

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

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»
(наименование)

15.03.01 «Машиностроение»
(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Оборудование и технология сварочного производства»
(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Технология восстановления эксцентрикового вала
щековой дробилки

Студент

А.В. Ашихмин
(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

д.т.н., профессор В.В. Ельцов
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультанты

к.т.н., доцент Н.В. Зубкова
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

к.т.н., доцент А.Н. Москалюк
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Аннотация

Одним из технологических процессов, используемых при производстве строительных материалов, является измельчение природного и искусственного сырья. При этом объёмы производства и качество строительного сырья напрямую зависят от такой операции, как дробление, выполняемой с применением щековых дробилок.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности восстановления вала щековой дробилки.

В ходе выполнения работы решены следующие задачи:

- повысить эффективность плазменной наплавки применительно к рассматриваемой детали;
- составить проектную технологию восстановительной плазменной наплавки;
- предложить оборудование для реализации проектной технологии;
- назначить наплавочный материал и параметры режима наплавки.

Анализ возможных способов сварки восстановления деталей машин типа валов позволил обосновать выбор плазменной наплавки как основного способа при построении проектной технологии. Была составлена проектная технология восстановления эксцентрикового вала, назначены параметры и применяемое оборудование.

Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 0,675 млн. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,3 года.

Содержание

Введение	5
1 Анализ современного состояния восстановления валов щековых дробилок.	7
1.1 Описание изделия и условий его работы.	7
1.2 Сведения о материале для изготовления вала щековой дробилки.	11
1.3 Анализ способов восстановления вала щековой дробилки.	13
1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы	19
2 Проектная технология плазменной наплавки изделия.	20
2.1 Выбор наплавочного материала.	20
2.2 Планировка участка для выполнения восстановительной наплавки.	22
2.3 Устройство для плазменной наплавки.	24
2.4 Параметры режима плазменной наплавки.	26
3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса	30
3.1 Технологическая характеристика объекта	30
3.2 Идентификация профессиональных рисков	31
3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков	33
3.4 Обеспечение пожарной безопасности	35
3.5 Обеспечение экологической безопасности	37
4 Оценка экономической эффективности проектной технологии.	39
4.1 Исходная информация для выполнения экономической оценки предлагаемых технических решений	39
4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования	41
4.3 Расчет штучного времени	42
4.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов	

технологии	44
4.5 Капитальные затраты по базовому и проектному вариантам	
технологии.	48
4.6 Показатели экономической эффективности.	51
Заключение	54
Список используемой литературы и используемых источников	54

Введение

Строительная отрасль Российской Федерации испытывает некоторые затруднения, связанные с отрицательным ростом экономики страны и доходов граждан. При этом обеспечение россиян жильём остаётся недостаточным, поэтому, несмотря на экономические сложности, перед строительной отраслью стоит задача нарастить объёмы вводимого в эксплуатацию жилья эконом-класса.

Одним из технологических процессов, используемых при производстве строительных материалов, является измельчение природного и искусственного сырья. При этом объёмы производства и качество строительного сырья напрямую зависят от такой операции, как дробление, выполняемой с применением щековых дробилок.

Проведение ремонта деталей машин вместо их полной замены экономически более целесообразно. Ремонт детали требует меньших затрат времени и материалов, чем изготовление новой детали и её поставка потребителю. В связи с этим, следует признать, в качестве приоритетного направления энергосбережения и ресурсосбережения именно восстановление деталей машин [6], [13].

Повышение эффективности использования имеющегося фонда оборудования становится главным резервом для развития промышленности Российской Федерации. Под этим, в первую очередь, следует понимать увеличение эксплуатационной надёжности оборудования, повышение качества ремонта и улучшение снабжения запасными частями [1], [6], [13].

Как показала многолетняя практика эксплуатации и ремонта деталей машин, порядка 75 % выбраковываемых деталей могут быть успешно восстановлены с получением исходных свойств. При этом современные технологии реновации позволяют не только восстановить свойства деталей до исходного состояния, но и существенно повысить их [1], [6].

Типовой деталью щековой дробилки, требующей восстановления, является приводной вал. Воспринимаемые распределительным валом нагрузки в процессе эксплуатации могут достигать предельно-допустимых нагрузок для материала вала, что приводит к интенсивному износу поверхностей, которые работают в условиях абразивного износа, а также трения скольжения.

Для восстановления деталей машин настоящее время применяются разнообразные способы и технологии: ручная дуговая наплавка, [18], наплавка в среде защитных газов [12], [19], плазменная наплавка и напыление [11], [15], наплавка под флюсом [9], [16], лазерная наплавка, наплавка порошковой самозащитной проволокой [21], [26].

Проектная технология восстановления детали строится на базе того или иного способа, выбор которого определяется величиной и характером износа, условиями работы детали и стоимости восстановления.

В связи с этим следует признать актуальной цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности восстановления вала щековой дробилки.

Достижение поставленной цели должно быть основано на изучении современных источников научно-технической информации о применении перспективных способов восстановления.

1 Анализ современного состояния восстановления валов щековых дробилок

1.1 Описание изделия и условий его работы

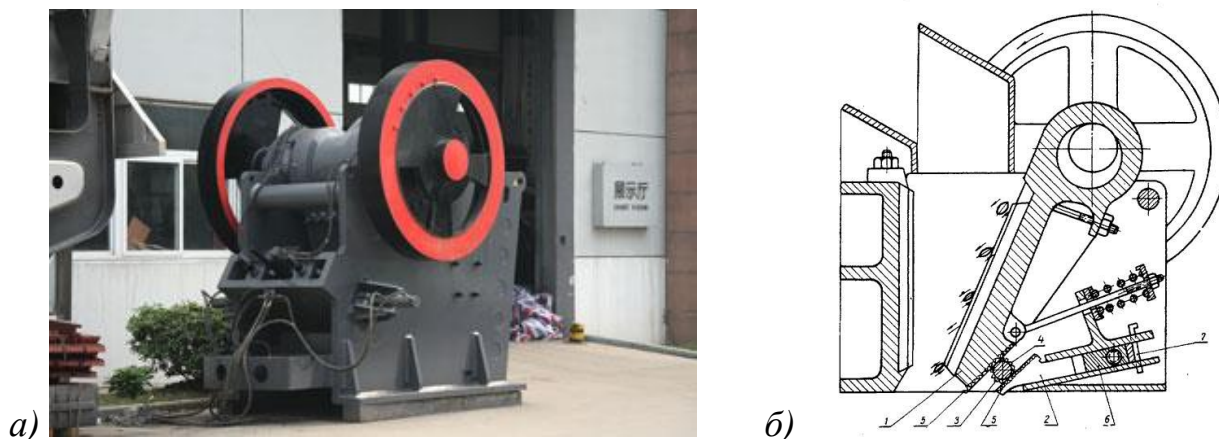
Щековые дробилки, пример которой представлен на рисунке 1, отличаются большим коэффициентом дробления, простотой обслуживания, высокой надёжностью и малыми расходами при эксплуатации. Щековая дробилка позволяет дробить булыжник, отходы мрамора, гранита, базальтовые блоки, известняк, кварц.

В щековой дробилке «между срезанными плоскостями опорной части подвижной щеки 1 и регулировочной опоры 2 помещен распорный цилиндрический ролик 3, выполняющий функции распорной плиты. Для того, чтобы ролик во время работы всегда был на определенном месте и не соскальзывал вниз между двумя перекатывающимися по нему плоскостями, параллельность которых всё время нарушается, на концах ролика крепятся зубчатые венцы 4, которые входят в зацепление с зубчатыми рейками 5, укрепленными против венцов на параллельных плоскостях опорной части щеки и на регулировочной опоре. Регулировочная опора перемещается в наклонных направляющих, укрепленных на корпусе дробилки. Задняя сторона этой опоры является частью регулировочного устройства 6. Регулировочное устройство опирается на две работающие на срез шпильки 7, которые служат предохранительным устройством» [5] .

Назначение эксцентрикового вала, представленного на рисунке 2, щековой дробилки заключается в передаче вращающего момента к щеке от привода дробилки.

В процессе работы эксцентриковый вал щековой дробилки воспринимает ударные нагрузки, знакопеременные нагрузки, подвергается абразивному изнашиванию.

В результате интенсивного износа на вале возникают дефекты, исправление которых необходимо для его последующей эксплуатации, разрушение шлицев, прокручивание вала в местах установки подшипников, образование на валу трещин, износ опорной шейки вала, скручивание вала, образование на поверхности вала заусенцев, износ шпоночного паза, изгиб вала.



1 – подвижная щека, 2 – регулировочная опора, 3 – распорный цилиндрический ролик, 4 – зубчатые венцы, 5 – зубчатые рейки, 6 – регулировочное устройство, 7 – шпильки

Рисунок 1 – Щековая дробилка: внешний вид (а) и принцип действия (б)

При восстановлении вала щековой дробилки необходимо обеспечить соблюдение размеров и шероховатости восстановленных поверхностей. Также следует обеспечить требуемую твёрдость поверхностей вала. Наносимое при восстановлении покрытие должно обладать сплошностью, прочным сцеплением с основным металлом вала и между наносимыми слоями. При восстановлении также следует обеспечить выполнение требований по соосности, величине радиального и трещинового биений обработанных поверхностей, симметричность, параллельность боковых поверхностей шлицев и шпоночных пазов вала.

Оценку технического состояния вала выполняют при дефектации, в ходе выполнения которой определяют изменение свойств и характеристик рабочих поверхностей, деформацию и износ рабочих поверхностей, сохранность формы вала, целостность его материала.

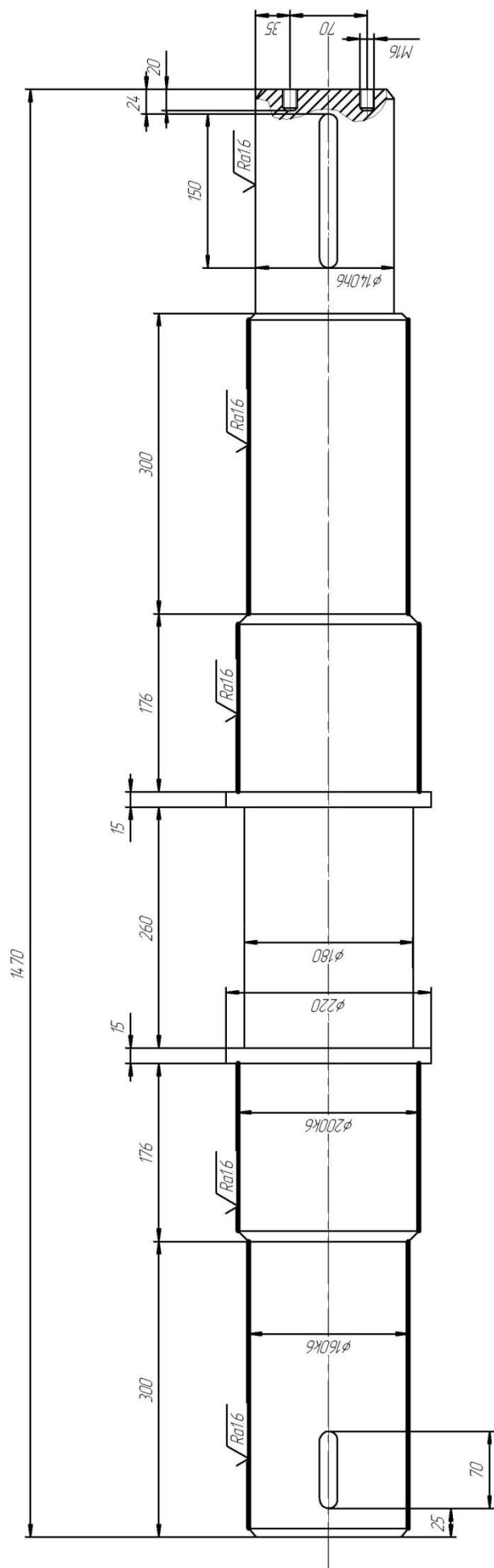


Рисунок 2 – Эксцентриковый вал дробилки

Задачами дефектации являются:

- определение технического состояния деталей;
- разделение деталей на три группы в зависимости от состояния – годные (эти детали используются для комплектования дробилок или как запасные), подлежащие восстановлению (эти детали подлежат восстановлению с применением средств и возможностей предприятия) и негодные (эти детали подлежат утилизации);
- сбор сведений о величине и характере дефектов, эффективности их исправления и совершенствование процесса восстановления.

