

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

ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ

(наименование института полностью)

Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование кафедры)

15.03.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Оборудование и технология сварочного производства

(направленность (профиль)/, специализация)

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему

Технология восстановления вала нагнетателя газоперекачивающего агрегата

Студент

В. А. Размолодин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

А. В. Мельзитдинова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой СОМДиРП,

д.т.н, профессор

ученая степень, звание И.О. Фамилия

В.В. Ельцов

(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

Тольятти 2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ 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)

УТВЕРЖДАЮ  
Завкафедрой «СОМДиРП»  
\_\_\_\_\_ В.В. Ельцов  
(подпись) (И.О. Фамилия)  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной бакалаврской работы**

Студент Размолодин Владислав Алексеевич

1. Тема Технология восстановления вала нагнетателя газоперекачивающего агрегата
2. Срок сдачи студентом законченной выпускной квалификационной работы 25 мая 2017
3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе техническая и патентная документация, литературные данные, нормативная документация.
4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов, разделов)

Введение: доказать актуальность темы и сформулировать цель работы.

1. Анализ исходных данных и известных технических решений:

Анализ изделия, условий его работы; сведения о материале изделия; базовый технологический процесс восстановления вала; критический анализ известных решений; формулировка задач работы.

2. Проектный технологический процесс восстановления (оборудование, материалы, параметры режима, повышение эффективности выбранного способа восстановления).

3. Безопасность и экологичность технического объекта

4. Экономическая эффективность.

Заключение: выводы. В выводах показать, что поставленная цель достигнута.

5. Ориентировочный перечень графического и иллюстративного материала

1. Общий вид изделия – 1 лист.

2. Базовый технологический процесс восстановления – 1 лист.

3. Анализ способов восстановления – 1 лист

4. Проектный технологический процесс восстановления – 1...2 листа.

5. Экономическая эффективность – 1 лист

6. Консультанты по разделам Экономическая эффективность – Краснопевцева И.В., безопасность и экологичность объекта дипломного проекта – Нуров К.Ш.

7. Дата выдачи задания « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Руководитель выпускной  
квалификационной работы

\_\_\_\_\_ А.В. Мельзитдинова  
(подпись) (И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

\_\_\_\_\_ В.А. Размолодин  
(подпись) (И.О. Фамилия)

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

**МАШИНОСТРОЕНИЯ**

(наименование института полностью)

СОМДиРП

(наименование кафедры)

УТВЕРЖДАЮ

Завкафедрой

СОМДиРП

В.В. Ельцов

(подпись)

(И.О. Фамилия)

**КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН**  
**выполнения бакалаврской работы**

Студента Размолодин Владислав Алексеевич

по теме: «Технология восстановления вала нагнетателя

газоперекачивающего агрегата»

Наименование раздела работы	Плановый срок выполнения раздела	Фактический срок выполнения раздела	Отметка о выполнении	Подпись руководителя
1. Назначение и принцип действия изделия, условия эксплуатации, сведения о материале изделия, требования к сварным соединениям	16.01.17 – 30.01.17	30.01.17	выполнено	
2. Анализ базового варианта технологического процесса, применяемое оборудование, параметры режима, требования проведению контроля	01.02.17 – 28.02.17	28.02.17	выполнено	
3. Анализ известных технических решений по теме работы	01.03.17 – 30.03.17	30.03.17	выполнено	
4. Выбор сварочных материалов, оборудования, назначение параметров режима сварки. Повышение эффективности работы сварочного оборудования	01.04.17 - 14.04.17	14.04.17	выполнено	
5. Разработка проектной технологии и технологической карты	15.04.17 30.04.17	30.04.17	выполнено	
6. Безопасность и экологичность проекта	01.05.17 – 14.05.17	14.05.17	выполнено	
7 Технико-экономическое обоснование проекта	15.05.17 – 21.05.17	21.05.17	выполнено	

Руководитель выпускной  
квалификационной работы

(подпись)

А.В. Мельзитдинова

(И.О. Фамилия)

Задание принял к исполнению

(подпись)

В.А. Размолодин

(И.О. Фамилия)

## АННОТАЦИЯ

Эффективность проведения ремонта определяется, прежде всего, правильностью проектирования узлов нагнетателя с точки зрения ремонтной технологичности, а также совершенством организационной структуры ремонтного процесса, степенью развития действующих ремонтных технологий и состояния технологического оборудования. Из-за непрерывного роста требований к надежности нагнетателей и повышающихся эксплуатационных нагрузок вопрос повышения эффективности ремонта узлов нагнетателя продолжает оставаться актуальным.

В работе была поставлена цель - повышение эффективности восстановления изношенных поверхностей вала нагнетателя газа.

Для устранения недостатков базовой технологии были рассмотрены различные способы восстановления, в проектом варианте технологии применена плазменная наплавка. Составлен технологический процесс восстановительной плазменной наплавки, который позволяет не только продлить срок службы изделия, но и получить повышение стойкости восстановленных поверхностей вала к износу.

По сравнению с восстановлением вала по базовой технологии, при использовании проектной технологии наблюдается снижение трудоемкости на 60%, технологической себестоимости на 55%. Повышение производительности труда составило 150%. Применение предлагаемых в проекте решений позволяет получение экономического эффекта в сфере производства и эксплуатации в размере 6,3 млн. рублей.

Пояснительная записка из 62 страниц содержит 31 библиографическую ссылку, 14 иллюстраций, 13 таблиц. Графическая часть состоит из 6 листов формата А1 горизонтальной ориентации.

# СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА	
1.1 Описание конструкции нагнетателя и условий работы его узлов	7
1.2 Сведения о материале изделия	13
1.3 Базовая технология восстановления вала	16
1.4 Анализ способов наплавки вала	21
1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы	27
2 ПРОЕКТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТНОЙ НАПЛАВКИ	
2.1 Выбор наплавочного материала	29
2.2 Описание способа подачи порошка	33
2.3 Технология нанесения покрытия	37
2.4 Планировка участка	42
3 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА	44
4 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	51
ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО ВЫПУСКНОЙ РАБОТЕ	63
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	64

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время предприятия ПАО «Газпром» существенное внимание уделяют решению проблем рационального использования природного газа, обеспечения промышленной безопасности и оптимального управления газотранспортной системой в условиях реального технического состояния оборудования [1].

Развитие современной газовой промышленности сопровождается постоянным ростом требований к ресурсу, надежности, контролепригодности газоперекачивающих агрегатов и, в частности, нагнетателей природного газа. Обеспечение этих требований может быть выполнено путём совершенствования конструкции агрегатов, технологии их изготовления и ремонта [2, 3, 4, 5].

Эффективность проведения ремонта определяется, прежде всего, правильностью проектирования узлов нагнетателя с точки зрения ремонтной технологичности, а также совершенством организационной структуры ремонтного процесса, степенью развития действующих ремонтных технологий и состояния технологического оборудования.

Из-за непрерывного роста требований к надежности нагнетателей и повышающихся эксплуатационных нагрузок вопрос повышения эффективности ремонта узлов нагнетателя продолжает оставаться актуальным.

В работе поставлена цель – повышение эффективности восстановления изношенных поверхностей вала нагнетателя газа.

# 1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

## 1.1 Описание конструкции нагнетателя и условий работы его узлов

Нагнетатель ЦБН-370 (рис. 1.1) является одноступенчатой центробежной машиной, рабочее колесо которой расположено консольно, отвод газа – тангенциальный. Нагнетательный и всасывающий патрубки круглого сечения и диаметром 680 мм расположены соосно, что позволяет производить их приварку при монтаже нагнетателя на газопровод.

Ходовая часть нагнетателя (рис. 1.2) состоит из ротора, подшипников, торцевых масляных уплотнений и заключена в специальную гильзу 5, которая устанавливается в корпусе 1. Корпус нагнетателя выполнен в виде стального цилиндра, закрываемого крышкой 2, на которой смонтированы всасывающая и сборная кольцевые камеры. На фланце гильзы крепится лопаточный диффузор 3, выполненный в виде круговой решетки из профильных лопаток, которые отфрезерованы за одно целое с телом диска. Покрышка диффузора и диффузор крепятся к фланцу гильзы при помощи болтов и фиксируются штифтами, которые проходят через тело покрышки и лопатки диффузора. К покрышке диффузора крепят лабиринтные уплотнения 9 покрышки рабочего колеса 4. Между рабочим колесом нагнетателя и торцовым уплотнением ротора устанавливают лабиринтное уплотнение, предназначенное для устранения заноса капель масла в проточную часть нагнетателя.

Ротор нагнетателя (рис. 1.3) имеет одно рабочее колесо. Лопатки рабочего колеса отфрезерованы за одно целое с телом основного диска. Накрывающий диск соединяется с основным диском при помощи заклепок, которые проходят сквозь тело лопаток. Рабочее колесо насаживают на конический участок вала с применением шпонки. Ограничительная шайба, закреплённая гайкой, обеспечивает посадку рабочего колеса с определенным натягом.

Был произведён анализ отказов нагнетателя по повторяемости, происхождению, способам обнаружения. Статистические данные неисправностях нагнетателя представлены в табл. 1.1.

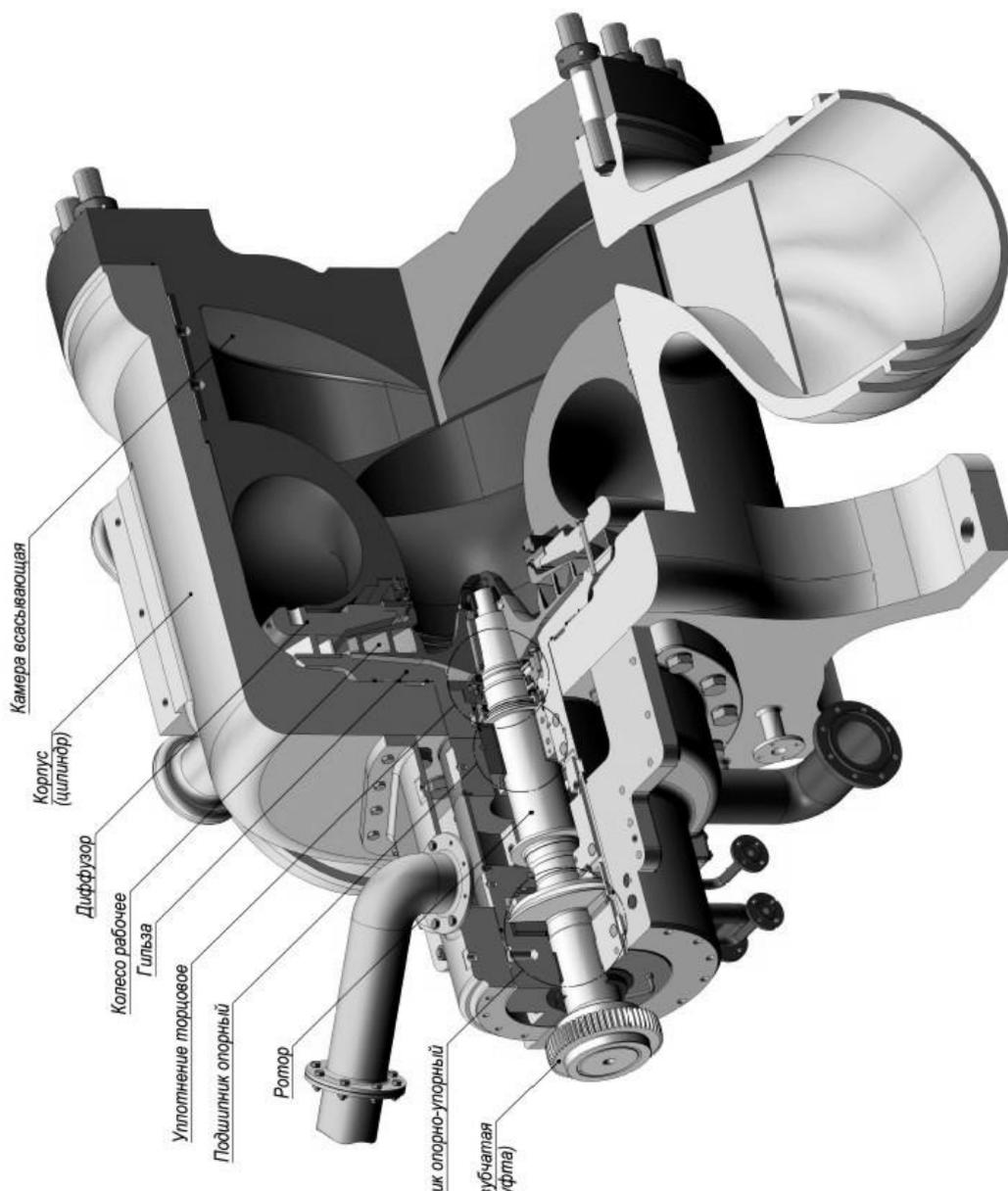
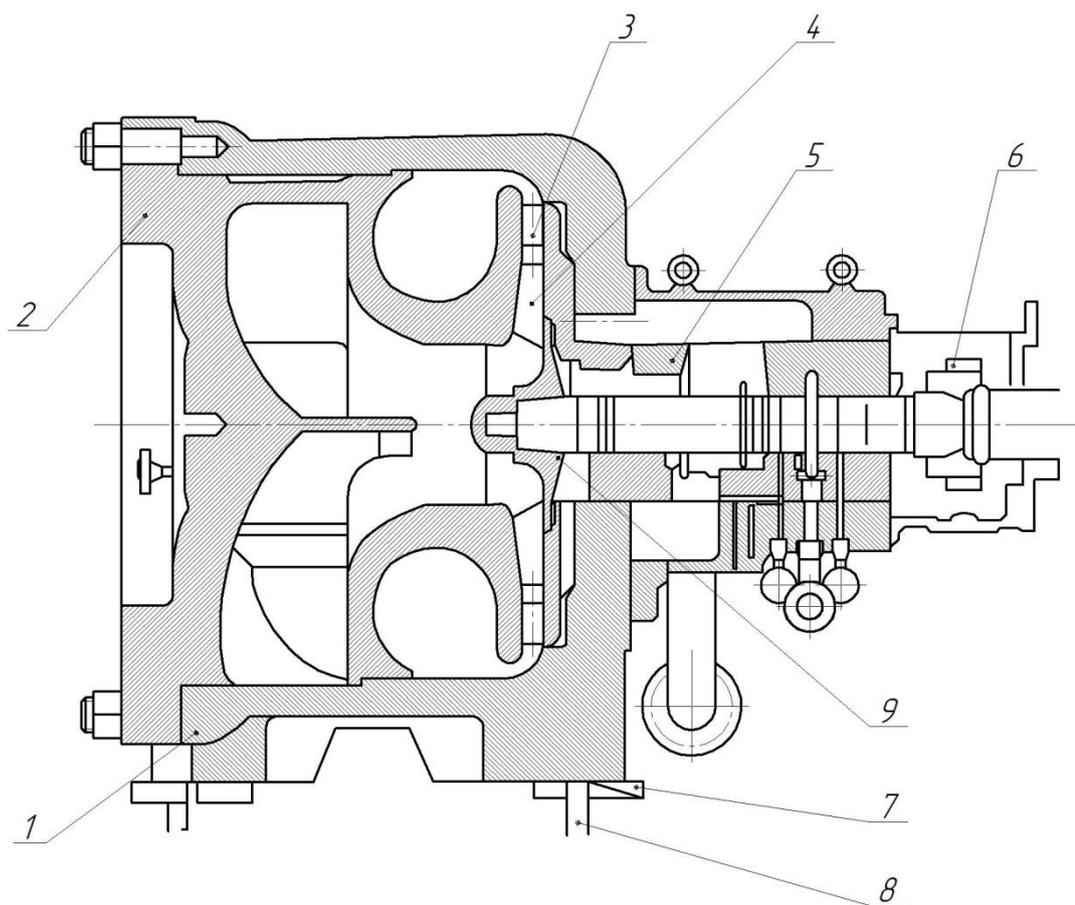


