

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)

«Современные технологические процессы изготовления деталей

в машиностроении»

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Технологический процесс и оборудование для наплавки
износостойкого покрытия на высокопрочную сталь

Обучающийся

С.В. Ширяев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент О.В. Шашкин

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

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярдова

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

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

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

Тольятти 2025

Аннотация

Применение износостойкой наплавки значительно расширяет возможности использования деталей машин и экономическую эффективность действующего производства за счёт увеличения срока службы деталей и продления ресурса путем восстановления работоспособности. В настоящее время применяется значительное количество способов наплавки износостойких покрытий на металл, для чего разработаны различные наплавочные материалы и оборудование. После проведенного литературного поиска в области повышения эффективности наплавочных процессов на основании экспертизы рассматриваемых способов для проектной технологии принято решение применить плазменную наплавку. Расширение технологических возможностей выбранного способа достигается за счёт предложенного российскими исследователями способа двухдуговой наплавки. Составлен перечень операций проектного технологического процесса наплавки, назначены оптимальные параметры режима и сформулирован перечень требований для выполнения каждой операции. В результате укрупненного анализа технологического процесса, установлено, что производственная, пожарная и экологическая безопасность рассматриваемого производственного участка может быть обеспечена с применением стандартных средств и методик из арсенала современного предприятия. Выполнение оценочного экономического раздела позволило заключить, что внедрение в производство предлагаемых решений позволяет повысить экономические показатели предприятия. Таким образом, поставленная цель может считаться достигнутой. Результаты, полученные в ходе выполнения выпускной квалификационной работы, предлагаются к внедрению на предприятиях, выполняющих восстановительную и упрочняющую наплавку деталей машин.

Содержание

Введение	5
1 Современное состояние износостойкой наплавки на детали машин. . .	6
1.1 Сведения восстанавливаемой детали и условиях её работы	6
1.2 Анализ материала для изготовления лопатки.	8
1.3 Описание операций базового процесса восстановительной и упрочняющей наплавки.	10
1.4 Содержание источников научно-технической информации по вопросу износостойкой наплавки.	13
1.5 Формулировка задач на выполнение выпускной квалификационной работы.	15
2 Построение проектной технологии износостойкой наплавки на детали машин.	17
2.1 Обоснование выбора способа износостойкой наплавки.	17
2.2 Повышение эффективности плазменной наплавки деталей машин.	24
2.3 Описание операций проектного технологического процесса	29
3 Промышленная безопасность производственного участка.	33
3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи	33
3.2 Идентификация негативных производственных факторов.	34
3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов.	36
3.4 Пожарная безопасность производственного участка	38
3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка.	40
4 Экономическая эффективность предлагаемых технических решений.	42
4.1 Исходные данные для экономического расчёта.	42

4.2 Фонд времени работы оборудования.	44
4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства. .	45
4.4 Заводская себестоимость.	47
4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам.	52
4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей.	54
Заключение	56
Список используемой литературы и используемых источников.	57

Введение

Применение износостойкой наплавки значительно расширяет возможности использования деталей машин и экономическую эффективность действующего производства за счёт увеличения срока службы деталей и продления ресурса путем восстановления работоспособности. В настоящее время применяется значительное количество способов наплавки износостойких покрытий на металл, для чего разработаны различные наплавочные материалы и оборудование.

При восстановительной и упрочняющей наплавки широко применяется наплавка штучными электродами, которая хорошо зарекомендовала себя в различных отраслях хозяйства. Ручная дуговая наплавка с применением специальных наплавочных электродов и проведением соответствующей термической обработки для своего осуществления не требует применения специализированного оборудования, является универсальным процессом, может быть внедрена в производство без приобретения дорогостоящего и высокотехнологичного оборудования. Как показывает практика ремонта деталей, восстановление работоспособности с применением наплавки может оказаться в 10...20 раз меньше, чем приобретение новой детали. Также следует учитывать меньшие затраты энергии и материалов на наплавку по сравнению с изготовлением детали. Дополнительная экономия средств при использовании технологии наплавки получается за счёт снижения логистических издержек, так как доставка новой детали требует большего времени и зачастую должна выполняться из-за рубежа [14], [15]. Ручная дуговая наплавка имеет ряд неустраняемых недостатков, наличие которых в современных условиях заставляет вести поиск других, более совершенных способов наплавки [5], [6], [10]. Таким образом, становится очевидной цель работы – повышение эффективности износостойкой наплавки на сталь повышенной прочности, которую необходимо достигать за счёт применения современных разработок отечественных и зарубежных ученых.