При дефектации валов проводятся следующие работы:

- внешний осмотр невооружённым глазом и увеличивающих приборов, определяется наличие на детали трещин, вмятин, коррозии, забоин, ослабления плотности посадки, задиров, рисок.
- определяют геометрию износа рабочих поверхностей с применением универсальных и специальных измерительных инструментов;
- выявляют скрытые дефекты с использованием специального оборудования (ультразвуковой дефектоскоп).

По результатам дефектации выполняют маркировку валов с применением цветовой индикации. Красной краской маркируют негодные валы. Зелёной краской маркируют годные валы. Желтой краской маркируют валы, подлежащие восстановлению. Годные валы, промаркированные зелёной краской, направляют на сборку агрегатов.

Сведения о результатах дефектации по каждому валу заносят в карту, содержащую общие сведения о вале, перечень возможных дефектов и способы их обнаружения, допускаемая величина дефектов без исправления, допускаемая величина дефектов при условии выполнения восстановительной наплавки вала, способы устранения дефектов.

1.2 Сведения о материале для изготовления вала щековой дробилки

Вал щековой дробилки изготавливается из стали 45, которая является конструкционной углеродистой качественной сталью [22], [25].

Механические свойства стали 45 и её химический состав, представленные в таблице 1 и таблице 2, обуславливают применение стали 45 для изготовления деталей машин, подвергающихся значительным нагрузкам в условиях трения качения и скольжения.

Таблица 1 – Содержание химических элементов в стали 45

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	As
0.42 - 0.5	0.17 - 0.37	0.5 - 0.8	до 0.25	до 0.04	до 0.035	до 0.25	до 0.25	до 0.08

Таблица 2 – Механические свойства стали 45

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

По сравнению с низкоуглеродистыми сталями сталь 45 обладает повышенной износостойкостью, твёрдостью и прочностью, что достигается за счёт повышения содержания в этой стали углерода. В тоже время повышенный процент содержания углерода приводит к ряду трудностей при сварке стали 45 и наплавке на детали из этой стали [22], [24], [25].

Первой трудностью является склонность металла околошовной зоны к холодным трещинам. Второй трудностью является склонность наплавленного металла к появлению горячих (кристаллизационных) трещин. Третьей трудностью можно считать, что при наплавке деталей из стали 45 из-за структурных изменений практически невозможно достижение равнопрочности наплавленного металла и основного металла.

Вероятность получения холодных трещин может быть значительно уменьшена за счёт применения соответствующих наплавочных материалов, правильного выбора параметров режима наплавки и правильной техники наплавки, а также за счёт применения предварительного подогрева.

Содержание в металле шва водорода повышает склонность к образованию холодных трещин. Ввиду этого необходимо максимально ограничить содержание в металле шва водорода, для чего следует тщательно очищать поверхность детали перед наплавкой, выполнять соответствующую подготовку наплавочных материалов и выбирать в качестве наплавочных материалов те, которые содержат минимальное количество водорода.

Правильный выбор параметров режима сварки предусматривает использование таких режимов, которые обеспечивают оптимальный термический цикл, исключая перегрев металла. Погонная энергия наплавки в этом случае должна быть минимальна, что снижает время нахождения металла при температуре более 1000 °С.

Предварительный подогрев детали перед наплавкой выполняется в том случае, если правильный выбор параметров режима и техники сварки не дал положительных результатов по устранению холодных трещин. В этом случае температуру предварительного подогрева принимают 200...300 °С.

Для устранения горячих трещин при восстановительной наплавке деталей из стали 45 применяют правильную технику сварки и наплавочные материалы.

Наплавку необходимо вести на минимальной длине дуги, тщательно заправляя образующиеся кратеры. Запрещается выведение кратера на основной металл. Образование горячих трещин существенно снижается, если применять для сварки и наплавки порошковую проволоку.

Разупрочнение наплавленного металла устраняется путём проведения термической обработки по схеме «нормализация плюс отпуск».

1.3 Анализ способов восстановления вала щековой дробилки

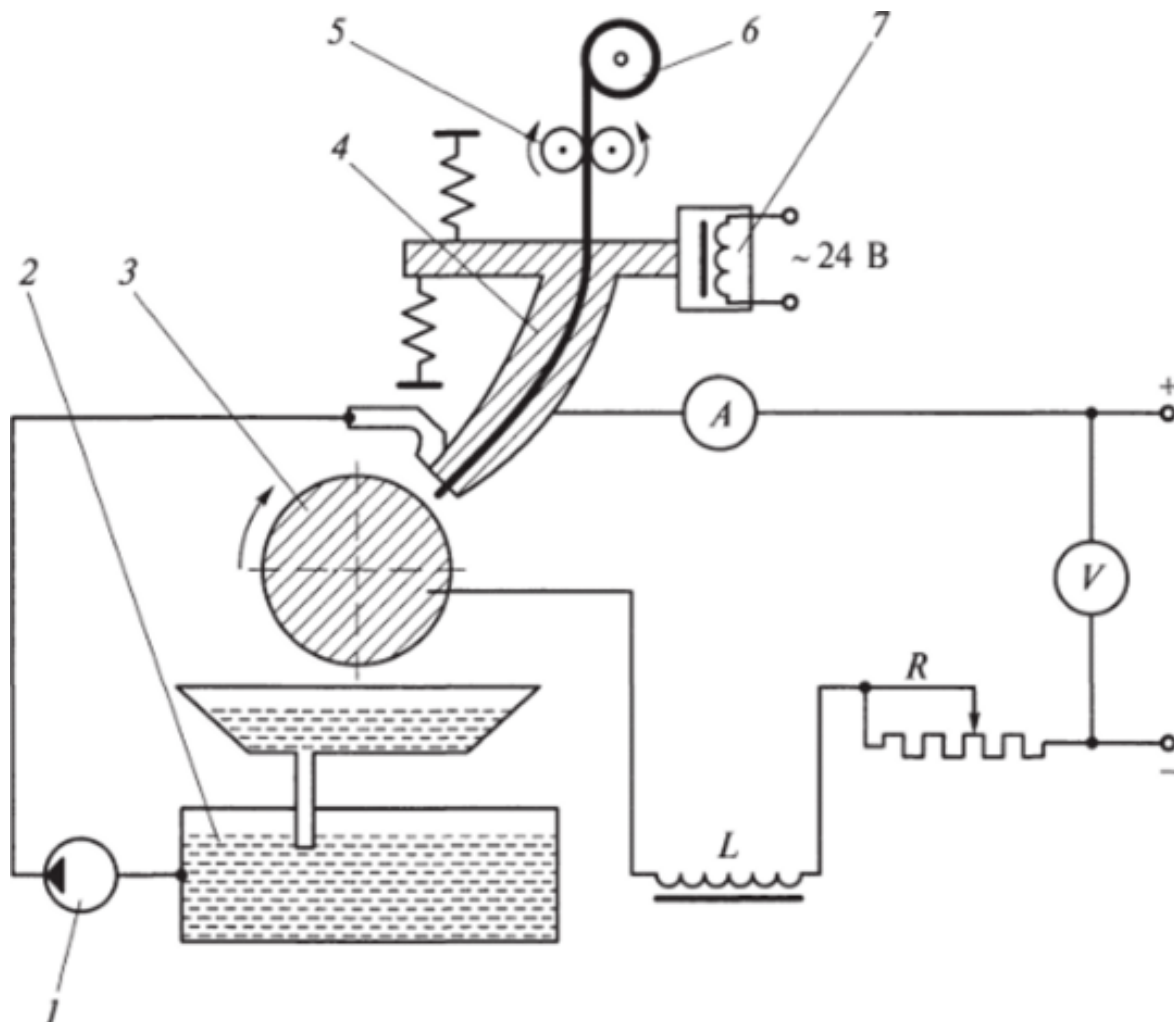
Значения коэффициентов износостойкости, выносливости и сцепляемости, характеризующие распространённые способы восстановления деталей машин [15], представленные в таблице 3, позволяют рекомендовать для восстановления рассматриваемой детали такие способы, как: вибродуговая наплавка; наплавка в среде углекислого газа; газопламенное напыление; плазменное напыление; «плазменная наплавка».

Таблица 3 – Характеристика различных способов восстановления деталей машин [26]

Способы восстановления	Значения коэффициентов		
	Коэффициент износостойкости	Коэффициент выносливости	Коэффициент сцепляемости
Механическая обработка под ремонтный размер	1,0	1,0	1,0
Ручная дуговая наплавка	0,9	0,8	1,0
Наплавка в углекислом газе	0,85	0,9...1,0	1,0
Вибродуговая наплавка	0,85	0,62	1,0
Контактная наплавка (приварка металлического слоя)	0,9...1,1	0,8	0,8...0,9
Газопламенное напыление	1,0...1,3	0,6...1,1	0,3...0,4
Плазменное напыление	1,0...1,5	0,7...1,3	0,4...0,5
Наплавка под слоем флюса	0,90	0,82	1,0
Дуговая металлизация	1,0...1,3	0,6...1,1	0,2...0,3
Хромирование (электролитическое)	1,0...1,3	0,7...1,3	0,4...0,5
Железнение (электролитическое)	0,9...1,2	0,8	0,65...0,8
Клеевые композиции	1,00	—	0,7
Электрохимическая обработка (высадка и сглаживание)	до 3,00	0,8	1,0
Установка дополнительной детали	1,0	0,8	1,0
Пластическое деформирование	0,8...1,0	1,0	1,0

Выполнение вибродуговой наплавки, схема выполнения которой представлена на рисунке 3, предусматривает применение вибрирующего электрода, диаметр которого составляет от 1,5 до 2 мм» [26]. В ходе наплавки на электрод накладывают колебания частотой 30...100 Гц и амплитудой 0,5...1 мм. Из-за колебаний происходит периодическое закорачивание

электрода на наплавляемое изделие, в результате чего на поверхности изделия остаётся часть расплавленного металла электрода. Вибродуговая наплавка позволяет существенно уменьшить термическое воздействие на наплавляемое изделие и повысить твёрдость наплавленного металла.



1 – насос; 2 – бак; 3 – деталь; 4 – мундштук; 5 – механизм подачи; 6 – кассета;
7 – вибратор; A – амперметр; V – вольтметр; R – реостат; L – дроссель замыкания
электродной проволоки и детали

Рисунок 3 – Схема вибродуговой наплавки

Недостатком вибродуговой наплавки является высокая вероятность получения наплавленного слоя с порами и неоднородной структурой. В наплавленном слое присутствуют значительные остаточные растягивающие напряжения, которые приводят к снижению прочности на 30...40 %. Поскольку в процессе работы распределительный вал испытывает значительные динамические нагрузки, то применение вибродуговой

наплавки к этим изделиям потребует выделения значительного внимания на обеспечение качества наплавленного слоя.

Применение наплавки в защитных газах, схема выполнения которой представлена на рисунке 4, позволяет исключить трудности с подачей флюса и удалением шлаковой корки. Этот способ считается самым технологичным и универсальным способом, который позволяет проводить наплавку большинства материалов в различных пространственных положениях.

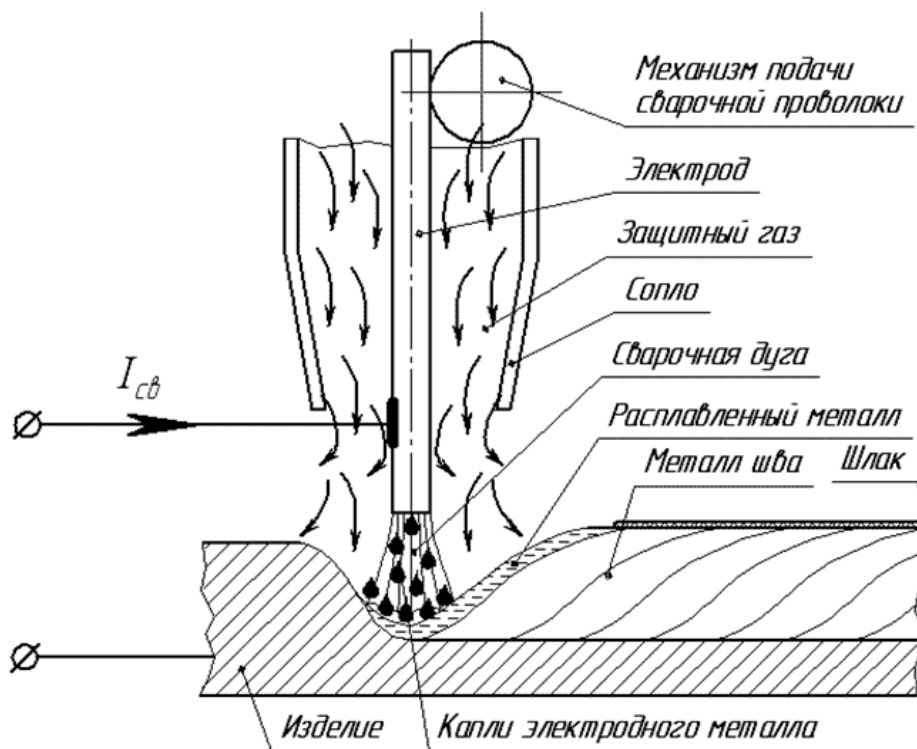


Рисунок 4 – Схема наплавки в защитных газах

Применяемый для защиты сварочной ванны и наплавляемого металла углекислый газ имеет относительно малую стоимость и широкую доступность. Обычно для такой наплавки применяется постоянный ток обратной полярности. При использовании в качестве защитного газа углекислоты происходит окисление расплавленного металла, поэтому в наплавочную проволоку необходимо вводить раскислители (кремний и марганец).