Рисунок 1.1 – Общий вид нагнетателя газа



1 – корпус; 2 – крышка; 3 – лопаточный диффузор; 4 – рабочее колесо;  
 5 – гильза; 6 – зубчатая муфта; 7 – клиновые прокладки; 8 – анкерные болты;  
 9 – лабиринтное уплотнение

Рисунок 1.2 – Состав нагнетателя ЦБН-370

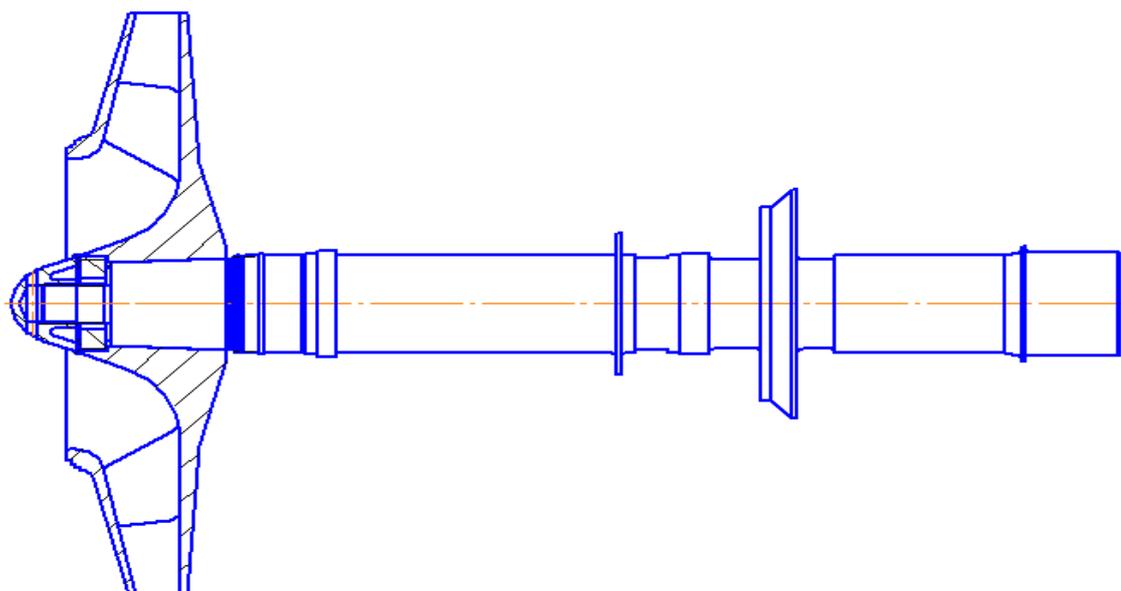


Рисунок 1.3 – Ротор нагнетателя с рабочим колесом

Таблица 1.1 – Статистические данные об отказах и неисправностях

Наименование узла, агрегата, детали	Характер отказа	Обстоятельства обнаружения	Причина
1	2	4	5
Ротор	Наличие кольцевых рисок на шейках вала	При ремонте, визуально	Наличие твердых механических примесей в масле из-за плохой очистки масла
	Наличие кольцевых рисок на упорном гребне	При ремонте, визуально	Наличие твердых механических примесей в масле из-за плохой очистки масла
	Контактная коррозия конуса (до 35%)	При ремонте, визуально	Недостаточная коррозионная стойкость покрытия
Лопатки рабочего колеса	Забоины входных кромок	При ремонте, визуально	Недостаточная очистка газа
	Забоины выходных кромок	При ремонте, визуально	Недостаточная очистка газа
	Острые выходные кромки	При ремонте, визуально	Эрозионный износ, вследствие недостаточной очистки газа
Втулки под уплотнения масло-газ	Повышенный износ	При ремонте, визуально	Нарушение технологии ремонта
	Кольцевые риски	При ремонте, визуально	Наличие твердых механических примесей в масле из-за плохой очистки масла
Рабочее колесо	Износ диска	При ремонте, визуально	Касание диска о статорные детали вследствие превышения допустимого осевого перемещения ротора
Диффузор	Забоины входных кромок лопаток	При ремонте, визуально	Недостаточная очистка газа
	Забоины выходных кромок лопаток	При ремонте, визуально	Недостаточная очистка газа
	Острые выходные кромки лопаток	При ремонте, визуально	Эрозионный износ вследствие недостаточной очистки газа

1	2	4	5
Внутренний корпус	Коррозия на диафрагме	При ремонте, визуально	Попадание влаги вследствие недостаточной осушки газа
Входной направляющий аппарат (ВНА)	Нагар на внутреннем кольце	При ремонте, визуально	Касание ротора вследствие сборки с радиальными зазорами не соответствующим ТУ
	Забоины входных кромок лопаток	При ремонте, визуально	Недостаточная очистка газа
	Забоины выходных кромок лопаток	При ремонте, визуально	Недостаточная очистка газа
	Сколы входных кромок лопаток	При ремонте, визуально	Недостаточная очистка газа
Подшипник опорно-упорный	Трещины баббитового слоя	При ТО, визуально	Нарушение технологии ремонта
Подшипник опорный	Выкрашивание баббита на вкладыше	АО по вибрации (визуальный осмотр)	Недостаточная прокачка масла через опору
Шестеренный насос системы смазки	Разрушение шестерни	В процессе эксплуатации при срабатывании аварийной сигнализации	Недостаточная прочность
Обратный направляющий аппарат (ОНА)	Забоины входных кромок лопаток	При ремонте, визуально	Недостаточная очистка газа
	Коррозия на лопатках	При ремонте, визуально	Попадание влаги вследствие недостаточной осушки газа
	Забоины выходных кромок лопаток	При ремонте, визуально	Недостаточная очистка газа

Вал нагнетателя (рис. 1.4) является основным узлом, обеспечивающим безопасность и безаварийность его работы. В процессе эксплуатации нагнетателя на вале появляются следующие дефекты:

- кольцевые риски на шейках вала;
- кольцевые риски на упорном гребне;
- контактная коррозия посадочного конуса.



Рисунок 1.4 – Вал нагнетателя газа перед восстановлением посадочных поверхностей

## 1.2 Сведения о материале изделия

Вал нагнетателя изготавливают из легированной стали 34ХН3М, химический состав которой представлен в табл. 1.2, а механические свойства данной стали представлены в табл. 1.3.

Таблица 1.1 – Химический состав стали 34ХН3М [7, 8]

С		Si		Mn		Ni	
мин	макс	мин	макс	мин	макс	мин	макс
0,3	0,4	0,17	0,37	0,5	0,8	2,75	3,25
Cr		Mo		S		P	
мин	макс	мин	макс	мин	макс	мин	макс
0,7	1,1	0,25	0,4	-	0,035	-	0,03

При сварке стали 34ХН3М высока вероятность получения в околошовной зоне холодных трещин. Для обеспечения равнопрочности металла шва и основного металла необходимо снижение содержания углерода и введение легирующих элементов, что в свою очередь приводит к образованию холодных и горячих трещин в металле шва. В результате получить качественное сварное соединение со свойствами, сходными со свойствам основного металла, становится практически невыполнимой задачей [9, 10].

Таблица 1.2 – Механические свойства стали 34ХН3М [7, 8]

Размер	$\sigma_B$	$\sigma_T$	$\delta$	$\psi$	КСУ	Термообработка
мм	МПа	МПа	%	%	кДж / м <sup>2</sup>	-
100 - 300	785	640	12	38	490	Нормализация

При сварке происходит нагрев и быстрое охлаждение, в условиях действия которых затруднено обеспечение получения пластических и вязкостных свойств металла шва, которые соответствовали бы

пластическим и вязкостным свойствам основного металла. Преодоление этой трудности частично возможно путём применения различных технологических приёмов, сварочных материалов, совершенствовании способов сварки, оптимизации параметров режима сварки.

Вследствие повышенного содержания углерода и легирующих элементов в рассматриваемой стали, сварка с получением требуемого высокого уровня механических свойств соединений будет затруднена по следующим причинам:

- 1) высокая вероятность возникновения холодных трещин в околошовной зоне;
- 2) высокая вероятность возникновения горячих трещин в металле шва, которые возникают вследствие повышенного содержания углерода и легирующих элементов (Mo);
- 3) практически невозможно получить металл шва и околошовной зоны равноценных основному металлу изделия.

#### Меры борьбы с холодными трещинами

- 1) Необходимо выбирать оптимальный термический цикл в околошовной зоне, т.е. такой, при котором ограничен перегрев металла в околошовной зоне. Необходимо максимально ограничивать время нагрева металла в околошовной зоне выше 1000 °С. Для этого ограничивают погонную энергию сварки .
- 2) Если оптимизация параметров режима не приводит к повышению стойкости против холодных трещин, то возможно применение предварительного и сопутствующего подогревов изделия. Успешно бороться против холодных трещин позволяет применение предварительного подогрева изделия до 200...300 °С.
- 3) Возможно дополнительно легировать металл шва с ферритной основой. При этом в околошовной зоне развиваются упрочностные деформации, которые смещают превращение переохлаждённого аустенита в мартенсит к области более высоких температур.

4) При помощи термической обработки изделия после наплавки (низкий отпуск) снижают остаточные сварочные напряжения и существенно понижают вероятность образования холодных трещин. В ходе термической обработки также происходит измельчение структуры металла наплавленного слоя. Время термической обработки необходимо ограничивать несколькими часами.

5) Для понижения содержания водорода в металле шва следует применять соответствующие сварочные материалы с низким содержанием водорода.

6) Поверхность металла в зоне наплавки должна быть тщательно очищена от влаги, окалины, ржавчины и других загрязнений.

#### Меры борьбы с горячими трещинами

1) Наплавку следует выполнять с минимальной длиной дуги, без поперечных колебаний электрода;

2) Кратеры швов необходимо тщательно заглаживать, получая выпуклый мениск, или производить вышлифовывание. Запрещено выведение кратеров на основной металл;

3) При вынужденном обрыве дуги перед её повторным возбуждением необходимо убедиться, что отсутствует горячая кратерная трещина, при наличии трещины кратер необходимо удалять механическим способом;

4) Применение порошковой проволоки существенно снижает вероятность получения горячих трещин.

#### Меры борьбы с разупрочнением

1) С разупрочнением металла в околошовной зоне борются с применением высокотемпературной термической обработкой (нормализация с отпуском).

2) Для борьбы с разупрочнением в околошовной зоне возможно применение сварочных материалов с пониженным содержанием углерода и дополнительным легированием. Однако это приводит к образованию горячих и холодных трещин металле шва.

### 1.3 Базовая технология восстановления вала

Детали на восстановительный участок подают в оборотной таре, используя внутрицеховые транспортные средства. На участке расположен стеллаж, где происходит складирование деталей.

Первая операция технологического процесса восстановления – очистка от загрязнений.

Очистка деталей от загрязнений – наиболее характерная и специфическая операция при ремонте. Качество её проведения в значительной мере определяет производительность труда ремонтных рабочих, качество восстановления, долговечность и надежность отремонтированных машин. Правильное проведение очистки деталей является залогом повышения культуры производства и улучшения внешнего вида всего ремонтного производства.

Качество очистки деталей влияет на протекание последующих операций технологического процесса - восстановление и дефектацию деталей. Применяемый способ очистки определяется конфигурацией и размерами детали, видом загрязнения детали. При том, что вид и природа загрязнений на поверхности деталей различны и многообразны, всем загрязнениям (маслам и смазкам, нагару, лаковым отложениям, продуктам коррозии и т.д.) присуща высокая адгезия (прилипаемость).

Чтобы удалить следы смазки, деталь промывают в керосине или в других обезжиривающих растворах. Если на детали присутствуют следы ржавчины, её погружают в керосин на 6...8 часов. Чтобы сократить время отмачивания детали в керосине, в емкость с керосином может подаваться под давлением перегретый водяной пар. Это приводит к повышению интенсивности очистки поверхности детали, и существенному уменьшению времени её очистки. После вымачивания в керосине деталь следует протереть обтирочными материалами насухо.

Вторая операция – дефектация, которая проводится после очистки поверхности деталей от загрязнения. По результатам дефектации деталей производят их разделение на три группы:

- Первая группа (годные детали), их размеры находятся в пределах допустимых в пределах. Годные детали отправляют на последующую сборку.
- Вторая группа (подлежащие ремонту детали), у этих деталей выявленная величина износа и повреждений могут быть исправлены с применением доступных технических средств. Эти детали подлежат отправке на ремонт.
- Третья группа (забракованные детали). Восстановить эти детали с применением доступных технических средств невозможно или экономически нецелесообразно. Их отправляют на утилизацию как лом.

Поверхности вала, которые следует предохранить от попадания брызг расплавленного металла и налетов окислов, необходимо закрыть сухим или мокрым асбестом. Результаты осмотра вала фиксируются в дефектовочной карте.

Третья операция – наплавка. При выполнении наплавки недопустимо получение перегрева наплавленного слоя. Для устранения перегрева наплавку следует вести отдельными валиками, добиваясь полного охлаждения каждого валика. Следует производить наплавку с положением электрода, которое соответствует изображенному на рис. 1.5.

Основными параметрами режима наплавки являются: диаметр электрода и ток наплавки, которые можно изменять в зависимости от особенностей протекания процесса наплавки. Длину дуги принимают равной  $0,5 \dots 1,1$  диаметра электрода, это значение выдерживается сварщиком вручную. Применение короткой дуги обеспечивает получение лучшего качества наплавки.

Диаметр электрода  $d_3$  выбирается по толщине наплавляемого слоя  $S$ . Толщина наплавляемого слоя составляет  $S = 4$  мм с учетом запаса на последующую механическую обработку, диаметр электрода принимают  $d_3 = 4$  мм.

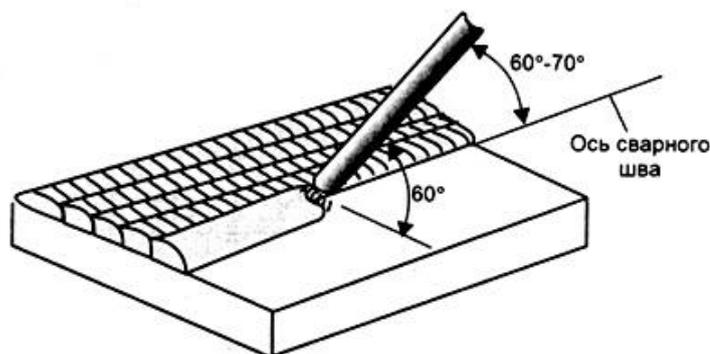


Рисунок 1.5 – Рекомендуемое положение электрода при осуществлении наплавки отдельными валиками

Ток наплавки ориентировочно рассчитан с использованием упрощенной формулы:

$$I = (20 + 5d_s) \cdot d_s \cdot 0,75 = (20 + 5 \cdot 4) \cdot 4 \cdot 0,75 = 120 \text{ А}, \quad (1.1)$$

где  $d_s = 4$  мм.

