

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)

05.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Оборудование и технология сварочного производства»

(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Технология и оборудование для восстановления
эксцентрикового вала»

Студент

Д.О. Курепин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

К.В. Моторин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

В.Г. Виткалов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

И.В. Краснопевцева

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

А.Н. Москалюк

(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.

АННОТАЦИЯ

Основной объем наплавочных работ осуществляется с помощью автоматической наплавки под слоем флюса, а также автоматической и полуавтоматической наплавки в среде защитных газов проволоками как сплошного сечения, так и порошковыми проволоками. В тоже время, ряд деталей восстановить данными способами весьма затруднительно, а в некоторых случаях и невозможно. Кроме того, восстановление ряда деталей включает в себя высокотемпературный (более 1100 °С) отжиг и закалку (при таких же температурах). Большая глубина проплавления основного металла не позволяет получить металл заданного химического состава в первом наплавленном слое, что ведет к значительным расходам дорогостоящих наплавочных материалов, увеличивает расход электроэнергии и повышает трудоемкость наплавочных процессов.

Цель выпускной квалификационной работы - повышение эффективности восстановления эксцентрикового вала кривошипно-шатунного пресса.

В работе решены следующие задачи: 1) составить схему проектного технологического процесса плазменной наплавки изделия и описать его операции; 2) повысить эффективность плазменной наплавки применительно к рассматриваемому изделию; 3) разработать оборудование, осуществляющее предлагаемую проектную технологию плазменной наплавки изделия.

Проектный вариант восстановления после своего внедрения в производство даст такие эффекты, как уменьшение трудоемкости на 34,5 %, увеличение производительности труда на 52,7 %, что уменьшило технологическую себестоимость на 27 %. Расчётная величина условно-годовой экономии составила 0,76 млн. рублей. Величина годового экономического эффекта, полученная с учетом затрат на капитальные вложения в оборудование, составила 0,72 млн рублей.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ НАПЛАВКИ ЭКСЦЕНТРИКОВЫХ ВАЛОВ	
1.1 Описание объекта исследования	7
1.2 Описание и анализ свойств применяемой стали	12
1.3 Обзор способов восстановления деталей	15
1.4 Постановка задач на проектирование	21
2 ПРОЕКТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТНОЙ НАПЛАВКИ ЭКСЦЕНТРИКОВОГО ВАЛА	
2.1 Приспособление для наплавки	22
2.2 Участок по выполнению восстановления поверхности валов	24
2.3 Материалы, используемые при плазменной наплавке	26
2.4 Технология использования плазменной наплавки	27
3 ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА	
3.1 Составление технологической характеристики объекта	30
3.2 Персональные риски, сопровождающие внедрение проектной технологии в производство	32
3.3 Предлагаемые мероприятия по снижению профессиональных рисков в ходе внедрения в производство проектной технологии	33
3.4 Предлагаемые мероприятия по обеспечению пожарной безопасности разрабатываемого технологического объекта	34
3.5 Оценка экологической безопасности разрабатываемого технологического объекта	35
3.6 Заключение по экологическому разделу	36
4 ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДЛАГАЕМЫХ РЕШЕНИЙ	
4.1 Сбор исходных данных для проведения экономического	

обоснования	37
4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования	39
4.3 Расчёт времени, затрачиваемого для выполнения годовой программы, и коэффициента, учитывающего загрузку оборудования	40
4.4 Вычисление заводской себестоимости при сварке в соответствии с базовым и проектным вариантами технологии	42
4.5 Калькуляция заводской себестоимости сварки в соответствии с базовым и проектным вариантами технологии	46
4.6 Определение капитальных затрат в соответствии с базовым и проектным вариантами технологии	47
4.7 Расчёт показателей экономической эффективности в соответствии с проектным вариантом технологии	49
4.8 Заключение по экономическому разделу	51
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	52
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	54

ВВЕДЕНИЕ

Основной объем наплавочных работ осуществляется с помощью автоматической наплавки под слоем флюса, а также автоматической и полуавтоматической наплавки в среде защитных газов проволоками, как сплошного сечения, так и порошковыми проволоками.

В тоже время, ряд деталей восстановить данными способами весьма затруднительно, а в некоторых случаях и невозможно. Кроме того, восстановление ряда деталей включает в себя высокотемпературный (более 1100 °С) отжиг и закалку (при таких же температурах). Большая глубина проплавления основного металла не позволяет получить металл заданного химического состава в первом наплавленном слое, что ведет к значительным расходам дорогостоящих наплавочных материалов, увеличивает расход электроэнергии и повышает трудоемкость наплавочных процессов.

Механизированная электродуговая наплавка порошковыми проволоками по сравнению с ручной дуговой наплавкой штучными электродами обеспечивает получение более качественного наплавленного металла. Однако ее выполняют, по крайней мере, в три слоя, что ведет к перерасходу наплавочных материалов и увеличению продолжительности процесса наплавки [1]. Кроме того, при механизированной электродуговой наплавке деталей малых диаметров (≤ 200 мм) имеют место трудности, связанные с удалением шлаковой корки с предыдущего наплавленного слоя. В этом случае при наплавке седел необходимо также применять формирующие устройства.

Как показал опыт, плазменно-порошковая наплавка обеспечивает получение наплавленного металла заданного химического состава уже в первом слое и лишена многих недостатков дуговой наплавки [2, 3].

Опыт применения механизированной плазменной наплавки в современном производстве свидетельствует о значительных технических и экономических преимуществах этого способа по сравнению с ручной

дуговой наплавкой. Наряду с более высокой производительностью, меньшим расходом дорогих и дефицитных наплавочных материалов, лучшими условиями труда, обеспечивается также более высокое качество наплавленных деталей. Для плазменной наплавки деталей широко используют сплавы на основе никеля и кобальта. Сплавы этих типов обладают высокими технологическими и эксплуатационными свойствами. Однако они имеют большой недостаток — высокую стоимость.

В настоящее время для наплавки деталей различного назначения разработаны более дешевые сплавы на основе железа. Однако, как указывалось выше, на многих предприятиях стран СНГ для этой цели до сих пор применяют ручную электродугую наплавку штучными электродами или механизированную электродугую наплавку порошковыми проволоками. Электродугую наплавку деталей выполняют, как правило, в несколько слоёв, что ведет к перерасходу наплавочных материалов и увеличению продолжительности процесса наплавки [1, 2].

Цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности восстановления эксцентрикового вала кривошипно-шатунного прессы.

Поставленная цель будет достигаться путём применения современных разработок отечественной и мировой сварочной науки. В частности, в области плазменной наплавки.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ НАПЛАВКИ ЭКСЦЕНТРИКОВЫХ ВАЛОВ

1.1 Описание объекта исследования

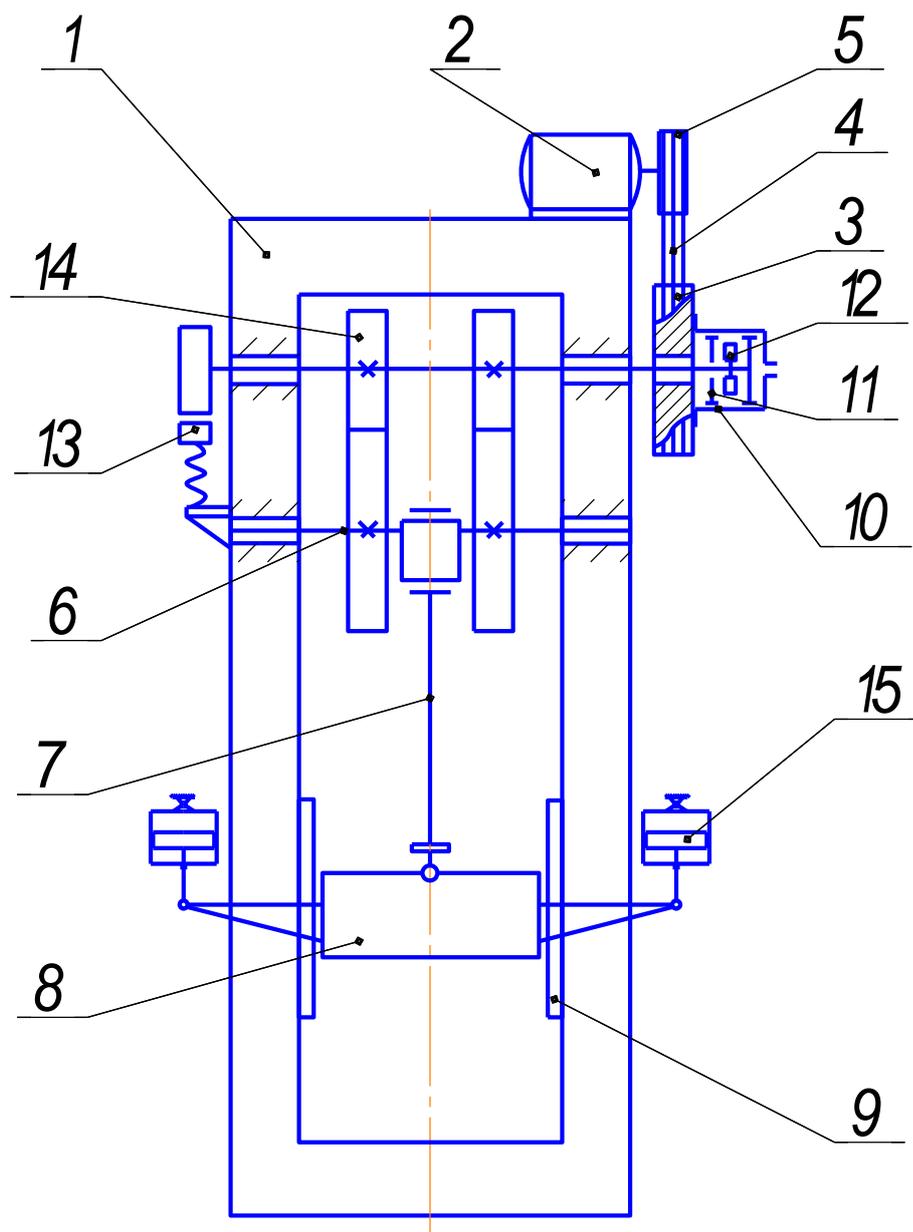
Полезная работа кривошипного пресса совершается за счет преобразования энергии вращения привода в энергию деформации металла (заготовки), обуславливается наличием жестких кинематических связей между всеми движущимися частями кривошипного пресса.

Энергия вращения в кривошипном прессе передается ползуну посредством рабочего вала. После чего ползун направляет энергию на деформацию заготовки путем штамповки.

Проектируемый пресс является универсальным и может использоваться для выполнения операций как листовой, так и объемной штамповки (операции обрезки).

Таблица 1.1 – Технологическая характеристика пресса

Характеристика	Значение	Единица измерения
Номинальное усилие,	10000	кН
Рабочий ход ползуна	350	мм
Число ходов ползуна (непрерывных, нерегулируемых)	20	мин ⁻¹
Размеры подштамповой плиты	1000	мм
Размеры отверстия в столе	800	мм
Наибольшее расстояние между столом и ползуном в его нижнем положении при наибольшем ходе H , мм	600	мм
Размеры ползуна, $a=b$, мм	1400	мм
Величина регулировки расстояния между столом и ползуном, не менее, мм	160	мм
Толщина подштамповой плиты h , мм	200	мм



- | | |
|---------------------------|-------------------------|
| 1. станина | 9. направляющие станины |
| 2. электродвигатель | 10. муфта включения |
| 3. шкив-маховик | 11. ведущие диски |
| 4. клиноременная передача | 12. ведомый диск |
| 5. шкив двигателя | 13. тормоз |
| 6. эксцентриковый вал | 14. зубчатая передача |
| 7. шатун | 15. Уравновешиватель |
| 8. ползун | |

Рисунок 1.1 - Кинематическая схема однокривошипного пресса

Рабочим элементом привода пресса является эксцентриковый вал (рис. 1.2).

Дефекты вала приводящие к полной или частичной работоспособности пресса:

- потеря прямолинейности оси вала в результате его изгиба;
- деформация вала в результате его скручивания;
- износ вала в местах его посадки в подшипники;
- надрывы на надрывы на поверхности вала с образованием заусенцев;
- истирание металла опорных шеек вала;
- истирание металла шпоночных пазов;
- срез шлицев;
- износ металла вала с образованием трещин.