Применение форсированных режимов при наплавке в углекислом газе ограничивается недостаточной эффективностью технологического

управления процессом плавления и переноса электродного металла, который отличается низкой стабильностью. Также при наплавке в углекислом газе наблюдается интенсивное разбрызгивание, которое ухудшает условия труда сварщика, внешний вид и качество наплавленного слоя, увеличивает расход дорогостоящих наплавочных материалов.

Исследования в области повышения эффективности наплавки в защитных газах ведутся в направлении разработки компьютеризированных электроприводов подачи наплавочной проволоки. Вторым направлением исследований является управление горением дуги и переносом электродного металла [19], [20]. В качестве третьего направления можно выделить разработку новых наплавочных материалов [10].

При восстановлении валов значительное распространение получили газопламенные способы нанесения покрытий, схема выполнения которых представлена на рисунке 5. В качестве преимуществ газопламенного напыления можно указать: высокую производительность, малое тепловое воздействие на деталь, высокое сопротивление наносимого покрытия износу, относительную простоту способа [4], [14].

Существенным недостатком газопламенного напыления является низкая прочность сцепления покрытия с основой. В результате существенно снижается ресурс эксплуатации восстановленных изделий, если они работают в условиях ударных нагрузок. При этом прочность сцепления покрытия с основой ещё больше снижается при увеличении толщины наплавленного слоя более 1 мм.

При плазменном напылении, схема выполнения которого приведена на рисунке 6, обработка деталей проходит при существенно больших концентрации теплового потока и скорости течения струи. Наносимое покрытие может быть на основе тугоплавких металлов (тантал, молибден, вольфрам), силицидов (MoSi_2), боридов (ZnB_2 , HfB_2), окислов металла (Al_2O_3 , MgO , ZrO_2), карбидов (B_4C , SiC).

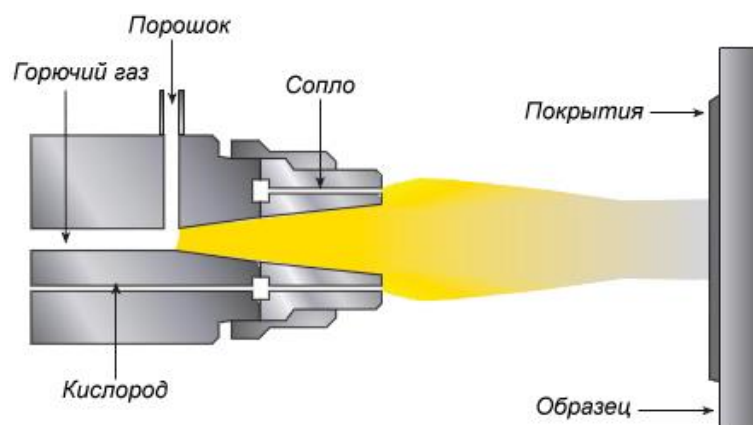


Рисунок 5 – Схема газопламенного напыления

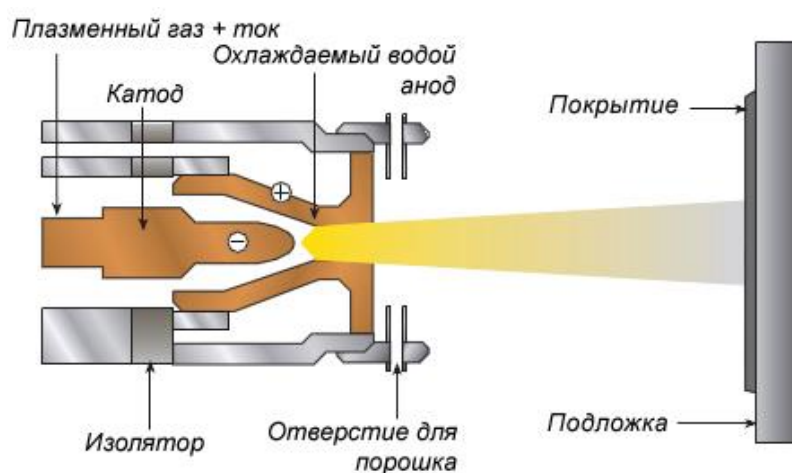
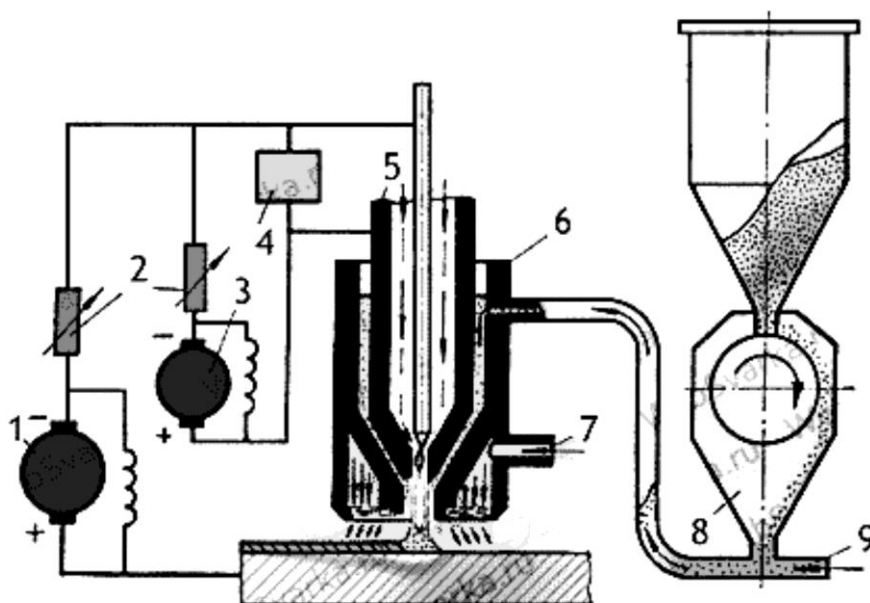


Рисунок 6 – Схема выполнения газоплазменного напыления

При прохождении через плазменную струю частиц присадочного порошка с размерами 40...70 мкм происходит нагрев частиц порошка и их переход в пластическое состояние (без расплавления). Высокая скорость плазменной струи придаёт частицам порошка существенную кинетическую энергию, которая при соударении с поверхностью наплавляемого изделия приводит к расплющиванию частиц порошка и их внедрению в неровности поверхности. При этом обеспечивается прочное сцепление ударяющихся частиц с поверхностью детали и друг с другом. Плазменная наплавка выполняется дугой косвенного действия, которая горит между медным водоохлаждаемым соплом и вольфрамовым водоохлаждаемым катодом.

Анализ технологичности различных способов наплавки деталей машин показывает, что плазменная наплавка по схеме на рисунке 7 обладает большей эффективностью по сравнению с наплавкой в углекислом газе и ручной дуговой наплавкой. Этот способ восстановления обладает большим коэффициентом долговечности и минимальной стоимостью нанесения покрытий.



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 7 – Схема установки для плазменной наплавки

Плазменная наплавка с внесением порошка в плазменную струю характеризуется значительной производительностью наплавки, которая может достигать 6 кг/час. Также применение плазменной наплавки позволяет существенно снизить потребление наплавочного порошка по сравнению с другими способами восстановления деталей машин. Кроме того, при плазменной наплавке помимо дорогостоящих порошков на основе никеля и кобальта могут применяться существенно более дешёвые порошки на основе железа.

1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель - повышение эффективности восстановления вала щековой дробилки.

Анализ возможных способов восстановления эксцентрикового вала выполнен с рассмотрением таких способов, как вибродуговая наплавка, наплавка в углекислом газе, газопламенное напыление, плазменное напыление, плазменная наплавка. В качестве способа для построения проектной технологии выбрана плазменная наплавка. Этот способ восстановления обладает большим коэффициентом долговечности и минимальной стоимостью нанесения покрытий.

На основании вышеизложенного можно сформулировать задачи выпускной квалификационной работы, последовательное решение которых позволит достигнуть поставленной цели:

- повысить эффективность плазменной наплавки применительно к рассматриваемой детали;
- составить проектную технологию восстановительной плазменной наплавки;
- предложить оборудование для реализации проектной технологии;
- назначить наплавочный материал и параметры режима наплавки.

При выполнении оценочного блока выпускной квалификационной работы следует провести следующие работы:

- оценить предлагаемые решения с точки зрения отрицательного влияния на окружающую среду и рабочий персонал;
- оценить затраты на внедрение предлагаемых технологических решений и потенциальный экономический эффект при принятии в производство проектной технологии восстановления вала.

2 Проектная технология плазменной наплавки изделия

2.1 Выбор наплавочного материала

При выборе наплавочного порошка следует руководствоваться тем, что абразивные, ударостойкие и противокоррозионные свойства покрытия определяются его химическим составом и пористостью. На структуру покрытия влияет также размер частиц порошка.

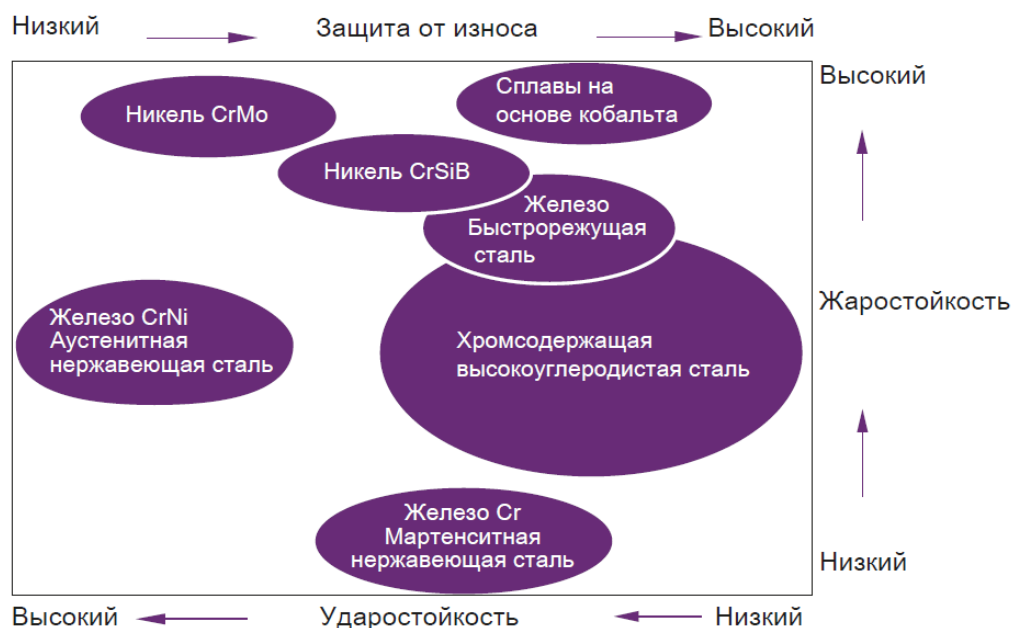


Рисунок 8 – Влияние химического состава порошка на свойства наплавляемого слоя

При применении самофлюсующихся порошков системы Ni-Cr-B-Si (ПГ-СР2, ПГ-СР3, ПГ-СР4, СНГС-50, СНГС-55, СНГС-60, ПН70Х17С4Р4, Х17СР1) получается покрытие с хорошей адгезией, высокой прочностью сопротивлением ударным нагрузкам. Также следует отметить хорошее сцепление слоев покрытия друг с другом и малое тепловое воздействие на деталь. Также покрытие обладает хорошим сопротивлением износу. Главным недостатком самофлюсующихся сплавов системы Ni-Cr-B-Si является их высокая стоимость. Также следует отметить значительную склонность к отслаиванию от детали.