В момент зажигания дуги напряжение между свариваемой деталью и электродом приблизительно равно 60 В. Замыкание сварочной цепи приводит к его падению до нуля. После возбуждения напряжение дуги поддерживается в диапазоне значений 16...30 В, конкретная величина которого определяется длиной дуги и маркой электрода. Для стальных электродов производим вычисление напряжения дуги по упрощённой формуле:

$$U_d = a + bl = 15 + 3 \cdot 2,8 = 23,4 \text{ В}, \quad (1.2)$$

где  $a = 15$  В;  $b = 3$  В;  $l = 0,7 \cdot d_s = 0,7 \cdot 4 = 2,8$  мм.

Для осуществления операции наплавки используется сварочный аппарат Русич С 300, обладающий необходимыми техническими характеристиками (табл. 1.3).

Таблица 1.3 – Техническая характеристика сварочного аппарата Русич С 300

Параметр	Единица измерения	Значение параметр
Параметры питающей сети	В	220/380
Напряжение холостого хода	В	38
Род сварочного тока	-	переменный или постоянный
Величина сварочного тока: - при сварке на переменном токе - при сварке на постоянном токе	А	20-300 20-230
Продолжительность включения в режиме сварки на максимальном сварочном токе	%	70
Выходная мощность при сварке на аксиальном токе	кВА	8,5
Диаметр сварочного электрода	мм	1,2 - 6 (AC) / 4 (DC)
Габаритные размеры аппарата	мм	550x 370 x 370
Вес аппарата	кг	40
Система охлаждения	-	принудительная

Электроды для наплавки и сварки изготовлены в виде прутка из сварочной проволоки, являющегося стержнем электрода, на поверхность которого нанесено покрытие, являющееся обмазкой электрода.

Электроды, имеющие диаметр стержня 4 мм, выполнены длиной 450 мм. С одного конца электрод на длину 30...40 мм не имеет покрытие - этот конец служит для крепления электрода в держателе и подвода к нему сварочного тока.

Для валов была выбрана наплавочная проволока, близкая по механическим свойствам к основному материалу.

Наплавку осуществляют с применением электродов с сердечником из проволоки Н-34ХНЗМ, такой электрод имеет обозначение:

$$\frac{\text{Э85 - Т - 590 - 4,0 - НД2}}{\text{Е30 1} \ominus \text{Б40}}$$

Стальная проволока для наплавки диаметром 4 мм, которая содержит в своем составе приблизительно 0,34% углерода, 1% хрома, 3% никеля, 0,35% марганца.

«Э85» - обозначает тип электрода; «Т-590» - обозначает марку электрода; «4,0» - обозначает диаметр электрода, равный 4,0 мм; «Н» - обозначает, что электрод может применяться для наплавки легированных сталей; «Д» - означает, что электрод имеет толстое покрытие второй группы качества; «30» - означает величину предела прочности наплавленного металла, равную 300 МПа; «1» - означает, что относительное удлинение для наплавленного металла равно 18 %; «5» - означает, что ударная вязкость наплавленного металла составляет не менее 34,3 Дж/см<sup>2</sup>; «Б» - означает вид покрытия – основное; «4» – означает, что электрод может применяться для наплавки в нижнем положении; «0» – означает, что наплавку следует вести на постоянном токе обратной полярности.



Рисунок 1.6 – Сварочный аппарат Русич С 300

Следует отметить, что существенное повышение эксплуатационных свойств восстанавливаемой поверхности при данной технологии восстановления не получается.

#### 1.4 Анализ способов наплавки вала

Преимуществами наплавки штучными электродами является: простота и мобильность способа; возможность наплавки в различных пространственных положениях; возможность наплавки в труднодоступных местах.



Рисунок 1.7 – Схема процесса ручной дуговой наплавки

Существенным недостатком ручной дуговой наплавки является малая производительность процесса, а также зависимость качества наплавленного металла от навыков сварщика. Также следует отметить, что в процессе ручной дуговой наплавки штучными электродами скорость расплавления электрода различна в начале и в конце горения электрода.

Также в качестве недостатков следует отметить непостоянство глубины проплавления основного металла вследствие изменения условий теплопередачи от дуги к основному. В результате происходит постоянное изменение соотношения доли электродного и доли основного металлов, которые участвуют в формировании металла шва, а следовательно, и непостоянство состава наплавленного металла.

Механизированную наплавку в углекислом газе обычно проводят на постоянном токе обратной полярности. При этом используют электродную

проволоку, которую выбирают по материалу восстанавливаемой детали и требуемым свойствам наплавленного металла. Скорость подачи проволоки задают в зависимости от силы тока и с таким расчетом, чтобы исключить обрывы дуги и короткие замыкания в процессе наплавки. Скорость наплавки определяется толщиной и требуемым качеством наплавки. Наплавку валиков следует производить с шагом 2,5...3,5 мм, при этом необходимо обеспечить перекрытие предыдущего валика не менее чем на 1/3 его ширины.

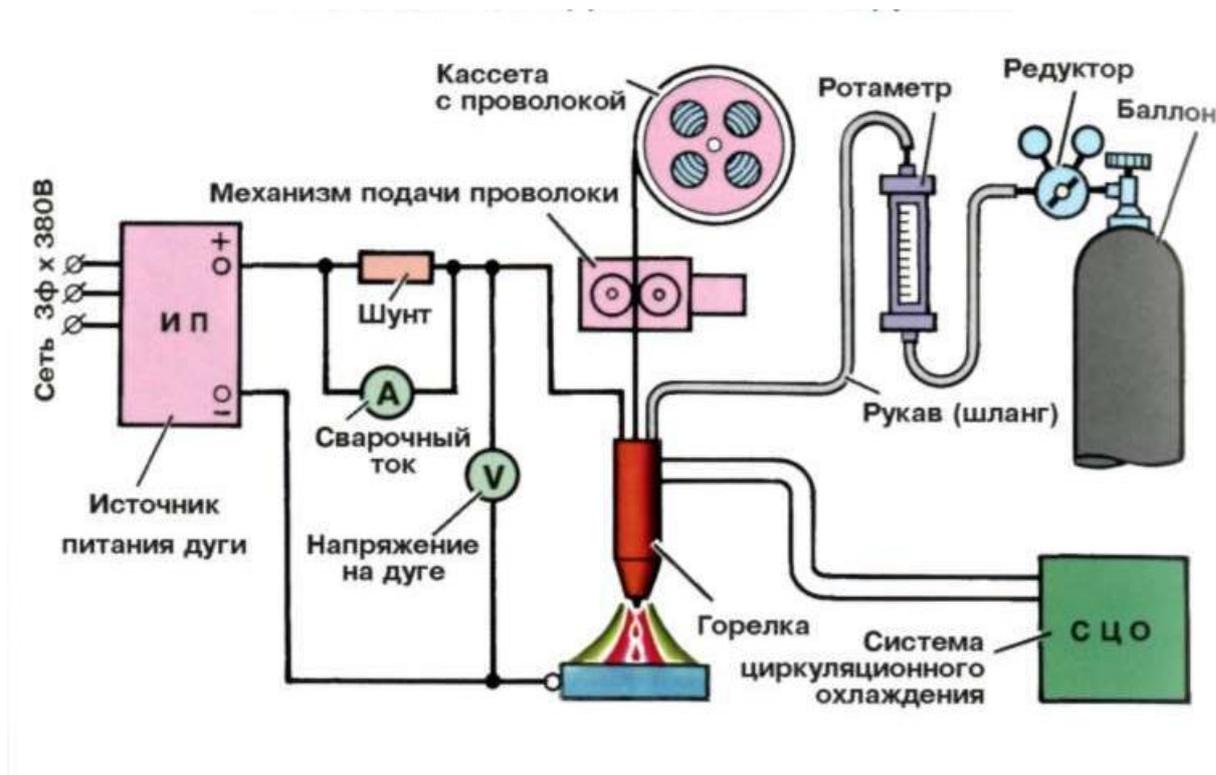


Рисунок 1.8 – Схема установки для дуговой наплавки в углекислом газе

Механизированная наплавка защитных газов имеет ряд преимуществ, в числе которых следует отметить [11, 12, 13, 14]:

- высокую прочность наплавленного слоя и однородность химического состава наплавленного слоя и основного металла;
- возможность наплавки в различных пространственных положениях;
- высокая производительность, простота механизации, низкая стоимость;

В качестве недостатков использования технологии восстановительной наплавки с применением механизированной сварки в углекислом газе следует отметить склонность к трещинообразованию, получение

наплавленного слоя с высокими значениями поверхностного напряжения и сильное разбрызгивание металла при использовании формированных режимов наплавки.

Широкое применение при восстановлении и упрочнении деталей типа валов получили технологии с использованием газотермических способов нанесения покрытий [15, 16]. Прочность сцепления, получаемая при плазменном и газоплазменном методе нанесения покрытия, может достигать 250 МПа. Также следует отметить, высокую производительность газотермических способов нанесения покрытий, возможность получения покрытий толщиной от десятых долей до нескольких миллиметров.

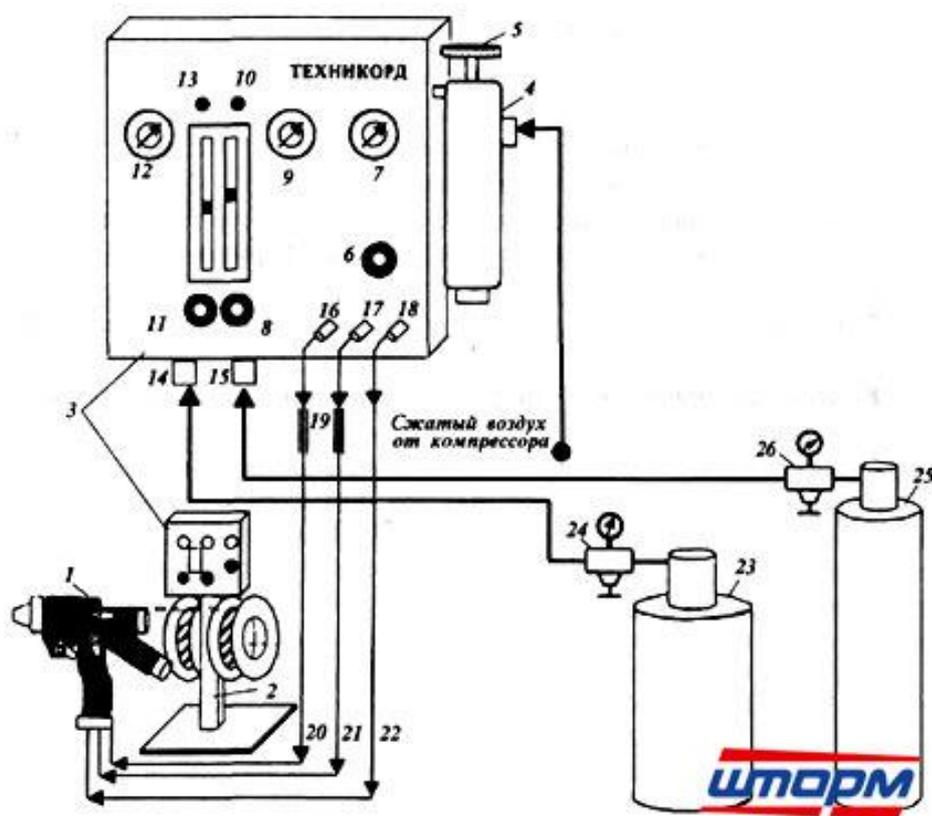


Рисунок 1.9 – Схема установки для газопламенного напыления

Существующие газотермические методы нанесения упрочняющих и защитных покрытий имеют различные области применения. Например, электрометаллизация и газоплазменное рекомендованы к применению в ремонтном и мелкосерийном производстве. В крупносерийном производстве

наибольшую экономическую эффективность имеет применение плазменных способов нанесения покрытий.

Газоплазменное нанесение покрытий, предусматривающее предварительную подготовку поверхности деталей и напыление не неё струёй сжатого газа, также получило достаточное распространение в ремонтном производстве. Мелкодисперсные частицы расплавленного металла имеют, они соударяются с поверхностью, деформируются. Далее происходит их внедрение в дефекты на поверхностном слое и образование покрытия. Производят расплавление напыляемого материала при помощи ацетилено-кислородного пламени и его распыление струей сжатого газа.

Преимуществами способа газоплазменной металлизации являются:

- возможность получения сочетаний различных и разнородных материалов;
- малое тепловое воздействие на напыляемые детали, нагрев основного металла обычно не превышает 120...180°C;
- высокая прочность покрытия;
- малая стоимость технологического оборудования и относительная простота проведения самого технологического процесса.

При помощи газоплазменного напыления существует возможность нанесения покрытий из чёрных, цветных, и тугоплавких металлов. Получаемые покрытия обладают высокой контактной жесткостью, имеют большое сопротивление износу.

В качестве недостатков процесса газоплазменного напыления можно отметить:

- образование растягивающих остаточных напряжений в покрытии и вследствие этого уменьшение усталостной прочности;
- низкую коррозионную стойкость покрытий из-за пористости покрытия.

Лазерная наплавка предусматривает нанесение на поверхность изделия покрытия с расплавлением основного металла присадочного материала, но основной металл подплавляется минимально, поэтому свойства покрытия зависят от присадочного материала [17, 18, 19].

В настоящее время всё большее распространение получает объемное формообразование методом лазерного переплава и подаваемого присадочного материала. Процесс реализован на основе лазерной наплавки, при этом присадочный материал подаётся в зону воздействия лазерного луча в виде порошка. Существует возможность получения пространственных фигур последовательным нанесением слоев по криволинейной траектории. При этом термическое воздействие на основной металл минимально. С помощью этого метода существует возможность как изготовления новой детали, так формирования на поверхности изделия необходимых объемов металла при ремонте.

Получение покрытий с боковой подачей газопорошковой смеси является наиболее распространенным способом лазерной наплавки. Внесение порошка в жидкую ванну изменяет процесс наплавки, позволяет создавать покрытия с равномерной толщиной и химическим составом, а также композитные. Подача струи газа и порошка может быть осуществлено как сбоку относительно движения луча, так и навстречу лучу. Формируемые при этом валики будут иметь различную геометрию.

