда времени	49
4.3 Расчет нормы штучного времени на изменяющиеся операции технологического процесса	50
4.4 Расчет заводской себестоимости базового и проектного вариантов технологии	52
4.5 Калькуляция заводской себестоимости базовой и проектной технологии	57
4.6 Капитальные затраты по базовому и проектной технологиям	57
4.7 Показатели экономической эффективности проектной технологии	60
4.8 Заключение по экономическому разделу	61
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>	<b>63</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ</b>	<b>64</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема повышения долговечности машин и оборудования является одной из актуальнейших народнохозяйственных задач. Срок службы быстроизнашивающихся деталей определяет рентабельность дорогостоящего оборудования. Интенсификация производственных процессов, увеличение рабочих давлений, скоростей и температуры приводят к ускорению изнашивания деталей и делают проблему повышения долговечности быстроизнашиваемых узлов машин еще более острой. Одним из важнейших направлений решения проблемы ресурсосбережения является разработка экономнолегированных сталей и наплавочных материалов, обеспечивающих повышенные механические и служебные свойства деталей машин и инструментов [1, 2].

Одним из важнейших направлений решения проблемы ресурсосбережения является разработка экономнолегированных сталей и наплавочных материалов, обеспечивающих повышенные механические и служебные свойства деталей машин и инструментов. Основными структурными классами, на основе которых создаются экономнолегированные высокопрочные стали и сплавы являются: мартенситный, мартенситно-аустенитный, аустенитно-карбидный и др. с использованием недефицитных легирующих элементов: марганца, хрома, кремния, ванадия, различное сочетание и количественное соотношение которых позволяет создавать разнообразные по свойствам и назначению материалы [1, 2]. Резкое повышение износостойкости металла также достигается за счёт изменения композиционной структуры [7].

Известно [3], что эффективность использования прессового и штампового оборудования для горячей обработки металлов ограничена недостаточной стойкостью рабочего инструмента и существенно зависит от температурного и силового нагружения в процессе эксплуатации (так как рабочий инструмент непосредственно соприкасается с нагретым металлом и

испытывает значительные механические нагрузки (800...1000 МПа)). Дисперсионно-упрочняемые составы высоколегированного наплавленного металла позволяют эффективно достигать требуемых эксплуатационных характеристик наплавленных изделий. Характерной особенностью наплавленного металла типа инструментальных штамповых сталей 25X5ФМС, 35В9Х3ФС, 30Х4В2М2ФС и других сталей являются то, что в широком диапазоне скоростей охлаждения в нем исключается перлитное преобразование, и после наплавки образовывается мартенситная структура с небольшим количеством остаточного аустенита.

На основании вышеизложенного следует признать актуальной целью выпускной квалификационной работы – повышение эффективности технологических процессов восстановления и упрочнения ножей для горячей резки металла.

# **1. Анализ современного состояния вопроса восстановительной наплавки ножей для горячей резки металла**

## **1.1 Описание изделия и условий его работы**

Резка металлических листов, арматуры и профилей – один из важных этапов в производстве металлоконструкций. Специальные ножи гильотинные – весьма востребованный производственный инструмент. Его конфигурация, длина и другие параметры подбираются в зависимости от того, что придется резать, и с какой интенсивностью будет использоваться оборудование.

Ножи чаще всего идут в паре, состоят из верхней и нижней частей. Они образуют ножницы, разрезающие лист металла. Гильотинные ножи отличаются по типу привода. Они бывают:

- ручные (для металла небольшой толщины);
- механические;
- пневмомеханические;
- электромеханические;
- гидравлические;
- механические.

Наиболее часто применяется гидравлический тип. Он довольно прост в использовании и обеспечивает значительную точность реза. Это имеет большое значение при создании ответственных конструкций, где играет роль каждая доля миллиметра.

Ножи применяются при холодной и горячей резке металла. Оборудование еще называют ножами для отруба, рубки. Наиболее распространенные габариты (при желании можно заказать лезвия по индивидуальным чертежам):

- длина – 11-200 см;
- ширина – 5-22 см;
- толщина – 1,2-12 см.

Ножи горячей резки металла работают в условиях повышенного износа при нагреве до температур 500...600 °С и значительных динамических

нагрузках. Современная металлообработка не обходится без резочных ножей. Оборудование данного типа используется также для нарезки полимерных, картонных и других материалов. Твердость таких ножей ниже, а требования к прочности – не такие жесткие.

Рассматриваемый в данной выпускной квалификационной работе комплект ножей для гидравлической гильотины (рис. 1.1, рис. 1.2) включает в себя входит 4 ножа (2 верхних и 2 нижних).

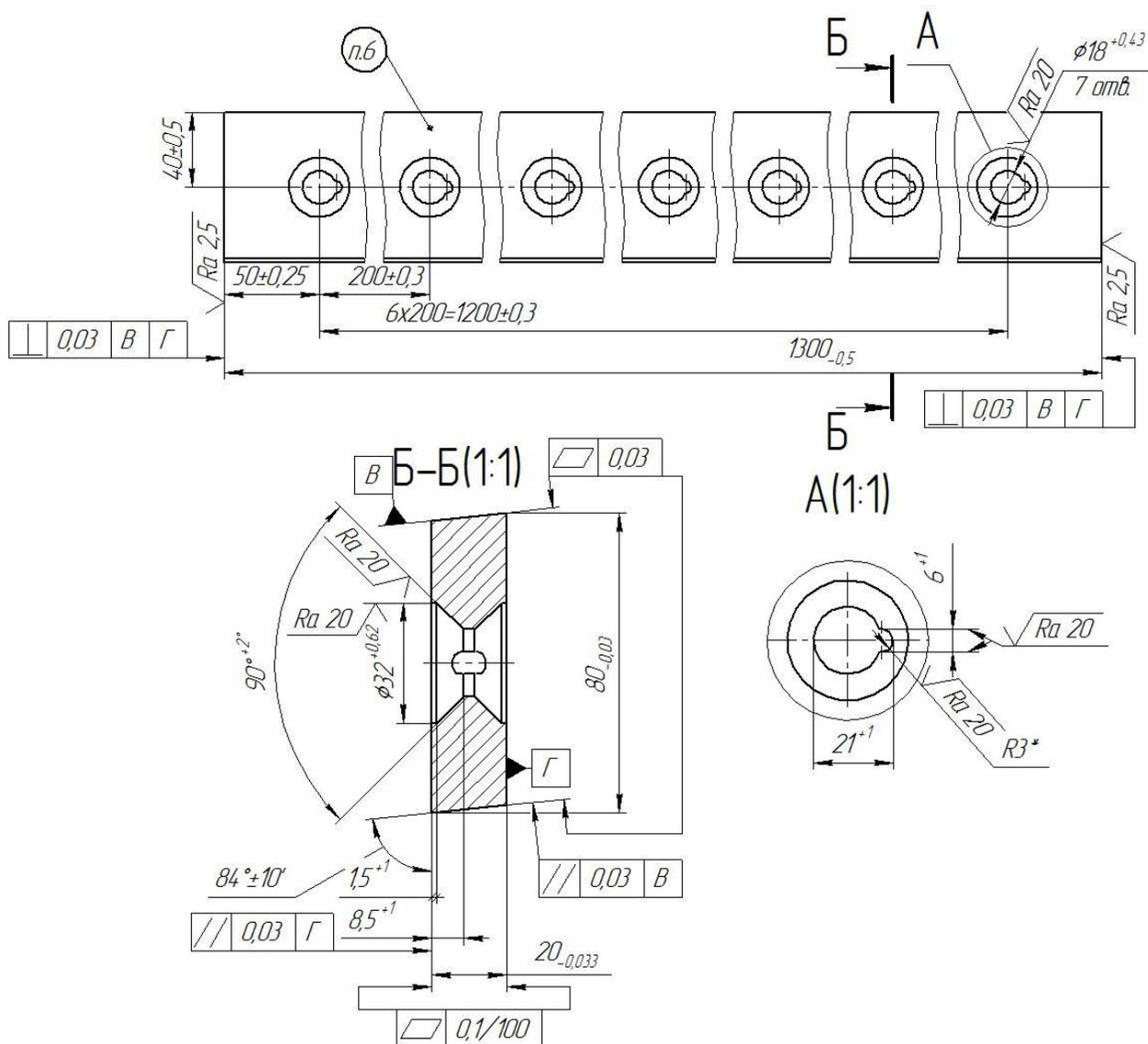


Рисунок 1.1 – Нож верхний

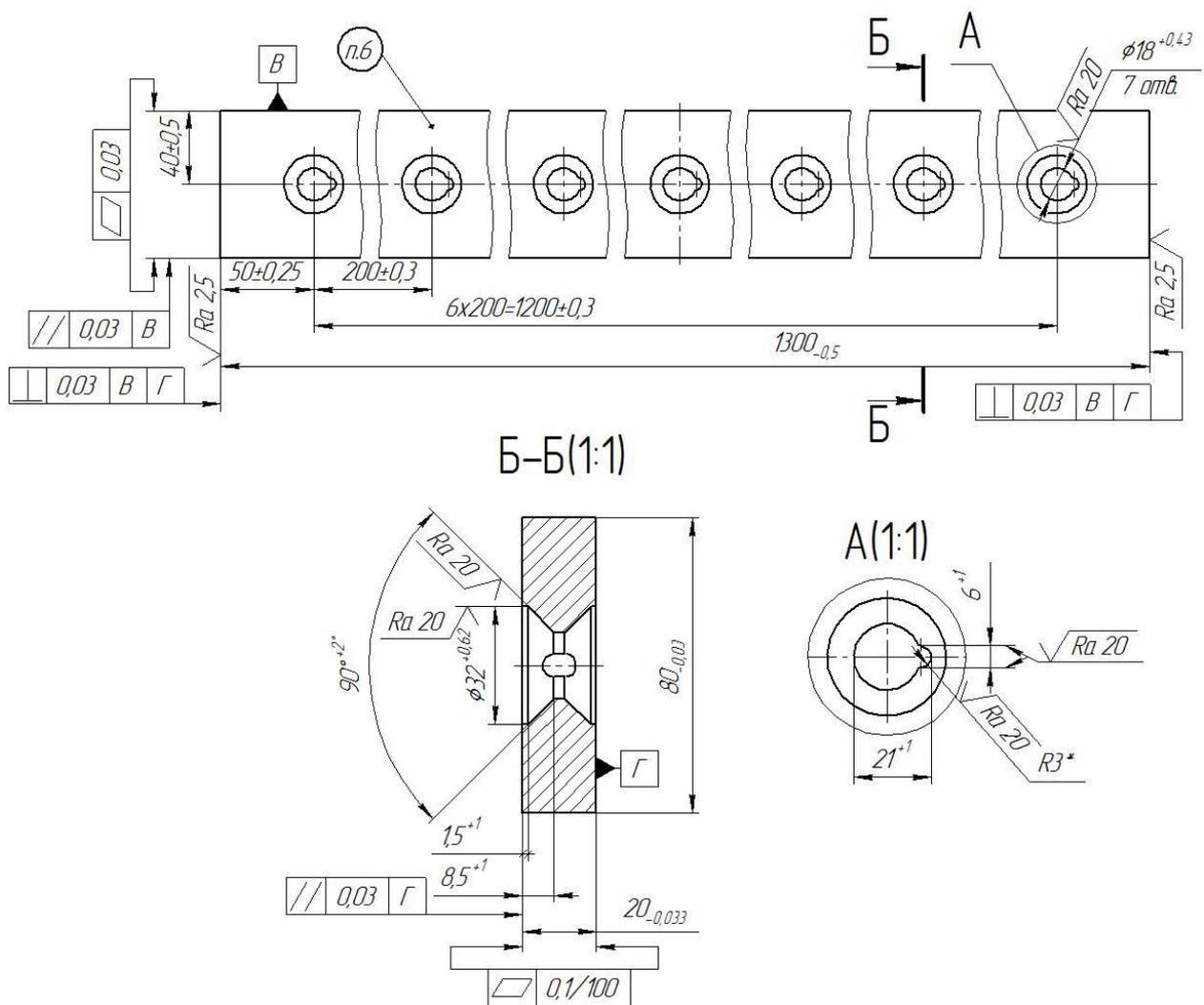


Рисунок 1.2 – Нож нижний

## 1.2 Сведения о материале изделия

Для производства ножей гильотинных плоских используются специальные стали: 6ХС, 8ХФ, 9ХС, 5ХВ2С, 5ХНВС, 6ХВ2С, Х12М и некоторые другие. После того, как лезвие получит свою форму, оно отдается на термообработку. Это важный этап для придания твердости и прочности его режущей поверхности. Ножи для холодной резки тверже, чем для горячей. Первые имеют твердость 52...58 HRC (единиц по шкале Роквелла), а вторые – 42...50 HRC.

Стали, применяемые для изготовления такого инструмента, должны обладать высокой теплостойкостью, вязкостью и разгаростойкостью.

Переохлажденный аустенит этих сталей должен быть устойчив при 600...400 °С для того, чтобы ножи можно было править в горячем состоянии во время охлаждения при закалке, помещая их в штампы.

Таблица 1.1 – Химический состав в % материала X12M

C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo	V
1.45 - 1.65	0.15 - 0.35	0.15 - 0.4	до 0.03	до 0.03	11 - 12.5	0.4 - 0.6	0.15 - 0.3

### 1.3 Описание базовой технологии

Повышения стойкости новых ножей и восстановление изношенных ножей осуществляется упрочняющей наплавкой. Электроды для упрочняющей наплавки имеют марку и состав согласно ГОСТ 10051–75. В число этих электродов входит большая группа электродов, которые специально предназначены для наплавки изделий, работающих в условиях горячего деформирования.

Электроды для восстановительной наплавки разделены на три группы по легированию получаемого металла. К электродам первой группы относят, ЭН-60М, ОЗШ-1, ЭН-60, ЦМ-4, которые позволяют получать наплавленные поверхности с высокой износостойкостью, сохраняющейся до температуры 400 °С, что является необходимым для инструментов, нагреваемых в процессе обработки металла до температуры, которая близка к указанной. Вторая группа электродов включает в себя высоколегированные электроды на основе хрома (У0НИ-13/НЖ, ЭШГ, ЦМ-5, Ш-1). При наплавке этими электродами можно получить наплавленный слой, способный самозакаливаться при охлаждении на воздухе и сохранять мартенситную структуру при температуре нагрева 400...500 °С. К третьей группе относятся электроды, которые легированы вольфрамом и молибденом. К этой группе относятся электроды ОЗИ-3, ОЗИ-2, ЦМ-1М, КПИ-3Х2В8, К-53. При

наплавке этими электродами получается металл, состав которого близок к быстрорежущим сталям.

Поскольку рабочие детали имеют протяжённую форму, то для восстановительной наплавки ножей применяют высоколегированные хромистые стали марок X12Ф1, X12М, 9ХС, ХВГ, обладающие более высокой износостойкостью, также эти стали подвержены меньшей поводке и короблению при термообработке [23].