Ремонтные работы по восстановлению вала считаются успешными, если соблюдены требования по геометрическим размерам, твердости поверхности, шероховатости, прочности сцепления наплавленных слоев металла.

Из требований по геометрии можно выделить – соосность, симметричность, параллельность поверхностей шлицев, а также шпоночных пазов, отсутствие биений при вращении вала.

Для оценки состояния валов проводят процедуру дефектации. При этом оценивается, наличие и величину деформаций и износа поверхностей, отклонение от требуемых характеристик и свойств.

Основное назначение процедуры дефектации:

- определения технического состояния деталей;
- сортировка деталей на подлежащие восстановлению и неподлежащие;
- получение информации о размерах дефектации.

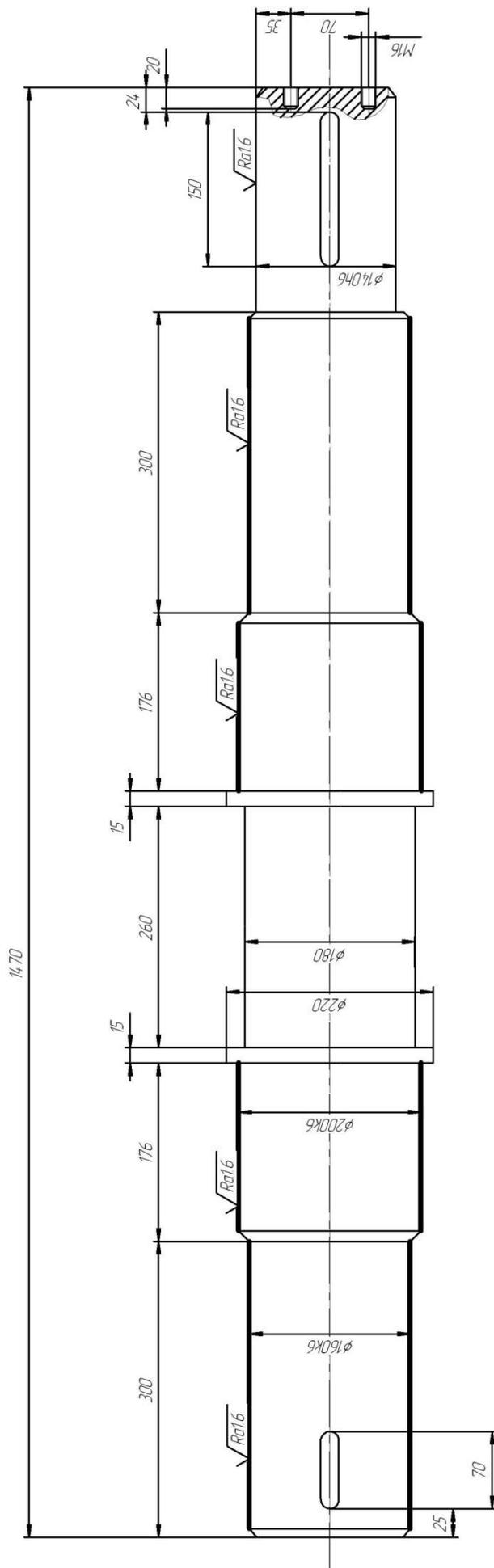


Рисунок 1.2 – Вал кривошипно-шатунного прессы

Дефектация проводится путем выполнения следующих шагов:

1) Проводится визуальный осмотр деталей (при необходимости используются оптические приборы). Это необходимо для выявления забоин, трещин, заусенцев, вмятин, следов коррозии.

2) С применением измерительных инструментов проводится проверка геометрических параметров деталей.

3) С помощью специальных приборов осуществляет поиск и локализация скрытых дефектов деталей. При необходимости, проводят проверку герметичности и взаимного положения деталей.

С использованием полученных при дефектации данных производится маркировка деталей. Обычно зеленой краской отмечают детали, являющиеся годными, желтой краской – детали, требующие восстановления, красной краской – детали, не подлежащие восстановлению.

Детали, признанные годными для эксплуатации направляются на комплектовочный участок предприятия.

Процедура дефектации деталей описывается в нормативной документации, которая содержит в себе:

- общее описание;
- описание часто встречаемых дефектов;
- описание способов по выявлению дефектов;
- требуемые геометрические параметры детали;
- способы устранения каждого из дефектов.

1.2 Описание и анализ свойств применяемой стали

Рассматриваемый вал изготовлен из конструкционной углеродистой стали 45. Химический состав данной марки стали представлен в таблице 1.1. Физико-механические свойства стали 45 представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.1 – Химический состав стали 45

Si	Ni	C	Mn	S	Cr	Cu	P	As
0.17...0.37	≤0,25	0.42...0.5	0.5...0.8	≤0,04	≤0,25	≤0,25	≤0,035	≤0,08

Таблица 1.2 – Физико-механические характеристики стали 45

Марка	Предел текучести	Временное сопротивление разрыву	Относительное		Ударная вязкость
			Удлинение	Сужение	
45	355 МПа	430 МПа	17 %	35%	340 кДж/м ²

Последствиями высокого содержания углерода в данной марке стали и наличие требований к физико-механическим свойствам наплавленного металла являются:

- 1) Склонность к образованию холодных трещин в зоне наплавления металла
- 2) Склонность к образованию термических трещин в наплавленном металле
- 3) Сложность обеспечения одинаковой прочности наплавленного металла, металла зоны наплавления и основного металла детали.

Образование холодных трещин

Под понятием «холодные трещины» понимается межкристаллитное разрушения наплавленного металла. Холодные трещины отличаются от горячих возможностью их обнаружения после остывания зоны наплавления, а также блестящим изломом без следов термического окисления.

Данный тип трещин зарождаются после остывания наплавленного металла, до температуры 100-200 °С, а затем в течение 48 часов растут вдоль наплавленного металла, так и в толщину.

Главными факторами, связанными с провоцированием образования трещин являются:

1) структура наплавленного металла – количество в структуре мартенсита и бейнита;

2) наличие растягивающих напряжений I рода. Данные напряжения связаны с жесткостью конструкции, режимами наплавления, химическим составом наплавленного металла;

3) эффект водородного охрупчивания.

Наиболее значимое воздействие стойкость стали к зарождению и росту холодных трещин оказывают температурные режимы, а именно перегрев зоны наплавки, интервал температур образования мартенсита в зоне наплавки, скорость остывания зоны наплавки в рамках данного температурного диапазона.

Таким образом, уменьшение перегрева, снижение скорости охлаждения и высокая температура образования мартенсита снижают вероятность образования холодных трещин. Кроме того, пластичность мартенситных образований также влияет на образования и рост холодных трещин.

Образование горячих трещин

Под понятием «термических трещины» понимаются хрупкие межкристаллические разрушения в наплавленном металле и металле зоны термического влияния, образующиеся в процессе кристаллизации и при повышенных температурах металла в твердом состоянии. Межкристаллические разрушения могут возникать в детали при любых способах наплавки.

При кристаллизации наплавленного металла действуют стягивающие напряжения. Постепенное уменьшение температуры увеличивает силу напряжений, в результате чего происходит упругопластическая деформация наплавленного металла.

При превышении силы деформации выше определенного значения в металле происходит появление термических трещин.

В теории материаловедения говорится, что причинами образования горячих трещин является сочетание таких факторов, как:

- пластичность в температурном интервале хрупкости;
- температурный интервал хрупкости в период кристаллизации металла шва;
- темп термической деформации.

Для оценки склонности наплавленного металла к образованию термических трещин можно использовать следующее выражение:

$$HCS = \frac{C \cdot (S + P + Si/25 + Ni/100) \cdot 1000}{3 \cdot Mn + Cr + Mo + V} \quad (1.1)$$

где HCS – комплексный параметр связанный с кристаллизационным ГТ, %, Si, Ni и т.д – проценты соответствующих химических элементов в составе.

Считается, что если параметр HCS больше 4, то сталь склонна к образованию горячих трещин.

Рассчитаем параметр HCS для данной марки стали.

$$HCS = \frac{0,45 \cdot (0,04 + 0,035 + 0,27/25 + 0,25/100) \cdot 1000}{3 \cdot 0,65 + 0,25 + 0 + 0} = 17$$

Так как данный показатель больше 4, то можно сделать вывод о склонности стали 45 к образованию горячий трещин.

Разупрочнение металла в околошовной зоне

Разупрочнение стали в зоне наплавки отрицательно сказывается на эксплуатационных характеристиках детали. Данный эффект связан из-за действия термического цикла наплавки, отпуска при высокой температуре и неполной перекристаллизации. Эффект разупрочнения проявляется во время длительной работы детали при относительно высокой температуре.

Эффект разупрочнения стали приводит к снижению длительной прочности наплавленного металла.

Насколько сильно снизится прочность направленного металла, зависит от термических характеристик процесса наплавки и от структурных характеристик марки стали.

Помимо режимов термической обработки, на разупрочнение также влияют режимы наплавки. При этом, чем выше погонная энергия, тем, впоследствии, это вызовет большее разупрочнение металла.

Наличие мягкой прослойки в наплавляемых слоях металла также приводит наплавки в процессе эксплуатации детали.

1.3 Обзор способов восстановления деталей

Выделим основные способы восстановления поверхности валов:

- газопламенное напыление;
- вибродуговая наплавка;
- плазменная наплавка;
- наплавка в среде защитного газа.

Для выполнения восстановления поверхности методом вибродуговой наплавки применяется вибрирующий электрод, диаметром 1,2-2,0 миллиметра. Генерирование вибраций осуществляется либо путем механического воздействия, либо с использованием электромагнитной катушки. Требуемая амплитуда колебания электрода составляет 0,5-1,0 миллиметра. Частота колебаний лежит в диапазоне значений 50-100 герц.

В результате сообщения электроду колебательного движения происходит закорачивание дуги на поверхность детали. Во время периодического закорачивания на восстанавливаемой поверхности детали остается капля электродного материала.

При использовании данного способа слой наплавляемого материала является относительно тонким. Если в зону наплавки подавать охлаждающую жидкости или обдувать воздухом, то при наплавке снижается перегрев детали и величина термической деформации. В качестве

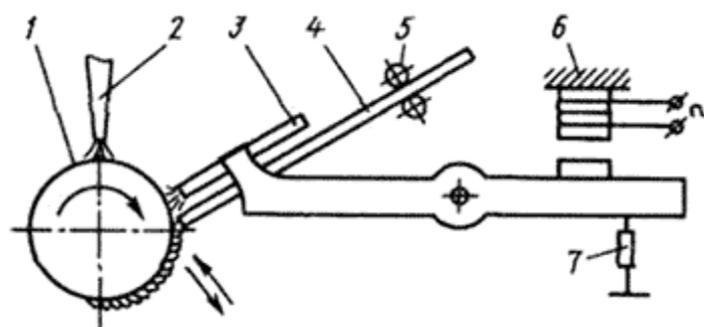
охлаждающей жидкости обычно применяется раствор кальцинированной соды.

Повышенное охлаждение детали в результате эффекта закалки приводит к увеличению твердости наплавленного слоя.

Вибродуговая наплавка получила широкое распространение при восстановлении цилиндрических деталей малого диаметра. Схематично данный вид наплавки представлен на рисунке 1.3.

Если изделие, обрабатываемое электродуговой плавкой будет содержать пористую структуру и поверхность иметь неоднородную твердость, то это приведет к уменьшению усталостной прочности 35...45 процентов. Данное снижение связано с возникающими растягивающими внутренними напряжениями.

Эксцентриковые валы такому способу обработки подвергать не рекомендуется из-за повышенных динамических нагрузок.