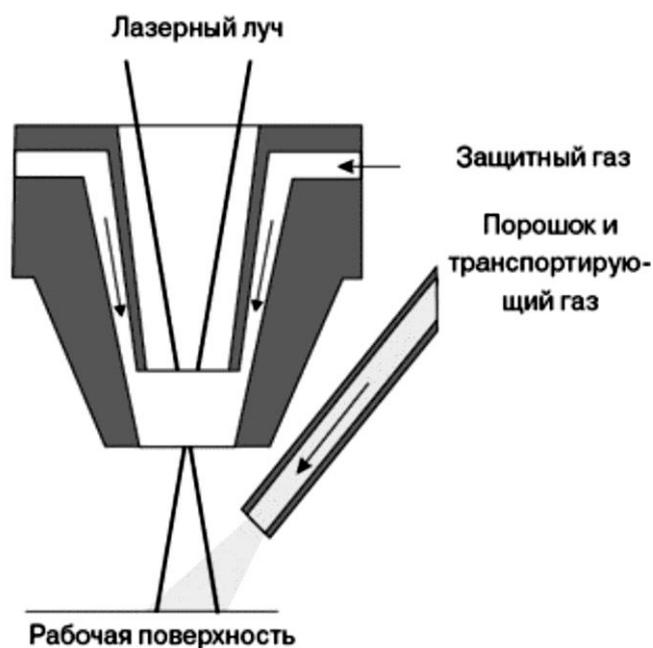


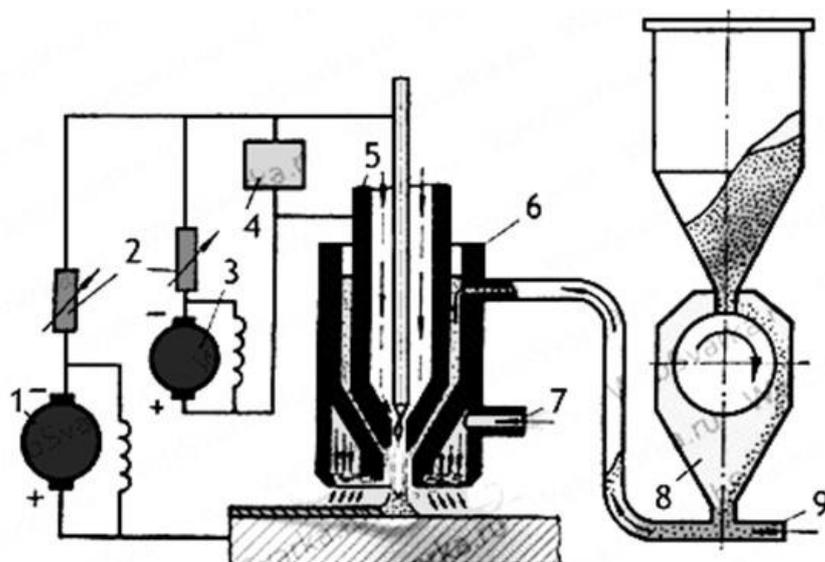
Рисунок 1.10 – Схема лазерной наплавки с боковой подачей порошка

Способы восстановления деталей с применением плазменной наплавки в настоящее время получили наибольшее распространение благодаря возможности получения биметаллических изделий при минимальной глубине проплавления основного металла [20].

Низкотемпературная плазма в качестве источника нагрева все шире применяется в обработке материалов, в том числе и для наплавки [21, 22]. Имеется возможность регулирования энергетических и тепловых параметров низкотемпературной плазмы в широких пределах, что позволяет получать наплавленные слои с требуемыми свойствами. Также плазменная наплавка обладает высокой производительностью процесса, для его осуществления не требуется применения сложных элементов оборудования и разработки специализированных источников питания.

Для плазменной наплавки с присадкой порошка используют плазмотрон комбинированного типа (рис. 1.11), при этом порошок и наплавляемую деталь нагревают плазменной дугой прямого действия. Осуществляют подачу по гибкой трубке газом присадочного порошка из питателя в плазмотрон. В плазмотроне присадочный порошок вдувается в дугу через кольцевую щель между стабилизирующим и фокусирующим соплами.

В плазмотрон подают три потока газа. Первый поток – плазмообразующий (служит для стабилизации и сжимания дуги, защиты вольфрамового электрода от окисления), расход плазмообразующего газа составляет 1,5...2,0 л/мин. Второй поток – транспортирующий, который служит для подачи присадочного порошка в плазмотрон и вдувания его в дугу, расход транспортирующего газа составляет 4...6 л/мин. Третий поток – защитный, расход защитного газа составляет 8...12 л/мин.



1 - источник питания дуги прямого действия; 2 - балластные сопротивления; 3 - источник питания дуги косвенного действия; 4 - осциллятор 5 - сопло для плазмообразующего газа; 6 - корпус горелки; 7 - отверстие для ввода защитного газа; 8 - питатель для подачи порошка; 9 - трубка, по которой подается газ, несущий порошок

Рисунок 1.11 – Схема установки для плазменной наплавки

### 1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

В ходе выполнения анализа состояния вопроса была рассмотрена базовая технология восстановления поверхностей вала нагнетателя с применением ручной дуговой сварки штучными электродами. Недостатками базовой технологии являются:

- малая производительность наплавки;
- низкое качество наплавки;
- большие потери металла на угар, разбрызгивание и огарки;
- потери времени и качества из-за периодической смены электрода.

При анализе возможных способов восстановления поверхностей валов были рассмотрены:

- ручная дуговая наплавка с применением штучных электродов;

- механизированная наплавка в защитных газах;
- газопламенное нанесение покрытий;
- лазерная наплавка;
- плазменная наплавка.

После анализа недостатков и преимуществ каждого способа было принято решение использовать плазменную наплавку, которая обладает следующими преимуществами:

- малое тепловое воздействие на наплавляемую деталь
- возможность автоматизации операций
- возможность создавать поверхности с заданными свойствами
- высокая производительность наплавки

Были сформулированы задачи выпускной квалификационной работы :

- 1) составить технологический процесс наплавки вала;
- 2) предложить оборудование для осуществления проектного процесса восстановления вала;
- 3) повысить эффективность операции наплавки путём применения достижений современной науки в области восстановительной наплавки и машин и управления сварочными процессами.

## 2 ПРОЕКТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТНОЙ НАПЛАВКИ

### 2.1 Выбор наплавочного материала

При решении сформулированных задач и достижении поставленной цели следует не только стремиться к обеспечению восстановления исходных свойств деталей, но и к увеличению срока их службы за счёт улучшения эксплуатационных свойств.

Для этого необходимым становится не только правильное назначение параметров режима наплавки, но и выбор наплавочного материала.

Часто плазменную наплавку ведут с применением порошка меди (ПМС-В или ПМС-Ву). Достоинствами этого материала являются получение хороших антифрикционных характеристик наплавленной поверхности, пластичность получаемого покрытия, низкая стоимость наплавочного порошка. В качестве недостатков можно отметить – низкую прочность получаемого покрытия, низкую жаростойкость и жаропрочность получаемого покрытия.

Возможно напыление с применением порошка молибдена (ПНЭ1 или ПНЭ2). Полученные таким образом покрытия обладают высокой прочностью и твердостью, высокой жаростойкостью и жаропрочностью, хорошо противостоят абразивному изнашиванию. В качестве недостатков использования молибдена при плазменном напылении можно отметить: высокую стоимость порошка, высокую твердость покрытия, увеличенный расход порошка при напылении.

При напылении можно использовать никель (ПНК2К8 или ПНК2К9). Никелевые порошки позволяют получить хорошую адгезию покрытия к основе.

В качестве наплавочного материала можно применять порошки титана (ПТС). Покрытие, полученное с использованием такого порошка, обладает

высокой прочностью и пластичностью. Однако следует отметить высокую склонность к отслаиванию.

При плазменной наплавке возможно использование порошка хрома (ПХ1 или ПХ2). Напыление таких порошков позволяет получать покрытия с высокой прочностью и твердостью, которые хорошо противостоят высокотемпературному окислению. В качестве недостатка таких покрытий следует отметить плохое сопротивление покрытия ударным нагрузкам, большую разницу в коэффициентах термического расширения основного металла и покрытия, что приводит к повышению склонности к отслаиванию покрытия.

Нихром также может быть применён для напыления (ПХ20Н80). Достоинствами порошка нихрома является: возможность получения покрытия с высокой прочностью и твердостью, высокой жаростойкостью и жаропрочностью. Недостатками использования порошка нихрома для плазменного напыления являются: низкие пластические свойства получаемых покрытий; большая разница в коэффициентах термического расширения основного металла и покрытия, что приводит к повышению склонности к отслаиванию; слабая адгезия покрытия к основе.

При плазменных способах возможно применение порошков самофлюсующихся сплавов системы Ni-Cr-B-Si (ПГ-CP2, ПГ-CP3, ПГ-CP4, СНГС-50, СНГС-55, СНГС-60, ПН70Х17С4Р4). В качестве преимуществ использования такого материала для наплавки, можно отметить хорошую адгезию к подложке, высокую прочность покрытия, сопротивление ударным нагрузкам, хорошую связь слоёв покрытия друг с другом. Также следует отметить, что при работе с порошками самофлюсующихся сплавов не требуется высокой температуры напыления, а получаемое покрытие обладает хорошим сопротивлением против износа в условиях действия повышенных температур. Главным недостатком самофлюсующихся сплавов системы Ni-Cr-B-Si является их высокая стоимость, а также большая разница в

коэффициентах термического расширения основного металла и покрытия, приводящая к повышению склонности к отслаиванию.

Возможно применение порошков сплава Ni-Cr-Fe (ПГ-19Н-01). Этот порошок обеспечивает получение покрытия с высокой жаростойкостью и жаропрочностью. Недостатком применения порошков сплава Ni-Cr-Fe является низкая пластичность наплавляемого слоя и его слабая адгезия к основе.

При плазменных способах могут применять порошки из сплава Ni-Al (ПН70Ю30 и ПН85Ю15), которые позволяют получить покрытие с хорошим сопротивлением высоким температурам, хорошими антифрикционными свойствами. Однако, покрытия, полученные с использованием таких порошков, имеют слабое сопротивление абразивному изнашиванию.

Использование в качестве наплавочного порошка сплава Ni-Ti (ПН55Т45, ПН12Т88) позволяет получить покрытие с высокой прочностью, пластичностью хорошими антифрикционными характеристиками. Однако следует отметить низкую жаростойкость таких покрытий, а также большую разницу в коэффициентах термического расширения покрытия и основы.

Порошок сталь хромистой (П2Х13) позволяет получить близкий с основой коэффициент термического расширения, даёт прочную связь покрытия с основой, имеет низкую стоимость. В качестве недостатков такого порошка можно отметить низкую стойкость к абразивному изнашиванию, повышенное расходование порошка при напылении.

При наплавке возможно применение композиционных порошков, например, системы никель-алюминий (ПТ-НА-01, НА-67, ПНА-75, ПНА-80, ПНА-95). На основе таких порошков возможно получение прочных, твердых покрытий, обладающих хорошими антифрикционными характеристиками в сочетании с высокой жаростойкостью и жаропрочностью. Недостатком этих порошков является малое сопротивляемость знакопеременным нагрузкам, также следует отметить высокую твердость покрытия при слабой его адгезии к основе.

Из композиционных порошков может быть применён сплав никель – алюминий (ПТ-19Н-01). С использованием этого порошка получают прочные, пластичные покрытия, высокая пористость покрытия, высокая жаропрочность. Недостатки: слабое сопротивление ударным нагрузкам, большая разница в коэффициентах термического расширения, слабая адгезия к подложке.

Для напыления также возможно применение механических смесей порошков из никелевого самофлюсующегося сплава + карбида вольфрама. Получаемые покрытия обладают высокой стойкостью к абразивному изнашиванию и фреттинг коррозии, высокой твердостью, хорошей связью между слоями в покрытии. При напылении таких порошков не требуется применение высоких температур. Недостатками использования таких порошков в плазменных процессах восстановления являются: малое значение сопротивления ударным нагрузкам, малая стойкость при высоких температурах, большая цена порошка.

На основании проведённого анализа порошков для восстановления можно предложить комплексный вариант технологии нанесения покрытия. Для формирования подслоя используется напыление порошка ПТ-НА-01. Затем производят послойное напыление сплава никель-алюминий и самофлюсующегося сплава Ni-Cr-B-Si. Применение самофлюсующихся сплавов позволит обеспечить хорошую связь между слоями и сопротивление ударным нагрузкам. Применение сплава никель-алюминий позволит обеспечить хорошие антифрикционные свойства поверхности изделия. После нанесения каждого слоя необходимо проведение дробеструйной обработки, что улучшит сцепление слоев.

## 2.2 Описание способа подачи порошка

Для осуществления плазменной наплавки предлагается установка (рис. 2.1), содержащая плазмотрон 1 с вольфрамовым электродом 2, бункер 3 с выпускной полостью 4 и дозирующим отверстием 5, элемент перекрытия дозирующего отверстия в виде запорной иглы 6.

Выпускная полость 4 бункера 3 заполнена порошкообразным присадочным материалом 7 с повышенным коэффициентом трения и сцепления частиц между собой, способного к уплотнению в переходных сечениях выпускной полости 4 и сообщена с атмосферой.

Поток 8 порошкообразного присадочного материала 7 под действием сил тяжести направлен по вертикали в столб 9 сжатой дуги 10 между вольфрамовым электродом 2 и наплавляемой поверхностью 11 изделия.

Плазмотрон 1 расположен под углом  $\alpha$  к потоку 8 порошкообразного присадочного материала 7 при его подаче в столб 9 сжатой дуги 10, которую образуют с помощью источника сварочного тока 12.

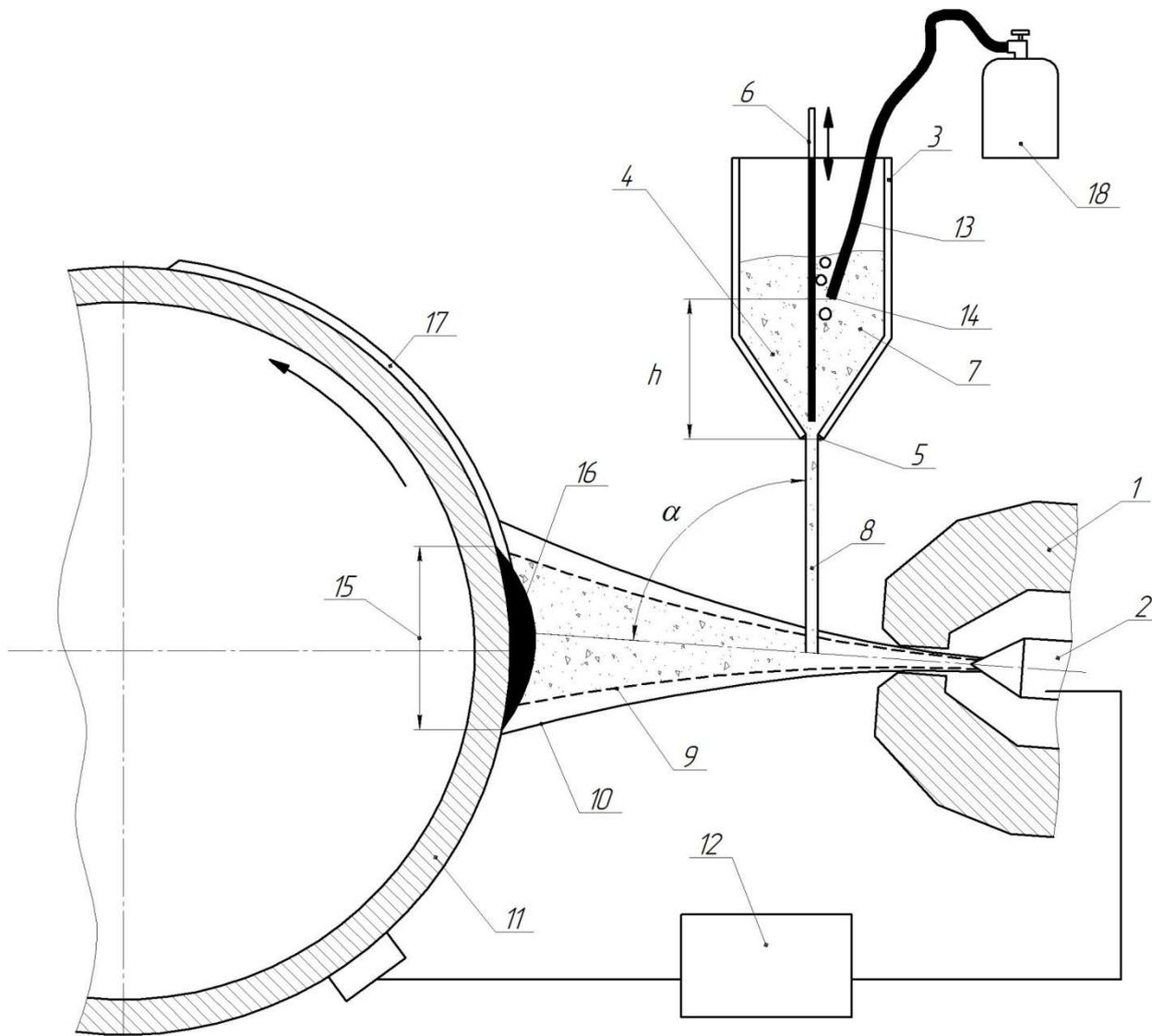
В поток порошкообразного присадочного материала 7 выпускной полости 4 бункера 3 с помощью узкоцилиндрического канала 13 введен непрерывный или пульсирующий поток воздуха или газа, при этом зона ввода 14 потока воздуха или газа по высоте выпускной полости 4 бункера 3 расположена на расстоянии  $h$  от среза дозирующего отверстия 5.