#### 1.4 Анализ содержания научных работ по тематике исследования

Был выполнен поиск источников научно-технической информации в сети ИНТЕРНЕТ по вопросу восстановления и упрочнения частей механизмов, работающих в условиях нагрева и циклического нагружения. Поиск вели по ключевым словам «восстановление и упрочнение», «наплавка», «горячая резка металла», «журнал Автоматическая сварка», «журнал Сварочное производство», «диссертация», «научная статья».

В **первой** работе [4] поставлена цель - исследование влияния количества экзотермической смеси и толщины покрытия электродов на производительность расплавления. Доказана эффективность при восстановлении деталей с использованием ручной дуговой наплавки штучными электродами. Экспериментально установлено, что введение в покрытие электродов экзотермической смеси до 53,4 % увеличивает коэффициенты наплавки, расплавления стержня, выхода наплавленного и годного металла, скорости плавления электродов.

Результаты этой работы, посвящённой **дуговой наплавке штучными электродами**, будут использованы при обосновании выбора способа восстановления, который будет использован при составлении проектной технологии восстановления и упрочнения деталей.

Во **второй** работе [21] исследовано влияние параметров режима наплавки на формирование зоны проплавления и определены способы

управления и стабилизации процесса формообразования сварочной ванны. Разработаны модели формирования зоны проплавления для неподвижного и движущегося электродов. Расчетные зависимости определяли статистической обработкой результатов измерения параметров зон проплавления макрошлифов, полученных электродуговой наплавкой под флюсом для различных диаметров электрода и применяемых диапазонов скоростей подачи (силы тока) в зависимости от времени горения дуги и скорости ее перемещения. Полученные математические модели формирования зоны проплавления при электродуговой наплавке под флюсом использованы для разработки программного обеспечения и системы управления наплавочным оборудованием.

Результаты этой работы, посвящённой **электродуговой наплавке под флюсом**, будут использованы при обосновании выбора способа восстановления, который будет использован при составлении проектной технологии восстановления и упрочнения деталей.

В **третьей** работе [22] предложено для повышения эффективности процесса электродуговой наплавки в  $\text{CO}_2$  применять импульсную подачу электродной проволоки с целью управления геометрическими размерами валика, снижения глубины проплавления основного металла, повышения стабильности горения дуги и снижения уровня потерь электродного металла. На основании полученных экспериментальных данных установлен оптимальный диапазон параметров импульсной наплавки. Показано, что ограничение глубины проплавления достигается за счет снижения тока на стадии роста капли в элементарном цикле переноса электродного металла.

Результаты этой работы, посвящённой **механизированной наплавке в среде защитных газов**, будут использованы при обосновании выбора способа восстановления, который будет использован при составлении проектной технологии восстановления и упрочнения деталей.

В **четвёртой** работе [16] предложена компактная установка и плазматрон для плазменно-порошковой на-плавки на разнополярно-

импульсном токе, надежная в эксплуатации, имеющая невысокую себестоимость и обеспечивающая высокое качество нанесения покрытий. Эта работа ещё раз подтверждает эффективность применения такого перспективного способа восстановления штампов, как плазменная наплавка. Представленные результаты работы позволяют эффективно использовать их в выпускной квалификационной работе.

Результаты этой работы, посвящённой **плазменной наплавке**, будут использованы при анализе возможных способов восстановления штамповой оснастки и, возможно, при составлении проектной технологии и выборе оборудования для её осуществления, если будет принято решение об использовании плазменной наплавки.

В **пятой** работе [12] достигалась цель - разработка наплавочных материалов и технологии наплавки режущего и штампового инструмента, работающего в условиях динамического нагружения и повышенного износа, а также исследование качества металла, наплавленного разработанными наплавочными материалами. Для наплавки инструмента разработаны и успешно опробованы в производственных условиях порошковая проволока ПП-Х2ГСВ2Ф и электроды ЭН-Х2ГСВ2Ф, обеспечивающие повышение стойкости данного инструмента в 2...6 раз по сравнению с инструментом из сталей аналогичного назначения, и самозащитная порошковая проволока, обеспечивающая получение наплавленного металла типа 100Х4М5Ф2. Шихта разработанных наплавочных материалов (порошковых проволок и электродов) не содержит дефицитных материалов.

Результаты этой работы, посвящённой **наплавке порошковой самозащитной проволокой**, будут использованы при обосновании выбора способа восстановления, который будет использован при составлении проектной технологии восстановления и упрочнения деталей.

## 1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение эффективности технологических процессов восстановления и упрочнения ножей для горячей резки металла.

Базовая технология восстановительной наплавки предусматривает применение ручной дуговой наплавки специальными электродами. Недостатками базовой технологии следует признать: 1) малая производительность; 2) недостаточное качество наплавки; 3) тяжёлые условия труда сварщика.

Анализ современных источников научно-технической информации по вопросу восстановления и частей механизмов, работающих в условиях нагрева и циклического нагружения, позволил выделить следующие способы восстановления: 1) ручная дуговая наплавка; 2) механизированная наплавка в защитных газах; 3) наплавка под слоем флюса; 4) наплавка порошковыми самозащитными проволоками; 5) плазменная наплавка.

Достижение поставленной цели будет возможно, если выполнить анализ этих способов восстановительной наплавки применительно к рассматриваемой детали, предложить технические решения по повышению эффективности выбранного способа путём применения наукоёмких решений и составить технологию восстановительной наплавки.

Таким образом, можно сформулировать задачи выпускной квалификационной работы, последовательное решение которых позволит достигнуть поставленной цели:

- 1) выполнить анализ альтернативных способов восстановительной наплавки и обосновать выбор способа восстановительной наплавки применительно к рассматриваемой детали;
- 2) повысить эффективность выбранного способа восстановительной наплавки за счёт применения наукоёмких технических решений;

- 3) составить проектную технологию восстановительной наплавки с применением предложенных ранее технических решений;
- 4) выполнить оценку безопасности и экологичности предложенных технических решений;
- 5) выполнить оценку экономической эффективности предложенных технических решений.

## **2 Проектная технология восстановления и упрочнения**

### **2.1 Обоснование выбора способа восстановления**

#### **2.1.1 Ручная дуговая наплавка штучными электродами**

Был выполнен поиск источников научно-технической информации в сети ИНТЕРНЕТ по вопросу восстановления и упрочнения частей механизмов, работающих в условиях нагрева и циклического нагружения. Поиск вели по ключевым словам «восстановление и упрочнение», «наплавка», «горячая резка металла», «журнал Автоматическая сварка», «журнал Сварочное производство», «диссертация», «научная статья».

В первой работе [4] поставлена цель - исследование зависимости производительности наплавки от количества экзотермической смеси и толщины покрытия штучных электродов. Доказана эффективность при восстановлении деталей с использованием ручной дуговой наплавки штучными электродами. Экспериментально установлено, что введение в покрытие электродов экзотермической смеси до 53,4 % увеличивает коэффициенты наплавки, расплавления стержня, выхода наплавленного и годного металла, скорости плавления электродов.

Повышение производительности ручной дуговой наплавки может быть достигнуто путём использования эффекта экзотермических реакций, для чего состав используемые материалы вводят окислители (окалину, гематит, марганцевую руду и пр.) и раскислители (ферротитан, ферросилиций, алюминиевый порошок и пр.) [5, 6]. Нагрев и плавление этих веществ вызывает протекание экзотермической реакции до расплавления электродного стержня. При недостаточном количестве в покрытии электродов оксидов железа и элементов-раскислителей для образования экзотермической смеси, протекание экзотермического процесса наблюдается на стадии формирования и переноса капли электродного металла.

Как известно, требования к составу и свойствам наплавленного металла определяются условиями эксплуатации изделия, их выбор является сложной задачей, что объясняется различным протеканием износа в зависимости от условий работы.

Наплавленный материал выбирается с учетом ведущего вида износа при эксплуатации, которому уделяется основное внимание.

В настоящее время практическое применение получила классификация наплавленного металла, использующая химический состав и структурные признаки. Характерные структуры, твердость и назначения наплавленного металла применительно к изделиям, работающим при высоких температурах, приведены в табл. 2.1 .

При эксплуатации наплавленного изделия в условиях действия высоких температур наплавленный металл должен иметь и высокую теплостойкость вместе с высокой износостойкостью. Это достигается дополнительным легированием сильными карбидообразующими элементами – вольфрамом, молибденом, ванадием. Распространены сплавы мартенситно-карбидного класса Fe – C – Cr – W (группа 3, табл. 2.1).

К теплостойкому наплавленному металлу группы 3 можно отнести и экономно легированный (безвольфрамовый) наплавленный металл X5MФ. Такой наплавленный металл принадлежит к мартенситно-карбидному классу, но в зависимости от конкретных условий наплавки и дальнейшей термической обработки матрица может иметь структуру бейнита, троостита, сорбита и перлита закалки, а также структуру продуктов распада мартенсита - троостита отпуска или сорбита отпуска.

Электроды для наплавки выбираются в зависимости от технологии наплавки и условий работы наплавленного металла. Свойства наплавленного металла зависят от предварительного подогрева, методов наплавки, погонной энергии, условий охлаждения, массы и химического состава, термической обработки. Поэтому при наплавке одними и теми же электродами, можно

получить металл, обладающий различными свойствами. Необходимые свойства обеспечиваются соответствующей системой легирования.

Для наплавки рассматриваемой номенклатуры изделий рекомендуются электроды: ОЗШ-1, ОЗШ-2, ОЗШ-6, ЦН-14, КПИ ГШ-1 (штампы для горячей штамповки) и ОЗИ-3, ОЗИ-4, ОЗИ-5, ЦИ-1М, КПИ РИ-1 (высокое давление, удары, скольжение, окислительная атмосфера, теплосмены, штампы горячей штамповки).

Таблица 2.1 - Химический состав, твердость и назначение наплавленного металла разных типов

Группа, тип	Химический состав	Структура, твердость	Назначение
2. Нелегированные и низколегированные стали, > 0,4 % С	$C > 0,4$ , $Si \leq 1,0$ , $Ni \leq 3,0$ , $Mn = 0,5 \dots 3,0$ , $Cr \leq 3,0$ , $Mo \leq 1,0$	Мартенсит, остаточный аустенит, игольчатый троостит и карбиды  52...60 HRC	Наплавка деталей металлургического оборудования, работающего в условиях циклических теплосмен, переменных силовых нагрузок (валки горячей прокатки, ножи горячей резки, штампы горячей штамповки, ролики рольгангов)
3. Хромо-вольфрамовые, хромомолибденовые и другие теплостойкие инструментальные стали	$C = 0,2 \dots 0,5$ , $Si \leq 1,0$ , $Ni \leq 5,0$ , $V = 0,2 \dots 1,5$ , $Mn \leq 0,2$ , $Cr = 1,0 \dots 5,0$ , $W = 1,0 \dots 10,0$ , $Mo \leq 1,0$	Мартенсит, остаточный аустенит и карбиды  52...60 HRC	Наплавка деталей металлургического оборудования, работающего в условиях циклических теплосмен, переменных силовых нагрузок (валки горячей прокатки, ножи горячей резки, штампы горячей штамповки, ролики рольгангов)

Восстановление деталей с применением ручной дуговой наплавки предусматривает использование обычных источников питания сварочной дуги. При задании параметров режима наплавки необходимо учитывать, что избыточная сила сварочного тока приводит к снижению качества наплавки. В числе недостатков способа следует указать низкую производительность, высокие потери электродного металла на угар, разбрызгивание и огарки. Ручную дуговую наплавку следует выполнять преимущественно на плоских поверхностях, изделие следует располагать в нижнем положении. Толщина наплавляемого слоя составляет от 3 до 10 мм.

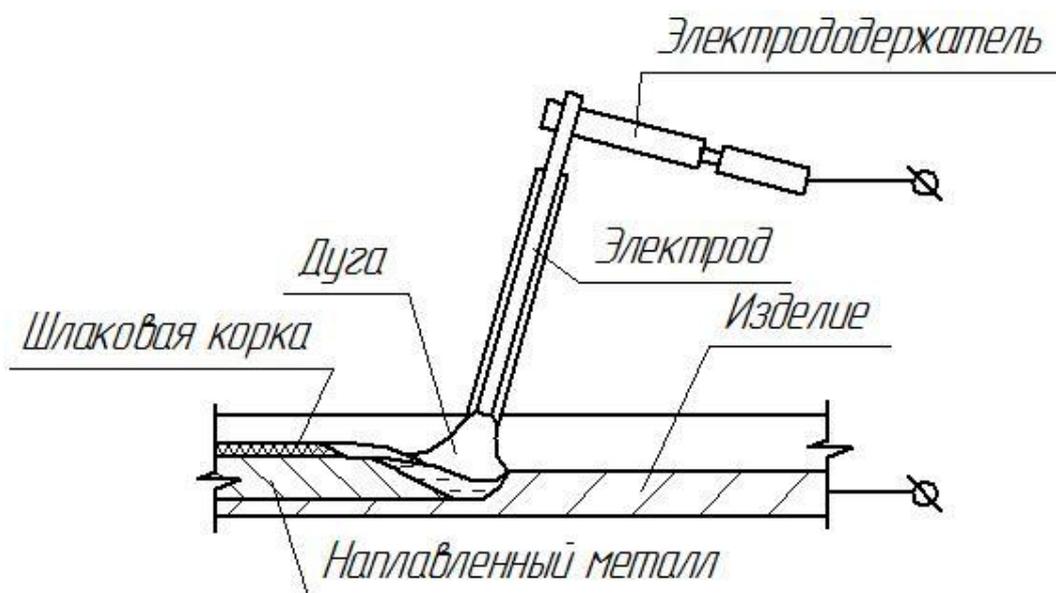


Рисунок 2.1 – Схема дуговой наплавки штучными электродами

К недостаткам, которыми обладает наплавка штучными электродами, можно отнести малую производительность плавления, которая обусловлена низкой плотностью тока на электроде, потерю части электродного материала на огарки, а также существенную зависимость качества сварных соединений от квалификации и кондиции сварщика. Тем не менее, следует отметить широкие границы для регулирования сварочных свойств за счёт возможности существенного изменения состава покрытия электродов. Это приводит к тому, что и в настоящее время сохраняется высокая конкурентоспособность ручной дуговой наплавки штучными электродами по сравнению с механизированными способами сварки.

## 2.1.2 Наплавка самозащитными порошковыми проволоками

При наплавке самозащитными порошковыми проволоками обеспечение газовой защиты происходит путём введения в состав шихты сердечника проволоки карбонатов (мрамора, магнезит, кальцинированная сода) или органических компонентов. Большинство сердечников порошковых проволок в числе обязательных компонентов содержат плавиковый шпат, который повышает жидкотекучесть шлака и улучшает рафинирование наплавляемого металла. Самозащитные порошковые проволоки могут сильно отличаться по содержанию других шлакообразующих компонентов [8, 9, 10, 11].