1 Современное состояние износостойкой наплавки на детали машин

1.1 Сведения восстанавливаемой детали и условиях её работы

Рассматриваемый в настоящей выпускной квалификационной работе смеситель СБ-138А, представленный на рисунке 1, предназначен для приготовления цементной смеси, которая применяется при строительных работах. Рассматриваемая установка имеет производительность около 25 кубических метра смеси в час и требует подключения к трехфазной питающей сети мощностью 55 кВА. Приготовление смеси проходит в полуавтоматическом режиме и предусматривает наличие двух операторов. Склад позволяет накапливать до 40 тонн сыпучих продуктов. Смеситель выполняет перемешивание полусухого раствора, в состав которого входит цемент, песок, вода и базальтовая нить. Далее готовый раствор подается к месту укладки. Работа лопаток смесителя проходит в условиях абразивного износа, приводящего к потере массы лопаток. В настоящее время в Российской Федерации отсутствует система централизованного снабжения такими расходными материалами, как лопатки смесителей, а восстановление их работоспособности не контролируется и не нормируется [7], что заставляет каждое предприятие самостоятельно принимать решение по восстановительным работам этой детали.



Рисунок 1 – Смеситель СБ-138 для приготовления цементной смеси

Основным элементом конструкции смесителя является «корпус-чаша, на которую сверху установлен электродвигатель, снабженный планетарным редуктором. Смеситель оснащен системой патрубков для подачи внутрь чаши компонентов раствора. Внутри чаши расположен ротор с установленными на нем лопастями. Затворный механизм смесителя оснащен пневматическим цилиндром открывания. Защита чаши от абразивного действия раствора при перемешивании обеспечивается броневой защитой, броня стакана и боковая броня крепится на заклепках» [3] и является несъемной. Боня на дне смесителя крепится на винтах и может быть заменена по мере износа.

Ротор смесителя представлен на рисунке 2-а и служит для крепления на нем лопаток, которые представлены на рисунке 2-б.

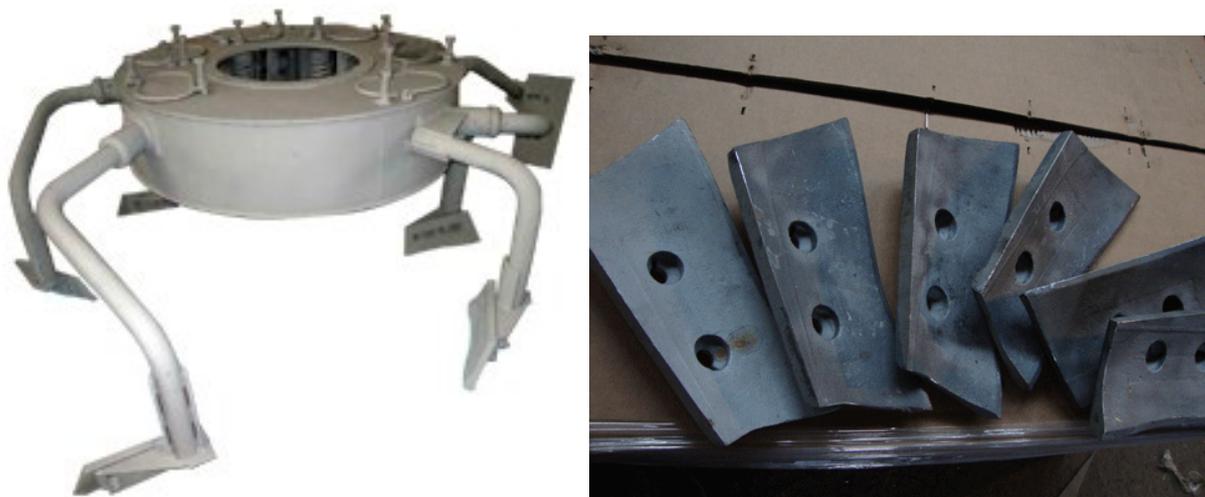


Рисунок 2 – Ротор смесителя (а) и лопатки смесителя (б)

Работа в неблагоприятных условиях абразивного износа приводит к частому выходу из строя лопаток смесителя, стойкость которых составляет обычно 150...200 часов непрерывной работы. Лопатки являются расходной частью смесителя и выполнены с возможностью оперативной замены по мере износа.

Срок службы лопаток, упрочненных с применением газопламенного нанесения покрытия согласно работе [20] может быть увеличен до 450...500 часов.

1.2 Анализ материала для изготовления лопатки

В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается вопрос восстановительной и упрочняющей наплавки лопаток смесителя, которые изготавливаются из стали 65Г. Прочностные показатели этой стали позволяют применить её для деталей, работа которых проходит в условиях интенсивного знакопеременного нагружения. «Химический состав стали, представленный в таблице 1, позволяет придать её ряд полезных свойств, обуславливающих широкое применение стали 65Г и позволяющих гарантировать требуемый уровень износостойкости, упругих и прочностных свойств» [25].