Сжатая дуга 10 в зоне пятна нагрева 15 образует сварочную ванну 16, а на поверхности 11 изделия слой 17 наплавленного металла.

Поток воздуха или газа в поток порошкообразного присадочного материала 7 выпускной полости 4 бункера 3 создают, с помощью баллона 18.

Способ осуществляют следующим образом. Плазмотрон 1 устанавливают под углом  $\alpha$  к вертикали, между вольфрамовым электродом 2 и наплавляемой поверхностью 11 с помощью источника сварочного тока 12 образуют сжатую дугу 10. Подъемом запорной иглы 6 открывают дозирующее отверстие 5 выпускной полости 4 бункера 3, заполненную

порошкообразным присадочным материалом 7 с повышенным коэффициентом трения и сцепления частиц между собой, способного к уплотнению при сужении потока частиц в переходных сечениях выпускной полости 4 бункера 3.



- 1 - плазматрон; 2 - вольфрамовый электрод; 3 - бункер; 4 - выпускная полость бункера; 5 - дозирующее отверстие бункера; 7 - присадочный материал; 8 - поток присадочного материала; 9 - столб дуги; 10 - дуга; 11 - изделие; 12 - источник питания; 13 - узкоцилиндрический канал; 14 - зона ввода потока газа; 5 - пятно нагрева; 16 - сварочная ванна; 17 - наплавленный слой; 18 - газовый баллон

Рисунок 2.1 – Работа установки плазменной наплавки

В поток порошкообразного присадочного материала 7 выпускной полости 4 бункера 3 в зону ввода 14 с помощью узкоцилиндрического канала 13 из баллона 18 или путем выхлопа диафрагменного насоса 18 переменного тока подают непрерывный или пульсирующий поток воздуха или газа.

В зоне ввода 14 в поток порошкообразного присадочного материала 7 выпускной полости 4 бункера 3 с помощью узкоцилиндрического канала 13 непрерывного или пульсирующего потока воздуха или газа уменьшенного поперечного сечения в потоке порошкообразного присадочного материала 7 выпускной полости 4 бункера 3, сообщенной с атмосферой, под действием напора воздуха или газа возникают пульсации, вызывающие последовательное динамическое рыхление и перемешивание порошкообразного присадочного материала 7 на пути перемещения в направлении выпуска через дозирующее отверстие 5 с отводом потока воздуха или газа из зоны ввода 14 в направлении выпуска в атмосферу. При этом снижается трение и сцепление частиц порошкообразного присадочного материала 7 между собой в области сужения потока в переходных сечениях выпускной полости 4 бункера 3, что повышает равномерность истечения порошкообразного присадочного материала 7 через дозирующее отверстие 5 в столб 9 сжатой дуги 10 при снижении завихрения частиц в направлении выпуска потока воздуха или газа из зоны ввода 14 в атмосферу.

В зоне ввода 14 в поток порошкообразного присадочного материала 7 выпускной полости 4 бункера 3 пульсирующего потока воздуха или газа при его подаче путем выхлопа диафрагменного насоса 18 переменного тока с образованием в зоне ввода 14 пульсирующего напора увеличивается степень рыхления и перемешивания потока порошкообразного присадочного материала 7 в переходных сечениях выпускной полости 4 бункера 3 в направлении выпуска через дозирующее отверстие 5. При этом снижается суммарный расход воздуха или газа, а также степень завихрения и объем витания частиц порошкообразного присадочного материала 7 в направлении выпуска потока воздуха или газа из зоны ввода 14 в атмосферу.

Возможность смещения узкоцилиндрического канала 13 по высоте выпускной полости 4 бункера 3 путем изменения расстояния  $h$  от среза дозирующего отверстия 5 обеспечивает регулирование степени рыхления и перемешивания порошкообразного присадочного материала 7 в переходных сечениях выпускной полости 4 бункера 3 на пути перемещения потока частиц 7 в направлении выпуска через дозирующее отверстие 5 в столб 9 сжатой дуги 10, с изменением степени завихрения и объема витания частиц порошкообразного присадочного материала 7 в направлении выпуска потока воздуха или газа из зоны ввода 14 в атмосферу.

Осуществление перекрытия дозирующего отверстия 5 посредством узкоцилиндрического 13 канала способствует снижению и выравниванию бокового давления потока порошкообразного присадочного материала 7 в переходных сечениях выпускной полости 4 бункера 3 за счет симметричного расположения зоны ввода 14 потока воздуха или газа относительно дозирующего отверстия 5 при обеспечении рыхления и перемешивания потока частиц в приосевой зоне выпускной полости 4 бункера 3, что снижает трение частиц с ее боковой поверхностью в области наибольшего сужения потока частиц в направлении выпуска через дозирующее отверстие 5 в столб 9 сжатой дуги 10.

Снижение трения и сцепления частиц порошкообразного присадочного материала 7 за счет рыхления и перемешивания потока частиц в переходных сечениях выпускной полости 4 бункера 3 путем подачи непрерывного или пульсирующего потока воздуха или газа, который вводят в поток порошкообразного присадочного материала 7 с помощью узкоцилиндрического канала 13 с возможностью его смещения по высоте выпускной полости 4 бункера 3, а также осуществление перекрытия дозирующего отверстия 5 посредством узкоцилиндрического канала 13 увеличивают равномерность подачи порошкообразного присадочного материала 7 в столб 9 сжатой дуги 10. При этом в столбе 9 сжатой дуги 10

происходит интенсивное плавление частиц порошкообразного присадочного материала 7 с переносом в зону пятна нагрева 15 в жидком состоянии.

В зоне пятна нагрева 15 изделия образуется сварочная ванна 16, а на поверхности 11 наплавленный слой 17 высокого качества.

### 2.3 Технология нанесения покрытия

Детали на восстановительный участок подают в оборотной таре, используя внутрицеховые транспортные средства. На участке расположен стеллаж, где происходит складирование деталей.

Очистка деталей от загрязнений – наиболее характерная и специфическая операция при ремонте. Качество её проведения в значительной мере определяет производительность труда ремонтных рабочих, качество восстановления, долговечность и надежность отремонтированных машин. Правильное проведение очистки деталей является залогом повышения культуры производства и улучшения внешнего вида всего ремонтного производства.

Очистку вала перед наплавкой производят с использованием щелочного состава, препаратами МЛ-51 или МЛ-52 берущимися в виде водного раствора с концентрацией 10...30 г/литр и температурой 75...80 °С.

В моющем составе МЛ-51 присутствуют компоненты в концентрации по табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Состав раствора для мойки валов

тринатрийфосфат	сода кальцинированная	каустическая сода
18 г/литр	10 г/литр	5 г/литр

Очистку деталей перед наплавкой производят с использованием установки ММА1. Продолжительность очистки составляет 30...40 минут.

После очистки детали подают на рабочее место дефектовщика, который производит осмотр деталей, выявляя дефекты, измеряет величину износа.

Далее деталь передаются на стол проведения подготовительных работ. В целях улучшения адгезии напыляемого слоя производят дробеструйную обработку поверхности вала.

После этого закрепляют вал в токарном станке и производят напыление подслоя при режиме: ток напыления – 315А, напряжение – 65 В, расход газа азота – 0,5 л/час, расход аргона – 1,5 л/час, расход порошка – 0,55...0,62 г/см, применяемая фракция порошка – 60 мкм.

Напыление основного слоя производят в несколько этапов. Первый слой напыляют смесью порошков (95 % ПН85Ю15М + 5 % Х17СР1), при этом силе тока I составляет 350А, напряжение – 70 В. Расход азота – 0,5 л/час, расход аргона – 1,5 л/час, применяемая фракция порошка 60 мкм.

Второй слой, имеющий состав 90 % ПН85Ю15М + 10 % Х17СР1, наносят на тех же режимах.

Третий слой, имеющий состав 85 % ПН85Ю15М + 15 % Х17СР1, наносят на тех же режимах.

Четвёртый слой, имеющий состав 80 % ПН85Ю15М + 20 % Х17СР1, наносят на тех же режимах.

Пятый слой, имеющий состав 75 % ПН85Ю15М + 25 % Х17СР1, наносят на тех же режимах.

Слои наносят поочередно, после каждого следует производить дробеструйную обработку.

#### Моечная машина ММА1

Промывку валов перед отбраковкой и дефектацией предлагается производить с использованием моечной машины ММА1 (рис. 2.2). Эта машина является агрегатом, который работает с агрессивной средой –

моющий раствор – способной вызывать раздражение в случае попадания на кожу человека.

Техническая характеристика моечной машины ММА1 представлена в табл. 2.2.

Таблица 2.2 – Техническая характеристика моечной машины ММА1

Тип	Емкость ванны	Наполнение ванны	Частота покачивания рамки	Время промывки	Габаритные размеры
наливная с покачиванием промываемых деталей	1,5 м <sup>3</sup>	70%	12 раз/мин	30-40 минут	длина 2000 мм, ширина 1200 мм, высота 1280 мм



Рисунок 2.2 – Моечная машина ММА1

Применяется следующая последовательность работы на моечной машине ММА1:

- 1) Открывают крышку ванны, открывают кран наполнения ванны водой , следят за заливом воды до обозначенного уровня.

- 2) Взвешивают и засыпают в ванну компоненты моющего состава.
- 3) Закрывает крышку ванны, открывают кран подачи пара и включают электродвигатель покачивания рамки.
- 4) Загружают вал в корзину, которую затем устанавливают на рамку моечной машины.
- 5) Закрывают крышку ванны и включают привод покачивания.
- 6) Извлекают корзину, производят ополаскивание вала, и перемещают корзину с валом на рабочее место дефектовщика.

### Установка для наплавки

Установка для наплавки (рис. 2.2) состоит из следующих узлов: станины 1; вращателя 2; пульта управления 3; суппорта 4; пиноли 5; сварочного пистолета 6; бункера для порошка 7; привода 8; задней бабки 9; защитного экрана 10; приспособления установочного 11.

В процессе восстановления будет использован имеющийся на производстве токарный станок А364, что позволит получить экономию капитальных затрат в процессе внедрения проектной технологии в производство, сокращение площади участка и повышение коэффициента загрузки оборудования.

Таблица 2.3 – Техническая характеристика установки для восстановления вала

Наибольший диаметр изделия, устанавливаемого над станиной	Расстояние между центрами	Диапазон оборотов, в минуту шпинделя	Длина	Ширина	Высота	Масса
800 мм	3200 мм	12,5...2000	6700 мм	840 мм	2840 мм	2300 кг

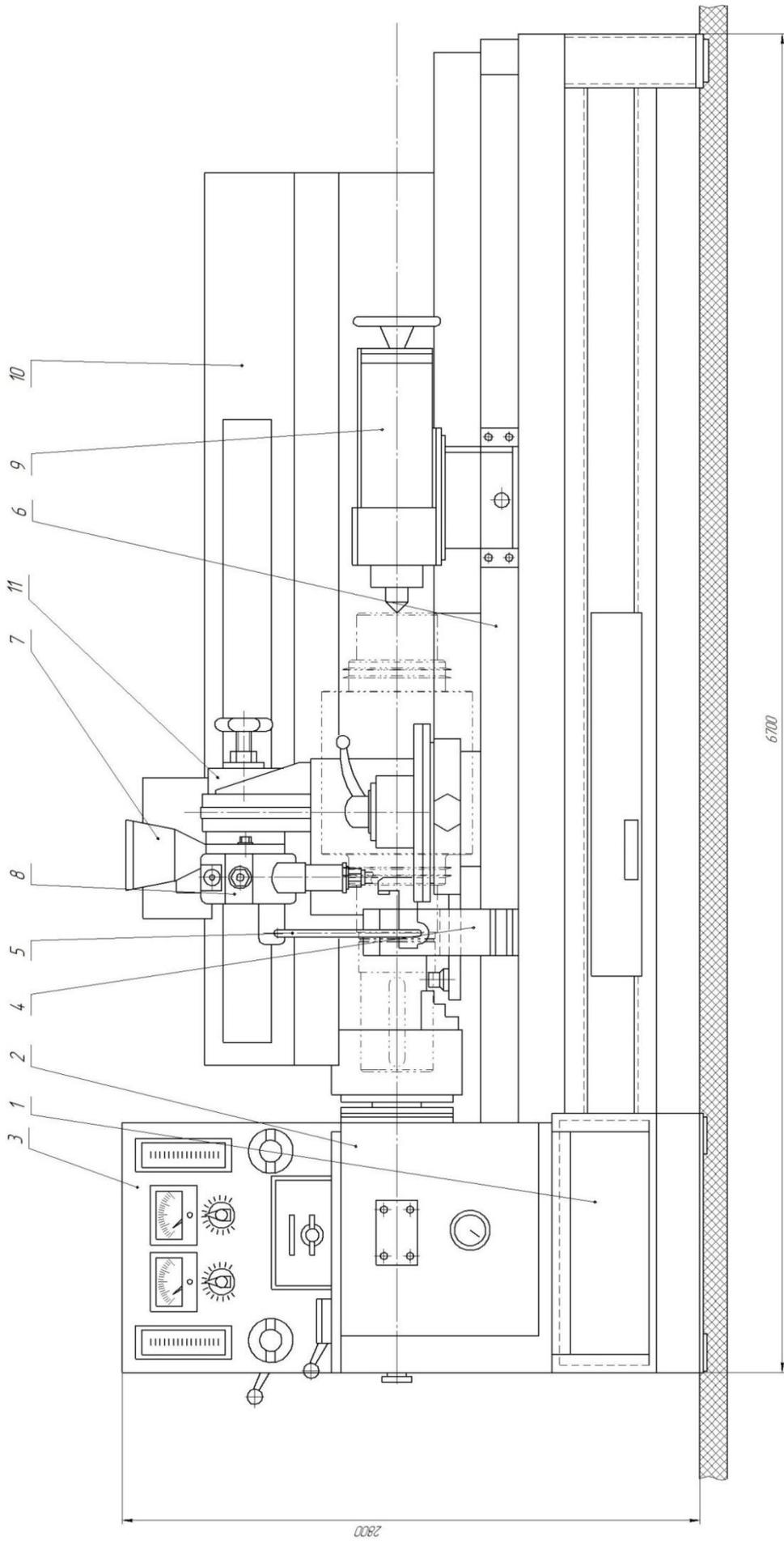


Рисунок 2.3 – Установка для плазменной наплавки

## 2.4 Планировка участка

Проектный технологический процесс восстановления вала предусматривает выполнение следующих операций: 1) мойки; 2) дефектации; 3) подготовки; 4) наплавки; 5) обработки; 6) мойки; 7) контроля качества.