- 1 – восстанавливаемая поверхность вала; 2 – подача жидкости для охлаждения поверхности детали; 3 – подачу жидкости в зону наплавки; 4 – электродная проволока; 5 – ролики для подачи проволоки; 6 – вибратор; 7 – пружина

Рисунок 1.3 – Вибродуговая наплавка

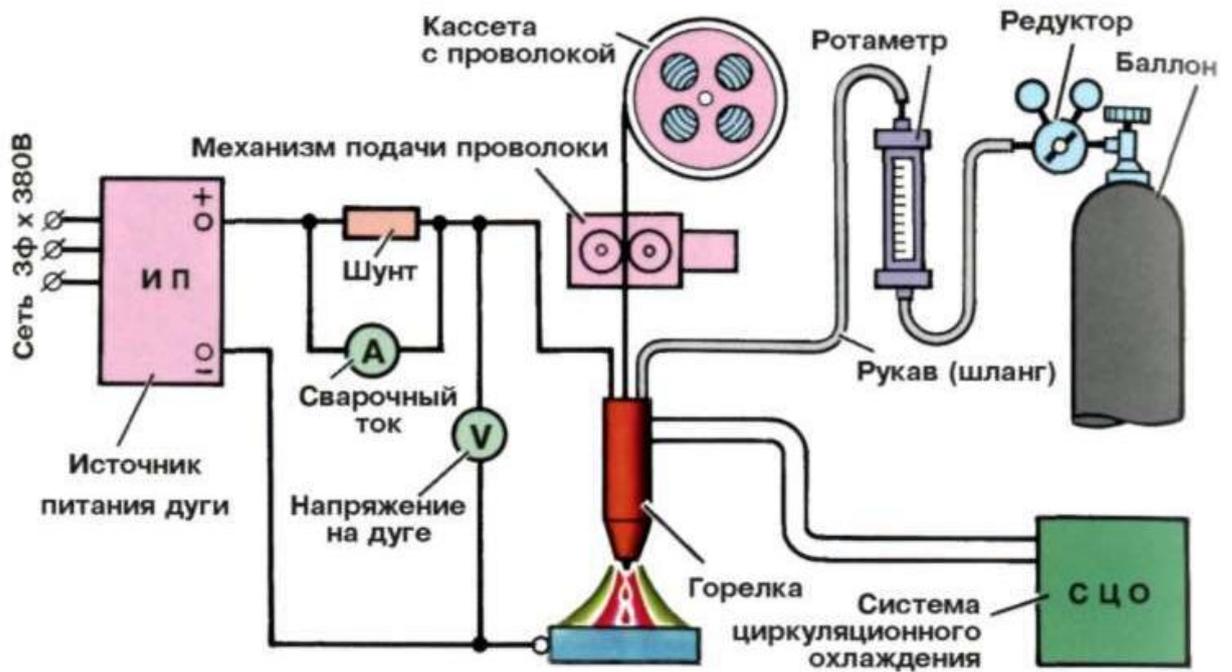


Рисунок 1.4 – Схема восстановления поверхности детали методом наплавки в CO_2

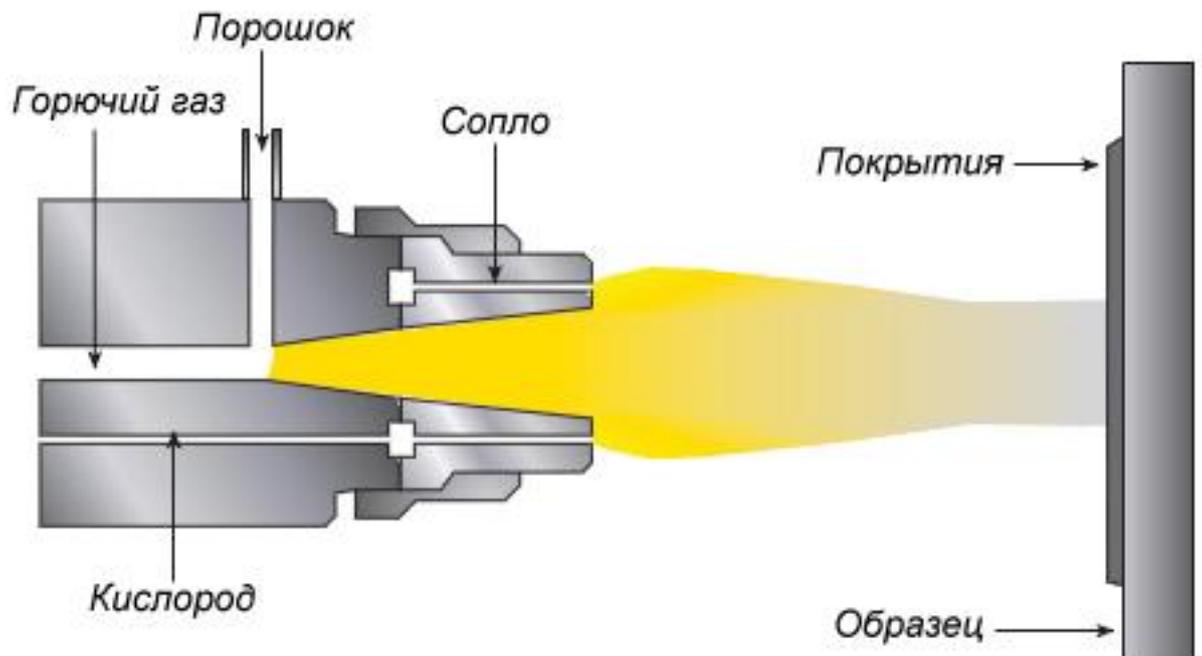


Рисунок 1.5 – Газопламенное напыление (с использованием кислорода и горючего газа)

Особенностями плазменного напыления при восстановлении поверхностей детали является высокая концентрация теплового потока, а также высокая скорость плазменной струи. Схематично плазменное напыление показано на рисунке 1.6. Благодаря особенностям плазменного напыления в качестве напыляемого материала могут применяться тугоплавкие металлы, например, молибден, вольфрам, и неметаллические материалы, с высокой температурой плавления (оксиды металлов, силициды, карбиды, бориды).

Наплавляемый материал в исходном состоянии представляет собой порошок (размер частицы составляет порядка 45-65 мкм). Порошок подается в плазменную струю, где нагревается до пластического состояния. Под действием струи гранулы порошка приобретают значительную кинетическую энергию и при контакте с поверхностью детали расплющиваются, заполняя неровности.

При ударе гранулы о поверхность кинетическая энергия преобразуется в тепло, что создает дополнительный нагрев частиц и обеспечивает надежное сцепление с поверхностью.

При напылении материала при ремонте поверхности детали применяется плазменная дуга косвенного нагрева. Данная дуга горит между катодом, выполненным из вольфрама и медным анодом. Роль анода выполняет сопло. Катод обеспечен активной системой охлаждения. Дуга выдувается из сопла в виде плазменного факела.

Сравнение технологий наплавки показывает, что при восстановлении эксцентриковых валов эффективность плазменной наплавки выше, чем наплавка в среде защитных газов и вибродуговая наплавка. Высокая эффективность заключается в получении более долговечного покрытия и относительно низкой стоимости реализации техпроцесса.

Для повышения износостойкости рабочих поверхностей деталей выбран способ восстановления с использованием плазменной наплавки с подачей наплавляемого металла в виде порошка. Поясняющая схема показана на рисунке 1.7.

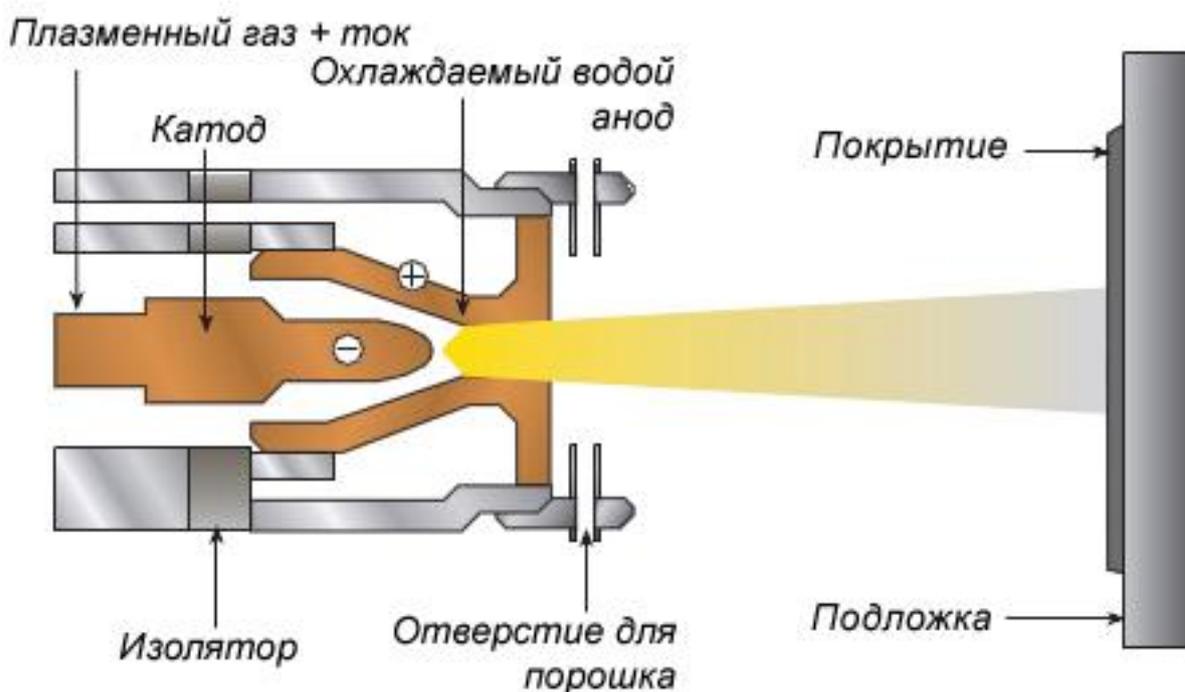


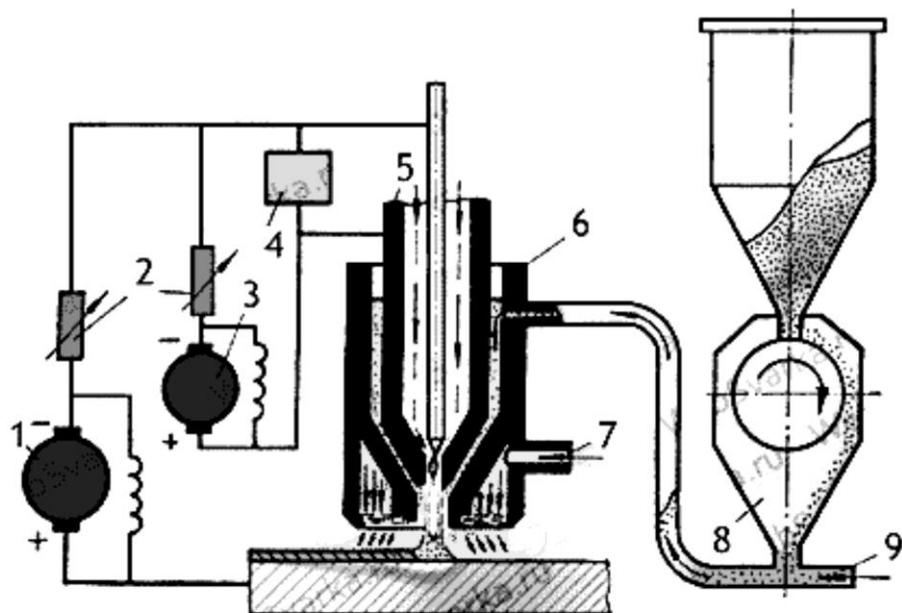
Рисунок 1.6 – Схема газоплазменного напыления (с использованием плазменного газа)

При таком подходе износостойкость поверхностей детали возрастает от 4 до 7 раз. В это и заключается полезный эффект от использования данного типа наплавки для восстановления рабочих поверхностей эксцентриковых валов.

Плазменная наплавка подходит для наплавления как дорогих никелевых и кобальтовых порошков, так и недорогих порошков на железной основе.

Основными достоинствами плазменной наплавки является:

- Относительная простота управления и автоматизации технологического процесса плазменной наплавки;
- Высокая производительность процесса наплавки;
- Возможность легирования слоев наплавки;
- Возможность широкого регулирования теплоты в основных и наплавочных металлах;
- Широкий спектр наплавочных материалов.