Таблица 1 – Содержание химических элементов в стали 65Г

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0,62 – 0,7	0,17 – 0,37	0,9 – 1,2	до 0,25	до 0,035	до 0,035	до 0,25	до 0,2

«Марганец, который в рассматриваемой стали содержится в количестве 0,9...1,2 %, положительно влияет на прокаливаемость и прочность, а также повышает ударную вязкость стали. Как и кремний, марганец является раскислителем и улучшает свариваемость стали. Также марганец позволяет измельчить зерно, что положительно сказывается на прочности и сопротивляемости износу. Кремний в рассматриваемой стали содержится в количестве 0,17...0,37 %. Такое содержание кремния позволяет обеспечить уменьшение размеров зерна, что положительно сказывается на стойкости стали при ударных воздействиях в сочетании с высокотемпературным нагревом. Также высокое содержание кремния в стали улучшает её свариваемость, так как кремний является активным раскислителем. Следует принимать во внимание некоторое снижение коррозионной стойкости стали из-за повышения содержания в ней кремния. За счёт того, что в рассматриваемой стали повышенное по сравнению с низкоуглеродистыми и

низколегированными сталями содержание углерода» [25], такая сталь обладает лучшими механическими и прочностными свойствами. Однако следует указать на отрицательное влияние углерода, заключающееся в снижении свариваемости, которая применительно к стали 65Г принимается плохой, а сама сталь относится к плохо свариваемым. Однако при восстановлении и упрочнении деталей машин из этой стали могут быть применены способы наплавки и нанесения покрытий. «Трудности при сварке и наплавке деталей машин из стали 65Г заключаются в высокой склонности к образованию кристаллизационных трещин, холодных трещин и разупрочнению стали» [25]. Сущность образования кристаллизационных (горячих трещин) заключается в том, что при кристаллизации металла происходит образование в нем растягивающих напряжений в результате уменьшения объема в условиях снижения сопротивляемости деформации при повышенных температурах. При кристаллизации металла в нем могут возникать участки нарушения целостности и образовываться трещины. Для того, чтобы предотвратить образование горячих трещин при восстановительных работах применяют специальные сварочные электроды и технику сварки. Если вести наплавку предварительно подогретой детали, уровень напряжений в ней существенно снижается, что позволяет в ряде случаев устранить опасность образования и развития горячих трещин. Ещё одной трудностью при наплавке являются закалочные трещины, образование которых происходит по причине значительного содержания в рассматриваемой стали углерода. Применение предварительного нагрева позволяет уменьшить опасность возникновения закалочных трещин. Разупрочнение основного металла при наплавке может быть предотвращено применением термической обработки, так как размеры восстанавливаемой детали позволяют поместить её полностью в печь. Также успешно бороться с разупрочнением основного металла позволяет применение перспективных способов наплавки, уменьшающих тепловое воздействие на основной металл, такими способами являются плазменная наплавка, лазерная наплавка.

1.3 Описание операций базового процесса восстановительной и упрочняющей наплавки

При выполнении операций базового технологического процесса, реализуемого для восстановления лопаток смесителя, применяется ручная дуговая наплавка с использованием представленного на рисунке 3 выпрямителя ВД-301 и балластного реостата РБУ-400. Подключение сварочного выпрямителя происходит к трехфазной питающей сети, при этом возможно формирование стальной дуги, горящей при токе до 315 ампер. Потребляемая мощность выпрямителя составляет 24 кВА. Пост наплавки огражден от других участников технологического процесса светонепроницаемым экраном и оснащен местной вытяжной вентиляцией, позволяющей удалять выделяющиеся при сварке вредные аэрозоли. Для наплавки применяются штучные электроды ESAB ОК 68.81 диаметром 3,2 мм. Для рассматриваемых электродов температура предварительной прокалики составляет 330...370 °С, для чего перед рабочей сменой электроды следует поместить в предварительно разогретую электрическую печь и выдержать там в течение двух часов. После прокалики электроды в течение рабочей смены хранятся в резервной печи при температуре 70...90 °С и вынимаются из неё только перед самым использованием.



Рисунок 3 – Применяемый при реализации базового технологического процесса сварочный выпрямитель ВДУ-301 и балластный реостат РБУ-400