Ремонтный участок (рис 2.3) располагается в северной части ремонтного цеха производства и предусматривает размещение следующих основных видов оборудования:

1. Стеллаж для изношенных деталей
2. Ванна для моющего раствора
3. Верстак слесарный
4. Комплекс контрольно-измерительный
5. Станок сверлильный
6. Электропечь СНО
7. Камера дробеструйная
8. Пост нанесения защитных покрытий
9. Установка для напыления УПУ-8М
10. Каналы вентиляционные
11. Экран защитный
12. Тележка для перевозки и хранения деталей
13. Тележка для перевозки баллонов с газом
14. Стеллаж для хранения готовой продукции
15. Ванна помывочная
16. Стеллаж для хранения ремонтного фонда и прочих инструментов и материалов
17. Вентиляция приточная
18. Циклон пылеотделяющий
19. Вентилятор пылеудаляющий

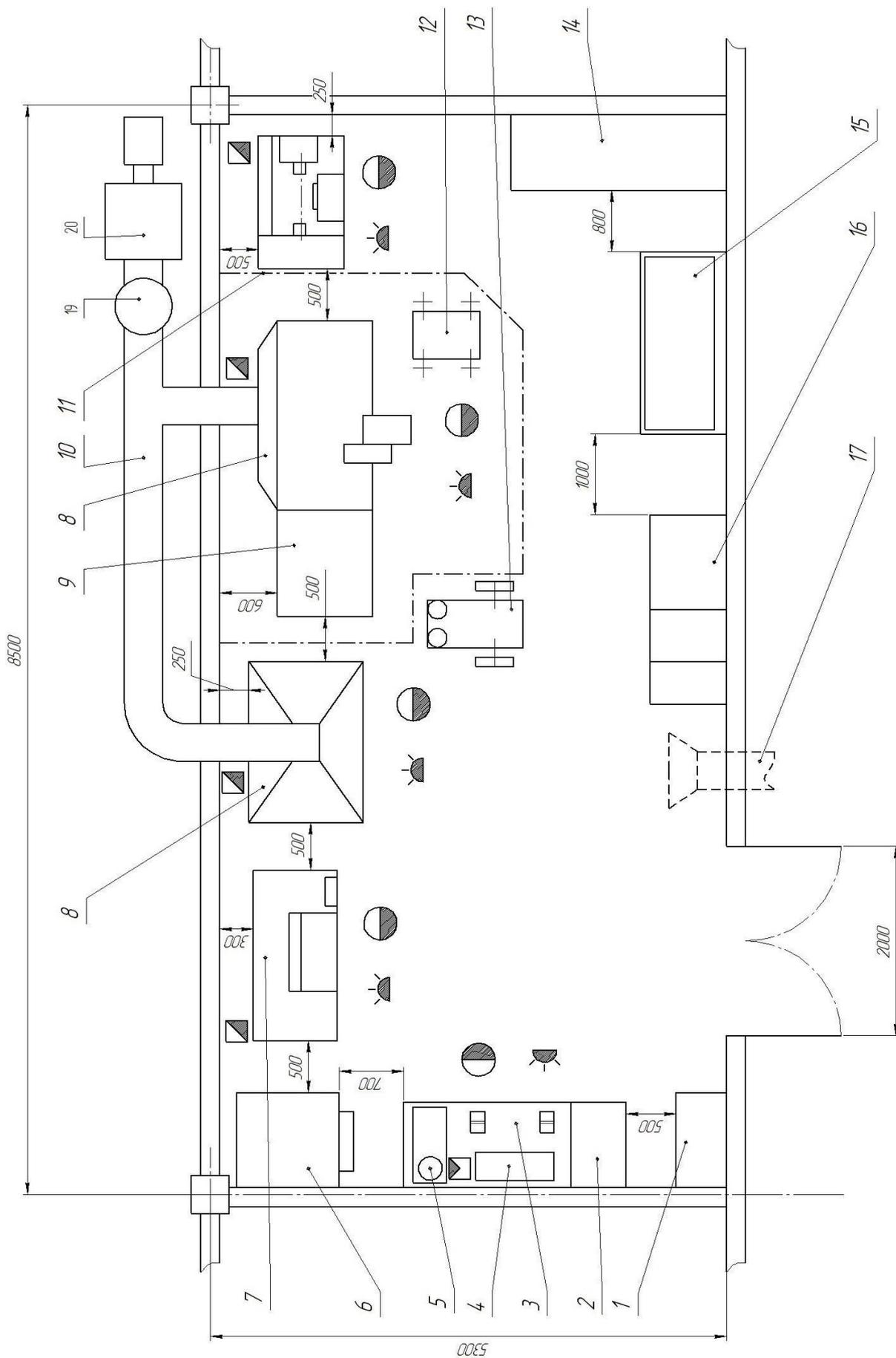


Рисунок 2.3 – Планировка участка

## 3 БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

### 3.1 Технологическая характеристика объекта

Проектная технология плазменной наплавки предусматривает выполнение следующих операций: 1) мойки; 2) наплавки; 3) контроля качества.

Осуществление этих операций производится на участке, предусматривает размещение следующего оборудования:

- моечная машина ММА1;
- станок фрезерный СФ676;
- Дробеструйная камера ГАКМ-ДК-М;
- Установка для плазменной наплавки УПУ-8М.

Выполнение сварочных работ может сопровождаться несчастными случаями и возникновением у персонала профессиональных заболеваний.

За соблюдением правил техники безопасности на предприятиях следит инспекция Госгортехнадзора РФ, инспектор ЦК профсоюзов, Государственная санитарная инспекция и Государственная инспекция пожарной охраны.

Таблица 3.1 - Технологический паспорт объекта

Технологическая операция, вид выполняемых работ	Должность работника, который выполняет операцию технологического процесса	Применяемые устройства, оборудование, приспособления	Применяемые вещества и материалы
1. Мойка	Слесарь-сборщик	Моечная машина ММА1, дробеструйная камера ГАКС-ДК-М	Круг абразивный, ацетон, ветошь, дробь стальная
2. Наплавка	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	Установка восстановления валов УПУ-8М	Азот, наплавочный порошок,
3. Контроль качества	Дефектоскопист	Твердомер	Ветошь

### 3.2 Идентификация персональных рисков

Таблица 3.2 – Идентификация профессиональных рисков

Производственно-технологическая операция, вид выполняемых работ	Опасный и /или вредный производственный фактор	Источники опасных и вредных производственных факторов
1	2	3
1. Мойка	<ul style="list-style-type: none"> <li>- наличие острых кромок, заусенцев и шероховатостей на поверхности заготовок, инструмента и оборудования</li> <li>- движущиеся части машин и механизмов, производственного оборудования</li> <li>- повышенное запыление и загазованность воздуха в рабочей зоне</li> <li>- повышенное напряжение в электрической цепи, для которой существует опасность замыкания через человека</li> </ul>	Машинка угловая шлифовальная, моечная установка ММА-1, дробеструйная камера ГАКС-ДК-М

1	2	3
2. Наплавка	- высокое значение температуры поверхностей у оборудования и материалов - повышенное напряжение в электрической цепи, для которой существует опасность замыкания через человека - повышенное запыление и загазованность воздуха в рабочей зоне	Установка УПУ-8М
3. Контроль качества	- наличие острых кромок, заусенцев и шероховатостей на поверхности заготовок, инструмента и оборудования - движущиеся части машин и механизмов, производственного оборудования	Твердомер

### 3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 3.3 - Методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов

Опасные и вредные производственные факторы	Организационные мероприятия и технические средства для защиты, снижения и устранения опасных и вредных производственных факторов	Средства индивидуальной защиты работника
1	2	3
1. Наличие острых кромок, заусенцев и шероховатостей на поверхности заготовок	Периодический инструктаж по технике безопасности	Перчатки, спецодежда.
2. Движущиеся части машин и механизмов, производственного оборудования	Нанесение предупреждающих надписей, соответствующей окраски, установка ограждений	-
3. Высокое значение температуры поверхностей у оборудования и материалов	Периодический инструктаж по технике безопасности	Спецодежда, перчатки

1	2	3
4. Повышенное напряжение в электрической цепи, для которой существует опасность замыкания через человека	Организация заземления электрических машин и периодического контроля изоляции.	-
5. Повышенный уровень ультрафиолетовой радиации	Экранирование места сварки щитами,	Спецодежда, маска сварщика
6. Высокий уровень инфракрасной радиации	Экранирование зоны сварки при помощи щитов	Спецодежда, маска сварщика
7. Высокая запыленность и загазованность воздуха в рабочей зоне	Организация вентиляции	Респиратор

#### 3.4 Обеспечение пожарной безопасности

Таблица 3.4 - Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Первичные средства тушения	Мобильные средства тушения	Стационарные системы	Пожарная автоматика	Пожарное оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей	Пожарный инструмент	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.
Ящики с песком, кошма, огнетушитель ОУ-1	Пожарные автомобили (вызываются)	-	-	Краны пожарные напорные пожарные рукава	План эвакуации	Лопата, багор, топор	Телефон в помещении начальника участка, кнопка извещения о пожаре

Таблица 3.5 - Идентификация классов и опасных факторов пожара

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Участок ремонтной наплавки	Установка УПУ -8М	пожары, которые протекают при воспламенении и горении веществ и материалов на электроустановках, имеющих электрическое напряжение (Е)	Наличие пламени и искр; теплового потока; повышенной температуры окружающей среды; повышенной концентрации токсичных продуктов горения и термического разложения; пониженная концентрация кислорода; снижение видимости в дыму	замыкание на проводящие ток части технологических установок напряжения с высоким значением на оборудовании, агрегатах, изделиях и иного имущества; термохимическое воздействие огнетушащих веществ, которые используются при пожаре, на предметы и людей

Таблица 3.6 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Технологический процесс	Вид реализуемого организационного или технического мероприятия	Требования для обеспечения пожарной безопасности, достигаемый эффект
Ремонтная наплавка	Ознакомление рабочего персонала и служащих с правилами пожарной безопасности, использование средств наглядной агитации по пожарной безопасности, проведение с производственным персоналом учений по обеспечению пожарной безопасности	Необходимо в достаточном количестве наличие на участке первичных средств пожаротушения, применять защитные экраны для ограничения разлёта искр.

### 3.7 Обеспечение экологической безопасности технологического объекта

Таблица 3.7 – Идентификация экологических факторов технического объекта

Реализуемый технологический процесс	Составляющие операции технологического процесса	Отрицательное влияние технического объекта на атмосферу	Отрицательное влияние технического объекта на гидросферу	Отрицательное влияние технического объекта на литосферу
Ремонтная наплавка	Подготовка деталей, сборка под наплавку, наплавка, контроль качества	газообразные частицы и сажа, которые выделяются при наплавке	-	упаковка от порошка бумажная и полиэтиленовая; металлолом, преимущественно стальной; бытовой мусор.

Таблица 3.8 – Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду

Наименование технического объекта	Ремонтная наплавка
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Необходимо произвести установку контейнеров, для селективного сбора бытового мусора и производственных отходов. Предусмотреть отдельный контейнер для металлолома. Нанести на контейнеры соответствующие надписи. Проводить инструктаж среди производственного персонала по правильному складыванию в контейнеры мусора и отходов.

### 3.6 Заключение по разделу

При выполнении данного раздела выявлены опасные и вредные производственные факторы, сопровождающие проектную технологию. Произведён анализ возможности устранения и уменьшения этих факторов, показавший, что при использовании стандартных средств обеспечения безопасности и санитарии производства можно добиться безопасности работников при промышленном внедрении результатов проекта. В разработке специальных и дополнительных средств защиты нет необходимости. Наблюдается угроза экологической безопасности. При осуществлении проектной технологии требуется соблюдать технологический регламент и производственную санитариию.

## 4 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

### 4.1 Исходные данные для экономического расчета

В базовом варианте технологии восстановление изношенных валов производится наплавкой с использованием ручной дуговой сварки. В проектном варианте технологии предлагается использовать плазменное напыление на изношенных участках. Внедрение проектного варианта в производство позволит снизить трудоемкость, облегчить труд рабочего и получить годовую экономию благодаря снижению себестоимости процесса восстановления дефектного оборудования. Экономический эффект предполагается получить благодаря внедрению более производительного метода восстановления и благодаря повышению производительности труда.

Экономические расчеты производим по изменяющимся операциям технологического процесса восстановления изделия.

Таблица 4.1 – Исходные данные

№ п/п	Усл. обозн.	Показатель	Ед. изм.	Варианты	
				Базов.	Проект.
1	2	3	4	5	6
1.	Пг	Программа годовая	Шт	1200	1200
2.	Тб/Тпр	Срок службы изделия по баз/проект варианту	Год	2	3
3.	Сч	Часовая тарифная ставка	Руб/час	150	120
4.	Цоб	Балансовая стоимость оборудования	Руб	24000	160000
5.	Му	Мощность установки	кВт	3,6	5,0
6.	КПД	Коэффициент полезного действия установки	-	0,7	0,7
7.	Цээ	Стоимость электроэнергии	Руб/кВт	1,79	1,79
8.	Цэл	Цена присадочного материала	Руб/кг	270	410
9.	Цзг	Стоимость защитного газа	Руб/м <sup>3</sup>	-	90
10.	Узг	Удельный расход защитного газа	М <sup>3</sup> /час	-	50

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6
11.	Ктз	Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	-	1,05	1,05
12.	Кд	Коэффициент доплат к основной заработной плате	-	1,88	1,88
13.	Кдоп	Коэффициент отчислений на дополнительную заработную плату	%	12	12
14.	Ксс	Коэффициент отчислений на социальные нужды	%	34	34
15.	На	Норма амортизационных отчислений на оборудование	%	21	21
16.	S	Площадь занимаемая оборудованием	М <sup>2</sup>	8	11
17.	Цпл	Стоимость приобретения производственных площадей	Руб/м <sup>2</sup>	3000	3000
18.	Сэкспл	Стоимость аренды площади	Руб/м <sup>2</sup>	1800	1800
19.	Напл	Норма амортизационных отчислений на площадь	%	2	2
20.	Кмонт	Коэффициент учитыв. затраты на монтаж (демонтаж обор.)	%	3	2
21.	Ен	Нормативный коэффициент экономической эффективности дополн. капит. вложений	-	0,33	0,33
22.	Кцех	Коэффициент цеховых расходов	-	1,5	1,5
23.	Кзав	Коэффициент заводских расходов	-	2,15	2,15
24.	Квн	Коэффициент внепроизводственных расходов	%	5	5
25.	F <sub>э</sub>	Эффективный фонд времени работы оборудования	ч	2054	2054

#### 4.2 Расчет норм времени

Нормы времени рассчитываем на операции изменяющиеся базового и проектного технологического процесса.