В качестве порошка может быть применён сплав никель-алюминий (ПН70Ю30 и ПН85Ю15), позволяющий получать покрытия с хорошими антифрикционными свойствами и сопротивлению повышенным температурам. Следует отметить слабое сопротивление покрытия, полученных с применением этих порошков, абразивному изнашиванию.

Плазменное нанесение покрытия может быть выполнено с использованием композиционных порошков системы никель-алюминий (ПТ-НА-01, НА-67, ПНА-75, ПНА-80, ПНА-95). Применение этих порошков позволяет получать твёрдые покрытия с хорошими антифрикционными свойствами. Однако покрытие, полученное с использованием этих порошков, обладает малой сопротивляемостью знакопеременным нагрузкам.

Также для плазменной наплавки могут быть использованы порошки, формирующие структуру наплавленного слоя, близкую к инструментальным сталям в соответствии с таблицами 4, 5, 6 и 7: «ПР-Х12МФ, ПР-Х12МФ3Т, ПР-10Р6М5 и ПР-Х3ВМФ5С.

Таблица 4 – Химический состав порошка для наплавки ПР-Х12МФ

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

Таблица 5 – Химический состав порошка для наплавки ПР-Х12МФ3Т

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

Таблица 6 – Химический состав порошка для наплавки ПР-10Р6М5

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

Таблица 7 – Химический состав порошка для наплавки ПР-Х3ВМФ5С

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

На основании анализа цены и свойств наплавочных порошков в качестве порошка для проектной технологии предложим ПР-Х12МФ» [9], позволяющий получать наплавленный слой, стойкий к ударным и абразивным нагрузкам и обладающий высокой коррозионной стойкостью.

2.2 Планировка участка для выполнения восстановительной наплавки

На участке восстановительной плазменной наплавки выполняются следующие операции технологического процесса: мойка, дефектовка, подготовка поверхности, наплавка, контроль качества.

Для этих операций применяется технологическое оборудование, которое необходимо разместить на производственном участке согласно рисунку 9. Операция мойки выполняется не на участке наплавки, поэтому расположение моечного оборудования не предусматриваем. Для выполнения второй операции применяется: стеллаж для изношенных деталей 1, верстак слесарный 2, комплекс контрольно-измерительный 3. Для выполнения третьей операции применяется верстак слесарный 2, камера дробеструйная 5, пост нанесения защитных покрытий 6. Для выполнения четвёртой операции применяется установка для наплавки 7. Для выполнения пятой операции применяется верстак слесарный 2, комплекс контрольно-измерительный 3.

Также на производственном участке необходимо разместить: электропечь СНО 4, вентиляционные каналы 8, защитный экран 9, стеллаж для хранения готовой продукции 12, приточную вентиляцию 14, пылеудаляющий циклон 15 и вентилятор 16, стеллаж для хранения ремонтного фонда и прочих инструментов 13.

Перемещение деталей осуществляется при помощи тележки 10, перемещение баллонов с газом осуществляется при помощи тележки 11.

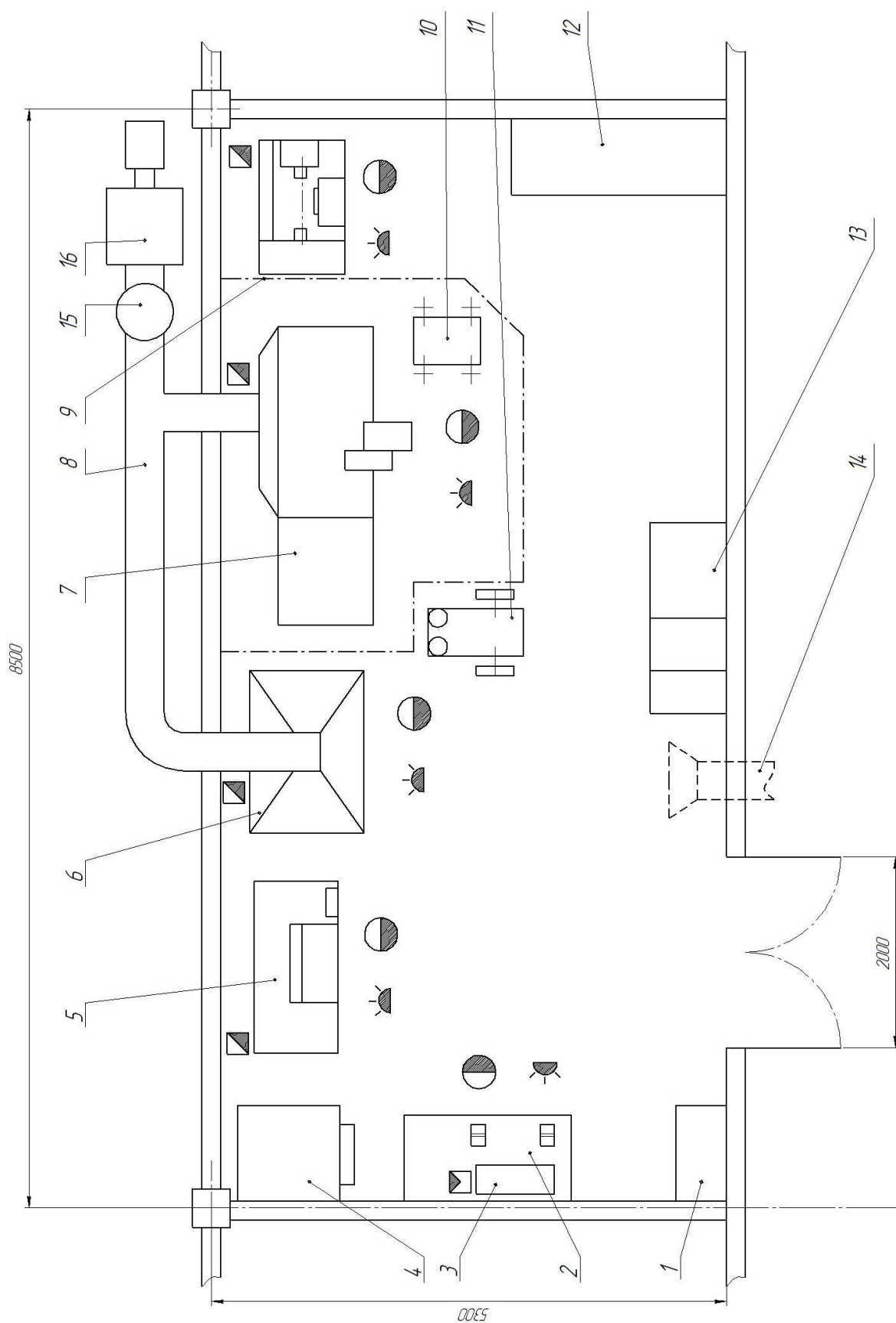


Рисунок 9 – Планировка участка для наплавки

2.3 Устройство для плазменной наплавки

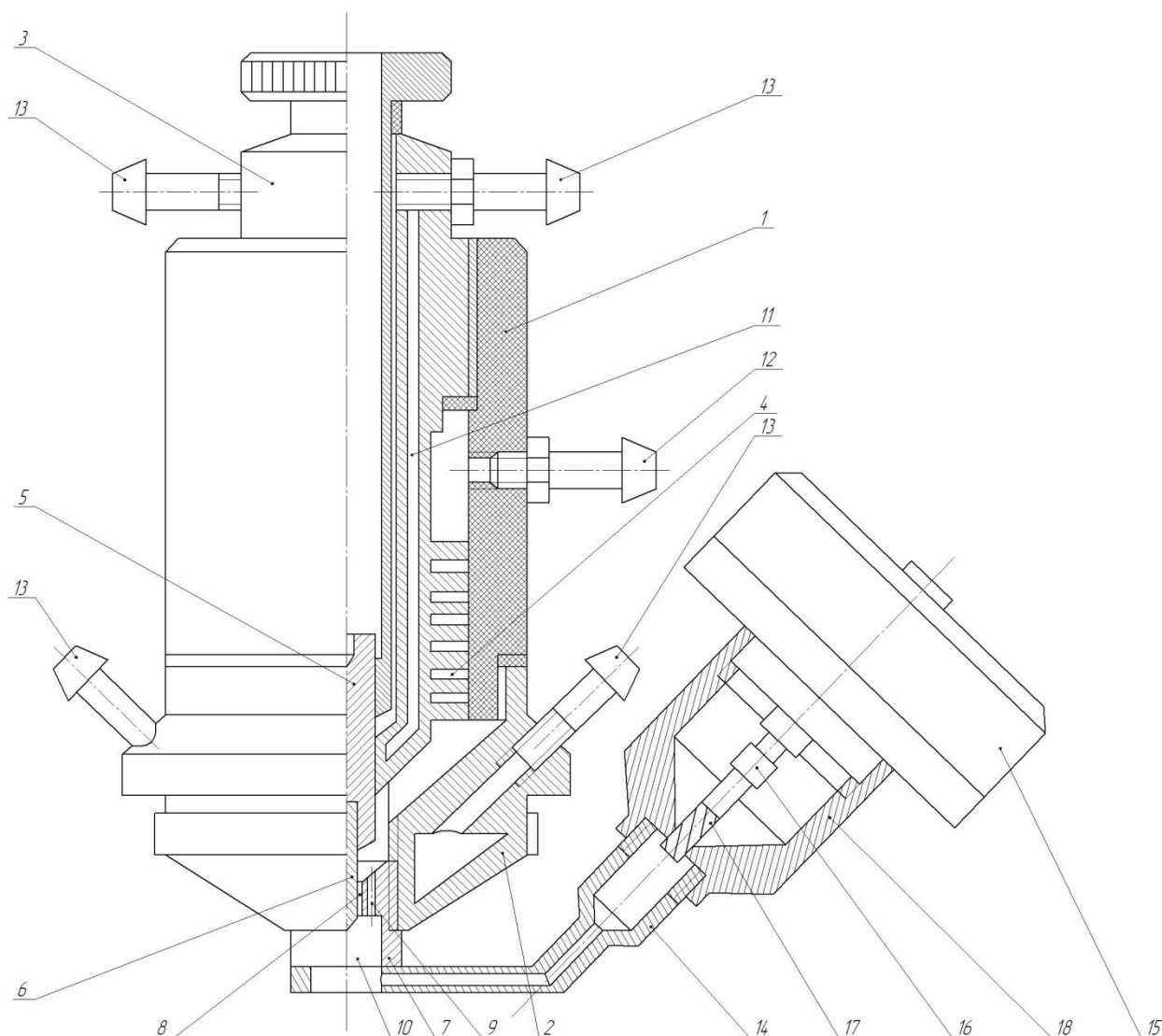
Плазменную наплавку выполняем с применением модернизированной горелки, представленной на рисунке 10, «основными элементами которой являются корпус 1, основное сопло 2, электрододержатель 3, катодный узел 4. Внутри электрододержателя 3 выполнен охлаждающий канал 11 и ввернут наконечник 12, через который подводится плазмообразующий газ. В электрододержателе 3 также крепится композиционный электрод 6 и штуцеры 13, по которым осуществляется подвод охлаждающей жидкости.

Основное сопло 2 содержит дополнительное сопло 7, имеющее центральный выходной канал 8 и концентричные выходные каналы 9» [17]. По этим каналам газ проходит в кольцевую проточку 10.

На наружной поверхности электрододержателя 3 выполнены канавки 4. Назначение этих канавок – закручивать поток плазмообразующего газа. «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 закреплён шнек 17, винтовая часть которого размещена в выходном отверстии дозатора 24» [17].

«Подачу плазмообразующего газа проводят в кольцевой зазор между электрододержателем 3 и корпусом 1. После начала подачи плазмообразующего газа между основным соплом 2 и электродом 6 зажигают вспомогательную дугу. После того, как вспомогательная дуга касается поверхности наплавляемой детали, автоматически включается сильноточная сжатая дуга, которая горит между изделием и электродом 6. Через сменное сопло 7 по концентричным каналам 9 поступает газ, из которого при помощи кольцевой проточки 10 формируется поток плазмообразующего газа. Между дополнительным сменным соплом 7 и поверхность изделия горит дополнительная дуга» [17]. Поток газа из кольцевой проточки 10 позволяет разделить плазменный факел основной

дуги и дополнительную дугу, что обеспечивает стабильность качества наплавки.