Поверхность детали, на которой предстоит провести восстановительную и упрочняющую наплавку, предварительно следует очистить с применением шлифовальной машины от загрязнений, устанавливая в качестве расходного инструмента дисковую проволочную щетку. После очистки поверхность должна иметь металлический блеск. Дефекты в виде раковин следует зачистить с применением шлифовальной машины и абразивного круга, скругляя заглабления с радиусом не менее 50 мм. После подготовки наплавляемой поверхности необходимо провести предварительный подогрев до температуры 250...300 °С. С учётом небольших размеров детали проводят подогрев всей детали пламенем газовой горелки, контролируя температуру нагрева детали контактной термопарой. Вместо контактной термопары может быть применен дистанционный пирометр. При наплавке деталь следует расположить таким образом, чтобы наплавку на поверхность вести в нижнем положении. Наплавку ведут постоянным током обратной полярности. Во избежание выгорания легирующих элементов следует поддерживать минимальную длину дуги, располагая конец горящего электрода таким образом, чтобы расстояние от него до сварочной ванны было примерно равно диаметру электрода. «Напряжение на дуге составляет 23 вольта при токе наплавки 60...80 ампер. При наплавке следует накладывать узкие валики, диаметр которых не должен превышать трех миллиметров при перекрытии по ширине на одну треть» [25]. Каждый валик после остывания следует отбивать молоточком от шлака, зачищать и визуально контролировать на предмет недопустимых дефектов. При наплавке следует контролировать нагрев детали, температура которой не должна повышаться более 250 °С. После того, как деталь была наплавлена, её следует без задержки поместить в предварительно нагретую до 600...700 °С представленную на рисунке 4 электрическую печь СНО 3.6.2/10, в которой деталь следует выдерживать в течение 1...2 часа, что позволяет провести термическую обработку – отпуск. Контроль качества наплавки проводят уже после отпуска и остывания детали, так как в противном случае снижаются прочностные свойства наплавленного слоя.



Рисунок 4 – Электрическая печь СНО 3.6.2/10, применяемая в базовой технологии для термической обработки деталей после наплавки

При контроле измеряют твердость наплавленного слоя, которая после отпуска должна быть в диапазоне 40...45 HRC. При визуальном осмотре выявляют такие дефекты как поверхностные раковины, трещины, несплавления, наплывы, грубая чешуйчатость наплавленного слоя, которая может свидетельствовать о нарушении режимов наплавки и наличии внутренних дефектов. Выходящие на поверхность единичные поры должны иметь размер не более 2 мм. Для проведения визуального контроля применяется увеличивающая в 4 раза лупа. После контроля качества наплавки с «применением электрической печи СНО 3.6.2./10 проводят закалку при температуре 810...850 °С с опусканием в масло. После проведения закалки следует выполнить низкий отпуск наплавленной детали, что позволяет снизить уровень напряжений в наплавленном слое и обеспечить длительную эксплуатацию лопатки без сколов и растрескиваний наплавленного слоя. Температура низкого отпуска составляет 300...400 °С при длительности выдержки 0,5 часа» [25]. После отпуска детали остывают вместе с печью.

Преимуществом базовой технологии с применением ручной дуговой наплавки является возможность наплавки слоя значительной толщины, что позволяет получить высокую производительность в условиях ограниченности временных ресурсов. Ещё одним преимуществом базовой технологии является

простота и универсальность применяемого для наплавки оборудования, которое может быть применено как для наплавки, так и для сварки, что позволяет сократить простои на производственном участке и положительно сказывается на экономических показателях предприятия. Третьим преимуществом является наличие необходимого оборудования на предприятии, что позволяет проводить процесс восстановительной и упрочняющей наплавки незамедлительно, избегая значительных финансовых затрат на дооснащение производства.

Следует отметить критические недостатки базовой технологии. «Первым недостатком является низкое качество наплавки и непостоянство свойств наплавленного слоя, в результате чего в процессе работы происходит неравномерный неконтролируемый износ. Вторым недостатком является вредность условия труда сварщика, работающего в атмосфере выделяющихся при сварке аэрозолей» [8].

1.4 Содержание источников научно-технической информации по вопросу износостойкой наплавки

Высокий технологический и научный уровень решений, применяемых для повышения эффективности наплавочных технологий в рамках настоящей выпускной квалификационной работы обеспечивается применением современных достижений в области управления сварочными процессами, для чего следует провести литературные изыскания. Такой поиск может эффективно вести в интернете как с использованием поисковых систем по ключевым словам, так и в специализированных базах знаний. Может быть рекомендован такой ресурс, как «Киберленинка», содержащий ссылки на научные публикации с возможностью скачивания оригинала для последующего анализа. Поиск по такому ресурсу может проводиться как по авторам, так и по элементам названия научной публикации, имеется возможность задания дога издания и его значимости. Ещё одним полезным

ресурсом является база диссертаций «Диссеркет», позволяющая бесплатно скачать для последующего анализа значительное количество авторефератов и текстов диссертаций. Если же возможности получения бесплатного запрашиваемого контента нет, то для бесплатного ознакомления выкладывается основная часть автореферата и список литературы, что оказывается полезным при подготовке бакалаврской работы и магистерской диссертации.

В первой работе [3] «показано, требуемый химический состав наплавленного слоя может быть в полной мере обеспечен при широкослойной наплавке лентами, имеющими широкие возможности регулирования процесса за счёт изменения их взаимного расположения при наплавке» [3]. Данная работа будет использована при обосновании выбора способа наплавки и построении проектной технологии износостойкой наплавки.