Величину машинного времени принимаем из технологии, приведённой во втором разделе данной работы.

Расчеты проводим с использованием формулы:

$$t_{шт} = t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отл} + t_{п-з} \quad (4.1)$$

где  $t_{\text{маш}}$  – машинное время;

$t_{\text{всп}}$  – вспомогательное время,  $t_{\text{всп}}=10\%$  от  $t_{\text{маш}}$ ;

$t_{\text{обсл}}$  – время обслуживания оборудования и рабочего места,  $t_{\text{обсл}} = 10\%$  от  $t_{\text{маш}}$ ;

$t_{\text{отл}}$  – время на личный отдых рабочего,  $t_{\text{отл}} = 5\%$  от  $t_{\text{маш}}$ ;

$t_{\text{п-з}}$  – время подготовительно-заключительное,  $t_{\text{п-з}} = 1\%$  от  $t_{\text{маш}}$ .

$$t_{\text{маш.баз.}} = 1,50 \text{ часа}$$

$$t_{\text{шт.баз.}} = 1,50 + 1,50 \cdot 10\% + 1,50 \cdot 10\% + 1,50 \cdot 5\% + 1,50 \cdot 1\% = 1,890 \text{ ч}$$

$$t_{\text{маш.пр.}} = 0,60 \text{ часа, тогда}$$

$$t_{\text{шт.пр.}} = 0,60 + 0,60 \cdot 10\% + 0,60 \cdot 10\% + 0,60 \cdot 5\% + 0,60 \cdot 1\% = 0,760 \text{ ч}$$

#### 4.3 Расчет необходимого количества оборудования

Рассчитываем количество оборудования, которое необходимо для проведения технологического процесса, с учётом установленной производственной программы, составляющей 1200 изделий.

Расчётное число необходимых единиц оборудования на каждую операцию составит:

$$n_{\text{ДАН}} = \frac{t_{\text{шт}} \cdot \dot{I}_{\text{А}}}{F_{\text{Э}} \cdot \hat{E}_{\text{А}}}, \quad (4.2)$$

где  $t_{\text{шт}}$  – штучное время, час ;

$\dot{I}_{\text{А}}$  – годовая программа, штук в год;

$F_{\text{Э}}$  – эффективный фонд времени работы оборудования, час;

$n_{\text{расч}}$  – расчетное количество мест, шт.;

$K_{\text{вн}}$  – коэффициент выполнения нормы, 1,1.

$$n_{\text{РАСЧ.б}} = \frac{1,89 \cdot 1200}{2054 \cdot 1,1} = 1,0 \text{ шт.}$$

$$n_{\text{РАСЧ.пр}} = \frac{0,76 \cdot 1200}{2054 \cdot 1,1} = 0,40 \text{ шт.}$$

Число рабочих мест  $n_{пр}$  задаём путём округления расчётного значения  $n_{расч}$  до ближайшего целого большего числа,

По базовому варианту -  $n_{пр} = 1$  шт,

По проектному варианту  $n_{пр} = 1$  шт.

Рассчитываем коэффициент загрузки рабочего места по формуле

$$K_3 = n_{расч}/n_{пр}, \quad (4.3)$$

где  $n_{расч}$  – расчётное количество оборудования;

$n_{пр}$  – принятое количество оборудования.

$$K_{з.баз.} = 1/1 = 1$$

$$K_{з.пр.} = 0,4/1 = 0,4$$

Определившись со значением коэффициента загрузки, зададим число основных рабочих мест по одному для проектной и базовой технологии.

#### 4.4 Общие капитальные затраты

Производим расчёт капитальных затрат по базовой технологии:

$$K_{ОБЩ.Баз.} = K_{Об.Баз.} = n \cdot Ц_{Об.Баз.} \cdot K_{з.Баз.}, \quad (4.4)$$

где  $Ц_{Об}$  – величина остаточной стоимости оборудования с учетом срока службы, руб;

$n$  – количество оборудования, которое необходимо для выполнения производственной программы;

$K_3$  – значение коэффициента загрузки оборудования.

$$Ц_{ОбБ} = Ц_{ПЕРВ} - (Ц_{ПЕРВ} \cdot T_{сл} \cdot N_A / 100), \quad (4.5)$$

где  $Ц_{ПЕРВ}$  – величина стоимости по приобретению оборудования – 24000 рублей;

$T_{сл}$  – срок службы оборудования на момент выполнения дипломного проекта, лет – 2,5 года по данным предприятия;

$N_A$  – принятое значение нормы амортизации оборудования.

$$Ц_{Об.Баз.} = 24000 - (24000 \cdot 2,5 \cdot 21 / 100) = 11400 \text{ рублей}$$

$$K_{ОБЩ.Баз.} = 1 \cdot 11400 \cdot 1 = 11400 \text{ рублей}$$

Расчёт капитальных затрат по проектному варианту производим по формуле:

$$K_{\text{ОБЩ.ПР.}} = K_{\text{ОБ.ПР.}} + K_{\text{ПЛ.ПР.}} + Z_{\text{СОП.ПР.}}, \quad (4.6)$$

где  $K_{\text{ОБ.ПР.}}$  – размер капитальных вложений в оборудование, руб.;  
 $K_{\text{ПЛ.ПР.}}$  – размер капитальных вложений в дополнит. площади, руб.;  
 $Z_{\text{СОП.ПР.}}$  – размер сопутствующих капитальных затрат, рублей

$$K_{\text{ОБ.ПР.}} = n \cdot C_{\text{ОБПР.}} \cdot K_{\text{Т-З}} \cdot K_{\text{Зпр.}}, \quad (4.7)$$

где  $C_{\text{ОБ.ПР}}$  – стоимость приобретения нового оборудования, рублей (160000 рублей);  
 $K_{\text{Т-З}}$  – значение коэффициента, учитывающего транспортно-заготовительные расходы на доставку оборудования;  
 $n$  – количество единиц оборудования;  
 $K_{\text{З.пр.}}$  – значение коэффициента загрузки оборудования по проектному проектной технологии.

$$K_{\text{ОБ.ПР.}} = 1 \cdot 160000 \cdot 1,05 \cdot 0,4 = 67200 \text{ рублей}$$

$$K_{\text{ПЛ.ПР.}} = C_{\text{ПЛ.}} \cdot (S_{\text{ПР}} - S_{\text{Б}}) \cdot K_{\text{Зпр.}}, \quad (4.8)$$

где  $S_{\text{ПР}} - S_{\text{Б}}$  – дополнительная площадь по проектному варианту, м<sup>2</sup>;  
 $C_{\text{ПЛ.}}$  – стоимость приобретения площади, руб/м<sup>2</sup>;  
 $K_{\text{З.пр.}}$  – значение коэффициента загрузки по проектному варианту.

$$K_{\text{ПЛ.ПР.}} = 3000 \cdot (11 - 8) \cdot 0,4 = 3600 \text{ рублей}$$

$$Z_{\text{СОП}} = Z_{\text{ДЕМ}} + Z_{\text{МОНТ}}, \quad (4.9)$$

где  $Z_{\text{ДЕМ}}$  – значение затрат на демонтаж оборудования, используемого по базовой технологии, руб;  
 $Z_{\text{МОНТ}}$  – значение затраты на монтаж оборудования, рублей

$$Z_{\text{ДЕМ}} = n \cdot C_{\text{ОБ.Б}} \cdot K_{\text{ДЕМ}} / 100, \quad (4.10)$$

где  $K_{\text{ДЕМ}}$  – значение коэффициента, который учитывает затраты на демонтаж оборудования, %.

$$Z_{\text{ДЕМ}} = 1 \cdot 24000 \cdot 3 / 100 = 720 \text{ рублей}$$

$$Z_{\text{МОНТ}} = n \cdot C_{\text{ОБПР.}} \cdot K_{\text{МОНТ}} / 100,$$

где  $K_{\text{МОНТ}}$  – значение коэффициента, который учитывает затраты на монтаж оборудования по проектному варианту, %.

$$Z_{\text{МОНТ}} = 1 \cdot 160000 \cdot 2 / 100 = 3200 \text{ рублей}$$

$$Z_{\text{СОП}} = 720 + 3200 = 3920 \text{ рублей}$$

Производим расчёт капитальных затрат по проектному варианту:

$$K_{\text{ОБЩ.ПР.}} = 67200 + 3600 + 3920 = 74720 \text{ рублей}$$

Расчёт дополнительных капитальных вложений

$$K_{\text{ДОП}} = K_{\text{ОБЩ.ПР.}} - K_{\text{ОБЩ.Баз}} \quad (4.13)$$

$$K_{\text{ДОП}} = 74720 - 11400 = 63320 \text{ руб}$$

Расчёт удельных капитальных вложений производим по формуле:

$$K_{\text{УД}} = K_{\text{ОБЩ}} / \Pi_{\text{Г}}, \quad (4.14)$$

где  $\Pi_{\text{Г}}$  – годовая программа выпуска, шт/год.

$$K_{\text{УД.Баз.}} = K_{\text{ОБЩ.Баз.}} / \Pi_{\text{Г}} = 11400 / 1200 = 9,50 \text{ рублей}$$

$$K_{\text{УД.ПР.}} = K_{\text{ОБЩ.ПР.}} / \Pi_{\text{Г}} = 74720 / 1200 = 62,27 \text{ рублей}$$

#### 4.5 Расчет технологической себестоимости сравниваемых вариантов

Расчет технологической себестоимости ведется только по изменяющимся операциям технологического процесса. В нашем случае изменилась операция сварки.

##### Расчёт затрат на вспомогательные материалы

Расчёт затрат на электродный сварочный материал по базовому варианту технологии производим по формуле:

$$M_{\text{Б}} = M_{\text{ЭЛБ}} = C_{\text{ЭЛ}} \cdot N_{\text{рЭЛ}}; \quad (4.15)$$

где  $C_{\text{ЭЛ}}$  – цена электродов, руб/кг;

$N_{\text{рЭЛ}}$  = норма расхода электродов, кг.

$$M_{\text{ЭЛБаз.}} = 270 \cdot 0,48 = 129,6 \text{ рублей}$$

Расчёт затрат на электродную проволоку по проектному варианту технологии производим по формуле:

$$M_{\text{ЭЛПР}} = C_{\text{ЭЛ}} \cdot N_{\text{рЭЛ}}, \quad (4.16)$$

где  $C_{ЭЛ}$  – цена электродной проволоки, руб/кг;

$Нр_{ЭЛ}$  = норма расхода электродной проволоки, кг.

$$M_{ЭЛПР} = 310 \cdot 0,448 = 138,88 \text{ рублей}$$

Расчёт затрат на защитный газ по проектному варианту технологии производим по формуле:

$$Z_{з.г.} = C_{з.г.} \cdot Нр_{з.г.}, \quad (4.17)$$

где  $C_{з.г.}$  – цена защитного газа, руб/литр;

$Нр_{з.г.}$  – норма расхода защитного газа, литр.

$$Z_{з.г.} = 90 \cdot 0,213 = 19,17 \text{ рублей}$$

Произведём расчёт затрат на материалы в проектном варианте:

$$M_{пр.} = M_{эл.пр.} + Z_{зг} = 138,88 + 19,17 = 158,05 \text{ рублей}$$

Затраты на заработную плату основных производственных рабочих с отчислениями на социальные нужды

Расчёт затрат на основную заработную плату производим по формуле:

$$Z_{осн} = t_{шт} \cdot Cч \cdot Кд, \quad (4.18)$$

где  $Cч$  – часовая тарифная ставка рабочего, руб/час;

$Кд$  – коэффициент доплат к основной заработной плате;

$t_{шт}$  – норма штучного времени, час

$$Z_{осн.баз.} = 1,89 \cdot 150 \cdot 1,88 = 533,00 \text{ рублей}$$

$$Z_{осн.пр.} = 0,76 \cdot 120 \cdot 1,88 = 171,46 \text{ рублей}$$

Расчёт затрат на дополнительную заработную плату производим по формуле:

$$Z_{доп} = Z_{осн} \cdot Кдоп / 100, \quad (4.19)$$

где  $Кдоп$  – значение коэффициента, учитывающего отчисления на дополнительную заработную плату.

$$Z_{доп.баз.} = 533,00 \cdot 12 / 100 = 63,96 \text{ рубля}$$

$$Z_{доп.пр.} = 171,46 \cdot 12 / 100 = 20,58 \text{ рубля}$$

Расчёт фонда заработной платы производим по формуле

$$ФЗП = Z_{осн} + Z_{доп.} \quad (4.20)$$

$$ФЗП_{баз.} = 533,00 + 63,96 = 596,96 \text{ рублей}$$

$$\PhiЗП_{\text{пр.}} = 171,46 + 20,58 = 192,04 \text{ рублей}$$

Расчёт отчислений на социальные нужды производим по формуле

$$O_{\text{сн}} = \PhiЗП \cdot K_{\text{сс}} / 100, \quad (4.21)$$

где  $K_{\text{сс}}$  – коэффициент, учитывающий отчисления на социальные нужды, %.

$$O_{\text{сн.баз.}} = 596,96 \cdot 34 / 100 = 202,97 \text{ рублей}$$

$$O_{\text{сн.пр.}} = 192,04 \cdot 34 / 100 = 65,29 \text{ рублей}$$

#### Расчёт затрат на содержание и эксплуатацию оборудования

Расчёт затрат на амортизацию оборудования производим по формуле

$$A_{\text{об}} = \frac{K_{\text{об}} \cdot N_{\text{а}} \cdot t_{\text{маш}} \cdot n}{F_{\text{у}} \cdot 100}, \quad (4.22)$$

где  $K_{\text{об}}$  – величина капитальных вложений в оборудование по базовой технологии и проектной технологии, рублей;

$N_{\text{а}}$  – величина нормы амортизации оборудования, %;

$t_{\text{маш}}$  – машинное время.

$$A_{\text{обб}} = \frac{11400 \cdot 1,5 \cdot 21 \cdot 1}{2054 \cdot 100} = 1,75 \text{ рублей}$$

$$A_{\text{обпр}} = \frac{67200 \cdot 0,6 \cdot 21 \cdot 1}{2054 \cdot 100} = 4,12 \text{ рублей}$$

#### Расчёт расходов на электроэнергию

$$R_{\text{э-э}} = \frac{P_{\text{у}} \cdot C_{\text{э-э}} \cdot \eta \cdot n}{\text{КПД}}, \quad (4.23)$$

где  $P_{\text{у}}$  – мощность установки, кВт;

$C_{\text{э-э}}$  – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб/кВт·час;

КПД – коэффициент полезного действия установки;

$n$  – количество установок.

$$R_{\text{э-эб}} = \frac{3,6 \cdot 1,79 \cdot 1,5 \cdot 1}{0,7} = 13,81 \text{ рублей}$$

$$R_{\text{э-эпр}} = \frac{5,0 \cdot 1,79 \cdot 0,6 \cdot 1}{0,7} = 7,67 \text{ рублей}$$