1 – источник тока для дуги (дуга прямого действия); 2 – балластные сопротивления; 3 – источник тока для дуги косвенного действия (дуга косвенного действия); 4 – осциллятор; 5 – газовое сопло (для плазмообразующего газа); 6 – горелка; 7 – отверстие для подачи газа (для формирования защитной среды); 8 – устройство, подающее порошок; 9 – технологическое отверстие для подачи транспортировочного газа

Рисунок 1.7 – Плазменная наплавка

1.4 Постановка задач на проектирование

При анализе современного состояния наплавки валов рассмотрена конструкция эксцентрикового вала, дано описание материала и его свойств материала, рассмотрены условия работы эксцентрикового вала и характер его износа. Были рассмотрены следующие методы восстановления эксцентрикового вала: плазменное напыление, вибродуговая наплавка, газопламенное напыление, а также наплавка в CO_2 . Самым рациональным применительно к эксцентриковому валу признана плазменная наплавка. Дальнейшее выполнение выпускной квалификационной работы будет вестись в сторону решения следующих задач:

- 1) составить схему проектного технологического процесса плазменной наплавки изделия и описать его операции;
- 2) повысить эффективность плазменной наплавки применительно к рассматриваемому изделию;
- 3) разработать оборудование, осуществляющее предлагаемую проектную технологию плазменной наплавки изделия.

2 ПРОЕКТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТНОЙ НАПЛАВКИ ЭКСЦЕНТРИКОВОГО ВАЛА

2.1 Приспособление для наплавки

Горелка для плазменной наплавки содержит корпус 1, в котором закреплено основное сопло 2 и электрододержатель 3, на наружной поверхности которого выполнены канавки 4 для закручивания потока плазмообразующего газа, катодный узел 5 с электродом 6. Основное сопло 2 содержит дополнительное сменное сопло 7 с центральным выходным каналом 8 и концентрично расположенными вокруг центрального выходного канала 8 каналов 9 для выхода газа в кольцевую проточку 10. Внутри электрододержателя 3 выполнен канал 11 для охладителя, а также ввернут наконечник 12 для подвода плазмообразующего газа, композиционный электрод 6, штуцера для подвода и отвода охладителя 13.

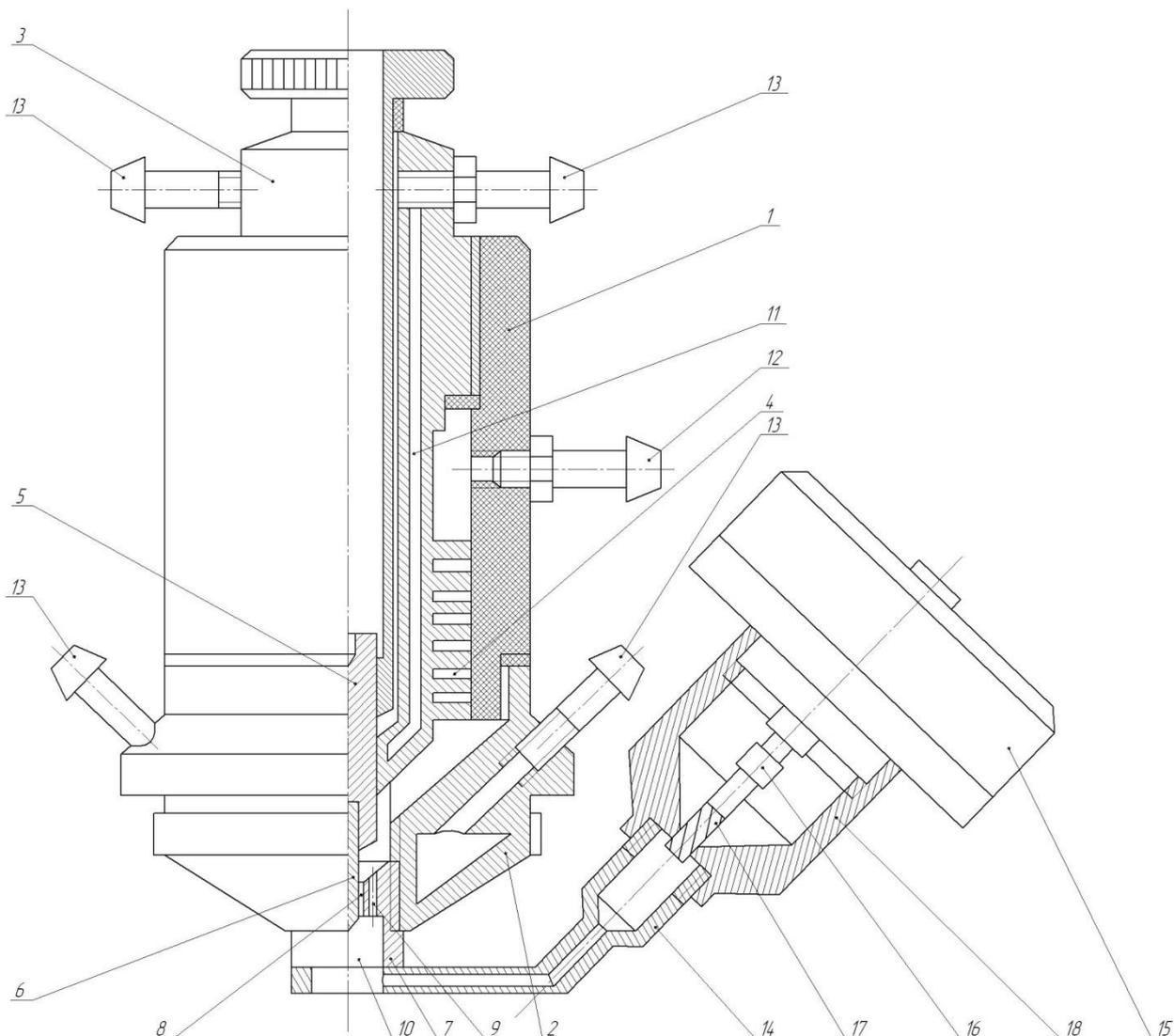
На корпусе закреплён питатель 14. На наружной резьбе питателя 14 установлен дозатор 24 с установленным на резьбе мотор-редуктором 15. На выходном валу мотор-редуктора 15 с помощью упругой муфты 16 закреплен шнек 17, винтовая часть которого размещена в выходном отверстии дозатора 24.

Предложенная конструкция горелка представлена на рисунке 2.1.

Предложенная конструкция плазменной горелки функционирует следующим образом. Сначала осуществляется подача плазмообразующего газа. Данный газ подается в зазор между корпусом и электрододержателем. Затем между основным соплом и электродом возбуждается вспомогательная электрическая дуга. При касании потока ионизирующих частиц поверхности металла вспомогательная дуга переводится автоматикой в сильноточную дугу. Образованный факел горит между электродом и деталью. Через концентрично расположенные каналы в дополнительном сменном сопле поступает газ, а кольцевая проточка позволяет сформировать поток плазмообразующего газа, ограждающий плазменный факел и

стабилизирующий направленный поток плазмы между дополнительным сменным соплом и поверхностью свариваемого металла, обеспечивая большую пространственную устойчивость.

Данный эффект позволяет обеспечить качественную наплавку металла.



1 - корпус, 2 - основное сопло, 3 - электрододержатель, 4 - канавки для закручивания потока плазмообразующего газа, 5 - катодный узел, 6 - электрод, 7 - сменное сопло, 8 - центральный выходной канал сменного сопла, 9 - канал выхода газа, 10 - кольцевая проточка, 11 - канал охлаждения, 12 - штуцер подвода плазмообразующего газа, 13 - штуцеры подвода и отвода охладителя, 14 - питатель, 15 - мотор-редуктор, 16 - упругая муфта, 17 - шнек, 18 - дозатор

Рисунок 2.1 – Горелка для выполнения ремонтной плазменной наплавки

На протяжении 10-20 сек. производится прогревание плазматрона. Затем подается управляющий сигнал на мотор-редуктор в дозаторе, который через муфту передает вращение на шнек.

С помощью шнека происходит захват частиц наплавляемого металла и их подача в питатель. За счет эффекта эжекции происходит вытягивания частиц из отверстия питателя в рабочее отверстие и попадание в горящий факел.

Под действием плазменного факела частицы переходят в пластическое состояние, ускоряются и, попадая на поверхность детали, расплющиваются, заполняя имеющие неровности.

Подача порошка может регулироваться сменой шнека и напряжением на мотор-редукторе.

2.2 Участок по выполнению восстановления поверхности валов

При составлении схемы участка все технологическое оборудование должно быть изображено в принятом масштабе. При этом контуры оборудования показываются упрощенно, с учетом крайних положений их подвижных элементов.

Все оборудование на схеме должно быть пронумеровано, нумерация показывается либо внутри контура оборудования, либо с использованием выносных линий. Название оборудования и его номер отображаются в спецификации к схеме.

Технологическая планировка подразделения отображается на графическом листе со сквозной нумерацией используемого оборудования. Сводной ведомости необходимо указать как номера участков, так и используемого оборудования. При размещении оборудования на плане необходимо учитывать последовательность выполнения технологических операций техпроцесса, учитывая необходимость использования отдельно стоящего станков.

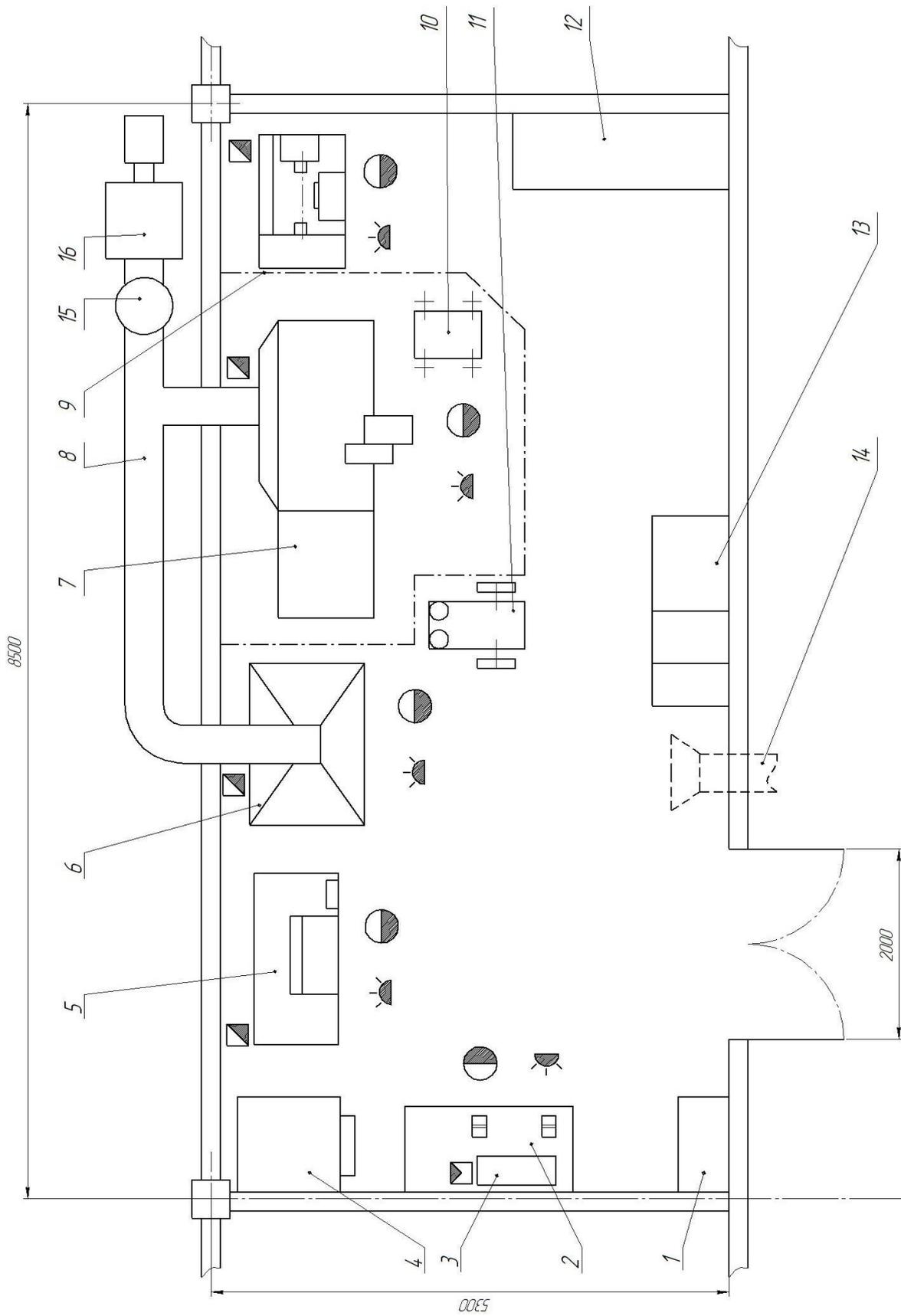


Рисунок 2.2 – Схема участка для восстановления деталей методом наплавки

2.3 Материалы, используемые при плазменной наплавке

При осуществлении плазменной наплавки используются порошковые сплавы на основе никеля ПР-Н73Х16СЗРЗ, ПР-Н70Х17С4Р4, ПР-Н77Х15СЗ или железа ПГ-С1, ПГ-УС25, ПГ-ФБХ6-2, ПГ-С27.