Во второй работе [12] «показано, что применение импульсной подачи проволоки при сварке и наплавке деталей из нержавеющей сталей позволяет повысить стабильность процесса горения сварочной дуги и уменьшить разбрызгивание электродного металла. Кроме того, повышается стабильность формирования наплавленного валика. Следует отметить, что положительные результаты несколько меньше по сравнению с результатами применения импульсной подачи проволоки на низкоуглеродистых сталях, что объясняется различием теплофизических и химических свойств. Дальнейшие исследования в области повышения эффективности сварки и наплавки в защитных газах деталей из нержавеющей сталей следует вести в области комбинированного управления подачей проволоки и электрическими параметрами горения сварочной дуги.

Результаты этой работы показывают эффективность сварки и наплавки деталей из нержавеющей сталей проволоками сплошного сечения в защитных газах с импульсным управлением. Работа будет использована при обосновании выбора способа наплавки и построения проектной технологии наплавки» [12].

В третьей работе [17] исследовался процесс наплавки с применением покрытых электродов, предложен состав электродов, обеспечивающий получение наплавленного слоя сходного по составу с быстрорежущей сталью. Предложены мероприятия по устранению образования трещин в наплавленном слое.

Данная работа показывает высоки потенциал ручной дуговой наплавки, которая с применением современных материалов позволяет получать износостойкий наплавленный слой с высокими эксплуатационными показателями. Эта работа будет использована при обосновании выбора способа наплавки и анализе известных решений.

В четвертой работе «проведены исследования по повышению эффективности плазменной порошковой наплавки, которая позволяет получать наплавленный слой составом, близким составу быстрорежущей стали. В качестве присадочного порошка был применен порошок ПГ-10Р6М5» [22].

«Данная работа показывает высокую эффективность применения плазменной порошковой наплавки и будет использована для обоснования выбора способа наплавки» [22].

В пятой работе [21] на основании обобщения опыта промышленных предприятий показана высокая эффективность восстановительной и упрочняющей наплавки деталей машин с применением порошковой проволоки. Для повышения стабильности качества наплавки и эксплуатационных свойств предлагается проволока ПП-АН198 диаметром 1,6 мм, применение которой позволяет получать биметаллические изделия с комбинированными свойствами. Проволоку отличает пониженный уровень остаточных напряжений в наплавленном слое и низкое содержание дефектов.

«Данная работа показывает высокую эффективность применения наплавки порошковыми проволоками и будет использована при обосновании выбора способа износостойкой наплавки» [21].

Таким образом, на основании анализа источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности износостойкой наплавки можно судить о высокой эффективности таких способов, которые в дальнейшем будут рассмотрены при обосновании выбора способа наплавки для построения проектной технологии: «ручная дуговая наплавка, наплавка порошковыми проволоками и порошковыми лентами, наплавка проволокой сплошного сечения в защитных газах, плазменная порошковая наплавка» [25].

1.5 Формулировка задач на выполнение выпускной квалификационной работы

Выпускная квалификационная работа направлена на расширение технологических возможностей износостойкой наплавки на высокопрочные стали. При выполнении восстановительной и упрочняющей наплавки, которая проходила в ходе базового технологического процесса, применялась ручная дуговая наплавка штучными электродами. Применение ручной дуговой сварки позволяет максимально сократить временной интервал между получением задания на восстановление детали и началом проведения восстановительных работ, так как необходимое оборудование и квалифицированный персонал находятся в арсенале предприятия. Высокая универсальность ручной дуговой сварки и наплавки позволяет избежать проведения дорогостоящего инструментального и аппаратного приготовления производства под реализацию восстановительной технологии. Однако малая производительность ручной дуговой наплавки и растущие объемы деталей, подлежащих восстановлению, заставляют искать новые способы, внедрение которых в существующее производство должно основываться на современных достижениях в области управления и организации сварки.

Анализ научной литературы по рассматриваемому вопросу позволил составить предварительный список для рассмотрения альтернативных способов наплавки при построении проектной технологии.

Подготовка аналитического раздела позволяет выполнить постановку задач, решение которых обеспечит достижение необходимого повышения производительности и качества восстановительных работ.

В процессе решения первой задачи предстоит провести экспертизу применимости и эффективности выбранных способов восстановления деталей машин для наплавки рассматриваемых в качестве типовой детали лопаток смесителя. Необходимо рассмотреть особенности применения и эффективность способов, для чего необходимо применить технологические критерии оценки, предлагаемые в ряде аналитических работ по изучению эффективности сварочных процессов. Оптимальный с точки зрения рассматриваемых критериев способ будет принят для построения проектной технологии восстановительной и упрочняющей наплавки лопатки смесителя. При решении второй задачи предстоит применить достижения российских ученых в области управления сварочными процессами для расширения технологических возможностей выбранного способа наплавки применительно к рассматриваемой детали. При решении третьей задачи предстоит составить перечень операций проектного технологического процесса, для которых следует назначить оптимальные параметры режима, сформулировать условия выполнения и выбрать оборудование.