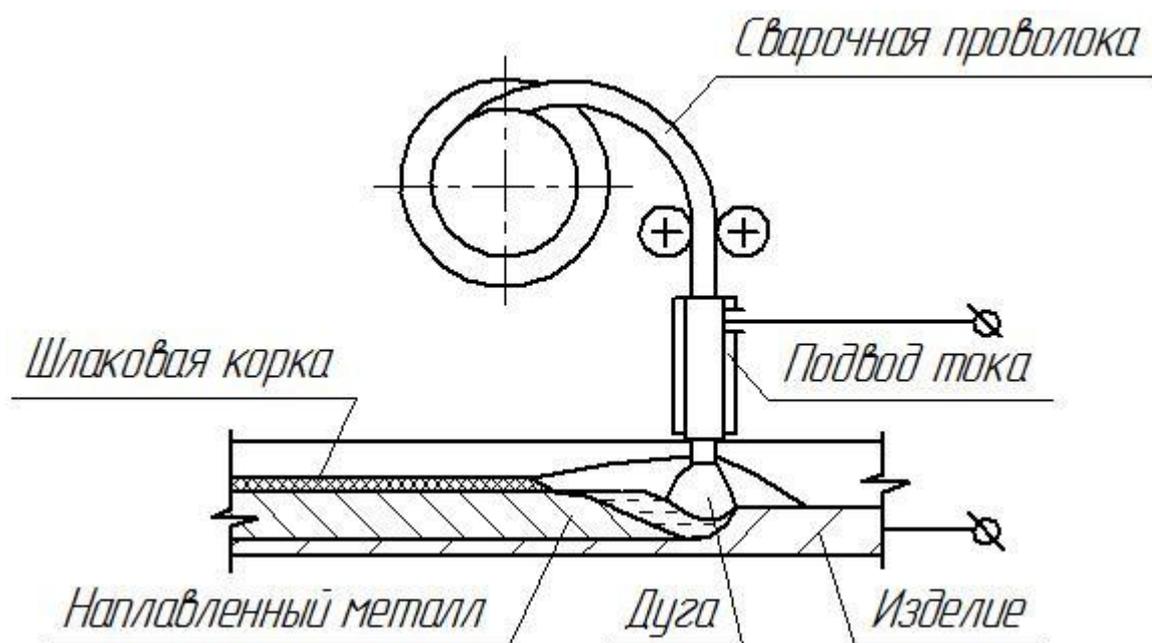


Рисунок 2.2 – Схема наплавки порошковой проволокой

Разработаны самозащитная порошковая проволока ПП-Х2ГСВ2Ф и электроды ЭН-Х2ГСВ2Ф, которые предназначены для наплавки режущего инструмента металла [12]. В состав шихты порошковой проволоки и в электродное покрытие вводились недефицитные газошлакообразующие компоненты (мрамор, рутил, плавиковый шпат) и легирующие (графит, ферросилиций, ферромарганец, феррохром, ферровольфрам и феррованадий). В качестве основы шлаковой системы использовали мрамор, рутил и плавиковый шпат.

Химический анализ однослойных и многослойных наплавов показал, что содержание легирующих элементов в них соответствует заданным пределам стали (табл. 2.2).

Таблица 2.2 – Химический состав металла однослойных и многослойных наплавов, %

Наименование	C	Si	Mn	Cz	W	V	S	P
Однослойный шов	0,55	0,87	1,09	1,70	1,74	0,13	0,02	0,038
Многослойный шов	0,84	1,06	1,14	2,02	2,55	0,19	0,012	0,034
Сталь Х2ГСВ2Ф	0,8... 1,1	0,7... 1,0	1,0... 1,4	1,7... 2,8	1,8... 2,8	0,2... 0,3	0,02	0,03

Анализ продольных и поперечных макрошлифов однослойной и многослойной наплавки, наплавленных порошковой проволокой и электродами, показал, что проплавление основного металла небольшое, в наплавленном металле отсутствовали наплывы, трещины, поры и другие дефекты. Закалка наплавленного металла при температуре 780...830 °С, охлаждение в масло подогретое до 50...70 °С и отпуск при 200 °С обеспечивали бесструктурный мартенсит с равномерно распределенными дисперсными карбидами и твердость 58...60 HRC. Микроструктура наплавленного металла после экзотермического отжига представляет собой мелкодисперсный перлит, в котором располагаются отдельные карбиды. При этом твердость отожженного наплавленного металла составляла 22...25 HRC.

Оценка сварочно-технологических свойств разрабатываемых наплавочных материалов производили по результатам наплавки однослойных и многослойных валиков на пластины из стали 45 размером 450 x 40 x 12 мм с предварительным подогревом до температуры 450...500 °С. Наплавка порошковой проволокой производилась с помощью полуавтомата

А-765 и выпрямителя ВС-600, а наплавку электродами - выпрямителя ВД-300.

Наплавка порошковой проволоки 2,5 мм производилась на режиме:  $I = 230 \dots 270$  А, напряжение  $U_d = 25 \dots 27$  В, скорость подачи проволоки – 188 м/ч, скорость наплавки – 10...12 м/ч, вылет электрода – 17...19 мм. Лучшие результаты обеспечивает состав, содержащий 15 % мрамора, 40 % плавленого шпата и 45 % бутилового концентрата. Внешний вид валика, наплавленного этим составом, приведен на рис. 2.3. Этот состав обеспечивал самопроизвольную отделимость шлаковой корки.

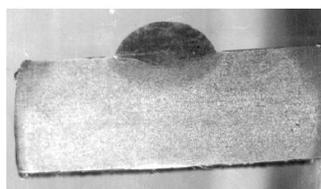


а)

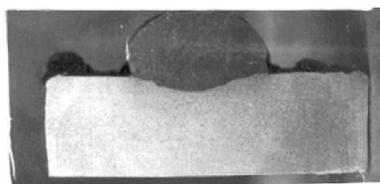


б)

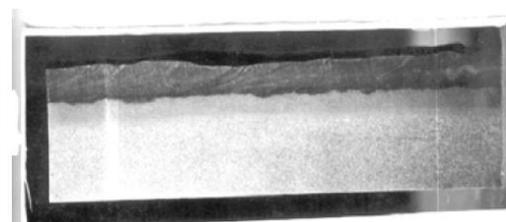
Рисунок 2.3 – Внешний вид наплавленного валика (а) и шлаковой корки (б) при наплавке порошковой проволокой ПП-Х2ГСВ2Ф



а)



б)



в)

Рисунок 2.4 – Вид макрошлифов при однослойной и многослойной наплавке: а) однослойный валик; б) многослойный валик; в) продольный многослойный валик

Для проверки изменения содержания легирующих элементов по высоте наплавленного металла исследуемыми электродами и порошковой проволокой на планки из стали 45 наплавлились однослойные и многослойные наплавки. С поверхности наплавленного металла через каждые 0,5 мм (для однослойных) и 10 мм (для многослойных) спектральным анализом определялся его химический состав. Средние результаты анализов для многослойной наплавки порошковой проволокой ПП-Х2ГСВ2Ф показали, что наплавленный металл по высоте слоя обладает хорошим постоянством состава. Дилатометрические исследования образца диаметром 3,6 мм и длиной 50 мм на дифференциальном дилатометре Шевенера позволили определить критические точки:  $A_{c1} = 770 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $A_{c3} = 800 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $A_{r1} = 410 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $A_{r3} = 690 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Оценка закаливаемости наплавленного металла производилась по результатам замера твердости. Образцы подвергались закалке с различных температур (730... 1000  $^{\circ}\text{C}$ ). Охлаждение в масло, подогретое до 50...70  $^{\circ}\text{C}$ . Отпуск при 200  $^{\circ}\text{C}$ . Результаты приведены на рис. 2.5.

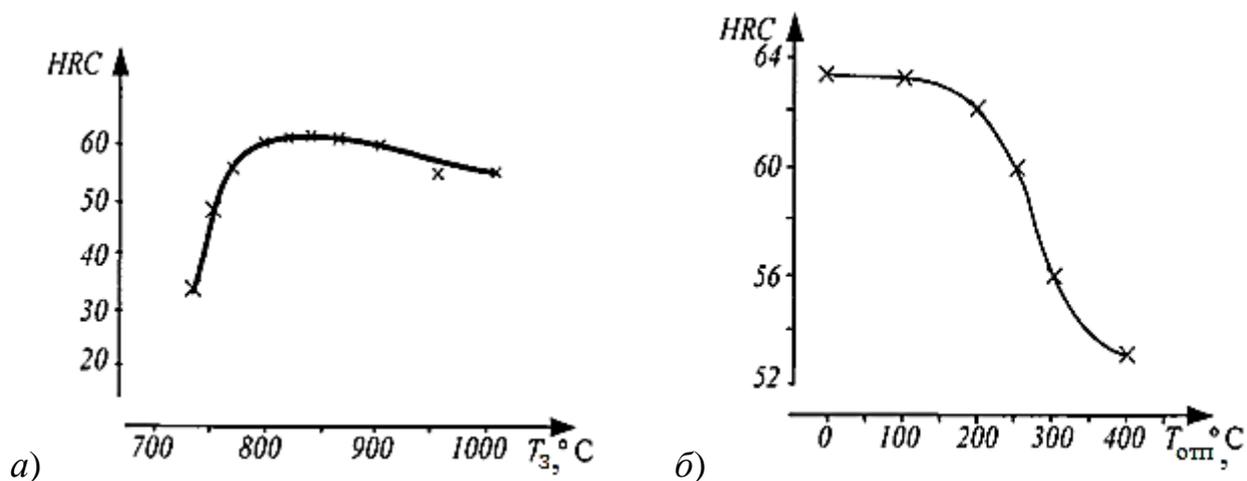


Рисунок 2.5 – Влияние температуры закалки (а) и температуры отпуска (б) на твёрдость наплавленного металла

Закалка наплавленного металла при температуре 780...830  $^{\circ}\text{C}$ , охлаждение в масло подогретое до 50...70  $^{\circ}\text{C}$  и отпуск при 200  $^{\circ}\text{C}$  обеспечивали бесструктурный мартенсит с равномерно распределенными дисперсными карбидами и твердость 58...60 HRC. Микроструктура

наплавленного металла после экзотермического отжига представляет собой мелкодисперсный перлит, в котором располагаются отдельные карбиды. При этом твердость отожженного наплавленного металла составляла 22...25 НРС.

### 2.1.3 Механизированная наплавка в среде защитного газа

Из всех способов автоматической дуговой наплавки, способ наплавки в  $\text{CO}_2$  наиболее технологичен и универсален, позволяет выполнять наплавку во всех пространственных положениях большинством материалов, применяемых в процессах наплавки: малоуглеродистыми, низко- и среднелегированными, а также некоторыми нержавеющей сталими [19, 20].

Защитная среда – углекислый газ, является легкодоступным и сравнительно недорогим средством защиты области дуги. Однако использование данного способа наплавки в ряде случаев ограничивает недостаточная эффективность технологического управления геометрическими параметрами валика наплавленного металла, большая глубина проплавления основного металла, низкая стабильность процесса, высокие потери электродного металла на разбрызгивание. Повышенным вниманием в последнее время также пользуются вопросы энергосбережения и улучшения экологичности процесса наплавки в  $\text{CO}_2$ .

Исследованиям, направленным на совершенствование этого технологического процесса, посвящено большое количество работ, из которых следует, что реализация управляемого переноса расплавленного электродного металла в сварочную ванну в большой степени определяет условия формирования наплавленного металла и технологичность способов дуговой сварки и наплавки в среде защитных газов.

Большое распространение при восстановлении изношенных деталей получила механизированная наплавка в углекислом газе плавящимся электродом сплошного сечения (рис. 2.6). Эта наплавка ведётся на постоянном токе обратной полярности. Вследствие того, что углекислый газ

окисляет металл сварочной ванны, требуется вводить в наплавочную проволоку раскислители (марганец, кремний и др.). Подбор типа и марки электродной проволоки следует выполнять исходя из материала подлежащей ремонту детали и требуемых свойств наплавленного металла.

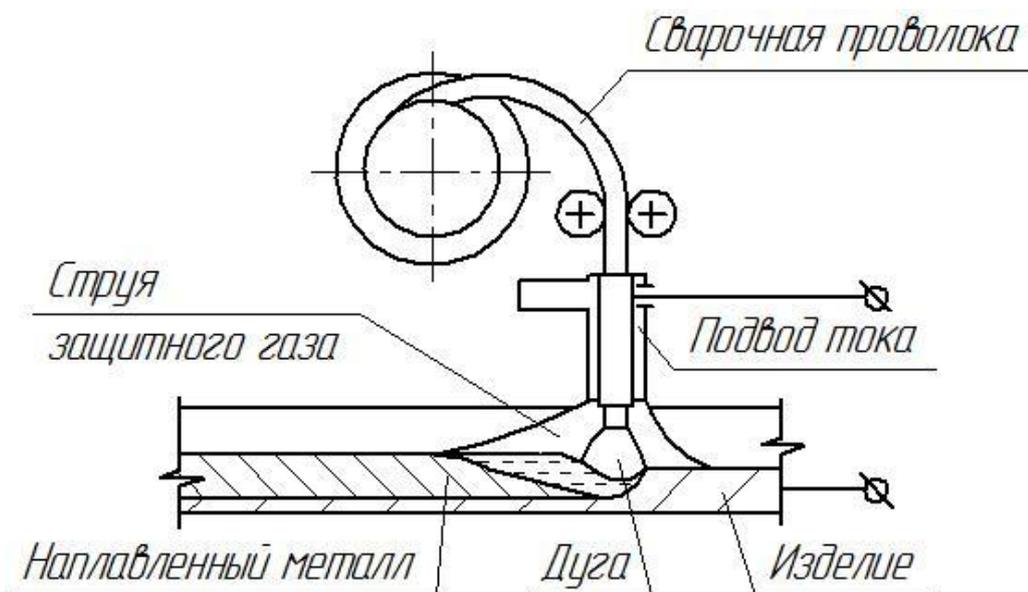


Рисунок 2.6 – Схема наплавки в защитных газах

Подачу электродной проволоки регулируют таким образом, чтобы при наплавке не было коротких замыканий или обрывов дуги. Скорость наплавки зависит от толщины наплавляемого металла качества формируемого слоя. Наплавку ведут с наложением валиков с шагом 2,5...3,5 мм. Перекрытие соседних валиков должно быть не менее чем на треть от ширины одного валика.

В числе преимуществ наплавки в среде защитного газа следует выделить: 1) возможность получения высокого качества наплавленного слоя для широкого спектра сочетаний металлов и толщин; 2) возможность получения наплавленного слоя высокой прочности; 3) однородный химический состав наплавленного слоя и основного металла восстанавливаемой детали; 4) инвариантность пространственных положений; 5) возможность осуществления наблюдения за процессом наплавки; 6) отсутствие необходимости применения флюса и удаления шлаковых

отложений; 7) высокая производительность и простота механизации способа наплавки.

В качестве недостатка способа следует отметить сильное разбрызгивание электродного металла, которое приводит к налипанию брызг расплавленного металла на мундштук и засоряет сопло горелки.