«1 - корпус, 2 - основное сопло, 3 - электрододержатель, 4 - канавки для закручивания потока плазмообразующего газа, 5 - катодный узел, 6 - электрод, 7 - дополнительное сменное сопло, 8 - центральный выходной канал дополнительного 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» [17]

Рисунок 10 – Горелка для плазменной наплавки

После прогрева в течение 10...20 секунд плазмотрона подают напряжение на мотор-редуктор 15, установленный на дозаторе 24, «крутящий момент с выходного вала мотор-редуктора 15 передается через упругую муфту 16, на шнек 17. Частицы порошка захватываются канавками шнека 17

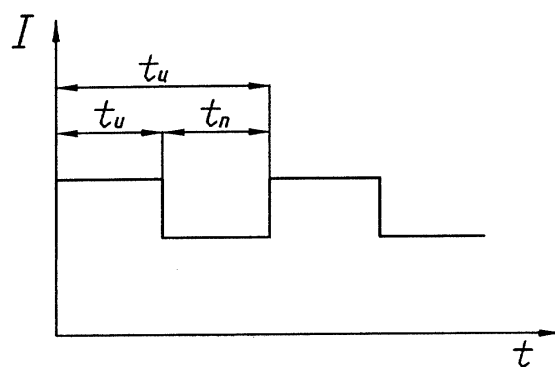
и попадают через выходное отверстие дозатора 18 в питатель 14, откуда за счет эффекта эжекции, возникающего в рабочем отверстии питателя 14, вытягиваются из его полости через канал в рабочее отверстие, где попадают в плазменный факел, разогреваются, ускоряются и выносятся на наплавляемую поверхность. Подача порошка плавно и точно регулируется изменением величины напряжения, подаваемого на мотор-редуктор 15, грубо и дискретно сменой шнека с другим количеством, глубиной или углом наклона винтовых канавок» [17].

2.4 Параметры режима плазменной наплавки

После того, как получена команда от оператора о начале процесса наплавки процесс восстановительной наплавки происходит автоматически по заданному циклу. Система подачи газа обеспечивает подачу защитного, транспортирующего и плазмообразующего газа. Возбуждается дежурная дуга косвенного действия, которая позволяет получить стабильное возбуждение основной дуги. Дежурная дуга также обеспечивает подогрев присадочного порошка, что позволяет уменьшить тепловую нагрузку на восстанавливаемую деталь. Далее между электродом и деталью возбуждается основная дуга прямого действия. Основная дуга в начале процесса обеспечивает прогрев поверхности детали и её подготовку под наплавку.

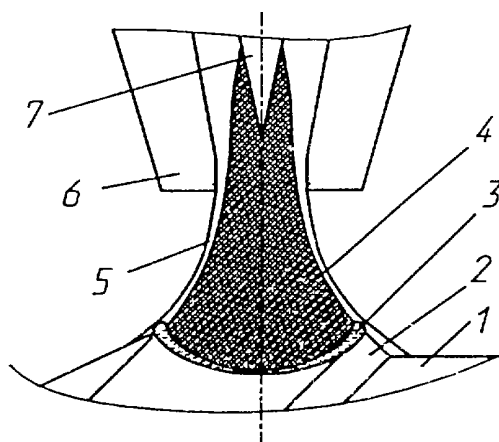
В ходе плазменной наплавки происходит периодическое изменение силы тока дуги согласно диаграмме на рисунке 11, что приводит к изменению силового воздействия дуги на расплав.

При увеличении тока дуги увеличивается количество выделяющегося на дуге тепла, также увеличение тока дуги приводит к повышению газодинамического давления. В результате этого возрастает силовое воздействие дуги на поверхность расплава согласно рисунку 12.



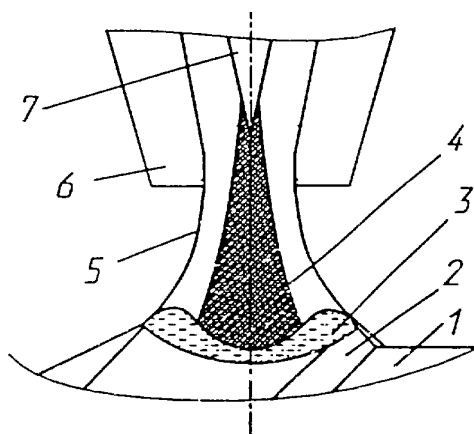
I – сварочный ток, А; t – время, с; $t_{ц}$ – время осуществления цикла, с;
 t_u – время осуществления импульса тока, с; t_n – время осуществления

Рисунок 11 – Циклограмма тока импульсной плазменной дуги



1 – водоохлаждаемый подпятник, 2 – заготовка, 3 – расплав металла (сварочная ванна),
 4 – высокотемпературная зона дуги, 5 – защитный газ,
 6 – плазмообразующее сопло, 7 – электрод

Рисунок 12 – Схема формирования сварочной ванны в период импульса тока



1 – водоохлаждаемый подпятник, 2 – заготовка, 3 – расплав металла (сварочная ванна),
 4 – высокотемпературная зона дуги, 5 – защитный газ,
 6 – плазмообразующее сопло, 7 – электрод

Рисунок 13 – Схема формирования сварочной ванны в период паузы тока

«Такое комплексное воздействие в момент импульса тока вызывает увеличение температуры сварочной ванны при одновременном вытеснении расплава из центральной части ванны к ее периферии и принуждает к заполнению расплавом заранее подготовленной разделки. Ширина наплавленного за один проход слоя оказывается при этом увеличенной по сравнению с другими известными способами.

Таблица 8 – Параметры режима наплавки

Параметр	Значение
1. Ток	150...200 А
2. Напряжение холостого хода	120...160 В
3. Рабочее напряжение	40...45 В
4. Расход плазмообразующего газа	1,5...2,5 л/мин
5. Расход транспортирующего газа	5...7 л/мин
6. Расход защитного газа	16...20 л/мин
7. Расход воды	не менее 5 л/мин
8. Скорость наплавки	0,15...0,18 м/мин
9. Расстояние от горелки до детали	10...18 мм
10. Время импульса	0,02 с
11. Время паузы	0,02 с

В период спада тока (паузы) сварочная ванна ускоренно охлаждается, схема формирования сварочной ванны в период паузы тока представлена на рисунке 13, при этом металл основы не перегревается, а расплавленный металл из разделки не вытекает, что позволяет обеспечить высокое качество наплавленного слоя» [23].

Параметры режима восстановительной наплавки приведены в таблице 8.

Выводы по второму разделу

На основании ранее проведенного анализа преимуществ и недостатков возможных способов наплавки принято решение в проектной технологии использовать плазменную наплавку.

Выполнен анализ имеющихся на рынке порошков для плазменной наплавки, принято решение использовать порошок ПР-Х12МФ, позволяющий получать наплавленный слой, стойкий к ударным и абразивным нагрузкам и обладающий высокой коррозионной стойкостью.

Проектная технология плазменной наплавки валов включает в себя следующие операции:

- мойка,
- дефектовка,
- подготовка поверхности,
- плазменная наплавка,
- контроль качества.

Для размещения технологического оборудования, задействованного в выполнении этих операций, выполнена планировка производственного участка.

Для повышения эффективности плазменной наплавки предложена конструкция плазменной горелки на базе разработок российских учёных [Патент РФ № 2217278].

Приведены описания операций технологического процесса плазменной наплавки изделия, параметры режима обработки и оборудование для осуществления проектной технологии.

Для достижения поставленной цели необходимо оценить предлагаемые решения с точки зрения отрицательного влияния на окружающую среду и рабочий персонал.

Также следует оценить затраты на внедрение предлагаемых технологических решений и потенциальный экономический эффект при принятии в производство проектной технологии восстановления рассматриваемого изделия.

3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса

3.1 Технологическая характеристика объекта

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности восстановления эксцентрикового вала щековой дробилки с применением плазменной наплавки. Выполнение операций проектного технологического процесса предусматривает возникновение опасных и вредных производственных факторов, действие которых на персонал может привести к нежелательным последствиям.

Исходя из этого, в настоящем разделе выпускной квалификационной работы следует выявить опасные и вредные факторы, которые сопровождают предлагаемую к реализации проектную технологию, оценить возможность защиты от них с применением стандартным средств и мероприятий.

Таблица 9 – Технологический паспорт технического объекта

Составляющая технологический процесс операция и перечень выполняемых работ	Должность работника, который выполняет технологическую операцию	Технологическое оборудование, применяемое для выполнения операции	Вспомогательные материалы и вещества, применяемые для выполнения операции
1. Мойка	Слесарь-сборщик	Моечная машина ММА1	1) Щелочной раствор 2) Вода техническая
2 Дефектовка	Инженер - дефектоскопист	Штангенциркуль ШЦ, микрометр, дефектоскоп	1) Масло
3. Подготовка дефектного места	Слесарь-сборщик	Дробеструйная камера ГАКС-ДК-М, дробь стальная, краскопульт SATA-LM2000	Воздух сжатый, мастика защитная РУНАКРОМ-МЗ
4. Плазменная наплавка	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	Установка плазменной наплавки, патрон Т-100-0014, источник питания модернизированный	Порошки наплавочные, аргон, азот
5. Проведение контроля качества	Инженер - дефектоскопист	Лупа х4, линейка, твердомер ТН-320, штангенциркуль, набор ДМК-4	-

Далее следует обосновать возможность внедрения проектной технологии в производство.

Проектная технология предусматривает последовательное выполнение операций согласно таблице 9: мойка, дефектовка, подготовка поверхности, плазменная наплавка, контроль качества.

Применение оборудования при осуществлении операций проектного технологического процесса приводит к появлению опасных и вредных производственных факторов, идентификация которых будет выполнена во втором пункте настоящего раздела.

3.2 Идентификация профессиональных рисков

Идентификация профессиональных рисков предполагает поиск и формулировку опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих эксплуатацию технологического оборудования в соответствии с операциями рассматриваемого технологического процесса согласно таблице 10.

Первопричиной всех травм и заболеваний, связанных с процессом труда, является неблагоприятное воздействие на организм занятого трудом человека тех или иных факторов производственной среды и трудового процесса. Это воздействие, приводящее в различных обстоятельствах к различным результирующим последствиям, зависит от наличия в условиях труда того или иного фактора, его потенциально неблагоприятных для организма человека свойств, возможности его прямого или опосредованного действия на организм.

Таблица 10 – Идентификация профессиональных рисков

Составляющая технологический процесс операция и перечень выполняемых работ	Наименование опасного или вредного фактора, действие которого в условиях производства может составлять угрозу жизни и здоровью персонала	Перечень оборудования и других объектов производства, являющихся источником опасного или вредного фактора
1. Мойка	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	Моечная машина
2 Дефектовка	- ультразвуковое излучение; - острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;	Ультразвуковой дефектоскоп
3. Подготовка дефектного места	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	Дробеструйная камера ГАКС-ДК-М, дробь стальная, краскопульт SATA-LM2000
4. Плазменная наплавка	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги - инфракрасное излучение; - ультрафиолетовое излучение	Установка плазменной наплавки
5. Проведение контроля качества	- ультразвуковое излучение; - острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	Ультразвуковой дефектоскоп

3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 11 – Применяемые для уменьшения воздействия негативных производственных факторов средства и методики

Наименование опасного или вредного фактора, действие которого в условиях производства может составлять угрозу жизни и здоровью персонала	Технические средства и методики, применение которых по отношению к негативному фактору позволит полностью устранить его или уменьшить до приемлемого уровня	Средства индивидуальной защиты
1) острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;	- размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек; - проведение с персоналом инструктажа по технике безопасности	Спецодежда.
2) движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;	- применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону; - размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек	Спецодежда
3) повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;	- применение устройств местного удаления загрязнённого воздуха; - применение устройств общеобменной вентиляции рабочего пространства, позволяющих обеспечить подачу чистого воздуха извне	Средства защиты дыхательных путей
4) повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	- организация защитного заземления; - проведение периодического инструктажа по технике безопасности; - периодический контрольный замер изоляции; - периодический контрольный замер сопротивления заземляющей цепи	Спецодежда
5) повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	- проведение с персоналом инструктажа по технике безопасности ; - механизация и автоматизация основных и вспомогательных операций технологического процесса	Спецодежда
6) инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	- применение защитных экранов; - применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону	Спецодежда.
7) ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений	- применение защитных экранов; - применение ограждений, ограничивающих проникновение персонала в опасную зону	Спецодежда.
8) ультразвуковое излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья	- размещение в отведённых местах информационных плакатов и табличек; - уменьшение времени воздействия негативного фактора на оператора	-

Таким образом, реализация в производстве проектной технологии, операции которой подробно описаны в настоящей выпускной квалификационной работе, сопровождается опасными и вредными производственными факторами. Источниками этих опасных и вредных производственных факторов является применяемое технологическое оборудование и другие объекты производства. Эти источники были приведены и проанализированы выше при идентификации опасных и вредных производственных факторов.