По шкале HRC твердость никелевых сплавов составляет порядка 35...58, а железных сплавов около 42...60.

Размер гранул порошка, используемого при наплавке должен составлять ≥ 100 мкм. Это связано с тем, что мелкие гранулы сильнее поддаются окислению и приводят к засорению сопла.

При выполнении наплавки выбраны следующие сплавы на основе железа – УС-25, сормайт-1, ФБХ-6-2+3%Al, ПГ-СП4+3%Al.

К преимуществам данных сплавов можно отнести их дешевизну, износостойкость и распространённость в промышленности.

К недостаткам сплавов можно отнести повышенную хрупкость и склонность к образованию горячих трещин при наплавке. Для преодоления данного недостатка производят добавления алюминия в состав до 8% от веса. Добавление алюминия предотвращает образование трещин в наплавленных слоях трещин в наплавочных слоях и при этом не приводит к снижению износостойкости наплавленного металла

Таблица 2.1 – Химический состав порошка с железной основой

Обозначение марки	Fe	C	Si	Mn	Mo	Ni	Cr	B	W
ПГ-СП4	Основа	3,1... 4,3	1,0... 3,0	0,5... 1,3	0,15	3...5	27... 31	—	0,4...0,7
ПГ-ФБХ-6-2	Основа	3,5... 6,5	1,0... 2,5	0,4... 1,5	-	1,3... 2,5	32... 37	1,3... 2,0	1,5...4,0

2.4 Технология использования плазменной наплавки

Как только установка для плазменной наплавки собрана и уставлена деталь, повергающаяся ремонту, оператор может приступить к запуску обработки. Цикл обработки детали является автоматизировано.

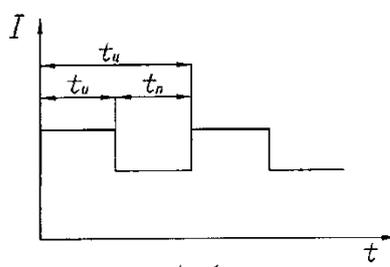
При этом система управления посылает команды на начало подачи плазмообразующего, защитного и транспортировочного газов.

Для поддержания стабильного возбуждения дуги формируется дежурная дуга косвенного действия. В процессе выполнения наплавления металла, для снижения эффекта перегрева наплавляемой зоны, основная дуга может быть автоматически погашена. В этом случае вспомогательная дуга обеспечит ее гарантированное повторная возбуждение в нужный момент времени. Дуга прямого действия формируемая между электродом и и деталью обеспечивает дополнительный подогрев поверхность, обеспечивая условия для качественной наплавки.

При выполнении наплавки производится периодическое изменение воздействия дуги на расплав за счет за счёт импульсной подачи тока. Циклограмма тока для этого случая представлена на рисунке 2.3.

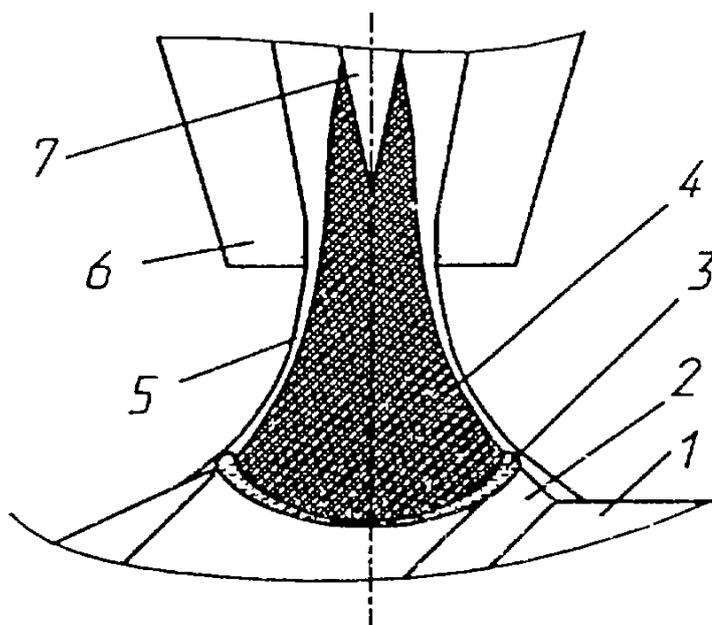
Во время подачи импульса тока происходит повышенное силовое воздействие дуги на поверхность расплава. Так как увеличивается тепло, выделяемое на дуге, и повышается газодинамическое давление.

Схема металлургических процессов, протекающих во время подачи импульса тока, показана на рисунке 2.5.



I – ток наплавки; t – время; $t_{ц}$ – длительность периода;
 t_u – длительность импульса тока, с; t_n – длительность токовой паузы

Рисунок 2.3 – Циклограмма тока при наплавке



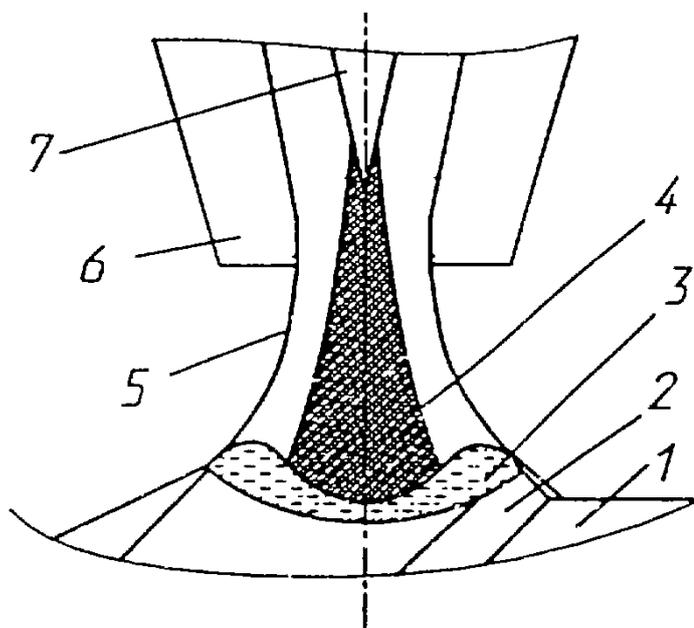
1 – подпятник, охлаждающийся водяным способом; 2 – заготовка; 3 – ванна расплавленного металла; 4 – зона температурного воздействия дуги; 5 – защитная газовая среда; 6 – сопло; 7 – электрод

Рисунок 2.4 – Формирование ванны расплавленного металла во время подачи импульса тока

Во время импульса тока происходит увеличение температуры в зоне наплавки, металл в сварочной ванне расплавляется и вытесняется из центра к краям области действия дуги. Благодаря этому происходит заполнение подготовленной разделки вытесненным металлом.

Ширина наплавляемого в течение одного прохода слоя больше, чем при использовании других известных способов наплавки.

Во время токовой паузы происходит интенсивное охлаждение подпятника, в результате которого металл защищается от перегрева и, при этом, расплавленный металл не вытекает из сварочной ванны. Благодаря этому обеспечивается высокая качества наплавки. Схема металлургических процессов, протекающих во время токовой паузы, показана на рисунке 2.5.



1 – подпятник, охлаждающийся водяным способом; 2 – заготовка; 3 – ванна расплавленного металла; 4 – зона температурного воздействия дуги; 5 – защитная газовая среда; 6 – сопло; 7 – электрод

Рисунок 2.5 –Формирование ванны расплавленного металла во время токовой паузы

Таблица 2.2 – Параметры режима наплавки

	Параметр	Значение
1	Ток наплавки	140...190 ампер
2	Напряжение холостого хода	110...170 вольт
3	Рабочее напряжение	40...45 вольт
4	Расход газа, участвующего в образовании плазмы	1,5...2,5 литров/мин
5	Расход газа, участвующего в транспортировке порошка	5...7 литров/мин
6	Расход газа для формирования защитной среды	16...20 литров/мин
7	Расход воды	не менее 5 литров/мин
8	Скорость выполнения наплавки	0,15...0,18 метров/мин
9	Расстояние между плазменной горелкой и деталью	10...18 миллиметров
10	Длительность импульса	0,02 секунд
11	Длительность паузы	0,02 секунд

3 ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

3.1 Составление технологической характеристики объекта

Восстановительная наплавка вала оснастки включает в себя следующие операции: 1) мойка; 2) подготовка поверхности; 3) выполнение наплавки; 5) осуществление контроля качества. Проблему улучшения санитарно-гигиенических характеристик в зоне сварки решают путем разработки и оборудования рабочего места сварщика местной вытяжной, комплектации сварочных головок и держателей для механизированной сварки соплами специальной конструкции, позволяющими осуществлять отсос сварочного аэрозоля, или применения защитной маски с системой принудительной подачи очищенного воздуха.

Все это дополнительно усложняет и повышает стоимость сварочного оборудования, поэтому проводятся исследования, направленные на изучение влияния энергетических параметров (тока и напряжения) процесса сварки на объемы выделения сварочных аэрозолей и их вредных составляющих.

Возможности влияния процесса плазменной наплавки на гигиенические характеристики изучены недостаточно. Поэтому в данном разделе выпускной квалификационной работы необходимо выполнить сравнительную гигиеническую оценку плазменной наплавки и предложить методы защиты персонала от опасных и вредных производственных факторов.

Сварочные и родственные технологии остаются источниками многих опасных и вредных производственных факторов. С психофизиологической и социально-экономической точек зрения шум – это любой вредный для здоровья звук, мешающий восприятию полезных сигналов и снижающий работоспособность человека. В структуре профессиональной заболеваемости такой вид «шумовой болезни» как тугоухость вместе с заболеваниями

органов дыхания, опорно-двигательного аппарата и с вибрационной болезнью составляет основную группу заболеваний работников промышленности.

Проблему улучшения санитарно-гигиенических характеристик в зоне сварки решают путем разработки и оборудования рабочего места сварщика местной вытяжной, комплектации сварочных головок и держателей для механизированной сварки соплами специальной конструкции, позволяющими осуществлять отсос сварочного аэрозоля, или применения защитной маски с системой принудительной подачи очищенного воздуха.