#### 2.1.4 Наплавка под флюсом

Дуговая наплавка под слоем флюса (рис. 2.7) порошковой проволокой или проволокой сплошного сечения приведёт к резкому увеличению производительности процесса восстановления. Также следует ожидать повышения качества наплавочных работ, улучшения условий труда сварщика. Объяснением повышения производительности наплавки служит увеличение силы сварочного тока и непрерывность процесса наплавки. Однако, нужно заметить, что повышенная сила сварочного тока не только увеличит производительность наплавки, но и существенно увеличит глубину проплавления и долю основного металла в наплавленном слое. Применительно к случаю наплавки износостойкими сплавами это будет крайне нежелательным.

Управление формированием сварочной ванны позволяет обеспечить качество сварного (наплавленного) шва при изменении параметров технологического процесса. В настоящее время разработаны технологии сварки и наплавки как проволочными [17], так и ленточными электродами [18], в которых повышение эффективности обеспечивается не стабилизацией параметров режима, а их изменением по определенным функциональным зависимостям.

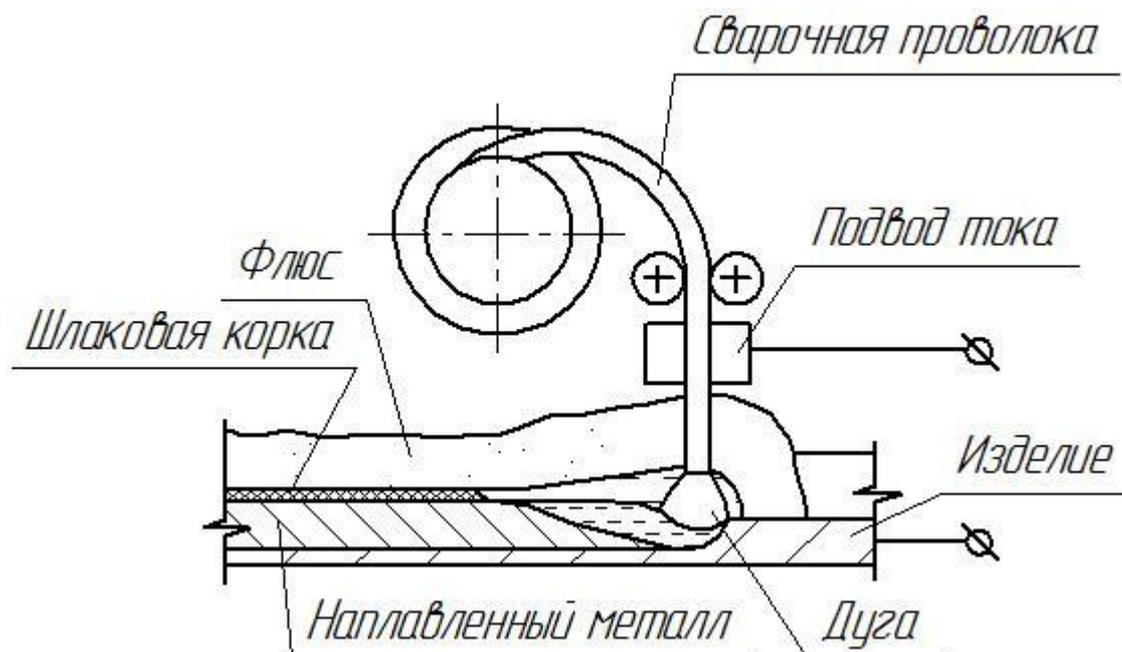


Рисунок 2.7 – Схема осуществления наплавки под флюсом

При нанесении восстановительных и защитных слоев основное внимание уделяется формированию наплавленного слоя, в то время как основной функцией зоны проплавления является надежное сцепление слоев для сохранения общей работоспособности наплавленного изделия или инструмента. увеличение зоны проплавления приводит не только к повышению себестоимости наплавки, но и к снижению рабочих свойств наплавленного слоя за счет его перегрева и увеличения доли основного металла в наплавленном.

Размеры зон наплавки и проплавления находятся в прямо пропорциональной зависимости от скорости подачи электрода при заданном типе и материале электрода, а также от условий его плавления. управление формированием этих зон требует четкого понимания механизма и последовательности их образования и их взаимного влияния. Протекание этих процессов в жидкой фазе обуславливает необходимость определения временных и скоростных характеристик движения фронта плавления как основу для построения математических моделей формирования шва.

## 2.1.5 Плазменная наплавка

Плазменно-порошковая наплавка безвольфрамовыми быстрорежущими сталями является перспективным направлением при восстановлении и изготовлении ряда изделий: режущих инструментов, фрез, резцов, метчиков, разверток, а также штампов глубокой вытяжки, штампов, ножей, шнеков экструдерных прессов, плунжеров насосов, штемпелей и форм для производства торфобрикетов, кирпича, топливных брикетов, брикетирования металлической стружки.

Однако в настоящее время промышленность не выпускает установки для плазменно-порошковой наплавки, а существующие установки импортного производства имеют крайне высокую стоимость [13]. Кроме того, зарубежные и выпускавшиеся ранее отечественные установки функционируют на постоянном токе одной полярности (в европейских странах применяется в основном наплавка на прямой полярности, а в Японии – на обратной [14, 15]). Менее распространены в промышленности плазменные установки переменного тока.

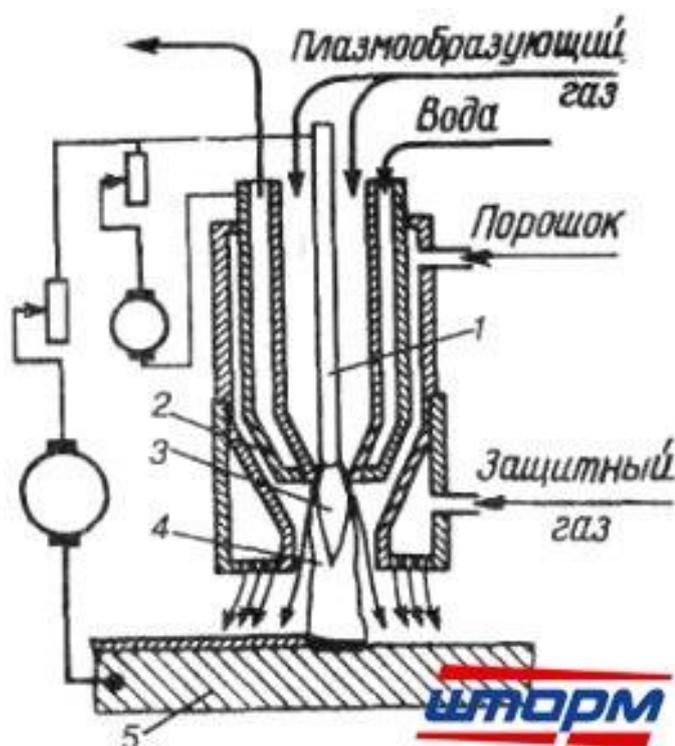
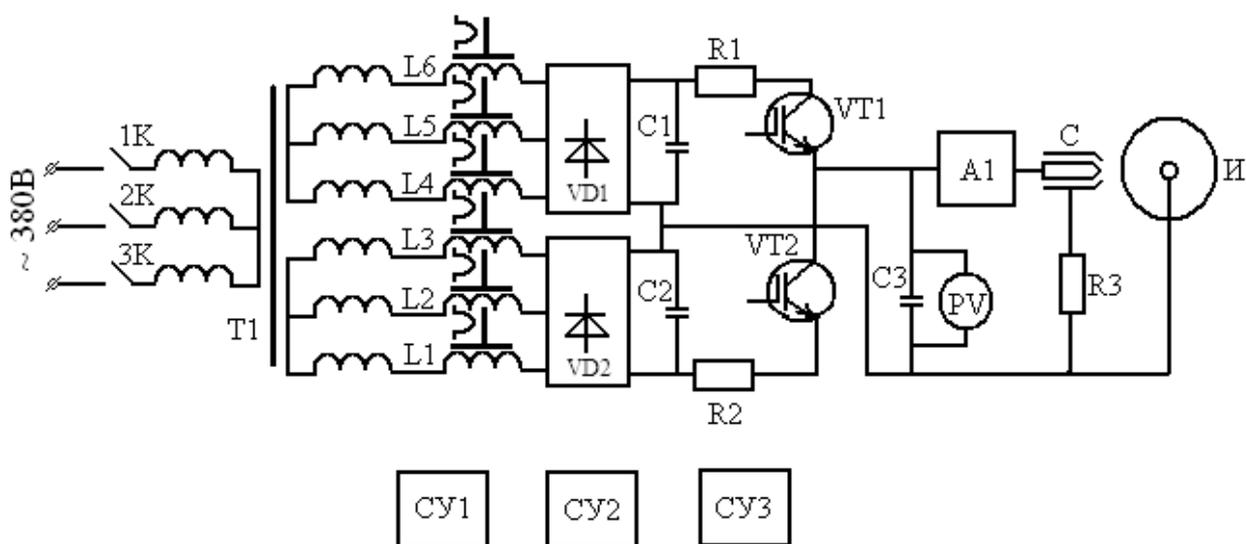


Рисунок 2.8 – Схема плазменной наплавки с вдуванием порошка в дугу

В работе [16] предложена установка плазменно-порошковой наплавки, источник питания которой создан на базе силового трансформатора выпрямителя ВДУ-505 (аналогичные силовые трансформаторы применялись в выпрямителях ВДУ-504, ВДУ-506, а также в выпрямителе КИУ-501 Каховского завода электросварочного оборудования (КЗЭСО), Украина). С целью облегчения формирования крутопадающей характеристики, необходимой для плазменной наплавки, первичные обмотки трансформатора включены звездой, что целесообразно. Вторичные полуобмотки также включены звездой (при этом каждая группа полуобмоток использовалась для питания одного из двух диодных выпрямительных блоков (рис. 2.9).



К – контактор; Т1 – силовой трансформатор; L1–L6 – дроссели насыщения; СУ1–СУ2 – схемы управления дросселями насыщения; СУ–3 – схема управления транзисторным коммутатором; VT1–VT2 – силовые IGBT-транзисторы; C1–C2 – конденсаторы; R1–R2 – балластные токоограничивающие резисторы; VD1–VD2 – диодные трехфазные мостовые выпрямители; C3 – защитный конденсатор; Δ1 – возбудитель

Рисунок 2.9 – Упрощенная принципиальная схема установки плазменной наплавки разнополярно-импульсным током

Для формирования тока применялись дроссели насыщения, применение которых позволяет осуществлять независимую регулировку токов импульсов прямой и обратной полярности и избежать провалов в сварочном токе, ухудшающих стабильность протекания процесса наплавки на разнополярно-импульсном режиме (провалы характерны для тиристорных регуляторов, работающих в режимах с большими углами отсечки).

Исследования показали, что при малых расходах защитного газа длина ламинарной части струи невелика (следовательно, качество защиты зоны наплавки невысокое); с увеличением расхода защитного газа длина ламинарной части газового потока увеличивается, достигая максимальных значений при расходе 16...17 л/мин, после чего наблюдается резкий спад, что объясняется увеличением скорости истечения газовой струи (в месте ее выхода из кольцевого зазора начинает проявляться эффект инжекции воздуха из атмосферы и деформирование турбулентных возмущений в газовой струе) (рис. 2.10).

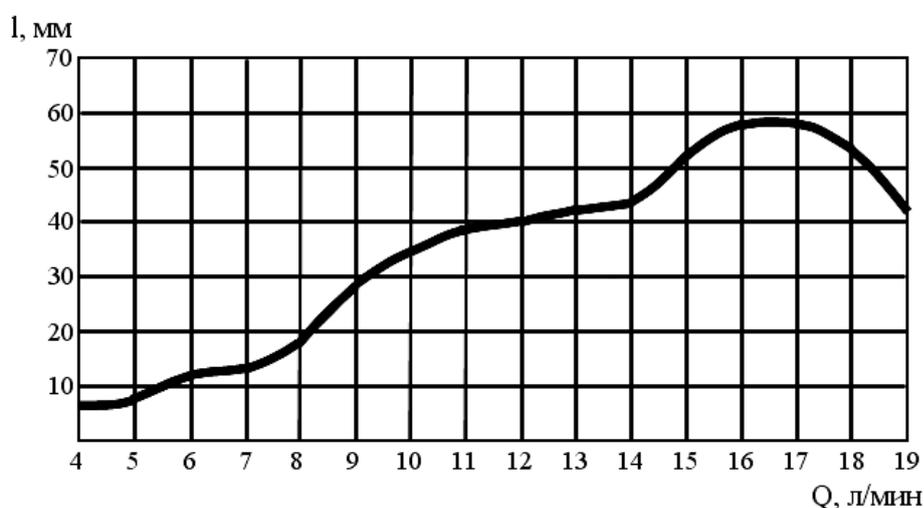


Рисунок 2.10 – Зависимость длины ламинарного потока струи защитного газа от его расхода,  $Q_{пл} = 2,5$  л/мин

Исследования показали, что для обеспечения равномерной подачи защитного газа в зазор между плазмообразующим и защитным соплами целесообразно подавать аргон через двенадцать равномерно расположенных по окружности отверстий, при этом установлено, что их диаметр должен

быть 0,5 мм при длине 4 мм. Установлено, что оптимальный расход защитного газа должен находиться в пределах от 9 до 17 л/мин. При увеличении его расхода до величины более 17 л/мин наблюдается резкое ухудшение качества защиты зоны наплавки.

## 2.2 Выбор наплавочного материала

Построение проектной технологии восстановительной плазменной наплавки предлагается выполнять с применением подачи порошка в сжатую дугу. В числе возможных вариантов наплавочного порошка нами рассмотрены четыре порошка: ПР-Х12МФ (табл. 2.3), ПР-Х12МФ3Т (табл. 2.4), ПР-10Р6М5 (табл. 2.5) и ПР-Х3ВМФ5С (табл. 2.6). Наплавку по проектной технологии будем выполнять с применением порошка ПР-Х12МФ, который имеет невысокую стоимость и позволяет получать при этом приемлемые свойства наплавленного слоя (рис. 2.11).