На основании представленного в таблице 11 анализа профессиональных рисков, возникающих при воздействии описанных производственных факторов предложены стандартные мероприятия и средства защиты, которые позволяют полностью устранить влияние опасного фактора. Приведённые мероприятия и меры защиты позволили также снизить влияние вредных производственных факторов до приемлемого уровня.

Предложенные меры позволили исключить травматизм при реализации проектного технологического процесса и защитить работника от получения профессиональных заболеваний.

Однако осуществление проектной технологии предусматривает не только возникновение опасных и вредных факторов, влияющих на участников производственного процесса. Негативному воздействию подвергается окружающая среда. Таким образом, технологический процесс может представлять угрозу за счёт возникновения неблагоприятных экологических факторов (загрязнение воздуха, гидросферы и литосферы).

Кроме того, нормальное протекание технологического процесса может нарушаться при возникновении пожара, который становится ещё одним фактором отрицательного влияния на окружающую среду и участников производства (работающий персонал, производственные здания и оборудование).

Изучению вопроса экологической и пожарной безопасности посвящена вторая половина настоящего раздела выпускной квалификационной работы.

3.4 Обеспечение пожарной безопасности

Разрабатываемый перечень мероприятий направлен на защиты персонала и имущества предприятия от опасных факторов возможного пожара. Для этого следует выполнить идентификацию опасных факторов пожара и предложить стандартные средства и методики для их устранения. В соответствии с классификацией пожаров возможный на рассматриваемом техническом объекте пожар может быть отнесён к классу «Е» - горение веществ и материалов под напряжением. Анализ опасных факторов такого пожара согласно таблице 12 позволит в дальнейшем сформулировать технические предложения, сведённые в таблицу 13.

Предлагаемые технические средства должны обладать достаточной эффективностью против рассматриваемых опасных факторов пожара. Эти средства должны основываться на действующей нормативной документации, учитывать особенности рассматриваемого технологического процесса.

Таблица 12 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Наименование участка	Наименование оборудования	Классификация по виду горящего вещества	Наименование основных опасных факторов пожара	Наименование вторичных опасных факторов пожара
Участок, на котором осуществляется восстановительная плазменная наплавка	«Стойки, источник питания сварочной дуги, сварочный полуавтомат, сварочный трактор, дефектоскоп, машинка шлифовальная» [3]	«пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)» [3]	«Резкое повышение температуры на участке и вокруг него; выделение при горении токсичных продуктов и угарного газа; выделение аэрозолей, снижающих видимость на участке и вокруг него» [3].	«Короткие замыкания на оборудовании, запитанном высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения» [3].

Таблица 13 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Первичные средства пожаротушения	Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.
Мобильные средства пожаротушения	Специализированные расчеты (вызываются)
Стационарные установки системы пожаротушения	Нет необходимости
Средства пожарной автоматики	Нет необходимости
Пожарное оборудование	Пожарный кран
Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	План эвакуации
Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Ведро конусное, лом, лопата штыковая
Пожарные сигнализация, связь и оповещение.	Кнопка оповещения

Таблица 14 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Наименование участка	Перечень мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Участок для восстановительной плазменной наплавки	«Инструктаж сотрудников производственного участка правилам предупреждения возгораний и действиям в случае возгорания, деловые игры с сотрудниками по тематике борьбы с пожарами» [3].	«На участке необходимо иметь первичные средства пожаротушения в достаточном количестве, должны быть защитные экраны, ограничивающие разлет искр» [3].

Полноценная защита работающего персонала и имущества предприятия от вероятностного пожара обеспечивается при условии проведения соответствующих организационных мероприятий согласно таблице 14.

3.5 Обеспечение экологической безопасности

Реализация предлагаемого технологического процесса помимо опасных и вредных производственных факторов приводит к возникновению опасных и вредных экологических факторов. Следовательно, в рамках выполнения экологического раздела следует выполнить идентификацию согласно таблице 15 этих негативных факторов и предложить меры защиты от этих факторов согласно таблице 16.

Таблица 15 – Идентификация опасных и вредных экологических факторов при реализации рассматриваемого технологического процесса

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

Таблица 16 – Предлагаемые меры по борьбе с негативными экологическими факторами

Наименование технического объекта	Сварка
Мероприятия по исключению негативного действия на воздушную среду.	«Оснащение вентиляционной системы фильтрами, позволяющими выполнить сбор и утилизацию выделяющихся при горении дуги вредных продуктов» [3]
Мероприятия по исключению негативного действия на водную среду.	Контроль утечек в гидросистеме приспособления или кантователя и незамедлительное их устранение.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	«Установка на участке сварки соответствующих емкостей для сбора отходов производственного цикла и при проведении повторных инструктажей подробное разъяснение необходимости складирования отходов производственного цикла в установленные емкости» [3].

Выводы по экологическому разделу

Настоящий раздел выпускной квалификационной работы посвящён поиску и анализу негативных производственных и экологических факторов, возникновение которых произойдёт при реализации предлагаемой технологии сборки и сварки рассматриваемого изделия.

Изучение особенностей технологического процесса сборки и сварки емкости цистерны с применением механизированной и автоматической сварки в среде защитных газов проволокой сплошного сечения позволило идентифицировать опасные и вредные производственные факторы. На основании этих выделенных факторов предложен ряд стандартных средств и методик, позволяющих устранить опасный фактор или уменьшить его влияние на персонал до приемлемого уровня.

Разработан перечень мероприятий для защиты персонала и имущества предприятия от возможного пожара, для чего идентифицированы опасные факторы пожара, предложены стандартные средства и методики для их устранения.

Анализ экологичности предлагаемого технологического процесса позволил установить, что внедрение в производство предлагаемых решений приведёт к возникновению негативных воздействий на окружающую среду (атмосферу, гидросферу и литосферу).

В настоящем разделе предложены мероприятия, которые призваны уменьшить влияние негативных экологических факторов.

4 Оценка экономической эффективности проектной технологии

4.1 Исходная информация для выполнения экономической оценки предлагаемых технических решений

В настоящей выпускной квалификационной работе предложен ряд мероприятий по повышению эффективности плазменной наплавки при восстановлении эксцентрикового вала щековой дробилки. Принято решение построение проектной технологии сварки выполнять на базе плазменной наплавки.

Базовая технология восстановления предусматривает применение дуговой наплавки штучными электродами. Проектная технология предусматривает плазменную наплавку с использованием модернизированной установки плазменной наплавки. Составлена проектная технология плазменного нанесения покрытия при восстановлении изделия, которая включает в себя следующие операции: мойка, дефектовка, подготовка поверхности, плазменная наплавка, контроль качества.

Такая замена способа восстановления позволяет существенно повысить производительность выполнения восстановительных работ. Существенное повышение стабильности качества также приводит к повышению производительности, так как уменьшается время, затрачиваемое на исправление дефектов наплавки.

Таким образом, в настоящем разделе следует оценить затраты на внедрение предлагаемых технологических решений и потенциальный экономический эффект при принятии в производство проектной технологии восстановления вала щековой дробилки.

Для выполнения экономических расчётов следует привести исходные данные по базовой и проектной технологиям согласно таблице 17.

Таблица 17 – Исходные данные для выполнения расчётов по оценке экономической эффективности проектной технологии по отношению к базовой технологии

Экономический показатель	Принятое в расчётной формуле буквенное обозначение показателя	Единица измерения экономического показателя	Значение экономического показателя применительно к базовой и проектной технологиям	
			Базовая технология	Проектная технология
1	2	3	4	5
Разряд занятого в выполнении технологических операций персонала	P_p	-	V	V
Величина часовой тарифной ставки занятого в выполнении технологических операций персонала	$Cч$	Р/час	200	200
Суточное количество смен, предусмотренных для выполнения технологических операций	$K_{см}$	-	1	1
Принятые значения коэффициентов для расчёта фонда заработной платы:				
- доплат к основной заработной плате	$K_{доп}$	%	12	12
- отчислений на дополнительную заработную плату	$K_{д}$	-	1,88	1,88
- отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
- выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования, которое используется для выполнения операций технологического процесса	$Ц_{об}$	Руб.	200000	1000000
Принятое значение установленной мощности оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	$M_{уст}$	кВт	12	70
Принятые значения коэффициентов для расчёта расходов на оборудование :				
- норма амортизации оборудования	$На$	%	21,5	21,5
- коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
- коэффициент затрат на монтаж и демонтаж	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
- стоимость электрической энергии для питания оборудования при выполнении технологических операций	$Ц_{э-э}$	Р/ кВт	3,02	3,02

Продолжение таблицы 17

1	2	3	4	5
- коэффициент полезного действия оборудования для выполнения технологических операций	КПД	-	0,7	0,85
Общая площадь под оборудование, выполняющее операции рассматриваемого технологического процесса	S	м ²	800	800
Принятые значения коэффициентов и показателей для расчёта расходов на площади:				
- стоимость эксплуатации площадей	С _{эксп}	(Р/м ²)/год	2000	2000
- цена производственных площадей	Ц _{пл}	Р/м ²	30000	30000
- норма амортизации производственных площадей	На.пл.	%	5	5
- коэффициента дополнительной производственной площади	К _{пл}	-	3	3
Принятые значения коэффициентов и показателей для расчёта заводской себестоимости:				
- коэффициент цеховых расходов	К _{цех}	-	1,5	1,5
- коэффициент заводских расходов	К _{зав}	-	1,15	1,15
- коэффициента эффективности капитальных вложений	Е _н	-	0,33	0,33

4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования

Выполнение операций базового и проектного технологического процессов сварки изделия предусматривает применение оборудования и рабочего персонала. Для расчёта фонда заработной платы и затрат на оборудование и производственные площади требуется определить фонд времени работы оборудования. Для базового и проектного вариантов технологии фонд времени работы оборудования будет одинаков.

Значения параметров и коэффициентов примем с учётом исходных данных согласно таблицы 17: суммарное число рабочих дней в календарном году $D_p = 277$ дней, длительность рабочей смены $T_{см} = 8$ часов, количество предпраздничных дней $D_{п} = 7$ дней, уменьшение продолжительности рабочей смены в часах в предпраздничные дни $T_{п} = 1$ час, принятое для

рассматриваемого технологического процесса число рабочих смен $K_{см} = 1$. Таким образом, рассчитываем фонд времени по зависимости:

$$F_{н} = (D_p \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см} . \quad (1)$$

Расчёты, выполненные согласно (1) после подстановки численных значений параметров и коэффициентов из исходных данных:

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

Эффективный фонд времени сварочного оборудования, которое применяется для выполнения операций базового и проектного вариантов технологического процесса определяется с учётом процента планируемых потерь рабочего времени $B = 7 \%$:

$$F_{э} = F_{н}(1 - B/100). \quad (2)$$

Расчёты, выполненные согласно (2) после подстановки численных значений параметров и коэффициентов из исходных данных:

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

4.3 Расчёт штучного времени

Штучное время, затрачиваемое на выполнение операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам технологии, определяем с учётом нормирования труда и результатов анализа технологических карт. Штучное время $t_{шт}$ является суммой затрат времени: машинного (выполнение основных операций технологического процесса) времени $t_{маш}$; вспомогательного (выполнение вспомогательных и подготовительных операций технологического процесса) времени $t_{всп}$; времени обслуживания (на текущий и мелкий ремонт оборудования) $t_{обсл}$; времени $t_{отд}$ на личный отдых работников, задействованных в выполнении операций технологического процесса; подготовительно-заключительного

времени $t_{П-З}$:

$$t_{шт} = t_{МАШ} + t_{ВСП} + t_{ОБСЛ} + t_{ОТЛ} + t_{П-З}. \quad (3)$$

Машинное время, рассчитанное для базового и проектного вариантов технологии согласно (3), составит:

$$t_{шт.баз} = 2,57 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 4,5 \text{ ч.}$$

$$t_{шт.проектн.} = 1,03 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 1,8 \text{ ч.}$$

Годовая программа $П_{Г}$ выполнения сварки может быть рассчитана исходя из рассчитанного согласно (2) эффективного фонда времени $F_{э}$ и согласно (3) штучного времени $t_{шт}$:

$$П_{Г} = F_{э} / t_{шт}. \quad (4)$$

Готовая программа для базового и проектного вариантов технологии, рассчитанная согласно (4) после подстановки численных значений:

$$П_{Г.баз.} = 2054 / 4,5 = 456 \text{ деталей за год;}$$

$$П_{Г.проектн.} = 2054 / 1,8 = 1141 \text{ деталей за год.}$$

Расчёт экономической эффективности проектной технологии будем выполнять для годовой программы $П_{Г} = 200$ деталей в год.