Таблица 3.1 - Технологический паспорт объекта

Наименование технологических операций и выполняемых работ при осуществлении технологии	Наименование должности работника, в обязанности которого входит выполнение данной технологической операции	Перечень оборудования, устройств и приспособлений, применяемых при выполнении технологической операции	Вещества и материалы, применяемые при выполнении технологической операции
1. Мойка	Слесарь-сборщик	Моечная машина	Щелочной раствор; Вода техническая
2. Подготовка поверхности	Слесарь-сборщик	Щетка металлическая; Машинка зачистная; Дробеструйная камера ГАКС-ДК-М	Круги зачистные; Ацетон; Ветошь; Дробь стальная; Мастика защитная
3. Осуществление восстановительной наплавки	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	Установка плазменной наплавки	Аргон; Наплавочный порошок; Вода техническая
4. Проведение контроля качества восстановленного изделия	Инженер - дефектоскопист	Лупа, твердомер ТН-134; Призма; Штатив	-

3.2 Персональные риски, сопровождающие внедрение проектной технологии в производство

Таблица 3.2 –Профессиональные риски, сопровождающие осуществление проектной технологии

Наименование технологической операции, выполняемые работы	Опасные и вредные производственные факторы, сопровождающие осуществление проектной технологии	Источник появления опасных или вредных производственных факторов
1	2	3
1. Мойка	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатости, присутствующие на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования; - подвижные части механизмов, производственного оборудования и машин - повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека 	Моечная машина
2. Подготовка поверхности	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатости, присутствующие на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования; - подвижные части механизмов, производственного оборудования и машин - повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека 	Щетка металлическая; Машинка зачистная; Дробеструйная камера ГАКС-ДК-М
3. Осуществление восстановительной наплавки	<ul style="list-style-type: none"> - повышенное значение напряжения в электрической цепи, для которой присутствует риск замыкания через тело человека; - высокая температура нагрева поверхности оборудования, заготовок и сварочных материалов; - повышенное значение уровня УФ волн в рабочей зоне; - повышенное значение уровня инфракрасной радиации в рабочей зоне 	Установка плазменной наплавки
4. Проведение контроля качества восстановленного изделия	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатости, присутствующие на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования - подвижные части механизмов, производственного оборудования и машин 	Лупа, твердомер ТН-134; Призма; Штатив

3.3 Предлагаемые мероприятия по снижению профессиональных рисков в ходе внедрения в производство проектной технологии

Таблица 3.3 - Выбор методов и средств по снижению воздействия каждого опасного и вредного производственного фактора

Опасные и вредные производственные факторы, сопровождающие осуществление проектной технологии	Наименование предлагаемого организационного мероприятия и технического средства, осуществляющего защиту, снижение и устранение данного опасного и вредного производственного фактора	Наименование средства для осуществления индивидуальной защиты работника
1. Острые кромки, заусенцы и шероховатости, присутствующие на поверхностях заготовок, инструмента и оборудования;	Проведение периодического инструктажа, разъясняющего работникам вопросы техники безопасности	Перчатки, спецодежда.
2. Подвижные части механизмов, производственного оборудования и машин	Наносить предупреждающие надписи, выполнять соответствующую окраску, применять ограждения	-
3. Высокая температура нагрева поверхности оборудования, заготовок и сварочных материалов	Проведение периодического инструктажа, разъясняющего работникам вопросы техники безопасности	Спецодежда, перчатки
4. Риск замыкания через тело человека электрической цепи, имеющей повышенное значение напряжения	Устройство и периодический контроль заземления электрических машин и изоляции	-
5. Повышенное значение в рабочей зоне уровня УФ радиации	Осуществление экранирования зоны сварки с использованием щитов	Спецодежда, маска сварщика
6. Повышенное значение в рабочей зоне уровня инфракрасной радиации	Осуществление экранирования зоны сварки с использованием щитов	Спецодежда, маска сварщика

3.4 Предлагаемые мероприятия по обеспечению пожарной безопасности разрабатываемого технологического объекта

Таблица 3.4 - Технические средства, обеспечивающие пожарную безопасность технологического объекта

Перечень первичных средств для проведения тушения возгорания	Перечень мобильных средств для проведения тушения возгорания	Перечень стационарных систем и установок для проведения тушения возгорания	Пожарная автоматика для проведения тушения возгорания	Перечень пожарного оборудования, для проведения тушения возгорания	Перечень средств индивидуальной защиты и спасения людей, применяющихся при	Перечень пожарного инструмента для проведения тушения	Перечень пожарной сигнализации, связи и систем оповещения
Ящики с песком, кошма, огнетушитель ОП-5	-	-	-	-	План эвакуации,	Лопата, багор, топор	кнопка оповещения о факте возникновения пожара

Таблица 3.5 - Выявление классов и опасных факторов возможного пожара

Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Участок, на котором осуществляется восстановительная наплавка	Установка плазменной наплавки, термическая печь	пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)	Пламя и искры; тепловой поток; повышенная температура окружающей среды; повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения; уменьшение концентрации кислорода; снижение видимости в дыму	замыкания на проводящих токе частях технологических установок, агрегатов изделий высокого напряжения; термохимическое действие используемых при пожаре огнетушащих веществ, на предметы и людей

Таблица 3.6 – Перечень организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение пожарной безопасности технического объекта

Наименование технологического процесса	Реализуемое организационное или техническое мероприятие	Требования по обеспечению пожарной безопасности
Подготовка дефектного участка, восстановительная наплавка	Проведение ознакомительных мероприятий с рабочим персоналом и служащими, целью которых является доведение до них правил пожарной безопасности, использования средств наглядной агитации по пожарной безопасности. Учения по обеспечению пожарной безопасности с производственным персоналом и служащими	Необходимо обеспечить достаточное количество первичных средств пожаротушения, применение защитных экранов с целью ограничения разлёта искр.

3.5 Оценка экологической безопасности разрабатываемого технологического объекта

Таблица 3.7 – Выявление и анализ вредных экологических факторов, сопровождающих внедрение проектной технологии

Реализуемый технологический процесс	Операции, входящие в состав технологического процесса	Негативное воздействие технического объекта на атмосферу	Негативное воздействие технического объекта на гидросферу	Негативное воздействие технического объекта на литосферу
Подготовка дефектного участка, восстановительная наплавка	Подготовка дефектного участка, восстановительная наплавка	газообразные частицы и сажа, которые выделяются при наплавке	-	упаковка от порошка бумажная и полиэтиленовая; металлолом, преимущественно стальной; бытовой мусор.

Таблица 3.8 – Проведение организационно-технических мероприятий, направленных на снижение отрицательного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду

Рассматриваемый технический объект в рамках проектной технологии	Восстановительная наплавка
Мероприятия, позволяющие снизить негативное антропогенное воздействие на литосферу	Необходимо предусмотреть установку контейнеров, позволяющих селективный сбор бытового мусора и производственных отходов. Необходима установка отдельного контейнера для сбора металлолома. На контейнеры следует нанести соответствующие надписи. Необходимо проведение инструктажа среди производственного персонала по вопросу правильного складывания в контейнеры мусора и отходов.

3.6 Заключение по экологическому разделу

В ходе выполнения экологического раздела было произведено выявление опасных и вредных производственных факторов, появление которых возможно при внедрении проектной технологии в производство. Проведён анализ возможности и мер по устранению и уменьшению опасных и вредных производственных факторов. В результате проведения этого анализа установлено, опасные и вредные производственные факторы могут быть устранены или уменьшены до необходимого уровня с применением стандартных средств безопасности и санитарии производства. Отсутствует необходимость в разработке дополнительных средств защиты. Внедрение проектной технологии в производство сопровождается угрозами экологической безопасности. Для устранения этих угроз необходимо соблюдение технологического регламента и производственной санитарии.

4 ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕДЛАГАЕМЫХ РЕШЕНИЙ

4.1 Сбор исходных данных для проведения экономического обоснования

В выпускной квалификационной работе предложены технологические мероприятия по повышению производительности и качества выполнения восстановительной наплавки вала. При выполнении базовой технологии наплавки предусматривается ручная дуговая наплавка штучными электродами, что приводит к получению значительного числа дефектов и дополнительным затратам времени на их устранение. В проектном варианте технологии предложено произвести замену ручной дуговой наплавки на плазменную наплавку. Применение предложенных технологических решений позволит получить некоторое снижение трудоемкости сварки и повышение стабильности качества выполняемых сварных соединений.

Экономические расчеты следует производить с учётом операций технологии восстановительной наплавки, которые изменяются по сравнению с базовым вариантом технологии.

Таблица 4.1 – Исходные данные для проведения экономического расчёта

№	Наименование экономического показателя	Обозначение показателя	Единица измерения	Значение экономического показателя по вариантам технологии	
				Базовый	Проектный
1	2	3	4	5	6
1	Общее количество рабочих смен	Ксм	-	1	1
2	Установленная норма амортизационных отчислений на используемое в технологическом процессе оборудование	На	%	21,5	21,5
3	Принимаемый разряд сварщика	Р.р.		V	V

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6
4	Величина часовой тарифной ставки	Сч	Р/час	200	200
5	Значение коэффициента, устанавливающего размер отчислений на дополнительную заработную плату	Кдоп	%	12	12
6	Значение коэффициента, устанавливающего размер доплат к основной заработной плате	Кд		1,88	1,88
7	Значение коэффициента, учитывающего размер отчислений на социальные нужды.	Ксн	%	34	34
8	Принятое значение размера амортизационных отчислений на площади	На.пл.	%	5	5
9	Стоимость эксплуатации производственных площадей	Сэксп	(Р/м ²)/год	4000	4000
10	Цена приобретения производственных площадей	Цпл	Р/м ²	30000	30000
11	Площадь, которая занята технологическим оборудованием	S	м ²	8	11
12	Значение коэффициента, который учитывает наличие транспортно-заготовительных расходов	Кт -з	%	5	5
13	Значение коэффициента, учитывающего затраты на монтаж и демонтаж технологического оборудования	Кмонт Кдем	%	3	2
14	Рыночная стоимость применяемого технологического оборудования	Цоб	Руб.	50000	250000
15	Значение коэффициента, учитывающего затраты на дополнительную производственную площадь	Кпл.	-	3	3
16	Потребляемая мощность технологического оборудования	Муст	кВт	3,6	5,0
17	Стоимость расходуемой на проведение технологии электрической энергии	Цэ-э	Р/ кВт	1,79	1,79
18	Значение коэффициента, учитывающего выполнение нормы	Квн	-	1,1	1,1

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6
19	Значение коэффициента полезного действия технологического оборудования	КПД	-	0,7	0,7
20	Принятое значение нормативного коэффициента эффективности капитальных вложений	Ен	-	0,33	0,33
21	Значение коэффициента, который учитывает цеховые расходы	Кцех	-	1,5	1,5
22	Значение коэффициента, который учитывает заводские расходы	Кзав	-	1,15	1,15
23	Значение коэффициента который учитывает производственной нормы	Кв		1,03	1,03
24	Время машинное	tмаш	час	2,4	1,6

4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования

Величину годового фонда времени, в течение которого работает оборудование рассчитываем с использованием формулы:

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

где T_{CM} – принятая продолжительность смены;

D_P – общее количество рабочих дней в году;

D_{II} – общее количество предпраздничных дней;

T_{II} – ожидаемое сокращение рабочего времени предпраздничные дни в часах;

C – общее количество смен.

Подставив в (4.1) заданные значения, получим:

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

Расчётное определение величины эффективного фонда времени работы оборудования производим с использованием зависимости:

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

где V – плановые потери рабочего времени.

Подставив в (4.2) заданные значения, получим:

$$F_3 = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054 \text{ ч.}$$

4.3 Расчёт времени, затрачиваемого для выполнения годовой программы, и коэффициента, учитывающего загрузку оборудования

Для определения временных затрат на выполнение операций технологического процесса используем расчётную зависимость:

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{МАШ}} + t_{\text{ВСП}} + t_{\text{ОБСЛ}} + t_{\text{ОТЛ}} + t_{\text{П-З}}, \quad (4.3)$$

где $t_{\text{шт}}$ – общее время, которое затрачивает персонал на выполнение операций технологического процесса;

$t_{\text{МАШ}}$ – время, которое затрачивает персонал непосредственно на выполнение сварочных операций;

$t_{\text{ВСП}}$ – время, которое затрачивает персонал на подготовку к работе сварочного оборудования и составляет 10% от $t_{\text{МАШ}}$;

$t_{\text{ОБСЛ}}$ – время, которое затрачивает персонал на обслуживание, текущий и мелкий ремонт сварочного оборудования и составляет 5% $t_{\text{МАШ}}$;

$t_{\text{ОТЛ}}$ – время, которое затрачивает персонал на личный отдых, составляет 5% $t_{\text{МАШ}}$;

$t_{\text{П-З}}$ – время на подготовительно – заключительные операции, 1% $t_{\text{МАШ}}$.

Подставив в (4.3) заданные значения, получим:

$$t_{\text{шт.баз}} = 2,4 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 2,9 \text{ ч.}$$

$$t_{\text{шт.проектн.}} = 1,6 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 1,9 \text{ ч.}$$

Годовую программу объемов работ определяем расчётным путём:

$$P_{\Gamma} = \frac{F_3}{t_{\text{шт}}} \quad (4.4)$$

где F_3 – величина эффективного фонда времени работы оборудования;

$t_{\text{шт}}$ – штучное время на выполнение сварки;

Подставив в (4.4) необходимые значения, получим:

$$Пг_{\text{баз.}} = 2054/2,9 = 700 \text{ изделий за год};$$

$$Пг_{\text{проектн.}} = 2054/1,9 = 1100 \text{ изделий за год.}$$

Для проведения дальнейших экономических расчётов принимаем $Пг = 500$ изделий за год.