Также при выполнении оценочных разделов предстоит рассмотреть предлагаемые решения с точки зрения обеспечения промышленной и экологической безопасности [4], [8]. Также в ходе выполнения оценочных разделов предстоит рассчитать и сравнить экономические показатели производства при использовании базовой технологии сварки и проектной технологии, на основании чего необходимо выполнить экономическое обоснование целесообразности внедрения предлагаемых в работе решений [11], [19]. Далее при составлении заключения предстоит обобщить полученные результаты и дать им оценку с точки зрения расширения технологических возможностей, обеспечения безопасности и получения экономического эффекта, что обеспечивает достижение поставленной цели.

2 Построение проектной технологии износостойкой наплавки на детали машин

2.1 Обоснование выбора способа износостойкой наплавки

«Предварительный анализ источников научно-технической информации по вопросу восстановительной и упрочняющей наплавки позволяет для критического оценивания принять такие способы наплавки: ручная дуговая наплавка, наплавка порошковыми проволоками и порошковыми лентами, наплавка проволокой сплошного сечения в защитных газах, плазменная порошковая наплавка» [2].

Работы [2], [5], [9] позволяют сформулировать критерии для оценки эффективности способов восстановительной наплавки.

Схема выполнения ручной дуговой наплавки, которая применяется в базовой технологии, представлена на рисунке 5. Благодаря своей универсальности ручная дуговая наплавка наиболее распространена при построении технологических процессов. Применяемое оборудование в достаточном количестве присутствует на предприятиях, а сам процесс не требует значительной подготовки для реализации технологического процесса, что позволяет приступать к выполнению работ практически незамедлительно. Однако из-за неустраняемых недостатков ручной дуговой наплавки её доля в промышленности неуклонно снижается, как «при изготовлении, так и при ремонте металлических конструкций. При этом на первый план выходят автоматизированные и механизированные способы сварки и наплавки. При выполнении ручной дуговой наплавки приходится работать во вредных сварочных аэрозолях и подвергаться излучению дуги. Также следует указать на низкую стабильность качества наплавленного металла, которое в значительной мере зависит от квалификации сварщика» [5], что становится дополнительной проблемой в условиях кадрового голода. Применение ручной дуговой наплавки легированными электродами не может относиться к

экономичным процессам, так как значительны потери дорогостоящего электродного металла на разбрызгивание и электродные огарки.

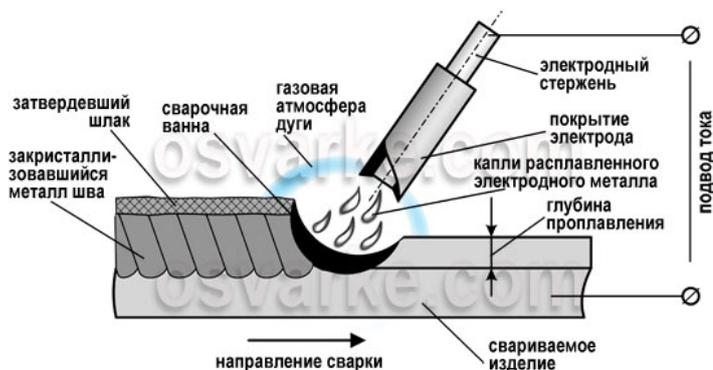


Рисунок 5 – Схема ручной дуговой наплавки

На рисунке 6 представлена схема наплавки порошковой проволокой, применение которой позволяет получить сочетание полезных свойств наплавки под флюсом и наплавки в защитных газах. При наплавке самозащитными проволоками и лентами упрощается строение оборудования, так как устраняется необходимость применения газовой аппаратуры. Это позволяет повысить мобильность и универсальность способа, а также улучшает условия защиты наплавленного металла от действия атмосферы [23], [27]. Кроме того, за счёт изменения состава порошкового наполнителя удается регулировать содержание химических элементов в наплавленном слое в широких пределах, при этом существует возможность изготовления малых партий проволоки без увеличения её стоимости.

В работе [21] на основании обобщения опыта промышленных предприятий показана высокая эффективность восстановительной и упрочняющей наплавки деталей машин с применением порошковой проволоки. Для повышения стабильности качества наплавки и эксплуатационных свойств предлагается проволока ПП-АН198 диаметром 1,6 мм, применение которой позволяет получать биметаллические изделия с комбинированными свойствами. Проволоку отличает пониженный уровень остаточных напряжений в наплавленном слое и низкое содержание дефектов.