При этом необходимое количество $n_{расч}$ оборудования для выполнения операций базового и проектного вариантов технологического процесса вычисляется с учётом коэффициента $K_{вн}$ выполнения нормы (для базового и проектного варианта технологий принимаем $K_{вн} = 1,03$):

$$n_{расч} = t_{шт} \cdot П_{Г} / (F_{э} \cdot K_{вн}). \quad (5)$$

Требуемое количество оборудования $n_{расч}$ для базового и проектного вариантов технологии, рассчитанное согласно (5), составляет:

$$n_{расч.баз} = 4,5 \cdot 200 : 2054 : 1,1 = 0,40;$$

$$n_{расч.пр} = 1,8 \cdot 200 : 2054 : 1,1 = 0,16.$$

Необходимое количество оборудования $n_{\text{пр}}$, которое следует задействовать в технологическом процессе по базовому и проектному вариантам, задаётся исходя из рассчитанных согласно (5) значений. На основании проведённых расчётов принимаем по одной единице оборудования для базового и проектного вариантов технологии ($n_{\text{пр}} = 1$). Коэффициент K_3 загрузки оборудования в этом случае составит:

$$K_3 = n_{\text{расч}}/n_{\text{пр}}. \quad (6)$$

Значения коэффициентов загрузки K_3 для базового и проектного вариантов технологии составляют:

$$K_{3б} = 0,40/1 = 0,40,$$

$$K_{3п} = 0,16/1 = 0,16.$$

4.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов технологии

Восстановление поверхности эксцентрикового вала предусматривает расходование материалов. При дуговой наплавке расходным материалов будут сварочные электроды. При плазменной наплавке расходными материалами будут присадочный порошок и аргон.

Затраты M на сварочные материалы вычисляем с учётом нормы расходов H_p , цены материалов C_m и коэффициента K_{tz} транспортно-заготовительных расходов:

$$M = C_m \cdot H_p \cdot K_{tz}, \quad (7)$$

Затраты на материалы, рассчитанные согласно (7) для базового и проектного вариантов технологии, составят:

$$M_{\text{баз.}} = 320 \cdot 2 \cdot 1,05 = 672 \text{ руб.}$$

$$M_{\text{проектн.}} = 490 \cdot 0,9 \cdot 1,05 + 250 \cdot 0,7 \cdot 3 \cdot 1,05 = 56,70 + 141,75 = 1014 \text{ руб.}$$

Объём основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$ работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии, рассчитаем с учётом штучного времени $t_{\text{шт}}$, часовой тарифной ставки $C_{\text{ч}}$ и коэффициента $K_{\text{д}}$ доплат:

$$Z_{\text{осн}} = t_{\text{шт}} \cdot C_{\text{ч}} \cdot K_{\text{д}}. \quad (8)$$

Основная заработная плата рабочих для базового и проектного вариантов технологии после подстановки значений в формулу (8) составляет:

$$Z_{\text{осн.баз.}} = 4,5 \cdot 200 \cdot 1,88 = 1692 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн.проектн.}} = 1,8 \cdot 200 \cdot 1,88 = 677 \text{ руб.}$$

Объём дополнительной заработной платы $Z_{\text{доп}}$ работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии, рассчитаем с учётом основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$ и коэффициента $K_{\text{доп}}$ дополнительных доплат ($K_{\text{доп}} = 12 \%$):

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{доп}} / 100. \quad (9)$$

Дополнительная заработная плата $Z_{\text{доп}}$ работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии, рассчитанная согласно (9) после подстановки значений составляет:

$$Z_{\text{доп.базов.}} = 1692 \cdot 12 / 100 = 203 \text{ рублей;}$$

$$Z_{\text{доп.проектн.}} = 677 \cdot 12 / 100 = 81 \text{ рублей.}$$

Фонд заработной платы $\Phi ЗП$ вычисляется как сумма основной $Z_{\text{осн}}$ и дополнительной $Z_{\text{доп}}$ работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии:

$$\Phi ЗП_{\text{базов..}} = 1692 + 203 = 1895 \text{ рублей;}$$

$$\Phi ЗП_{\text{проектн.}} = 677 + 81 = 758 \text{ рублей.}$$

Объём отчислений $O_{\text{сн}}$ из фонда заработной платы на социальные нужды определяем с учётом коэффициента $K_{\text{сн}}$ отчислений на социальные нужды:

$$O_{\text{сн}} = \Phi 3 \Pi \cdot K_{\text{сн}} / 100. \quad (10)$$

Отчисления на социальные нужды по базовому и проектному вариантам технологии после подстановки в (10) соответствующих значений:

$$O_{\text{сн баз.}} = 1895 \cdot 34 / 100 = 644 \text{ руб.},$$

$$O_{\text{сн проектн.}} = 758 \cdot 34 / 100 = 258 \text{ руб.}$$

Затраты $Z_{\text{об}}$ на оборудование, которое применяется для выполнения операций по базовому и проектному вариантам технологии, вычисляются как сумма затрат $A_{\text{об}}$ на амортизацию и $P_{\text{э}}$ на электрическую энергию:

$$Z_{\text{об}} = A_{\text{об}} + P_{\text{э}}. \quad (11)$$

Величина $A_{\text{об}}$ амортизации оборудования рассчитывается исходя из цены оборудования $C_{\text{об}}$, нормы амортизации $H_{\text{а}}$, машинного времени $t_{\text{маш}}$, и эффективного фонда времени $F_{\text{э}}$ с использованием зависимости:

$$A_{\text{об}} = \frac{C_{\text{об}} \cdot H_{\text{а}} \cdot t_{\text{маш}}}{F_{\text{э}} \cdot 100}. \quad (12)$$

Амортизация оборудования, которое применяется для выполнения операций по базовому и проектному вариантам технологии, после подстановки в (12) соответствующих значений, составляет:

$$A_{\text{об. баз.}} = 200000 \cdot 21,5 \cdot 4,5 / 2054 / 100 = 94 \text{ руб.},$$

$$A_{\text{об. пр.}} = 1000000 \cdot 21,5 \cdot 1,8 / 2054 / 100 = 188 \text{ руб.}$$

Расходы $P_{\text{э}}$ на электрическую энергию по базовому и проектному вариантам технологии рассчитываются с учётом установленной мощности оборудования $M_{\text{уст}}$, цены электрической энергии $C_{\text{э}}$ для предприятий, машинного времени $t_{\text{маш}}$ и КПД оборудования:

$$P_{\text{э-э}} = \frac{M_{\text{уст}} \cdot t_{\text{маш}} \cdot C_{\text{э-э}}}{\text{КПД}}. \quad (13)$$

Рассчитанные после подстановки в (13) соответствующих значений расходы на электрическую энергию по базовому и проектному вариантам технологии составляют:

$$P_{\text{э баз}} = 12 \cdot 4,5 \cdot 3,02 / 0,7 = 232 \text{ руб.},$$

$$P_{\text{э пр}} = 70 \cdot 1,8 \cdot 3,02 / 0,85 = 448 \text{ руб.}$$

Рассчитанные после подстановки в (11) соответствующих значений расходы на оборудование по базовому и проектному вариантам технологии составляют:

$$З_{\text{об баз.}} = 94 + 232 = 326 \text{ рублей},$$

$$З_{\text{об проектн.}} = 188 + 448 = 636 \text{ рублей.}$$

Технологическая себестоимость $C_{\text{тех}}$ рассчитывается как сумма затрат на материалы M , фонда заработной платы $\Phi ЗП$, отчислений на социальные нужды $O_{\text{сс}}$ и затрат на оборудование $З_{\text{об}}$:

$$C_{\text{ТЕХ}} = M + \Phi ЗП + O_{\text{сс}} + З_{\text{об}} + З_{\text{ПЛ}} \quad (14)$$

Рассчитанная после подстановки в (14) соответствующих значений технологическая себестоимость по базовому и проектному вариантам технологии составляет:

$$C_{\text{ТЕХБаз.}} = 672 + 1895 + 644 + 326 + 262 = 3799 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{ТЕХПроектн.}} = 1014 + 758 + 258 + 636 + 117 = 2783 \text{ руб.}$$

Цеховая себестоимость $C_{\text{цех}}$ рассчитывается с учётом технологической себестоимости $C_{\text{тех}}$, основной заработной платы $З_{\text{осн}}$ и коэффициента $K_{\text{цех}}$ цеховых расходов:

$$C_{\text{цех}} = C_{\text{тех}} + З_{\text{осн}} \cdot K_{\text{цех}}. \quad (15)$$

Рассчитанная после подстановки в (15) соответствующих значений цеховая себестоимость по базовому и проектному вариантам технологии составляет:

$$C_{\text{ЦЕХБаз.}} = 3799 + 1,5 \cdot 1692 = 3799 + 2538 = 6337 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЦЕХПроектн.}} = 2783 + 1,5 \cdot 677 = 2783 + 1016 = 3799 \text{ руб.}$$

Заводская себестоимость $C_{\text{зав}}$ рассчитывается с учётом цеховой себестоимости $C_{\text{цех}}$, основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$ и коэффициента $K_{\text{зав}}$ заводских расходов:

$$C_{\text{зав}} = C_{\text{цех}} + Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{зав}}. \quad (16)$$

Рассчитанная после подстановки в (16) соответствующих значений заводская себестоимость по базовому и проектному вариантам технологии составляет:

$$C_{\text{ЗАВБаз.}} = 6337 + 1,15 \cdot 1692 = 6337 + 1946 = 8283 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЗАВПроектн.}} = 3799 + 1,15 \cdot 677 = 3799 + 779 = 4578 \text{ руб.}$$

Калькуляция заводской себестоимости для базового и проектного вариантов технологии сведена в таблице 18.