Таблица 2.3 – Химический состав порошка для наплавки ПР-Х12МФ

	Fe	C	Cr	Mo	V	Mn	Ni
ПР-Х12МФ	Осн.	1,5	12	0,5	0,3	0,4	0,4

Таблица 2.4 – Химический состав порошка для наплавки ПР-Х12МФ3Т

	Fe	C	Cr	Mo	V	Ti	Mn	Ni
ПР-Х12МФ3Т	Осн.	2,2	12	0,5	3	0,08	0,6	0,4

Таблица 2.5 – Химический состав порошка для наплавки ПР-10Р6М5

	Fe	C	Cr	W	Mo	V	Si	Mn	Ni
ПР-10Р6М5	Осн.	1	4	6,5	5	2	<0,5	0,55	0,4

Таблица 2.6 – Химический состав порошка для наплавки ПР-Х3ВМФ5С

	Fe	C	Cr	W	Mo	V	Si	Mn	Ni
ПР-Х3ВМФ5С	Осн.	1,3	3	1,5	1,5	5	0,8	0,5	0,4

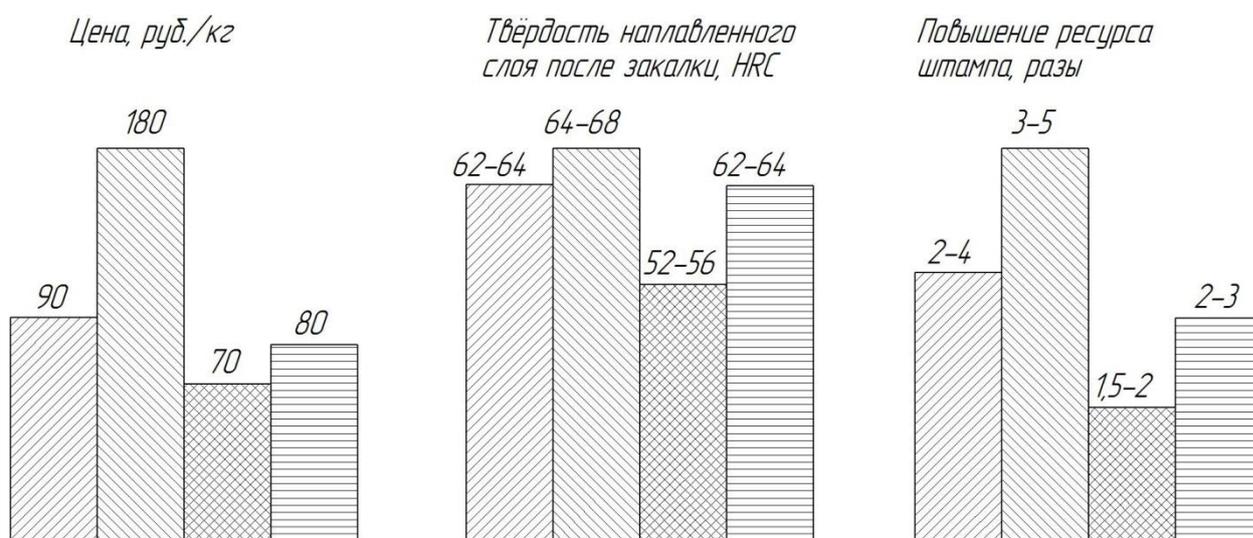


Рисунок 2.11 – Выбор порошка для восстановительной плазменной наплавки

### 2.3 Операции восстановительной плазменной наплавки

Восстановительная плазменная наплавка ножей включает в себя выполнение следующих операций:

- 1) отжига; 2) очистка поверхности ножа; 3) подготовка дефектного места (зачистка и разделка выкрошившихся частей); 4) предварительный подогрев; 5) наплавка; 6) высокий отпуск; 7) предварительный контроля качества наплавки; 8) механическая и термическая обработка ножа; 9) окончательный контроль качества.

**Отжиг** ножа позволит подготовить дефектные места под восстановительную наплавку. Задание параметров режима отжига производится в соответствии с маркой стали, из которой изготовлен нож. Может быть произведена замена отжига высоким отпуском. При выполнении отжига следует избегать окисления поверхности ножей. Для этого отжиг следует выполнять в плотно закрытых ящиках, в которые предварительно засыпан порошок древесного угля. Вместо засыпки древесным углём может быть использована обмазка рабочей поверхности защитной смесью слоем толщиной порядка 3 мм. Эта защитная смесь состоит из 15% кальцинированной соды, 40%, песка, 35% глины и 10 % воды. Отжиг

выполняют с нагревом до температуры 850...900 °С, время выдержки 2...4 часа.

При **подготовке дефектного места** удаляют трещины, острые углы, выкрошившиеся кромки и т. д. Снимают фаски и выполняют выточку по периметру наплавки. Глубина фаски приблизительно равна толщине наплавляемого слоя (от 0,5 до 2 мм). Перед наплавкой следует выполнить зачистку поверхности до металлического блеска, удалить окалину, масло, ржавчину и грязь.

Если необходимо выполнить разделку дефекта, то для этой цели применим плазменную поверхностную резку. Применение плазменной резки существенно повысит производительность разделки. Для этого используем плазмотрон и вольфрамовые электроды. Зададим параметры плазменной резки применим: род тока – постоянный; полярность тока – обратная; диаметр электрода – 8 мм; сила ток реза – 340...380 А; напряжение дуги – 22...45 В; скорость реза – 11...15 мм/с. Плазменную резку будем выполнять установкой УПР-201 с резаком ПРВ-202.

Для предупреждения трещин применим **предварительный подогрев**, температуру которого задают в соответствии с размерами восстанавливаемой детали. Применительно к случаю восстановительной плазменной наплавки ножей следует производить нагрев до температуры 200...300 °С.

Плазменную **наплавку** следует выполнять порошком с размерами частиц от 70 до 600 мкм. Высокая стабильность качества наплавки достигается, если порошок состоит из однородных частиц, разница в размерах которых не превышает 30 мкм. Задаём параметры режима наплавки: сила тока наплавки – 150...200 А, напряжение холостого хода – 120...160 В, рабочее напряжение на дуге – 40...45 В. Расход плазмообразующего газа – 1,5...2,5 л/мин, расход транспортирующего газа – 5...7 л/мин, расход защитного газа – 16 ... 20 л/мин. Расход охлаждающей воды – не менее 5 л/мин. Скорость наплавки принимается 0,15...0,18 м/мин,

при наплавке следует поддерживать расстояние между деталью и горелкой 10...18 мм, горелку следует вести с колебаниями 40...100 в минуту.

Выполнение **высокого отпуска и термической обработки** (закалки и отпуска) проводят на режимах, которые соответствуют марке стали изделия. При выполнении отжига следует избегать окисления поверхности ножей. Для этого отжиг следует выполнять в плотно закрытых ящиках, в которые предварительно засыпан порошок древесного угля. Отпуск проводят при температуре 700...750 °С, выдерживая 2...4 часа. Наплавка и термическая обработка позволяют восстановить стойкость ножей на 75...100%.

**Контролируют качество наплавки**, убеждаются в соответствии размеров наплавленного слоя заданным и в отсутствии дефектов.

Самыми часто встречающимися при наплавке дефектами являются трещины, поры и раковины. Также возможно получение несплавлений наплавленного слоя и основного металла.

Объём визуального контроля качества составляет 100 %. Визуальный осмотр проводят на всех наплавленных поверхностях по площади наплавки.

Замер твёрдости проводят на наплавленных поверхностях после предварительной механической обработки. Предварительная механическая обработка имеет припуск на окончательную механическую обработку 0,5 мм.

#### 2.4 Устройство для плазменной наплавки

Повышение эффективности плазменной наплавки предложено проводить с использованием горелки для плазменной наплавки.

Горелка (рис. 2.12) содержит медный электрод 1, в который при работе на постоянном токе прямой полярности помещена заподлицо цилиндрическая вставка 2 из циркония, гафния или графита. При работе на обратной полярности электрод 1 выполнен из меди, а в некоторых случаях электрод 1 может содержать вставку 2 из вольфрама. Через изолятор 3 электрод 1 соединен с плазмообразующим соплом 4. В плазмообразующем

сопле 4 выполнены осевой центральный канал 5, внутренний ряд 6 дополнительных каналов 7 и внешний ряд 8 дополнительных каналов 9. Число каналов 7 и 9 в каждом из рядов 6 и 8 составляет не менее трех и не более двенадцати. Число каналов одного ряда меньше, больше или равно числу каналов другого ряда. Оптимальным является одинаковое число каналов в каждом из рядов. Во всех случаях суммарное сечение каналов 7 из ряда 6 и суммарное сечение каналов 9 из ряда 8 удовлетворяет соотношению

$$S_1 = S_2 = 2 S_0, \quad (2.1)$$

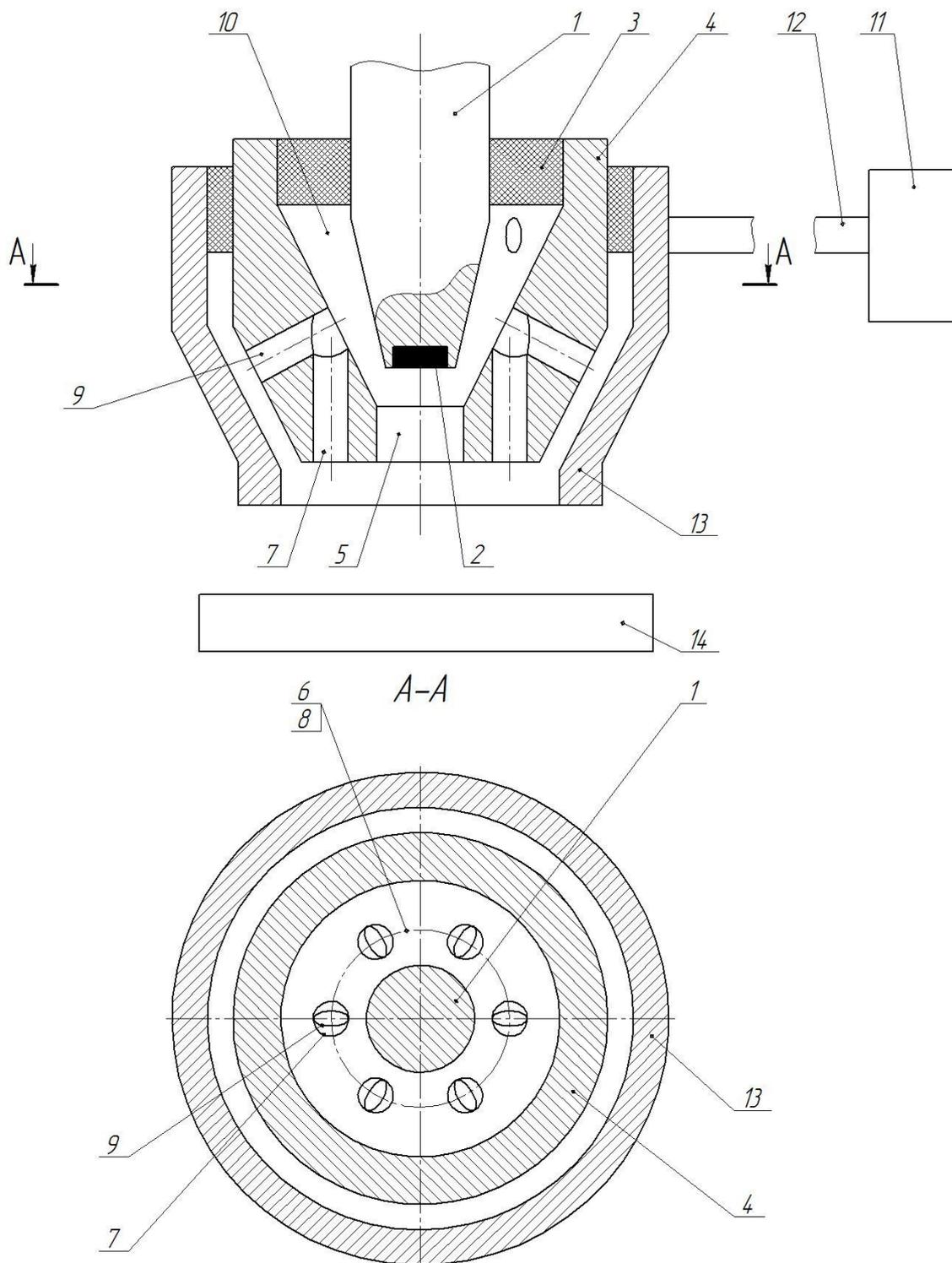
где  $S_1$  – суммарное число каналов 7 внутреннего ряда 6;

$S_2$  – суммарное сечение каналов 9 внешнего ряда 8;

$S_0$  – сечение осевого центрального канала.

Предлагаемая горелка работает следующим образом. Первоначально во внутреннюю полость 10 от источника 11 по трубопроводу 12 подается газ, являющийся одновременно плазмообразующим, стабилизирующим и защитным. Часть общего потока газа, являющаяся плазмообразующим, вытекает из полости 10 в атмосферу через осевой центральный канал 5 плазмообразующего сопла 4. Часть общего потока газа, являющаяся стабилизирующим, протекает через внутренний ряд 6 каналов 7. Часть общего потока, являющаяся защитным, протекает через внешний ряд 8 каналов 9 и зазор защитного сопла 13. Расходы плазмообразующего, стабилизирующего и защитного газа автоматически устанавливаются обратно пропорционально гидравлическим сопротивлениям соответствующих каналов. В отсутствие дуги гидравлические сопротивления главным образом определяются проходным сечением и количеством соответствующих каналов.

После того как установится стационарный расход газа через все каналы, между электродом 1 и соплом 4 возбуждается малоамперная дежурная дуга, опорные пятна которой располагаются на торцовой поверхности электрода 1, в частности на торцовой поверхности вставки 2 и на внешней поверхности сопла 4.



1 – электрод; 2 – вставка из циркония; 3 – изолятор; 4 – плазмообразующее сопло; 5 – осевой центральный канал; 6 и 8 – внутренний и внешний ряды каналов; 7 и 9 – каналы; 10 – внутренняя полость; 11 – источник газа; 12 – трубопровод; 13 – защитное сопло; 14 – изделие

Рисунок 2.12 – Горелка для плазменной наплавки

Столб дежурной дуги проходит в потоке плазмообразующего газа через канал 5, образуя на выходе из канала 5 плазменную струю. При касании плазменной струи изделия 14 между электродом 1, в частности между вставкой 2 и изделием, автоматически возбуждается рабочая плазменная дуга, столб которой проходит в потоке плазмообразующего газа через осевой центральный канал 5. После возбуждения рабочей плазменной дуги расходы плазмообразующего, стабилизирующего газа автоматически перераспределяются в соответствии с новым гидравлическим сопротивлением канала 5, через который проходит столб дуги.

В предложенной горелке дополнительные каналы 7 и 9, а также защитное сопло 11 выполнены таким образом, что они создают условия для одновременного и автоматического поддержания режима оптимального использования тепловой энергии плазменной дуги и режима наилучшего формирования и защиты сварочной ванны.

### **3 Безопасность и экологичность технического объекта**

#### **3.1 Технологическая характеристика объекта**

Участок, на котором выполняют восстановление и упрочнение ножей содержит следующие оборудования: установка плазменной резки УПР-201, установка плазменной наплавки, печь для отжига, источник питания, вспомогательное оборудование подготовки изделий.

Технологии сварки и наплавки представляют собой источник опасных и вредных производственных факторов. Это в свою очередь приводит к дополнительному усложнению и повышению стоимости оборудования для сварки и наплавки. В связи с этим актуальными являются работы в области изучения взаимосвязи особенностей технологии сварки и наплавки с выделениями сварочного аэрозоля и другими вредными факторами.

Влияние процесса плазменной наплавки на гигиенические характеристики изучено в недостаточной мере. В экологическом разделе настоящей выпускной квалификационной работы будет выполнена сравнительная гигиеническая оценка технологии плазменной наплавки и предложены меры по защите персонала от возникающих опасных и вредных факторов, сопровождающих проектную технологию.