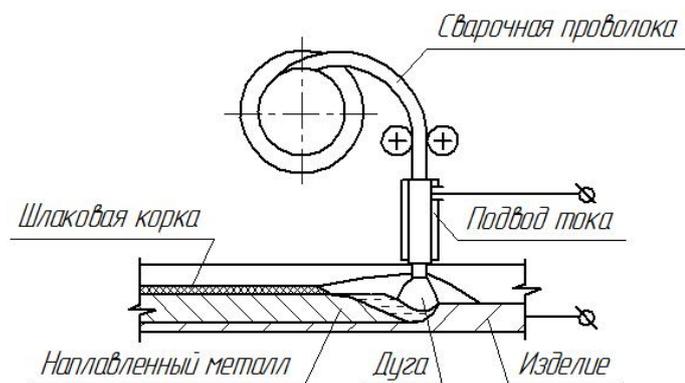


Рисунок 6 – Схема наплавки порошковой проволокой

В работе [3] изучены особенности технологии наплавки с применением порошковых лент. На рисунке 7 представлена схема, которая может быть применена при расчётном определении доли основного металла в наплавленном слое. В работе рассматривается однопроходная наплавка одним валиком. Доля основного металла может быть рассчитана как отношение площади проплавления $F_{пр}$ к суммарной площади проплавления и наплавленного металла ($F_{пр} + F_{н}$). Регулирование доли основного металла происходит за счёт изменения параметров режима наплавки и выбора материала для наплавки. В большинстве случаев при наплавке необходимо получение минимального участия доли основного металла в наплавленном слое, для чего линия сплавления должна иметь минимальную ширину, оптимальным будет получение соединения, подобного паяному. Пример такого соединения представлен на рисунке 8.

При проведении эксперимента выполняли наплавку двумя порошковыми лентами ПЛ-АН101 по схемам, которые представлены на рисунке 9. Для обеспечения указанной подачи были внесены изменения в подающий механизм ленты. Наплавка может быть выполнена с шириной слоя 10...55 мм, применение указанных схем наплавки позволяет повысить производительность процесса в 1,2...1,5 раза по сравнению с традиционной наплавкой порошковой лентой.

Выполняли сравнение результатов наплавки ленточными электродами с многоэлектродной наплавкой, которую вели с применением нескольких

проволок диаметром 3 мм в количестве 9 штук. Наплавка несколькими проволоками позволяет получать наплавленный слой шириной 150 мм и удовлетворительное качество наплавки.

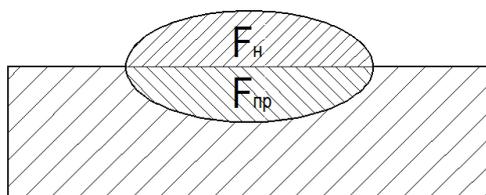


Рисунок 7 – Схема для расчётного определения доли основного металла

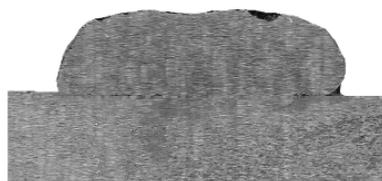


Рисунок 8 – Пример выполнения однопроходной наплавки с минимальным участием основного металла

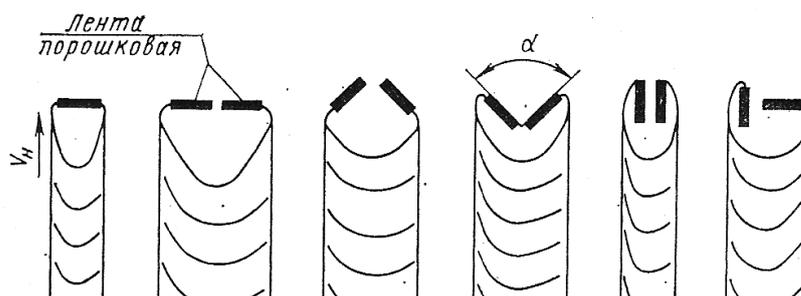


Рисунок 9 – Схема наплавки с применением порошковых лент

Следует отметить ограничение ширины наплавленного слоя, которое наблюдается при многопроволочной наплавке. Так, стабильное качество наплавки обеспечивается при применении 6 проволок и ширине наплавленного слоя 50 мм. Увеличение количества проволок приводит к их неравномерному плавлению, в результате чего повышается доля участия основного металла в наплавленном слое, а само качество наплавки снижается.

Высокой универсальностью обладает наплавка в защитных газах проволокой сплошного сечения, схема выполнения контрой представлена на рисунке 10.