Таблица 18 – Калькуляция технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки

Наименование экономического показателя	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант технологии	Проектный вариант технологии
1. Затраты на материалы	M	672	1014
2. Фонд заработной платы	$\Phi ЗП$	1895	758
3. Отчисления на соц. нужды	$O_{\text{сн}}$	644	258
4. Затраты на оборудование	$Z_{\text{об}}$	326	636
5. Расходы на площади	$Z_{\text{пл}}$	262	117
5. Технологическая себестоимость	$C_{\text{тех}}$	3799	2783
6. Цеховые расходы	$P_{\text{цех}}$	2538	1016
7. Цеховая себестоимость	$C_{\text{цех}}$	6337	3799
8. Заводские расходы	$P_{\text{зав}}$	1946	779
9. Заводская себестоимость	$C_{\text{зав}}$	8283	4578

4.5 Капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии

Капитальные затраты $K_{\text{общ. б.}}$ для базового варианта технологии рассчитываем с учётом остаточной стоимости оборудования $C_{\text{об.б.}}$,

коэффициента загрузки оборудования $K_{з.б.}$ рассчитанного для базового варианта согласно (6):

$$K_{общ.б.} = C_{ОБ.Б.} \cdot K_{з.б.} \quad (17)$$

Остаточную стоимость $C_{об.б.}$ оборудования для базового варианта рассчитаем с учётом рыночной стоимости оборудования $C_{перв.}$ срока службы оборудования T_c и нормы амортизации H_a оборудования:

$$C_{об.б.} = C_{ПЕРВ.} - (C_{ПЕРВ.} \cdot T_{сл} \cdot H_a / 100). \quad (18)$$

Остаточная стоимость оборудования, рассчитанная после подстановки в (18) соответствующих значений, составляет:

$$C_{ОБ.Баз.} = 200000 - (200000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 71000 \text{ рублей}$$

$$K_{ОБЩБаз.} = 1 \cdot 71000 \cdot 0,4 = 28400 \text{ руб.}$$

Капитальные затраты $K_{общ. пр.}$ для проектного варианта технологии рассчитываем как сумму вложений в оборудование $K_{об. пр.}$, вложений в производственные площади $K_{пл. пр.}$, сопутствующих вложений $K_{соп.}$:

$$K_{общ. пр.} = K_{об. пр.} + K_{пл. пр.} + K_{соп.} \quad (19)$$

Капитальные вложения $K_{об. пр.}$ в оборудование для выполнения операций по проектному варианту технологии рассчитываются с учётом цены оборудования $C_{об. пр.}$, коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{тз}$ и коэффициента загрузки оборудования $K_{зп}$ по проектному варианту:

$$K_{об. пр.} = C_{об. пр.} \cdot K_{тз} \cdot K_{зп}. \quad (20)$$

Величина капитальных вложений в оборудование после подстановки в (20) соответствующих значений составляет:

$$K_{об. пр.} = 1000000 \cdot 1,05 \cdot 0,16 = 168000 \text{ руб.}$$

Сопутствующие капитальные вложения $K_{\text{соп.}}$ по проектному варианту технологии рассчитываются с учётом расходов на демонтаж $K_{\text{дем}}$ базового оборудования и расходов на монтаж $K_{\text{монт}}$ проектного оборудования:

$$K_{\text{соп}} = K_{\text{дем}} + K_{\text{монт}}. \quad (21)$$

Расходы на демонтаж $K_{\text{дем}}$ и монтаж $K_{\text{монт}}$ рассчитываем с учётом стоимости оборудования $C_{\text{б}}$ и $C_{\text{пр}}$ по базовому и проектному вариантам, коэффициентов $K_{\text{д}}$ и $K_{\text{м}}$ на демонтаж и монтаж оборудования:

$$K_{\text{дем}} = C_{\text{об. б.}} \cdot K_{\text{д}}, \quad (22)$$

$$K_{\text{монт}} = C_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{м}}. \quad (23)$$

Сопутствующие капитальные вложения при проектном варианте технологии, рассчитанные после подстановки в (21), (22) и (23) соответствующих значений:

$$K_{\text{дем}} = 1 \cdot 20000 \cdot 0,05 = 10000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{монт}} = 1000000 \cdot 0,05 = 50000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{соп}} = 10000 + 50000 = 60000 \text{ руб.}$$

Капитальные затраты для проектного варианта, рассчитанные после подстановки в (19) соответствующих значений:

$$K_{\text{общ. пр}} = 168000 + 60000 = 228000 \text{ руб.}$$

Дополнительные капитальные вложения $K_{\text{доп}}$ рассчитываем исходя из капитальных затрат $K_{\text{общ. пр.}}$ и $K_{\text{общ. б.}}$ для проектного и базового вариантов технологии:

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общ пр}} - K_{\text{общ б.}}: \quad (24)$$

$$K_{\text{доп}} = 228000 - 28400 = 199600 \text{ руб.}$$

Величину удельных капитальных вложений $K_{\text{уд}}$ рассчитываем с учётом годовой программы $П_{\text{г}}$:

$$K_{уд} = \frac{K_{общ.}}{П_T}, \quad (25)$$

После подстановки в (25) соответствующих значений:

$$K_{удБаз.} = 284000/200 = 142 \text{ руб./ед.}$$

$$K_{удПроектн.} = 228000/200 = 1140 \text{ руб./ед.}$$

4.6 Показатели экономической эффективности

Расчёт снижения трудоёмкости $\Delta t_{шт}$ при внедрении в производство проектной технологии выполним с учётом штучного времени $t_{шт.б.}$ и $t_{шт.пр.}$ по базовому и проектному вариантам:

$$\Delta t_{шт} = \frac{t_{штБ} - t_{штПР}}{t_{штБ}} \cdot 100\% \quad . \quad (26)$$

Расчётное снижение трудоёмкости согласно (26) составило:

$$\Delta t_{шт} = (4,5 - 1,8)/4,5 \cdot 100 \% = 60 \%.$$

Расчёт повышения производительности труда $П_T$ при внедрении в производство проектной технологии выполним с учётом рассчитанного выше снижения трудоёмкости $\Delta t_{шт}$:

$$П_T = \frac{100 \cdot \Delta t_{шт}}{100 - \Delta t_{шт}} \quad . \quad (27)$$

Расчётное повышение производительности труда согласно (27) составило:

$$П_T = (100 \cdot 60)/(100 - 60) = 150 \%.$$

Расчёт снижения технологической себестоимости $\Delta C_{тех}$ при внедрении в производство проектной технологии выполняется по формуле:

$$\Delta C_{тех} = \frac{C_{техБ} - C_{техПР}}{C_{техБ}} \cdot 100\% \quad . \quad (28)$$

Расчётное снижение технологической себестоимости согласно (28) составило:

$$\Delta C_{\text{тех}} = (8283 - 4578) / 8283 \cdot 100 \% = 45 \%.$$

Расчёт условно-годовой экономии $\text{Пр}_{\text{ож}}$ (ожидаемой прибыли), которая может быть получена при принятии проектной технологии, выполним следующим образом:

$$\text{Пр}_{\text{ож.}} = \mathcal{E}_{\text{у.г.}} = \left(C_{\text{зав}}^{\text{б}} - C_{\text{зав}}^{\text{пр}} \right) \cdot \Pi_{\Gamma} . \quad (29)$$

Ожидаемая прибыль после подстановки в (29) соответствующих значений составила:

$$\mathcal{E}_{\text{у.г.}} = (8283 - 4578) \cdot 200 = 741000 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости $T_{\text{ок}}$ дополнительных капитальных вложений определим следующим образом:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{доп}}}{\mathcal{E}_{\text{уГ}}} . \quad (30)$$

Срок окупаемости после подстановки в (30) соответствующих значений составил:

$$T_{\text{ок}} = 199600 / 741000 = 0,3 \text{ года.}$$

Годовой экономический эффект $\mathcal{E}_{\Gamma}$, получаемый при принятии проектной технологии определим следующим образом:

$$\mathcal{E}_{\Gamma} = \mathcal{E}_{\text{уГ}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}} \quad (31)$$

Годовой экономический эффект после подстановки в (31) соответствующих значений составил:

$$\mathcal{E}_{\Gamma} = 741000 - 0,33 \cdot 199600 = 675132 \text{ руб.}$$

Выводы по экономическому разделу

При выполнении базовой технологии восстановления эксцентриковых валов применяется ручная дуговая наплавка штучными электродами. Недостатком базовой технологии является высокая вероятность получения наплавленного слоя с порами и неоднородной структурой. В наплавленном слое присутствуют значительные остаточные растягивающие напряжения, которые приводят к снижению прочности на 30...40 %. Также следует отметить низкую производительность способа по сравнению с перспективными высокотехнологичными способами восстановления деталей машин.

Проектный вариант технологии предполагает использование плазменной наплавки. Такая замена способа сварки позволяет существенно повысить производительность выполнения восстановительных работ. Существенное повышение стабильности качества также приводит к повышению производительности, так как уменьшается время, затрачиваемое на исправление дефектов наплавки.

Выполнение экономических расчётов позволило выявить экономическую эффективность проектной технологии: уменьшение трудоемкости на 60 %, повышение производительности труда на 150 %, уменьшение технологической себестоимости на 45 %.

Условно-годовая экономия при внедрении проектной технологии составляет 0,741 млн. рублей. Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 0,675 млн. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,3 года. Вышеизложенное позволяет сделать вывод о высокой экономической эффективности проектной технологии.

Заключение

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение эффективности восстановления вала щековой дробилки.

Анализ возможных способов восстановления эксцентрикового вала выполнен с рассмотрением таких способов, как вибродуговая наплавка, наплавка в углекислом газе, газопламенное напыление, плазменное напыление, плазменная наплавка. В качестве способа для построения проектной технологии выбрана плазменная наплавка. Этот способ восстановления обладает большим коэффициентом долговечности и минимальной стоимостью нанесения покрытий.

Составлена проектная технология восстановительной плазменной наплавки, которая включает в себя следующие операции: мойка, дефектовка, подготовка поверхности, плазменная наплавка, контроль качества. Приведены описания операций технологического процесса, параметры режима обработки и оборудование для осуществления проектной технологии.

Для размещения технологического оборудования, задействованного в выполнении этих операций, выполнена планировка производственного участка. Для повышения эффективности плазменной наплавки предложена конструкция плазменной горелки на базе разработок российских учёных [Патент РФ № 2217278].

Изучение особенностей технологического процесса восстановительной наплавки позволило идентифицировать опасные и вредные производственные факторы. На основании этих выделенных факторов предложен ряд стандартных средств и методик, позволяющих устранить опасный фактор или уменьшить его влияние на персонал.

Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 0,675 млн. рублей. Вышеизложенное позволяет сделать вывод достижения цели.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Батищев А. Н. Методика оптимизации способов восстановления деталей // Организация и технология ремонта машин. М. : РГАЗУ, 2000. С. 174 – 178.
2. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.
3. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
4. Данилов П. А. Повышение эффективности восстановления работоспособности изношенных деталей на основе обоснованного выбора технологических методов восстановления их эксплуатационных свойств : дис. ... канд. техн. наук. Москва : Московский гос. техн. университет «СТАНКИН». 2010.
5. Дробилка щековая ЩД 6: руководство по эксплуатации ВТ-301.00.000 РЭ. С.–Пб.: Вибротехник, 2018. 18 с.
6. Ельцов В. В. Восстановление и упрочнение деталей машин: учебное пособие. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2014.
7. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
8. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент: метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.
9. Кудряшов Е. А., Стецурин А. В. Организация ремонта и восстановления работоспособности деталей машин // Вестник ЧитГУ. 2007. № 4. С. 17–23.
10. Лебедев В. А., Лендел И. В., Яровицын А. В. Особенности формирования структуры сварных соединений при дуговой наплавке с импульсной подачей электродной проволоки // Автоматическая сварка. 2006. № 3. С. 25–30.

11. Макаренко Н. А., Богуцкий А. А., Грановская Н. А., Синельник В. В. Разработка установки и плазмотрона для плазменно-порошковой наплавки на разнополярно-импульсном токе // Вісник східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. Луганск : СНУ, 2010. № 2. С. 168–173.
12. Максимов С. Ю., Лендел И. В. Повышение эффективности наплавки путём применения импульсной подачи электродной проволоки // Вісник східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. Луганск : СНУ, 2016. № 2. С. 171–175.
13. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет.: К. В. Фролов (пред.) [и д.р.] М. : Машиностроение. Измерения, контроль, испытания и диагностика. Том III-7 / В. В. Ключев [и д.р.]; под общ. Ред. В.В. Ключева. 1996. 464 с.
14. Молодык Н. В., Зенкин А. С. Восстановление деталей машин. М. : Машиностроение, 1989. 480 с.
15. Новиков В. С., Очковский Н. А., Тельнов Н. Ф. Проектирование технологических процессов восстановления изношенных деталей : методические рекомендации к курсовому и дипломному проектированию. М. : МГАУ, 1998. 52 с.
16. Носовский Б. И., Лаврова Е. В. Анализ особенностей формообразования сварочной ванны при наплавке под флюсом ленточным электродом // Вісник Приазовського державного технічного університету. 2011. № 22. С. 166–169.
17. Патент № 2217278 РФ, МКИ В23К10/00. Горелка для плазменной обработки материалов / Кощей А. Ф., Бондарь С. Ю., Чернобоков С. Ю. – заяв. 09.04.2000; опубл. 27.11.2003. 5 с.
18. Пучин А. Е. Технология ремонта машин. М. : «Колос», 2007. 488 с.
19. Потапьевский А. Г., Сараев Ю. Н., Чинахов Д. А. Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего :

монография. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 208 с.

20. Потальевский А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. Часть 1. Сварка в активных газах. К. : Экотехнолопя, 2007. 192 с.

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

22. Сварка. Резка. Контроль: Справочник в 2-х томах / Под общ. ред. Н. П. Алешина, Г. Г. Чернышева. М. : Машиностроение, 2004.

23. Сидоров А. И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой. М. : Машиностроение. 1987. 192 с.

24. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов. Санкт-Петербург : Лань, 2021. 268 с.

25. Сорокин В. Г., Волосникова А. В., Вяткин С. А. Марочник сталей и сплавов. М. : Машиностроение, 1989. 640 с.

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