Плазменная наплавка обладает высокой производительностью, она очень востребована в промышленности и позволяет не только восстановить работоспособность изделия, но и повысить его эксплуатационные характеристики. Тем не менее, продолжаются поиски путей улучшения её санитарно-гигиенических характеристик. Определены факторы, влияющие на уровень выделения аэрозоля, который состоит из газообразной составляющей сварочного аэрозоля и твердой составляющей сварочного аэрозоля.

Таблица 3.1 - Технологический паспорт объекта

Операция, осуществляемая в рамках рассматриваемого технологического процесса	Должность работника, выполняющего данную операцию рассматриваемого технологического процесса	Оборудование, устройства и приспособления, которые будут применены при реализации данной операции рассматриваемого технологического процесса	Вещества и материалы, которые будут применены при реализации данной операции рассматриваемого технологического процесса
1. Отжиг ножей	Контролёр по термообработке	Печь термообработки	Порошок древесного угла
2. Подготовка дефектного места	Слесарь-сборщик	Установка плазменной резки УПР-201, резак ПРВ-202	Воздух сжатый
3. Проведение предварительного подогрева ножей	Контролёр по термообработке	Печь термообработки	-
4. Осуществление восстановительной наплавки ножей	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	Установка плазменной наплавки	Порошок ПР-Х12МФ, аргон, вода техническая
5. Проведение высокого отпуска ножей	Контролёр по термообработке	Печь термообработки	Порошок древесного угла
6. Проведение контроля качества восстановленных ножей	Инженер - дефектоскопист	Лупа, твердомер ТН-134	-

### 3.2 Персональные риски, возникающие при реализации технологического процесса

Таблица 3.2 –Профессиональные риски, возникающие при реализации технологического процесса

Операция в рамках рассматриваемого технологического процесса	Формулировка опасных и вредных производственных факторов, возникающих в процессе выполнения данной операции при реализации технологического процесса	Источник рассматриваемого фактора, возникающего в процессе выполнения данной операции при реализации технологического процесса
1	2	3
1. Отжиг ножей	<ul style="list-style-type: none"> <li>- наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев;</li> <li>- перемещающиеся в процессе выполнения подготовительной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений;</li> <li>- опасность замыкания на тело рабочего высокого напряжения, питающего производственное оборудование;</li> <li>- повышенная запылённость и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- нагрев внешних поверхностей применяемого на операции оборудования, приспособлений, инструмента, деталей до высоких температур</li> </ul>	Печь термообработки
2. Подготовка дефектного места	<ul style="list-style-type: none"> <li>- наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев;</li> <li>- перемещающиеся в процессе выполнения подготовительной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений;</li> <li>- опасность замыкания на тело рабочего высокого напряжения, питающего производственное оборудование;</li> <li>- повышенная запылённость и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- нагрев внешних поверхностей применяемого на операции оборудования, приспособлений, инструмента, деталей до высоких температур</li> </ul>	Установка плазменной резки УПР-201, резак ПРВ-202

1	2	3
3. Проведение предварительного подогрева ножей	<ul style="list-style-type: none"> <li>- наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев;</li> <li>- перемещающиеся в процессе выполнения подготовительной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений;</li> <li>- опасность замыкания на тело рабочего высокого напряжения, питающего производственное оборудование;</li> <li>- повышенная запылённость и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- нагрев внешних поверхностей применяемого на операции оборудования, приспособлений, инструмента, деталей до высоких температур</li> </ul>	Печь термообработки
4. Осуществление восстановительной наплавки ножей	<ul style="list-style-type: none"> <li>- наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев;</li> <li>- перемещающиеся в процессе выполнения подготовительной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений;</li> <li>- опасность замыкания на тело рабочего высокого напряжения, питающего производственное оборудование;</li> <li>- повышенная запылённость и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- нагрев внешних поверхностей применяемого на операции оборудования, приспособлений, инструмента, деталей до высоких температур</li> </ul>	Установка плазменной наплавки
5. Проведение высокого отпуска ножей	<ul style="list-style-type: none"> <li>- наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев;</li> <li>- перемещающиеся в процессе выполнения подготовительной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений;</li> <li>- опасность замыкания на тело рабочего высокого напряжения, питающего производственное оборудование;</li> <li>- повышенная запылённость и загазованность воздуха рабочей зоны;</li> <li>- нагрев внешних поверхностей применяемого на операции оборудования, приспособлений, инструмента, деталей до высоких температур</li> </ul>	Печь термообработки
6. Проведение контроля качества	- повышенный уровень ультразвуковых волн в рабочей зоне	Ультразвуковой дефектоскоп

### 3.3 Разработанные технические и организационные предложения по уменьшению выявленных при анализе проектной технологии профессиональных рисков

Таблица 3.3 – Предложения по защите от вредных факторов производственного персонала

Перечень опасных и вредных производственных факторов, возникающих в процессе выполнения данной операции при реализации технологического процесса	Разработанные технические и организационные предложения, обеспечивающие минимальное действие вредного фактора на производственный персонал	Предлагаемые защитные средства для снижения действия вредного фактора на производственный персонал
1	2	3
1. Наличие на внешних поверхностях применяемого оборудования, приспособлений и инструмента острых кромок, заусенцев;	Инструктаж производственного персонала	Защитные перчатки, защитная одежда.
2. Перемещающиеся в процессе выполнения сборочной операции детали и узлы применяемого оборудования, приспособлений;	Ограждения перемещающихся деталей и узлов и их предохраняющая окраска, предупреждающие плакаты.	-
3. Нагрев внешних поверхностей применяемого на операции оборудования, приспособлений, инструмента, деталей до высоких температур	Инструктаж производственного персонала	Защитные перчатки, защитная одежда.
4. Опасность замыкания на тело рабочего высокого напряжения, питающего производственное оборудование;	Устройство и периодический контроль заземления электрических машин и изоляции	-

1	2	3
5. Ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений;	Осуществление экранирования зоны сварки с использованием щитов	Защитные перчатки и одежда, защитная маска.
6. Инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	Экранирование зоны сварочных работ	Защитные перчатки и одежда, защитная маска.
7. Ультразвуковое излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья.	Предупреждающие плакаты, обеспечение безопасного расстояния от источника излучения до оператора и безопасного времени пребывания в оператора в зоне излучения	-
8. Повышенная запылённость и загазованность воздуха рабочей зоны;	Инструктаж производственного персонала	Местная и общеобменная вытяжная вентиляция

#### 3.4 Разработанные технические и организационные предложения по обеспечению пожарной безопасности на участке сварки

Таблица 3.4 – Предложения технического характера по обеспечению пожарной безопасности на участке сварки

Средства для тушения возгораний в начальной стадии	Перечень мобильных средств для проведения тушения возгорания	Перечень стационарных систем пожаротушения	Системы пожарной автоматика для проведения тушения возгорания	Пожарное оборудование на участке сварки	Средства индивидуальной защиты и спасения производственного персонала	Установленный на участке инструмент для ликвидации возгораний	Системы связи и оповещения на участке сварки
Ящики с песком, кошма, огнетушитель ОП-5	Специализированные автомобили (вызываются)	Нет	Нет	-	План эвакуации,	Ведро, лопата, багор, топор	Тревожная кнопка

Таблица 3.5 – Анализ опасных факторов возможного пожара участка сварки

Участок, подразделение	Производственное оборудование участка	Возможный класс пожара	Опасные факторы пожара	Дополнительные проявления факторов пожара
Участок, на котором осуществляется ремонтная сварка	Кромкострогальный станок, машинка шлифовальная, источник питания сварочной дуги, сборочное приспособление, сварочный полуавтомат, аппарат ультразвукового контроля	пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)	Резкое повышение температуры на участке и вокруг него; выделение при горении токсичных продуктов и угарного газа; выделение аэрозолей, снижающих видимость на участке и вокруг него.	Короткие замыкания на оборудовании, запитанным высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения.

Таблица 3.6 – Разработанные организационные мероприятия для исключения возгораний на участке сварки

Перечень операций, осуществляемых в рамках разработанного технологического процесса	Наименование мероприятий	Наименование противопожарного оборудования, которым должен быть укомплектован участок
Подготовительная операция, термическая обработка, операции наплавки, контрольные операции.	Обучение производственного персонала правилам Пожарной безопасности, размещение на территории производственного участка наглядной агитации по обеспечению пожарной безопасности. Обучение производственного персонала действиям в случае возгорания на производственном участке в режиме учений.	Необходимо следить за наличием на участке средств, предназначенных для тушения пожара в начальной стадии, исправностью тревожной кнопки системы оповещения о пожаре.

### 3.5 Оценка безопасности для природной среды предлагаемых технических решений

Таблица 3.7 – Анализ негативно влияющих на природную среду факторов предлагаемых технических решений

Анализируемый технологический процесс	Операции, осуществляемые в рамках анализируемого технологического процесса	Факторы, негативно влияющие на атмосферу	Факторы, негативно влияющие на гидросферу	Факторы, негативно влияющие на литосферу
Ремонтная наплавка	Подготовительная операция, термическая обработка, операция наплавки, контрольные операции	Выделяемые в процессе горения плазменной дуги аэрозоли, частицы сажи и газообразные частицы	Химикаты, используемые в процессе проявления рентгеновской пленки и закрепления полученного изображения.	Упаковочный материал от присадочных материалов, мусор – бытовой и производственный.

Таблица 3.8 – Предлагаемые организационно-технические мероприятия, по уменьшению негативно влияющих на природную среду факторов предлагаемых технических решений

Рассматриваемый технический объект в рамках проектной технологии	Ремонтная наплавка металлических конструкций
Мероприятия, уменьшающие негативное влияние на литосферу	На участке следует установить контейнеры, обеспечивающие селективный сбор мусора бытового и мусора производственного. Кроме того, отдельный контейнер необходим для сбора металлолома. Производственный персонал следует подробно проинструктировать по правилам сбора мусора и металлолома. На контейнерах должны быть вывешены таблички, разъясняющие их предназначение.

### 3.6 Выводы по экологическому разделу

При выполнении экологического раздела настоящей выпускной квалификационной работы сформулированы опасные и вредные производственные факторы, возникающие в процессе выполнения операций при реализации технологического процесса. Выполнен поиск и анализ мероприятий, которые позволят устранить и уменьшить опасные и вредные производственные факторы. В ходе выполнения экологического раздела удалось установить, что возникающие в процессе реализации технологии плазменной наплавки, опасные и вредные факторы устраняются или уменьшаются до приемлемого уровня путём применения стандартных средств по обеспечению безопасности и санитарии производства. Применительно к рассматриваемой технологии нет необходимости в разработке дополнительных средств и методик по защите персонала и окружающей среды. При внедрении проектной технологии возможно возникновение угроз экологической безопасности. Устранение этих угроз произойдёт при условии соблюдения технологического регламента и производственной санитарии.

## 4 Оценка экономической эффективности выпускной квалификационной работы

### 4.1 Исходные данные для выполнения расчетов

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке технологических мероприятий по повышению производительности и качества плазменной наплавки ножей для горячей резки металла. Выполнение операций базового технологического процесса предусматривает применение ручной дуговой сварки. Это вызывает возникновение значительного числа дефектов и является причиной дополнительных временных затрат на ремонт дефектных участков. Проектный вариант технологии предусматривает применение плазменной наплавки. Предложенные технологические решения позволят уменьшить трудоемкость выполнения сварочных работ, достичь повышения стабильности качества соединений.

В таблице 4.1 собраны и систематизированы коэффициенты, и иные данные, которые могут понадобиться при выполнении расчетов.

Таблица 4.1 – Исходные данные для выполнения расчетов

№	Наименование и сущность экономического показателя	Принятое в расчётах условное обозначение для показателя	Единица измерения рассматриваемого экономического показателя	Величина рассматриваемого показателя в соответствии с вариантом технологического процесса	
				Базовая	Проектная
1	2	3	4	5	6
1	Принятое число рабочих смен	Ксм	-	1	1
2	Значение нормы амортизационных отчислений применительно к рассматриваемому в соответствующей технологии оборудованию	На	%	21,5	21,5

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6
3	Разряд сварщика	Р.р.		V	V
4	Значение часовой тарифной ставки	Сч	Р/час	200	200
5	Величина коэффициента, определяющего долю отчислений на формирование дополнительной заработной платы	Кдоп	%	12	12
6	Величина коэффициента, определяющего долю доплат к основной заработной плате	Кд		1,88	1,88
7	Величина коэффициента, определяющего долю отчислений на обеспечение социальных нужд	Ксн	%	34	34
8	Величина коэффициента, определяющего долю затрат на амортизационные отчисления на площади	На.пл.	%	5	5
9	Принятое значение стоимости эксплуатации производственных площадей	Сзксп	(Р/м <sup>2</sup> )/год	2000	2000
10	Цена приобретения производственных площадей	Цпл	Р/м <sup>2</sup>	30000	30000
11	Суммарная площадь, занимаемая оборудованием для обеспечения соответствующей технологии	S	м <sup>2</sup>	20	20
12	Величина коэффициента, определяющего долю транспортно-заготовительных расходов	Кт -з	%	5	5
13	Величина коэффициента, определяющего долю затраты на осуществление монтажа и демонтажа оборудования	Кмонт Кдем	%	3	5
14	Величина рыночной стоимости технологического оборудования для обеспечения соответствующей технологии:	Цоб	Руб.	23 тыс.	900 тыс.
15	Величина коэффициента, определяющего долю затрат на дополнительную производственную площадь	Кпл	-	3	3
16	Задаваемое значение потребляемой мощности технологического оборудования	Муст	кВт	12	70

1	2	3	4	5	6
17	Принятое значение стоимость электрической энергии для обеспечения соответствующей технологии	Цэ-э	Р/ кВт	1,75	1,75
18	Величина коэффициента, определяющего временные затраты на выполнение нормы	Квн	-	1,1	1,1
19	Величина коэффициента полезного действия	КПД	-	0,7	0,7
20	Величина коэффициента, определяющего эффективность капитальных вложений	Ен	-	0,33	0,33
21	Величина коэффициента, определяющего долю цеховых расходов	Кцех	-	1,5	1,5
22	Величина коэффициента, определяющего долю заводских расходов	Кзав	-	1,15	1,15
23	Время машинное	$t_{\text{МАШ}}$	час	1,5	0,4
24	Производительность наплавки	Пр	кг/ч	1,8	7
25	Цена применяемых сварочных материалов: - электроды - порошка ПР-Х12МФ - аргона	Ц	руб/кг руб/кг руб/м <sup>3</sup>	240 - -	- 90 90
26	Расход применяемых сварочных материалов: - электродов - порошка ПР-Х12МФ - аргона	З	кг/изделие кг/изделие м <sup>3</sup> /час	200 - -	- 120 50

#### 4.2 Расчёт фонда времени

Значение годового фонда времени, в течение которого происходит работа рассматриваемого а базовой и проектной технологии оборудования, вычисляем согласно формуле:

$$F_H = (D_P \cdot T_{CM} - D_{II} \cdot T_{II}) \cdot C, \quad (4.1)$$

где  $T_{CM}$  – продолжительность в часах рабочей смены;

$D_P$  – суммарное для одного года число рабочих дней;

$D_{II}$  – суммарное для одного гола число предпраздничных дней;

$T_{\text{п}}$  – предполагаемые потери рабочего в часах времени от предпраздничных дней;

$C$  – принятое число рабочих смен.