Количество оборудования определяем с использованием формулы:

$$n_{\text{РАСЧ}} = \frac{t_{\text{шт}} \cdot Пг}{F_{\text{э}} \cdot K_{\text{ВН}}} \quad (4.5)$$

где $t_{\text{шт}}$ – затрачиваемое штучное время на восстановительную наплавку;

$Пг$ – принятое значение годовой программы;

$F_{\text{э}}$ – величина эффективного фонда времени работы сварочного оборудования;

$K_{\text{ВН}}$ – принятое значение коэффициента выполнения нормы.

Подставив в (4.5) необходимые значения, получим:

$$n_{\text{РАСЧ.б}} = \frac{2,9 \cdot 500}{2054 \cdot 1,1} = 0,64$$

$$n_{\text{РАСЧ.пр}} = \frac{1,9 \cdot 500}{2054 \cdot 1,1} = 0,42$$

На основании проведённых расчётов принимаем одну единицу оборудования для реализации базового технологического процесса и одну единицу оборудования для реализации проектного технологического процесса.

Расчётное определение величины коэффициента загрузки оборудования выполним с использованием зависимости:

$$Kз = n_{\text{расч}}/n_{\text{пр}} \quad (4.6)$$

где $n_{\text{РАСЧ}}$ – рассчитанное согласно (4.5) количество сварочного оборудования,

$n_{\text{пр}}$ – принятое ранее количество сварочного оборудования

Подставив в (4.6) необходимые значения, получим:

$$Kзб = 0,64/1 = 0,64$$

$$K_{3п} = 0,42/1 = 0,42$$

4.4 Вычисление заводской себестоимости базового и проектного вариантов технологии

Затраты на материалы, используемые при реализации базового и проектного вариантов технологии, определяем с использованием формулы:

$$M = Ц_{м} \cdot Н_{р} \cdot K_{т-з}, \quad (4.7)$$

где $Ц_{м}$ – стоимость сварочных материалов;

$K_{т-з}$ – принятое значение коэффициента, учитывающего транспортно-заготовительные расходы.

При выполнении базовой технологии сварки для восстановления изделия предусматривается ручная дуговая наплавка штучными электродами, что приводит к получению значительного числа дефектов и дополнительным затратам времени на их устранение. В проектом варианте технологии предложено произвести замену ручной дуговой наплавки на плазменную наплавку. Расчёт затрат на материалы производим исходя из описания технологического процесса сварки.

$$M_{\text{баз.}} = 270 \cdot 0,48 = 129,6 \text{ руб.}$$

$$M_{\text{проектн.}} = 310 \cdot 0,448 + 90 \cdot 0,213 = 158,05 \text{ руб.}$$

Фонд заработной платы (ФЗП) представляет собой сумму основной и дополнительной заработных плат. Для расчётного определения основной заработной платы используем зависимость:

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

где $C_{\text{ч}}$ – принятое значение тарифной ставки;

$K_{\text{д}}$ – принятое значение коэффициента, который учитывает затраты на доплату к основной заработной плате.

Подставив в (4.8) необходимые значения, получим:

$$Z_{\text{осн.баз.}} = 2,9 \cdot 200 \cdot 1,88 = 1090,40 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн.проектн.}} = 1,9 \cdot 200 \cdot 1,88 = 714,40 \text{ руб.}$$

Для расчётного определения дополнительной заработной платы используем формулу:

$$З_{\text{доп}} = З_{\text{осн}} \cdot К_{\text{доп}} / 100 \quad (4.9)$$

где $К_{\text{доп}}$ – значение коэффициента, который учитывает затраты на отчисления на дополнительную заработную плату

Подставив в (4.9) необходимые значения, получим:

$$З_{\text{доп.баз.}} = 1090,40 \cdot 12 / 100 = 130,85 \text{ руб.};$$

$$З_{\text{доп.проектн.}} = 714,40 \cdot 12 / 100 = 85,73 \text{ руб.}$$

$$\Phi ЗП_{\text{баз.}} = 1090,40 + 130,85 = 1221,25 \text{ руб.};$$

$$\Phi ЗП_{\text{проектн.}} = 714,40 + 85,73 = 800,13 \text{ руб.}$$

Расчётное определение величины отчислений на социальные нужды производим с использованием формулы:

$$О_{\text{сс}} = \Phi ЗП \cdot К_{\text{сс}} / 100, \quad (4.10)$$

где $К_{\text{сс}}$ – значение коэффициента, который учитывает затраты отчисления на социальные нужды.

Подставив в (4.10) необходимые значения, получим:

$$О_{\text{сс баз.}} = 1221,25 \cdot 34 / 100 = 415,23 \text{ руб.}$$

$$О_{\text{сс проектн.}} = 800,13 \cdot 34 / 100 = 272,05 \text{ руб.}$$

Расчёт затрат на содержание и эксплуатацию технологического оборудования производим с использованием зависимости:

$$З_{\text{об}} = А_{\text{об}} + Р_{\text{э-э}}, \quad (4.11)$$

где $А_{\text{об}}$ – принятая величина амортизации оборудования;

$Р_{\text{э-э}}$ – величина затрат на электрическую энергию;

Величину амортизации оборудования вычисляем с использованием формулы:

$$А_{\text{об}} = \frac{Ц_{\text{об}} \cdot N_{\text{а}} \cdot t_{\text{МАШ}}}{F_{\text{э}} \cdot 100} \quad (4.12)$$

где $Ц_{\text{об}}$ – принятое значение стоимости оборудования;

$N_{\text{а}}$ – принятое значение нормы амортизации оборудования.

Подставив в (4.12) необходимые значения, получим:

$$A_{обб} = \frac{50000 \cdot 2,4 \cdot 21,5 \cdot 1}{2054 \cdot 100} = 12,56 \text{ рублей}$$

$$A_{обпр} = \frac{250000 \cdot 1,6 \cdot 21,5 \cdot 1}{2054 \cdot 100} = 41,86 \text{ рублей}$$

Расчётное определение расходов на электроэнергию производим с использованием зависимости:

$$P_{\text{э-э}} = \frac{M_{\text{уст}} \cdot t_{\text{маш}} \cdot C_{\text{э-э}}}{\text{КПД}} \quad (4.13)$$

где $M_{\text{уст}}$ – принятое значение мощности установки;

$C_{\text{э-э}}$ – стоимость электрической энергии;

КПД – значение коэффициента полезного действия технологического оборудования.

Подставив в (4.13) необходимые значения, получим:

$$P_{\text{э-эб}} = \frac{3,6 \cdot 1,79 \cdot 2,4 \cdot 1}{0,7} = 22,09 \text{ рублей}$$

$$P_{\text{э-эпр}} = \frac{5,0 \cdot 1,79 \cdot 1,6 \cdot 1}{0,7} = 20,46 \text{ рублей}$$

$$Z_{оббаз.} = 12,56 + 22,09 = 34,65 \text{ руб.}$$

$$Z_{обпроектн.} = 41,86 + 20,46 = 62,32 \text{ руб.}$$

Расчётное определение затрат на содержание и эксплуатацию площадей производим на основании зависимости:

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

где $P_{пл}$ – величина затрат на эксплуатацию и содержание производственных площадей;

$A_{пл}$ – амортизация площадей.

Величину затрат на содержание производственных площадей вычисляем на основании зависимости:

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

где $C_{\text{ЭКСПЛ}}$ – расходы на содержание площадей

S – площадь, занятая под оборудование.

Подставив в (4.15) необходимые значения, получим:

$$P_{\text{ПЛБ}} = \frac{4000 \cdot 8 \cdot 2,9}{2054} = 45,18 \text{ руб.}$$

$$P_{\text{ПЛП}} = \frac{4000 \cdot 11 \cdot 1,9}{2054} = 40,70 \text{ руб.}$$

Амортизацию площади вычисляем на основании формулы:

$$A_{\text{ПЛ}} = \frac{C_{\text{ПЛ}} \cdot Na_{\text{ПЛ}} \cdot S \cdot t_{\text{ПЛ}}}{F_3 \cdot 100}, \quad (4.16)$$

где $Na_{\text{ПЛ}}$ – принятое значение нормы амортизации площади;

$C_{\text{ПЛ}}$ – цена приобретения площадей

Подставив в (4.16) необходимые значения, получим:

$$A_{\text{ПЛБ}} = \frac{30000 \cdot 8 \cdot 2,9 \cdot 21}{2054 \cdot 100} = 71,16$$

$$A_{\text{ПЛП}} = \frac{30000 \cdot 11 \cdot 1,9 \cdot 21}{2054 \cdot 100} = 64,10$$

$$Z_{\text{ПЛБаз.}} = 45,18 + 71,16 = 116,34 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{ПЛПроектн.}} = 40,70 + 64,10 = 104,80 \text{ руб.}$$

Расчётное определение величины технологической себестоимости производим на основании зависимости:

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

Подставив в (4.17) необходимые значения, получим:

$$C_{\text{ТЕХБаз.}} = 129,6 + 1221,25 + 415,23 + 34,65 + 116,34 = 1917,07 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{ТЕХПроектн.}} = 158,05 + 800,13 + 272,05 + 62,32 + 104,80 = 1397,35 \text{ руб.}$$

Расчётное определение величину цеховой себестоимости производим на основании зависимости:

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

где $K_{\text{ЦЕХ}}$ – коэффициент, который учитывает цеховые расходы

Подставив в (4.18) необходимые значения, получим:

$$C_{\text{ЦЕХБаз.}} = 1917,07 + 1090,40 \cdot 1,5 = 1917,07 + 1635,60 = 3552,67 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЦЕХПроектн.}} = 1397,35 + 714,40 \cdot 1,5 = 1397,35 + 1071,60 = 2468,95 \text{ руб.}$$

Расчётное определение величины заводской себестоимости производим на основании зависимости:

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

где $K_{\text{ЗАВ}}$ – коэффициент, учитывающий заводские расходы

Подставив в (4.19) необходимые значения, получим:

$$C_{\text{ЗАВБаз.}} = 3552,67 + 1090,40 \cdot 1,15 = 3552,67 + 1253,96 = 4806,63 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЗАВПроектн.}} = 694,25 + 714,40 \cdot 1,15 = 694,25 + 821,56 = 3290,51 \text{ руб.}$$

4.5 Калькуляция заводской себестоимости сварки в соответствии с базовым и проектным вариантами технологии

Таблица 4.2 – Заводская себестоимость сварки

№ п/п	ПОКАЗАТЕЛИ	Условное обозначение	Калькуляция, рублей	
			Базовый	Проектный
1	Материалы	М	129,6	158,05
2	Фонд заработной платы	ФЗП	1221,25	800,13
3	Отчисления на социальные нужды	О _{СН}	415,23	272,05
4	Затраты на оборудование	Зоб	34,65	62,32
5	Расходы на площади	Зпл	116,34	104,80
	Себестоимость технологическая	Стех	1917,07	1397,35
6	Расходы цеховые	Рцех	1635,60	1071,60
	Себестоимость цеховая	Сцех	3552,67	2468,95
7	Расходы заводские	Рзав	1253,96	821,56
	Себестоимость заводская	С _{ЗАВ}	4806,63	3290,51

4.6 Определение капитальных затрат в соответствии с базовым и проектным вариантами технологии

Расчётное определение величины капитальных затраты, сопровождающих реализацию базового варианта технологии производим с использованием следующей зависимости:

$$K_{\text{ОБЩБ}} = K_{\text{ОББ}} = n \cdot C_{\text{ОБ.Б}} \cdot K_{3.Б.}, \quad (4.20)$$

где K_3 – значение коэффициента, который учитывает загрузку технологического оборудования;

$C_{\text{ОБ.Б}}$ – размер остаточной цены оборудования, полученный с учетом срока службы технологического оборудования (рублей);

n – принятое количество оборудования, которое необходимо для выполнения производственной программы согласно описанию технологического процесса.

$$C_{\text{ОБ.Б}} = C_{\text{ПЕРВ.}} - (C_{\text{ПЕРВ.}} \cdot T_{\text{СЛ}} \cdot N_A / 100), \quad (4.21)$$

где $C_{\text{ПЕРВ.}}$ – стоимость приобретения технологического оборудования (рублей)

$T_{\text{СЛ}}$ – установленный срок службы технологического оборудования на момент внедрения результатов выпускной квалификационной работы в производство (лет);

N_A – принятое значение нормы амортизации технологического оборудования (%).