Производим вычисление общих затрат на оборудование по формуле

$$Z_{об} = A_{об} + P_{э-э} \quad (4.24)$$

$$Z_{об.баз.} = 1,75 + 13,81 = 15,56 \text{ рублей}$$

$$Z_{об.пр.} = 4,12 + 7,67 = 11,79 \text{ рублей}$$

Затраты на амортизацию, содержание и эксплуатацию производственных площадей

Расчёт амортизации производственных площадей производим по формуле:

$$A_{п\ddot{e}} = \frac{\ddot{O}_{п\ddot{e}} \cdot S \cdot t_{\ddot{e}} \cdot I_{п\ddot{e}}}{F_{\ddot{y}} \cdot 100}, \quad (4.25)$$

где Цпл – стоимость приобретения площадей, руб/м<sup>2</sup>;

S – площадь, которая необходима для выпуска изделий, м<sup>2</sup>;

Нпл – амортизационные отчисления на площади, %.

$$A_{плб} = \frac{3000 \cdot 8 \cdot 1,89 \cdot 21}{2054 \cdot 100} = 4,64 \text{ рублей}$$

$$A_{плпр} = \frac{3000 \cdot 11 \cdot 0,76 \cdot 21}{2054 \cdot 100} = 2,56 \text{ рублей}$$

Расчёт расходов на содержание и эксплуатацию площадей производим по формуле:

$$P_{эсп} = C_{эсп} \cdot S \cdot t_{шт} / F_{э} \quad (4.26)$$

где Сэсп – стоимость эксплуатации площадей.

$$P_{эсп.б.} = 1800 \cdot 8 \cdot 1,89 / 2054 = 13,25 \text{ рублей}$$

$$P_{эсп.пр.} = 1800 \cdot 11 \cdot 0,76 / 2054 = 7,33 \text{ рублей}$$

Затраты на производственные площади производим по формуле:

$$Z_{пл} = A_{пл} + P_{эсп} \quad (4.27)$$

$$Z_{пл.б.} = 4,64 + 13,25 = 17,89 \text{ рублей}$$

$$Z_{пл.пр.} = 2,56 + 7,33 = 9,89 \text{ рублей}$$

Рассчитываем технологическую себестоимость

Расчёт технологической себестоимости произведём как сумму всех затрат

$$C_{тех} = M + ФЗП + O_{сн} + Z_{об} + Z_{пл} \quad (4.28)$$

$$C_{\text{тех.б.}} = 129,6 + 596,96 + 202,97 + 15,56 + 17,89 = 962,98 \text{ рублей}$$

$$C_{\text{тех.пр.}} = 158,05 + 192,04 + 65,29 + 11,79 + 9,89 = 437,06 \text{ рублей}$$

#### 4.6 Цеховая себестоимость

$$C_{\text{цех}} = C_{\text{тех}} + R_{\text{цех}}; \quad (4.29)$$

где  $R_{\text{цех}}$  – размер цеховых расходов, рублей

$$R_{\text{цех}} = Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{цех}} \quad (4.30)$$

где  $K_{\text{цех}}$  – значение коэффициента цеховых расходов;

$Z_{\text{осн}}$  – расходы на основную заработную плату рабочих, рублей

$$C_{\text{цех.б.}} = 962,98 + 533,00 \cdot 1,5 = 962,98 + 799,50 = 1762,48 \text{ рублей}$$

$$C_{\text{цех.пр.}} = 437,06 + 171,46 \cdot 1,5 = 437,06 + 257,19 = 694,25 \text{ рублей}$$

#### 4.7. Заводская себестоимость

$$C_{\text{зав}} = C_{\text{цех}} + R_{\text{зав}} = C_{\text{цех}} + K_{\text{зав}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (4.31)$$

где  $R_{\text{зав}}$  – сумма заводских расходов, рублей

$K_{\text{зав}}$  – значение коэффициента общезаводских расходов

$$C_{\text{зав.б.}} = 1762,48 + 533,00 \cdot 2,15 = 1762,48 + 1145,95 = 2980,43 \text{ рублей}$$

$$C_{\text{зав.пр.}} = 694,25 + 171,46 \cdot 2,15 = 694,25 + 368,64 = 1062,89 \text{ рублей}$$

Таблица 4.2 – Расчёт себестоимости

№ п/п	Показатели	Усл. обозн	Калькуляция, руб	
			базов	проект
1	Материалы	М	129,6	158,05
2	Фонд заработной платы	ФЗП	596,96	192,04
3	Отчисления на социальные нужды	Осн	202,97	65,29
4	Затраты на оборудование	Зоб	15,56	11,79
5	Затраты на площади	Зпл	17,89	9,89
	Себестоимость технологическая	Стех	962,98	437,06
6	Цеховые расходы		799,50	257,19
	Себестоимость цеховая	Сцех	1762,48	694,25
7	Заводские расходы		1145,95	368,64
	Себестоимость заводская	Сзав	2980,43	1062,89

#### 4.9. Расчет экономической эффективности проектной технологии

Расчёт показателя снижения трудоемкости

$$\Delta t_{\text{ШТ}} = \frac{t_{\text{ШТБ}} - t_{\text{ШТПР}}}{t_{\text{ШТБ}}} \cdot 100\% \quad (4.32)$$

$$\Delta t_{\text{ШТ}} = \frac{1,89 - 0,76}{1,89} \cdot 100\% = 60\%$$

Расчёт показателя снижения технологической себестоимости

$$\Delta \tilde{N}_{\text{ОАО}} = \frac{\tilde{N}_{\text{ОАОА}} - \tilde{N}_{\text{ОАОБ}}}{\tilde{N}_{\text{ОАОА}}} \cdot 100\% \quad (4.33)$$

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{962,98 - 437,06}{962,98} \cdot 100\% = 55\%$$

Расчёт показателя повышения производительности труда

$$P_T = \frac{100 \cdot \Delta t_{\text{ШТ}}}{100 - \Delta t_{\text{ШТ}}} \quad (4.34)$$

$$P_T = \frac{100 \cdot 60}{100 - 60} = 150\%$$

Расчёт условно-годовой экономической эффективности производим по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{У.Г.}} = (C_{\text{ЗАВБ}} - C_{\text{ЗАВПР}}) \cdot P_T \quad (4.35)$$

$$\mathcal{E}_{\text{У.Г.}} = (2980,43 - 1062,89) \cdot 1200 = 2301048 \text{ рублей}$$

В результате применения проектной технологии получено повышение срока службы вала по сравнению с базовой технологией. Также получено снижение себестоимости операции восстановления. Поэтому получаемый экономический эффект будет и в сфере производства, и в сфере эксплуатации.

Расчёт годового экономического эффекта в сфере производства производим по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{ГП}} = [(C_{\text{ЗАВБ}} + E_H \cdot K_{\text{УДБ}}) - (C_{\text{ЗАВПР}} + E_H \cdot K_{\text{УДПР}})] \cdot P_T \quad (4.36)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ГП}} = [(2980,43 + 0,33 \cdot 9,50) - (1062,89 + 0,33 \cdot 62,27)] \cdot 1200 = 2280151 \text{ рублей}$$

Расчёт годового экономического эффекта в сфере эксплуатации производим по формуле:

$$\text{ЭГэ} = [(C_{\text{ЗАВБ}} \cdot T_2 / T_1 + E_H \cdot K_{\text{УДБ}}) - (C_{\text{ЗАВПП}} + E_H \cdot K_{\text{УДПП}})] \cdot \text{Пг} \quad (4.37)$$

где  $T_2$  и  $T_1$  – срок службы по проектному и базовому вариантам соответственно (2 месяца и 3 месяца).

$$\text{ЭГэ} = [(2980,43 \cdot 3/2 + 0,33 \cdot 9,50) - (1062,89 + 0,33 \cdot 62,27)] \cdot 1200 = 4068409 \text{ рублей}$$

Производим вычисление суммарного экономического эффекта

$$\text{Э}\Sigma = \text{ЭГэ} + \text{ЭГп} = 2280151 + 4068409 = 6348560 \text{ рублей}$$

#### 4.10 Выводы по экономическому разделу

По сравнению с восстановлением по базовой технологии в проектной технологии произошло уменьшение трудоемкости на 60%, себестоимости технологической на 55%. Внедрение прогрессивных методов восстановления детали позволило получить повышение производительности труда на 150%. Эти достигнуто благодаря механизации процесса восстановления.

Кроме этого, применение проектной технологии приводит к тому, что наплавленный слой получается с повышенным сопротивлением износу. Это позволит увеличить срок вала службы в 1,5 раза.

Применение предлагаемых в проекте решений позволяет получение экономического эффекта в сфере производства и эксплуатации в размере 6,3 млн. рублей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО ВЫПУСКНОЙ РАБОТЕ

В работе была поставлена цель – повышение эффективности восстановления изношенных поверхностей вала нагнетателя газа.

Анализ базовой технологии наплавки с применением ручной дуговой сварки выявил её недостатки:

- малая производительность наплавки;
- низкое качество наплавки;
- большие потери металла на угар, разбрызгивание и огарки;
- потери времени и качества из-за периодической смены электрода.

Для устранения этих недостатков были рассмотрены различные способы восстановления, за проектный принята плазменная наплавка.

Предложен технологический процесс восстановления вала, который позволяет не только продлить срок службы изделия, но и увеличить износостойкость восстановленной поверхности.

По сравнению с восстановлением вала по базовой технологии, при использовании проектной технологии наблюдается снижение трудоемкости на 60%, технологической себестоимости на 55%. Повышение производительности труда составило 150%. Применение предлагаемых в проекте решений позволяет получение экономического эффекта в сфере производства и эксплуатации в размере 6,3 млн. рублей.

Это свидетельствует об эффективности предлагаемой технологии. Поставленную цель можно считать достигнутой.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванов, Э. С. Обеспечение эффективности работы компрессорных станций в условиях сниженной нагрузки магистральных газопроводов : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.19 / Эрнест Сергеевич Иванов. – Уфа: Уфимский гос. нефтяной техн. ун-т. – 2016.

2. Бондаренко, Г. А. Вибрации центробежных нагнетателей природного газа. Нормы и методика оценки вибрационного состояния. Обзорная информация ЦИНТИ Химнефтемаша / Г. А. Бондаренко, Н. Г. Крившич, В. В. Петров, А. А. Стеценко. – М.: Химнефтемаш, 1990. – 24 с.

3. Васильев, Ю. Н. Вибрационный контроль технического состояния газотурбинных газоперекачивающих агрегатов / Ю. Н. Васильев, М. Е. Бесклетный, Е. А. Игуменцев. – М.: Недра, 1987 – 197 с.

4. Данилейко, В. И. Особенности конструкции центробежных компрессоров Сумского НПО им. М.В. Фрунзе / В. И. Данилейко, В. Н. Довженко, С. И. Карпенко [и др.] // Газотурбинные технологии. – 2004. – № 3. – 18 – 21 с.

5. Козаченко, А. Н. Эксплуатация компрессорных станций магистральных газопроводов / А. Н. Козаченко. – М.: Нефть и газ, 1999. – 463 с.

6. Альбом плакатов ЦБН типа Н-370-18. – М.: ООО «Газпром Центрремонт». – 2010. – 10 с.

7. Марочник сталей и сплавов / Под ред. В.Г. Сорокина М.: Машиностроение, 1989. – 640с.

8. ГОСТ 8479-70 Поковки из конструкционной углеродистой и легированной стали. Общие технические условия

9. Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т. / Ред. кол.: Г.А. Николаев (пред.) [и др.] – М.: Машиностроение, 1978 – т.2. / Под ред. А.И. Акулова, 1979. – 462 с.

10. Сварка. Резка. Контроль: Справочник. В 2-х томах / Под общ. Ред. Н.П. Алёшина, Г.Г. Чернышова – М.: Машиностроение, 2004. Т.2 / Н.П. Алёшин [и др.] – 480 с.
11. Бабусенко, С. М. Современные способы ремонта машин / С. М. Бабусенко, В. А. Степанов. – М.: Колос, 1977. – 270 с.
12. Потапьевский, А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом / А. Г. Потапьевский. – М.: Машиностроение, 1974. – 240 с.
13. Потапьевский, А. Г. Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего: монография / А. Г. Потапьевский, Ю. Н. Сараев, Д. А. Чинахов. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2012. – 208 с.
14. Хасуй, А. Наплавка и напыление / А. Хасуй, О. Моригаки. – М. Машиностроение, 1985. – 239 с.
15. Сидоров, А. И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой / А. И. Сидоров. – М.: Машиностроение, 1987. – 192 с.
16. Молодык, Н. В. Восстановление деталей машин / Н. В. Молодык, А. С. Зенкин. – М.: Машиностроение, 1989. – 480 с.
17. Данилов, П. А. Повышение эффективности восстановления работоспособности изношенных деталей на основе обоснованного выбора технологических методов восстановления их эксплуатационных свойств : дис. ... канд. техн. наук / П. А. Данилов. – Москва: Московский гос. техн. университет «СТАНКИН». – 2010.
18. Гаврилов, Г. Н. Разработка и освоение технологий поверхностного термического упрочнения и наплавки металлических материалов лазерным излучением : дис. ... докт. техн. наук / Г. Н. Гаврилов. – Нижний Новгород: Нижегородской государственной технической университет. – 2000.
19. Петровский, В. Н. Лазерная наплавка с использованием излучения волоконного лазера / В. Н. Петровский, П. С. Джумаев, В. И. Польский // Научная сессия МИФИ-2010. – Т.2 Нанозфизика и нанотехнологии. Фундаментальные проблемы науки. – 2010.

20. Неверов, В. В. Разработка технологии наплавки износостойких сплавов при изготовлении биметаллических изделий. Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Москва: МАТИ. – 2012.

21. Усов, Л. Н. Применение плазмы для получения высокотемпературных покрытий / Л. Н. Усов, А. И. Борисенко. - М.: Наука, 1965. – 84 с.

22. Ильичев, М. В. Формирование структуры и свойств при плазменной наплавке износостойких покрытий на медь и высокоуглеродистую, марганцовистую стали : дис. ... канд. техн. наук : 05.16.01. – 2007.

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

24. Белов, С. В. Охрана окружающей среды / С. В. Белов. – М.: Машиностроение, 1990. – 372с.

25. Брауде, М. З. Охрана труда при сварке в машиностроении / М. З. Брауде, Е. И. Воронцова, С. Я. Ландо. – М.: Машиностроение, 1978. – 144 с.

26. Манойлов, В. Е. Основы электробезопасности / В. Е. Манойлов. – Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1991. – 480 с.

27. Организация производства и менеджмент: метод. указания к выполнению курсовой работы. / сост. Г.Э. Кудинова. - Тольятти: ТГУ, 2005. – 35 с.

28. Гитлевич, А.Д. Техническое нормирование технологических процессов в сварочных цехах / А.Д. Гитлевич, Л.А. Животинский, Д.Ф. Жмакин. – М.: Государственное научно – техническое издательство машиностроительной литературы, 1962.

29. 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, - 135с.

30. Грачева, К.А. Экономика, организация и планирование сварочного производства: учебное пособие для студентов вызов, обучающихся по специальности "Оборудование и технология сварочного производства" / К.А. Грачева. – М. : Машиностроение, 1984. – 386 с.

31. Краснопевцева И.В. Экономическая часть дипломного проекта: учеб.-метод. пособие для студ. спец. 150202 "Оборудование и технология сварочного пр-ва" / И. В. Краснопевцева ; ТГУ. - ТГУ. - Тольятти: ТГУ, 2008.