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.1) результаты вычисления:

$$F_{\text{н}} = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209 \text{ ч.}$$

Значение эффективного фонда времени, в течение которого происходит работа оборудования по базовому и проектному вариантам технологии вычисляем согласно формуле:

$$F_{\text{э}} = F_{\text{н}} \cdot \left(1 - \frac{B}{100}\right), \quad (4.2)$$

где  $B$  – величина плановых потерь рабочего времени.

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.2) результаты вычисления:

$$F_{\text{э}} = 2209 \cdot \left(1 - \frac{7}{100}\right) = 2054 \text{ ч.}$$

#### 4.3 Расчет нормы штучного времени на изменяющиеся операции технологического процесса

Определение временных затрат, требуемых для выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному варианту технологий выполняем согласно формуле:

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{маш}} + t_{\text{всп}} + t_{\text{обсл}} + t_{\text{отл}} + t_{\text{п-з}}, \quad (4.3)$$

где  $t_{\text{шт}}$  – общий объём времени, затрачиваемого работающим персоналом на операции базовой и проектной технологии;

$t_{\text{маш}}$  – объём времени, затрачиваемого рабочим персоналом основные технологические операции базовой и проектной технологии;

$t_{\text{всп}}$  – объём времени, затрачиваемого рабочим персоналом на подготовительные операции по базовой и проектной технологии, составляющие 10% от  $t_{\text{маш}}$ ;

$t_{\text{ОБСЛ}}$  – объём времени, затрачиваемы рабочим персоналом на проведение обслуживания, текущего и мелкого ремонта оборудования, составляющие 5%  $t_{\text{МАШ}}$ ;

$t_{\text{ОТЛ}}$  – объём времени, затрачиваемого рабочим персоналом на выполнение потребностей в личном отдыхе, составляющий 5%  $t_{\text{МАШ}}$ ;

$t_{\text{П-З}}$  – объём времени, затрачиваемого рабочим персоналом на выполнение подготовительно – заключительных операций, составляющий 1%  $t_{\text{МАШ}}$ .

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.3) результаты вычисления:

$$t_{\text{шт.баз}} = 1,5 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 1,82 \text{ ч.}$$

$$t_{\text{шт.проектн.}} = 0,4 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 0,49 \text{ ч.}$$

Размер годовой программы проводимого объема работ вычисляем согласно формуле:

$$П_{\Gamma} = \frac{F_{\text{Э}}}{t_{\text{шт}}} \quad (4.4)$$

где  $F_{\text{Э}}$  – значение эффективного фонда времени оборудования, принимаемого для реализации проектной и базовой технологии;

$t_{\text{шт}}$  – штучное время, затрачиваемое на выполнение одного стыка;

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.4) результаты вычисления:

$$П_{\Gamma.\text{баз.}} = 2054/1,82 = 1128 \text{ изд./ год};$$

$$П_{\Gamma.\text{проектн.}} = 2054/0,49 = 4191 \text{ изд./ год.}$$

Выполнение дальнейшего экономического расчёта будем вести исходя их принятого значения  $П_{\Gamma} = 1000$  изделий за год.

Необходимое количество оборудования для реализации проектного и базового технологического процесса вычисляем согласно формуле::

$$n_{\text{РАСЧ}} = \frac{t_{\text{шт}} \cdot П_{\Gamma}}{F_{\text{Э}} \cdot K_{\text{ВН}}} \quad (4.5)$$

где  $t_{\text{шт}}$  – штучное время, затрачиваемое на выполнение одного стыка;

Пг – принятая годовая программа;

Фэ – значение эффективного фонда времени оборудования, принимаемого для реализации проектной и базовой технологии;

Квн – значение коэффициента, определяющего временные затраты на выполнение нормы.

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.5) результаты вычисления:

$$n_{РАСЧБ} = \frac{1,82 \cdot 1000}{2054 \cdot 1,1} = 0,81$$

$$n_{РАСЧП} = \frac{0,49 \cdot 1000}{2054 \cdot 1,1} = 0,22$$

По результатам проведённых расчётов следует принять по одной единице технологического оборудования при реализации базовой технологии и проектной технологии.

Значение коэффициента загрузки оборудования вычисляем согласно формуле:

$$Кз = n_{расч}/n_{пр} \quad (4.6)$$

где  $n_{расч}$  – рассчитанное по (4.5) количество оборудования;

$n_{пр}$  – принятое количество оборудования.

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.6) результаты вычисления:

$$Кзб = 0,81/1 = 0,81$$

$$Кзп = 0,22/1 = 0,22$$

#### 4.4 Расчет заводской себестоимости базового и проектного вариантов технологии

Размер затрат на материалы, которые требуются для реализации базовой и проектной технологии, вычисляем согласно формуле:

$$M = Ц_m \cdot N_p \cdot K_{Т-З}, \quad (4.7)$$

где  $Ц_m$  – рыночная стоимость соответствующего сварочного материала;

$K_{т-з}$  – величина коэффициента, определяющего долю транспортно-заготовительных расходов.

$$M_{\text{баз.}} = 120 \cdot 2 \cdot 1,05 = 252,00 \text{ рублей}$$

$$M_{\text{проектн.}} = 90 \cdot 0,6 \cdot 1,05 + 50 \cdot 0,3 \cdot 9 \cdot 1,05 = 56,70 + 141,75 = 198,45 \text{ рублей}$$

Размер фонда заработной платы (ФЗП) является суммой основной зарплаты и дополнительной зарплаты. Размер основной зарплаты вычисляем согласно формуле:

$$Z_{\text{осн}} = t_{\text{шт}} \cdot C_{\text{ч}} \cdot K_{\text{д}} \quad (4.8)$$

где  $C_{\text{ч}}$  – принятая тарифная ставка;

$K_{\text{д}}$  – величина коэффициента, определяющего долю доплат к основной заработной плате.

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.8) результаты вычисления:

$$Z_{\text{осн.баз.}} = 1,82 \cdot 200 \cdot 1,88 = 684,32 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн.проектн.}} = 0,49 \cdot 200 \cdot 1,88 = 184,24 \text{ руб.}$$

Размер дополнительной заработной платы вычисляем согласно формуле:

$$Z_{\text{доп}} = \frac{K_{\text{доп}}}{100} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (4.9)$$

где  $K_{\text{доп}}$  – величина коэффициента, определяющего долю отчислений на дополнительную заработную плату

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.9) результаты вычисления:

$$Z_{\text{доп.базов.}} = 684,32 \cdot 12/100 = 82,12 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{доп.проектн.}} = 184,24 \cdot 12/100 = 22,11 \text{ руб.};$$

$$\text{ФЗП}_{\text{базов.}} = 684,32 + 82,12 = 766,44 \text{ руб.};$$

$$\text{ФЗП}_{\text{проектн.}} = 184,24 + 22,11 = 206,35 \text{ руб.}$$

Размер отчислений на социальные нужды вычисляем согласно формуле:

$$\text{Осн} = \text{ФЗП} \cdot \text{Ксн} / 100, \quad (4.10)$$

где Ксн – величина коэффициента, определяющего долю затрат на обеспечение социальных нужд.

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.10) результаты вычисления:

$$\text{Осс}_{\text{баз.}} = 766,44 \cdot 34 / 100 = 260,59 \text{ руб.}$$

$$\text{Осс}_{\text{проектн.}} = 206,35 \cdot 34 / 100 = 70,16 \text{ руб.}$$

Размер затрат на содержание и эксплуатацию технологического оборудования вычисляем согласно формуле:

$$Z_{\text{об}} = A_{\text{об}} + P_{\text{э-э}}, \quad (4.11)$$

где  $A_{\text{об}}$  – амортизация оборудования;

$P_{\text{э-э}}$  – размер затрат на электрическую энергию;

Размер амортизации оборудования вычисляем согласно формуле:

$$A_{\text{об}} = \frac{\text{Ц}_{\text{об}} \cdot \text{На} \cdot t_{\text{МАШ}}}{F_{\text{э}} \cdot 100} \quad (4.12)$$

где  $\text{Ц}_{\text{об}}$  – рыночная стоимость оборудования для реализации проектной и базовой технологии;

На – норма амортизации технологического оборудования для реализации проектной и базовой технологии.

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.12) результаты вычисления:

$$A_{\text{об.б}} = \frac{23000 \cdot 21,5 \cdot 1,82}{2054 \cdot 100} = 4,38 \text{ рублей}$$

$$A_{\text{об.пр}} = \frac{900000 \cdot 21,5 \cdot 0,49}{2054 \cdot 100} = 46,16 \text{ рублей}$$

Размер расходов на электроэнергию вычисляем согласно формуле:

$$P_{\text{э-э}} = \frac{M_{\text{УСТ}} \cdot t_{\text{маш}} \cdot \text{Ц}_{\text{э-э}}}{\text{КПД}} \quad (4.13)$$

где  $M_{\text{УСТ}}$  – мощность оборудования для реализации проектной и базовой технологии;

$C_{\text{э-э}}$  – стоимость электрической энергии при реализации проектной и базовой технологии;

КПД – значение коэффициента полезного действия оборудования для реализации проектной и базовой технологии.

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.13) результаты вычисления:

$$P_{\text{эБ}} = \frac{12 \cdot 1,75 \cdot 1,82 \cdot 1}{0,7} = 55,5 \text{ рублей}$$

$$P_{\text{эПР}} = \frac{70 \cdot 1,75 \cdot 0,49 \cdot 1}{0,8} = 75,03 \text{ рублей}$$

$$Z_{\text{оббаз.}} = 4,38 + 55,50 = 59,88 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{обпроектн.}} = 46,16 + 75,03 = 121,19 \text{ руб.}$$

Размер затраты на содержание и эксплуатацию площадей вычисляем согласно формуле:

$$Z_{\text{пл}} = P_{\text{пл}} + A_{\text{пл}}, \quad (4.14)$$

где  $P_{\text{пл}}$  – размер расходов на эксплуатацию и содержание площадей;

$A_{\text{пл}}$  – амортизация площадей.

Размер расходов на содержание площадей вычисляем согласно формуле:

$$P_{\text{пл}} = \frac{C_{\text{экспл}} \cdot S \cdot t_{\text{шт}}}{F_{\text{э}}}, \quad (4.15)$$

где  $C_{\text{экспл}}$  – затраты на содержание площадей

$S$  – площадь, занимаемая оборудованием.

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.15) результаты вычисления:

$$P_{\text{плБ}} = \frac{2000 \cdot 20 \cdot 1,82}{2054} = 35,44$$

$$P_{\text{плП}} = \frac{2000 \cdot 20 \cdot 0,49}{2054} = 9,54$$

Размер расходов на амортизацию площади вычисляем согласно формуле:

$$A_{\text{ПЛ}} = \frac{Ц_{\text{ПЛ}} \cdot \text{На}_{\text{ПЛ}} \cdot S \cdot t_{\text{ШГ}}}{F_{\text{Э}} \cdot 100}, \quad (4.16)$$

где  $\text{На}_{\text{ПЛ}}$  – норма амортизации площади;

$Ц_{\text{ПЛ}}$  – стоимость приобретения площадей

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.16) результаты вычисления:

$$A_{\text{ПЛб}} = \frac{30000 \cdot 5 \cdot 20 \cdot 1,82}{2054 \cdot 100} = 26,58$$

$$A_{\text{ПЛпр}} = \frac{30000 \cdot 5 \cdot 20 \cdot 0,49}{2054 \cdot 100} = 7,16$$

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.14) результаты вычисления:

$$З_{\text{ПЛб}} = 35,44 + 26,58 = 62,02 \text{ руб.}$$

$$З_{\text{ПЛпр}} = 9,54 + 7,16 = 16,70 \text{ руб.}$$

Размер технологической себестоимости вычисляем согласно формуле:

$$C_{\text{ТЕХ}} = M + \PhiЗП + \text{Осс} + З_{\text{ОБ}} + З_{\text{ПЛ}} \quad (4.17)$$

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.17) результаты вычисления:

$$C_{\text{ТЕХБаз.}} = 252 + 766,44 + 260,59 + 59,88 + 62,02 = 1400,93 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{ТЕХПроктн.}} = 198,45 + 206,35 + 70,16 + 121,19 + 16,70 = 612,85 \text{ руб.}$$

Размер цеховой себестоимости вычисляем согласно формуле:

$$C_{\text{ЦЕХ}} = C_{\text{ТЕХ}} + З_{\text{ОСН}} \cdot K_{\text{ЦЕХ}} \quad (4.18)$$

где  $K_{\text{ЦЕХ}}$  – величина коэффициента, определяющего долю цеховых расходов при реализации проектной и базовой технологии.

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.18) результаты вычисления:

$$C_{\text{ЦЕХБаз.}} = 1400,93 + 1,5 \cdot 684,32 = 1400,93 + 1026,48 = 2427,41 \text{ руб.,}$$

$$C_{\text{ЦЕХПроктн.}} = 612,85 + 1,5 \cdot 184,24 = 612,85 + 276,36 = 889,21 \text{ руб.}$$

Размер заводской себестоимости вычисляем согласно формуле:

$$C_{\text{ЗАВ}} = C_{\text{ЦЕХ}} + Z_{\text{ОСН}} \cdot K_{\text{ЗАВ}} \quad (4.19)$$

где  $K_{\text{ЗАВ}}$  – величина коэффициента, определяющего долю заводских расходов при реализации проектной и базовой технологии.

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.19) результаты вычисления:

$$C_{\text{ЗАВБаз.}} = 2427,41 + 1,15 \cdot 684,32 = 2427,41 + 786,97 = 3214,38 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЗАВПроектн.}} = 889,21 + 1,15 \cdot 184,24 = 889,21 + 211,88 = 1101,09 \text{ руб.}$$

#### 4.5 Калькуляция заводской себестоимости сварки по базовому и проектному варианту технологии

Таблица 4.2 – Заводская себестоимость сварки

№ п/п	ПОКАЗАТЕЛИ	Услов. обозн.	Калькуляция., руб	
			Базовый	Проектн.
1	Материалы	М	252	198,45
2	Фонд заработной платы	ФЗП	766,44	206,35
3	Отчисления на соц. нужды	$O_{\text{СН}}$	260,59	70,16
4	Затраты на оборудование	$Z_{\text{об}}$	59,88	121,19
5	Расходы на площади	$Z_{\text{пл}}$	62,02	16,70
	Себестоимость технологич.	Стех	1400,93	612,85
6	Расходы цеховые	Рцех	1026,48	276,36
	Себестоимость цеховая	Сцех	2427,41	889,21
7	Расходы заводские	Рзав	786,97	211,88
	Себестоимость заводская	$C_{\text{ЗАВ}}$	3214,38	1101,09

#### 4.6 Капитальные затраты по базовому и проектной технологиям

Размер капитальных затрат, требующихся для реализации базовой технологии, вычисляем согласно формуле:

$$K_{\text{ОБЩБ}} = K_{\text{ОББ}} = n \cdot Ц_{\text{ОББ}} \cdot K_{\text{ЗБ}}, \quad (4.20)$$

где  $K_{\text{З}}$  – величина коэффициента, определяющего долю загрузки технологического оборудования;

$\text{Ц}_{\text{ОБ.Б.}}$  – размер в рублях остаточной стоимости оборудования, определяемый согласно сроку службы;

$n$  – принятое количество единиц оборудования для выполнения заданной производственной программы по базовой технологии.

$$\text{Ц}_{\text{ОБ.Б.}} = \text{Ц}_{\text{ПЕРВ.}} - (\text{Ц}_{\text{ПЕРВ.}} \cdot \text{Т}_{\text{СЛ}} \cdot \text{Н}_{\text{А}} / 100), \quad (4.21)$$

где  $\text{Ц}_{\text{ПЕРВ.}}$  – рыночная стоимость в рублях приобретения технологического оборудования для реализации базовой технологии;

$\text{Т}_{\text{СЛ}}$  – срок службы в годах оборудования для реализации базовой технологии на начало внедрения предлагаемых в выпускной квалификационной работе технических решений;

$\text{Н}_{\text{А}}$  – норма амортизации в процентах оборудования для реализации базового технологического процесса.