Подставив в (4.20) и (4.21) необходимые значения, получим:

$$C_{\text{ОБ.Баз.}} = 50000 - (50000 \cdot 2,5 \cdot 21 / 100) = 23750 \text{ рублей}$$

$$K_{\text{ОБЩБаз.}} = 1 \cdot 23750 \cdot 0,64 = 15200 \text{ рублей}$$

Расчётное определение величины общих капитальных затрат при реализации проектного варианта технологического процесса производим с использованием формулы:

$$K_{\text{ОБЩПР}} = K_{\text{ОБГПР}} + K_{\text{ПЛПР}} + K_{\text{СОПР}} \quad (4.22)$$

где $K_{\text{ОБ}}$ – принятая величина капитальных вложений в технологическое оборудование;

$K_{\text{Пл}}$ – принятая величина капитальных вложений в площади (поскольку базовый и проектный вариант технологии предполагает использование одной и той же площади, размеры площади не изменились, поэтому расчёта капитальных вложений в площади не производим);

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

$$K_{\text{ОБПроектн}} = \text{Ц}_{\text{ОБПР}} \cdot K_{\text{Т-З}} \cdot K_{\text{ЗБ}} \quad (4.23)$$

Подставив в (4.23) необходимые значения, получим:

$$K_{\text{ОБПроектн}} = 1 \cdot 250000 \cdot 1,05 \cdot 0,42 = 110250 \text{ руб.}$$

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

где $K_{\text{ДЕМ}}$ – принятое значение затрат на демонтаж технологического оборудования для реализации базового процесса;

$K_{\text{МОНТ}}$ – принятое значение коэффициента расходов на монтаж оборудования.

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

где $K_{\text{ДЕМ}}$ – коэффициент, учитывающий расходы на демонтаж.

Подставив в (4.25) необходимые значения, получим:

$$K_{\text{ДЕМ}} = 1 \cdot 50000 \cdot 3/100 = 1500 \text{ руб.}$$

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

где $K_{\text{МОНТ}}$ – значение коэффициента, учитывающего затраты на монтаж технологического оборудования для реализации проектного процесса.

Подставив в (4.24) и (4.25) необходимые значения, получим:

$$K_{\text{МОНТ}} = 1 \cdot 250000 \cdot 2/100 = 5000 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{СОП}} = 1500 + 5000 = 6500 \text{ руб.}$$

$$K_{\text{ОБЩПроектн}} = 110250 + 6500 = 116750 \text{ руб.}$$

Расчётное определение величины дополнительных капитальных вложений выполняем с использованием зависимости:

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

Подставив в (4.27) необходимые значения, получим:

$$K_{\text{доп}} = 116750 - 15200 = 101550 \text{ руб.}$$

Расчётное определение величины удельных капитальных вложений выполняем с использованием зависимости:

$$K_{\text{уд}} = \frac{K_{\text{общ.}}}{P_{\Gamma}}, \quad (4.28)$$

где P_{Γ} – принятое значение годовой программы.

Подставив в (4.28) необходимые значения, получим:

$$K_{\text{удБаз.}} = 15200 / 500 = 30,4 \text{ руб./ед.}$$

$$K_{\text{удПроектн.}} = 116750 / 500 = 233,5 \text{ руб./ед.}$$

4.7 Расчёт показателей экономической эффективности в соответствии с проектным вариантом технологии

Величину показателя снижения трудоемкости определим с использованием формулы:

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{t_{\text{штГБ}} - t_{\text{штГПР}}}{t_{\text{штГБ}}} \cdot 100\% \quad (4.29)$$

Подставив в (4.29) необходимые значения, получим:

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{2,9 - 1,9}{2,9} \cdot 100\% = 34,5\%$$

Величину показателя повышения производительности труда определим по формуле:

$$P_{\Gamma} = \frac{100 \cdot \Delta t_{\text{шт}}}{100 - \Delta t_{\text{шт}}} \quad (4.30)$$

Подставив в (4.30) необходимые значения, получим:

$$P_{\Gamma} = \frac{100 \cdot 34,5}{100 - 34,5} = 52,7\%$$

Величину показателя снижения технологической себестоимости определим по формуле:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{C_{\text{ТЕХБ}} - C_{\text{ТЕХПР}}}{C_{\text{ТЕХБ}}} \cdot 100\% \quad (4.31)$$

Подставив в (4.31) необходимые значения, получим:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{1917,07 - 1397,35}{1917,07} \cdot 100\% = 27\%$$

Величину условно-годовой экономии (ожидаемой прибыли) определим по формуле:

$$\text{Пр}_{\text{ож.}} = \text{Э}_{\text{у.г.}} = \left(C_{\text{зав}}^{\text{б}} - C_{\text{зав}}^{\text{пр}} \right) \cdot \text{П}_{\Gamma} \quad (4.32)$$

Подставив в (4.32) необходимые значения, получим:

$$\text{Э}_{\text{у.г.}} = (4806,63 - 3290,51) \cdot 500 = 758060 \text{ руб.}$$

Величину срока окупаемости дополнительных капитальных вложений определим по формуле:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{доп}}}{\text{Э}_{\text{уг}}} \quad (4.33)$$

Подставив в (4.33) необходимые значения, получим:

$$T_{\text{ок}} = \frac{101550}{758060} = 0,13$$

Размер годового экономического эффекта в сфере производства определим по формуле:

$$\text{Э}_{\Gamma} = \text{Э}_{\text{уг}} - \text{Ен} \cdot K_{\text{доп}} \quad (4.34)$$

Подставив в (4.34) необходимые значения, получим:

$$\text{Э}_{\Gamma} = 758060 - 0,33 \cdot 101550 = 724548,5 \text{ руб.}$$

4.8 Заключение по экономическому разделу

В экономическом разделе выпускной квалификационной работы были произведены расчеты с целью определения таких экономических параметров, как технологическая и заводская себестоимость восстановления вала.

Установлено, что проектный вариант восстановления после своего внедрения в производство даст такие эффекты, как уменьшение трудоемкости на 34,5 %, увеличение производительности труда на 52,7 %, что уменьшило технологическую себестоимость на 27 %. Расчётная величина условно-годовой экономии составила 0,76 млн. рублей.

Величина годового экономического эффекта, полученная с учетом затрат на капитальные вложения в оборудование, составила 0,72 млн рублей. Капитальные вложения в оборудование размером будут окуплены за 0,13 года.

На основании вышеизложенного делаем вывод о том, что разработанная технология восстановительной наплавки обладает экономической эффективностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности восстановления эксцентрикового вала кривошипно-шатунного прессы.

На основании анализа состояния вопроса были сформулированы задачи, при решении которых можно достигнуть поставленной цели:

- 1) составить схему проектного технологического процесса плазменной наплавки изделия и описать его операции;
- 2) повысить эффективность плазменной наплавки применительно к рассматриваемому изделию;
- 3) разработать оборудование, осуществляющее предлагаемую проектную технологию плазменной наплавки изделия.

В выпускной квалификационной работе предложены технологические мероприятия по повышению производительности и качества выполнения восстановительной наплавки изделий. При выполнении базовой технологии предусматривается ручная дуговая наплавка штучными электродами, что приводит к получению значительного числа дефектов и дополнительным затратам времени на их устранение. В проектом варианте технологии предложено произвести замену ручной дуговой наплавки на плазменную наплавку. Применение предложенных технологических решений позволит получить снижение трудоемкости сварки и повышение стабильности качества проводимых наплавочных работ.

В работе предусмотрены мероприятия по обеспечению безопасности труда персонала.

Произведена оценка экономической эффективности проектной технологии. Установлено, что проектный вариант восстановления после своего внедрения в производство даст такие эффекты, как уменьшение трудоемкости на 34,5 %, увеличение производительности труда на 52,7 %, что уменьшило технологическую себестоимость на 27 %. Величина годового

экономического эффекта, полученная с учетом затрат на капитальные вложения в оборудование, составила 0,72 млн рублей.

На основании вышеизложенного можно заключить о достижении поставленной цели.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Еремеев, В.Б. Химическая макронеоднородность металла, наплавленного различными электродными материалами / В.Б. Еремеев, Ю.В. Стреляный, В.А. Корбут, Л.В. Песня // Свойства и испытания наплавленного металла: Теоретические и технологические основы наплавки. – Киев: ИЭС им. Е.О. Патона, 1979. – С. 36–42.
2. Степин, В.С. Применение дисперсионно-твердеющих Cr–Ni–Si-сталей для элементов затворов и наплавки уплотнительных поверхностей арматуры ТЭС и АЭС / В.С. Степин, Е.Г. Старченко // Арматуростроение. – 2010. – № 3. – С. 66–69.
3. Переплётчиков, Е.Ф. Плазменно-порошковая наплавка штоков энергетической арматуры / Е. Ф. Переплетчиков, И. А. Рябцев // Автоматическая сварка. – 2013. – № 4. – С. 56–58.
4. Ельцов В.В. Восстановление и упрочнение деталей машин: учебное пособие / В.В. Ельцов. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2014
5. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет.: К.В. Фролов (пред.) [и др.] – М.: Машиностроение. – Измерения, контроль, испытания и диагностика. Т. III-7 / В.В. Ключев [и др.]; под общ. Ред. В.В. Ключева – 1996, 464 с.
6. Шиповалов, А.Н. Технология восстановления кулачков распределительных валов плазменной наплавкой: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Москва: Российский государственный аграрный заочный университет. – 2010.
7. 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, 1978. – 462 с.
8. Сорокин, В.Г. Марочник сталей и сплавов / В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин [и др.]. – М.: Машиностроение, 1989. – 640 с.

9. Сварка. Резка. Контроль: Справочник. В 2-х томах / Под общ. ред. Н.П. Алешина, Г.Г. Чернышева. – М.: Машиностроение, 2004
10. Батищев, А.Н. Методика оптимизации способов восстановления деталей // Организация и технология ремонта машин. - М.: РГАЗУ, 2000. – С. 174 – 178.
11. Макаренко, Н.А. Разработка установки и плазмотрона для плазменно-порошковой наплавки на разнополярно-импульсном токе / Н.А. Макаренко, А.А. Богуцкий, Н.А. Грановская, В.В. Синельник // Вісник східноукраїнського національного університету ім. В. Даля.. – Луганск: СНУ, 2010. – № 2. – С. 168–173.
12. Данилов, П.А. Повышение эффективности восстановления работоспособности изношенных деталей на основе обоснованного выбора технологических методов восстановления их эксплуатационных свойств: Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. – Москва: Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», 2010.
13. Сидоров, А.И. Восстановление деталей машины напылением и наплавкой / А.И. Сидоров. – М.: Машиностроение, 1987. – 192 с.
14. Гладкий, П.В. Плазменная наплавка / П.В. Гладкий, Е.Ф. Переплетчиков, И.А. Рябцев. – К.: Екологія, 2007. – 292 с.
15. Малаховский, В.А. Плазменные процессы в сварочном производстве / В.А. Малаховский. - М.: Высшая школа, 1988. - 72 с.
16. Кудинов, В.В. Нанесение плазмой тугоплавких покрытий / В.В. Кудинов, В.М. Иванов. – М.: Машиностроение. – 1981. – 192 с.
17. Жариков, С.В. Влияние экзотермической смеси в составе сердечника самозащитной порошковой проволоки на параметры наплавленного валика / С.В. Жариков // Вісник східноукраїнського національного університету ім. В. Даля.. – Луганск: СНУ, 2010. – № 2. – С. 102–105.
18. Горина, Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие / Л. Н. Горина. – Тольятти: ТолПИ, 2000. – 68 с.

19. Краснопевцева, И. В. Экономическая часть дипломного проекта: метод. указания / И. В. Краснопевцева – Тольятти: ТГУ, 2008. – 38 с.
20. 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.