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.20) и в формулу (4.21) результаты вычисления:

$$\text{Ц}_{\text{ОБ.Баз.}} = 23000 - (23000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 8165 \text{ рублей}$$

$$\text{К}_{\text{ОБЩБаз.}} = 1 \cdot 8165 \cdot 0,81 = 6614 \text{ рублей}$$

Размер общих капитальных затрат для реализации проектной технологии вычисляем согласно формуле:

$$\text{К}_{\text{ОБЩПР}} = \text{К}_{\text{ОБПР}} + \text{К}_{\text{ПЛПР}} + \text{К}_{\text{СОПР}} \quad (4.22)$$

где  $\text{К}_{\text{ОБПР}}$  – принятая величина капитальных вложений в технологическое оборудование;

$\text{К}_{\text{ПЛ}}$  – принятая величина капитальных вложений в площади;

$\text{К}_{\text{СОП}}$  – принятая величина сопутствующих капитальных вложений.

$$\text{К}_{\text{ОБПР}} = \text{Ц}_{\text{ОБПР}} \cdot \text{К}_{\text{Т-З}} \cdot \text{К}_{\text{ЗПР}} \quad (4.23)$$

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.23) результаты вычисления:

$$\text{К}_{\text{ОБПР}} = 900000 \cdot 1,05 \cdot 0,22 = 207900 \text{ руб.}$$

$$\text{К}_{\text{СОП}} = \text{К}_{\text{ДЕМ}} + \text{К}_{\text{МОНТ}} \quad (4.24)$$

где  $K_{\text{ДЕМ}}$  – размер затрат на демонтаж оборудования для реализации базовой технологии;

$K_{\text{МОНТ}}$  – величина коэффициента, определяющего долю расходов на монтаж оборудования.

$$K_{\text{ДЕМ}} = C_{\text{Б}} \cdot K_{\text{ДЕМ}} \quad (4.25)$$

где  $K_{\text{ДЕМ}}$  – величина коэффициента, определяющего долю расходов на демонтаж оборудования.

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.25) результаты вычисления:

$$K_{\text{ДЕМ}} = 1 \cdot 23000 \cdot 0,05 = 11500 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{МОНТ}} = C_{\text{ПР}} \cdot K_{\text{МОНТ}}, \quad (4.26)$$

где  $K_{\text{МОНТ}}$  – величина коэффициента, определяющего долю затрат на монтаж оборудования для реализации проектной технологии.

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.24) и в формулу (4.26) результаты вычисления:

$$K_{\text{МОНТ}} = 900000 \cdot 0,05 = 45000 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{СОП}} = 11500 + 45000 = 57000 \text{ руб.}$$

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.22) результаты вычисления:

$$K_{\text{ОБЩПР}} = 207900 + 57000 = 264900 \text{ руб.}$$

Размер дополнительных капитальных вложений вычисляем согласно формуле:

$$K_{\text{ДОП}} = K_{\text{ОБЩПР}} - K_{\text{ОБЩБ}}. \quad (4.27)$$

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.27) результаты вычисления:

$$K_{\text{ДОП}} = 264900 - 6614 = 258286 \text{ руб.}$$

#### 4.7 Показатели экономической эффективности проектной технологии

Снижения трудоемкости вычисляем согласно формуле:

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{t_{\text{штБ}} - t_{\text{штПР}}}{t_{\text{штБ}}} \cdot 100\% \quad (4.28)$$

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.28) результаты вычисления:

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{1,82 - 0,49}{1,82} \cdot 100\% = 73\%$$

Показатель повышения производительности труда вычисляем согласно формуле:

$$П_{\text{T}} = \frac{100 \cdot \Delta t_{\text{шт}}}{100 - \Delta t_{\text{шт}}} \quad (4.29)$$

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.29) результаты вычисления:

$$П_{\text{T}} = \frac{100 \cdot 73}{100 - 73} = 270\%$$

Снижение технологической себестоимости труда вычисляем согласно формуле:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{C_{\text{ТЕХБ}} - C_{\text{ТЕХПР}}}{C_{\text{ТЕХБ}}} \cdot 100\% \quad (4.30)$$

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.30) результаты вычисления:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{1400,93 - 612,85}{1400,93} \cdot 100\% = 56\%$$

Условно-годовую экономию (ожидаемую прибыль) вычисляем согласно формуле:

$$Пр_{\text{ож.}} = Э_{\text{у.г.}} = \left( C_{\text{зав}}^{\text{б}} - C_{\text{зав}}^{\text{пр}} \right) \cdot П_{\text{T}} \quad (4.31)$$

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.31) результаты вычисления:

$$\text{Э}_{\text{у.г.}} = (3214,38 - 1101,09) \cdot 1000 = 2113290 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений вычисляем согласно формуле:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{доп}}}{\text{Э}_{\text{у.г.}}} \quad (4.32)$$

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.32) результаты вычисления:

$$T_{\text{ок}} = \frac{258286}{2113290} = 0,122$$

Годовой экономический эффект в сфере производства вычисляем согласно формуле:

$$\text{Э}_{\text{г}} = \text{Э}_{\text{у.г.}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}} \quad (4.33)$$

После подстановки соответствующих значений в формулу (4.33) результаты вычисления:

$$\text{Э}_{\text{г}} = 2113290 - 0,122 \cdot 258286 = 2028055 \text{ руб.}$$

#### 4.8 Заключение по экономическому разделу

Экономический раздел настоящей выпускной квалификационной работы посвящён определению основных экономических показателей, которые могут охарактеризовать проектную и базовую технологии: технологической и заводской себестоимости ремонтной сварки.

В ходе выполнения расчётов установлено, что проектная технология при внедрении в производство позволит получить положительные эффекты: уменьшить трудоемкость на 73 %, увеличить производительность труда на 270 %, уменьшить технологическую себестоимость на 56 %. Размер расчётной величины условно-годовой экономии составил приблизительно 2,11 млн. рублей.

Размер годового экономического эффекта, оцененный с учетом капитальных вложений в приобретаемое технологическое оборудование, составил 2,03 млн. рублей. Финансовые затраты на капитальные вложения в технологическое оборудование окупятся за 0,3 года.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод о высокой экономической эффективности предлагаемых в выпускной квалификационной работе технологических решений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей выпускной квалификационной работе была поставлена цель – повышение эффективности технологических процессов восстановления и упрочнения ножей для горячей резки металла. Анализ современных источников научно-технической информации по вопросу восстановления и частей механизмов, работающих в условиях нагрева и циклического нагружения, позволил выделить следующие способы восстановления: 1) ручная дуговая наплавка; 2) механизированная наплавка в защитных газах; 3) наплавка под слоем флюса; 4) наплавка порошковыми самозащитными проволоками; 5) плазменная наплавка.

Сформулированы задачи, последовательное решение которых позволит достигнуть поставленной цели: 1) выполнить анализ альтернативных способов восстановительной наплавки и обосновать выбор способа восстановительной наплавки применительно к рассматриваемой детали; 2) повысить эффективность выбранного способа восстановительной наплавки за счёт применения наукоёмких технических решений; 3) составить проектную технологию восстановительной наплавки с применением предложенных ранее технических решений; 4) выполнить оценку безопасности и экологичности предложенных технических решений; 5) выполнить оценку экономической эффективности предложенных технических решений.

В ходе выполнения экологического раздела выполнен анализ экологической безопасности предлагаемых в выпускной квалификационной работе технических решений и предложены меры по защите персонала от вредных и опасных факторов, которые возникают при реализации проектной технологии. Анализ экономической эффективности предложенных решений позволил установить, что внедрение результатов выпускной квалификационной работы в производство позволит получить годовой экономический эффект в размере 2,11 млн. рублей.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Малинов Л. С. Перспективные экономнолегированные наплавочные материалы, обеспечивающие получение наплавочного металла с мартенситными превращениями : тезисы докладов научного семинара «Современные достижения в области сварки, наплавки и родственных технологий» / Л. С. Малинов ; отв. редактор В. А. Роянов. – Мариуполь : 2000. – С. 86–90.

2. Малинов Л. С. Перспективные экономнолегированные стали и чугуны с мартенситными превращениями и наплавочные материалы на их основе / Л. С. Малинов // Захист металургійних машин від поломок : зб.наук. праць. – Вип. 5. – Маріуполь, 2000. – С. 238–244.

3. Кошевой А. Д. Повышение износостойкости рабочих поверхностей пресового інструмента / А. Д. Кошевой, В. А. Пресняков // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в машинобудуванні і металургії :зб. наук. праць. – Краматорськ-Словянськ, 2000. – С. 473–476.

4. Власов, А.Ф. Повышение производительности ручной дуговой наплавки изделий, работающих при высоких температурах / А.Ф. Власов, Н.А. Макаренко, Н.А. Куций, В.П. Куликов // ВІСНИК Донбаської державної машинобудівної академії. – 2017. – № 2. – С. 93–98.

5. Власов, А.Ф. Нагрев и плавление электродов с экзотермической смесью в покрытии / А.Ф. Власов, Н.А. Макаренко, А.М. Куций // Автоматическая сварка. – 2014. – № 6. – С. 151–154.

6. Иоффе, И.С. Влияние титанотермитной смеси, входящей в электродное покрытие, на повышение производительности сварки / И.С. Иоффе [и др.] // Сварочное производство. – 1980. – № 3. – С. 26–28.

7. Лещинский, Л.К. Работоспособность макронеоднородного наплавленного металла / Л.К. Лещинский, С.С. Самотугин, В.П. Лаврик // Тезисы докладов Международной научно-методической конференции «Современные проблемы сварки и родственных технологий,

совершенствование подготовки кадров» / под ред. В. А. Роянова. - Мариуполь : ПГТУ, 2001. - С. 44-45.

8. Походня, И.К. Производство порошковой проволоки / И.К. Походня, В.Ф. Альтер, В.Н. Шлепаков и др. – Киев : Вища школа, 1980. – 231 с.

9. Походня, И.К. Исследования и разработки ИЭС им. Е. О. Патона в области электродуговой сварки и наплавки порошковой проволокой / И.К. Походня, В.Н. Шлепаков, С.Ю. Максимов, И.А. Рябцев // Автоматическая сварка. – 2010. – № 12. – С. 34–42.

10. Шоно, С.А. Плавкость шлаков, образующихся при износостойкой наплавке порошковой проволокой открытой дугой / С.А. Шоно // Автоматическая сварка. – 1974. – № 1. – С. 7–9.

11. Юзвенко, Ю.А. Защита металла при наплавке порошковой проволокой открытой дугой / Ю.А. Юзвенко, Г.А. Кирилук // Автоматическая сварка. – 1974. – № 3. – С. 58–60.

12. Власов, А.Ф. Разработка материалов и технологии наплавки биметаллического режущего и штампового инструмента / А.Ф. Власов, А.А. Богущкий, В.К. Лысак, А.М. Куций // ВІСНИК Донбаської державної машинобудівної академії. – 2012. – № 3. – С. 80–85.

13. Гладкий, П.В. Плазменная наплавка / П.В. Гладкий, Е.Ф. Переплетчиков, И.А. Рябцев. – К. : Екотехнологія, 2007. – 202 с.

14. Сидоров, А.И. Восстановление деталей машины напылением и наплавкой / А.И. Сидоров. – М. : Машиностроение, 1987. – 192 с.

15. Кудинов, В.В. Нанесение плазмой тугоплавких покрытий / В.В. Кудинов, В.М. Иванов. – М. : Машиностроение. – 1981. – 192 с.

16. Макаренко, Н.А. Разработка установки и плазмотрона для плазменно-порошковой наплавки на разнополярно-импульсном токе / Н.А. Макаренко, А.А. Богущкий, Н.А. Грановская, В.В. Синельник // Вісник східноукраїнського національного університету ім. В. Даля.. – Луганск: СНУ, 2010. – № 2. – С. 168–173.

17. Патон, Б.Е. Анализ технических и технологических возможностей импульсной подачи электродной проволоки в процессах дуговой сварки и наплавки / Б.Е. Патон, А.А. Лебедев // Сварочное производство. – 2002. – № 2. – С. 24–31.

18. Ivanov V. P. Improving the Efficiency of Strip Cladding by the Control of Electrode Metal Transfer / V. P. Ivanov, E. V. Lavrova // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vol. 682. – P. 266–269.

19. Потапьевский, А.Г. Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего: монография / А.Г. Потапьевский, Ю.Н. Сараев, Д.А. Чинахов. Юргинский технологический институт. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 208 с.

20. Потальевский, А.Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Часть 1. Сварка в активных газах / А.Г.Потальевский. – Издание 2-е. недоработанное. – К.: Экотехнолопя, 2007. – 192 с.

21. Иванов, В.П. Управление формированием зоны проплавления при электродуговой сварке / В.П. Иванов, Е.В. Лаврова // Автоматическая сварка. – 2016. – № 8. – С. 6–11.

22. Максимов, С.Ю. Повышение эффективности наплавки путём применения импульсной подачи электродной проволоки / С.Ю. Максимов, И.В. Лендел // Вісник східноукраїнського національного університету ім. В. Даля.. – Луганск: СНУ, 2016. – № 2. – С. 171–175.

23. Старова, Е.П. Малолегированная быстрорежущая сталь с азотом / Е.П. Старова. –М.: Машгиз, 1953. – 58 с.

24. Горина, Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие / Л. Н. Горина. – Тольятти: ТолПИ, 2000. – 68 с.

25. Краснопевцева, И. В. Экономическая часть дипломного проекта: метод. указания / И. В. Краснопевцева – Тольятти: ТГУ, 2008. – 38 с.

26. Егоров, А. Г. Правила оформления выпускных квалификационных работ по программам подготовки бакалавра и специалиста: учебно-методическое пособие / А. Г. Егоров, В. Г. Виткалов, Г. Н. Уполовникова, И. А. Живоглядова – Тольятти, 2012. – 135 с.