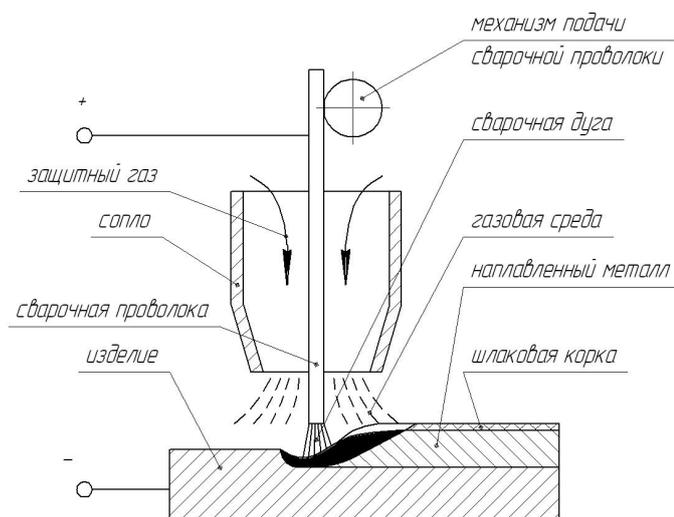
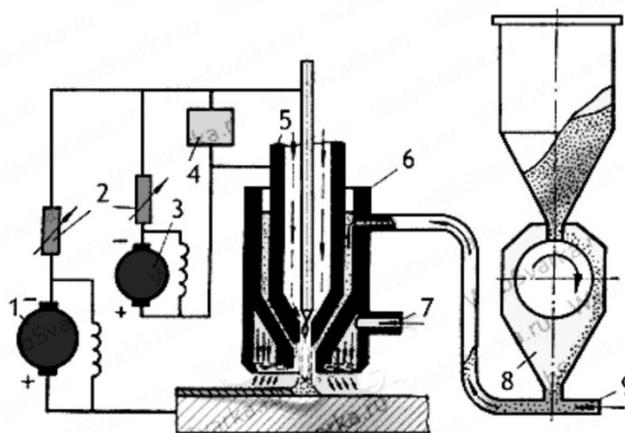


Рисунок 10 – Схема наплавки в защитных газах проволокой сплошного сечения

По сравнению с ручной дуговой наплавкой этот способ позволяет существенно повысить качество и производительность процесса. Также наблюдается улучшение условий труда, так как выделяющиеся при наплавке аэрозоли менее вредны при использовании защитных газов, чем при использовании покрытых электродов. Так как при механизированной наплавке отсутствует необходимость замены электрода и очистки поверхности валиков от шлака, производительность и качество работ при этом повышаются. Главным недостатком наплавки в защитных газах является низкая текучесть расплавленного металла, что становится причиной образования несплавлений и трещин. Также из-за высокой скорости охлаждения и кристаллизации ухудшаются условия выделения растворенных в металле газов, что вызывает пористость наплавленного металла. Изготовление легированных проволок сплошного сечения обходится намного дороже, чем изготовление аналогичных порошковых проволок. Также следует принимать во внимание существенное разбрызгивание электродного металла, что ухудшает внешний вид и качество работ, а также снижает их производительность.

На рисунке 11 представлена схема плазменной наплавки, экономические и технологические показатели которой существенно выше, чем показатели

ранее описанных способов. Применение сжатой дуги как источника нагрева при сварке и наплавке раскрывает дополнительные возможности перед технологом при организации восстановления деталей машин. В настоящий момент плазменная наплавка считается одним из перспективных способов, внедрение которого на предприятиях Российской Федерации будет интенсивно продолжаться.



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» [25]

Рисунок 11 – Схема выполнения плазменной наплавки

Первым преимуществом плазменной наплавки является высокая энергоэффективность процесса, осуществление которого требует в несколько раз меньших затрат энергии, чем при сварке и наплавке свободно горячей дугой. «Вторым преимуществом является экономичность способа, так как расход защитного газа при плазменных процессах меньше, чем при аналогичных процессах при свободно горячей дугой. Кроме того, стоимость присадочного порошка, который применяется для выполнения плазменной наплавки» [25], существенно ниже стоимости аналогичного количества штучных электродов и порошковой проволоки.

При обосновании выбора плазменной наплавки как способа для построения проектной технологии необходимо также принимать во внимание,

что плазменная наплавка позволяет существенно уменьшить припуск на механическую обработку детали после наплавки, что дополнительно повышает производительность и сокращает расходы дорогостоящего наплавочного материала. Главным недостатком плазменной наплавки следует признать недостаточный опыт её применения в производстве. Промышленные предприятия не накопили в должной мере оборудования для проведения плазменных процессов обработки металлов, поэтому любой переход на применение плазменной наплавки и сварки будет сопровождаться значительными финансовыми затратами. Повышение экономической эффективности плазменных процессов возможно только при условии широкого внедрения в производство, что позволит повысить универсальность процесса и снизить простои дорогостоящего оборудования [24].

По большинству технологических критериев, к которым относят стоимость применяемого оборудования, стоимость наплавочных материалов, производительность процесса наплавки, качество наплавленного слоя, условия труда, свойства детали после наплавки, плазменная наплавка намного опережает другие рассмотренные способы восстановления деталей.

Исходя из проведенного анализа для построения проектной технологии восстановительной и упрочняющей наплавки предлагается применить плазменную порошковую наплавку. С применением разработок отечественных исследователей в области управления процессами сварки и наплавки эффективность этого способа применительно к рассматриваемым деталям может быть повышена.

Дальнейшие работы предлагается вести в направлении расширения технологических возможностей плазменной порошковой наплавки, адаптации способа для рассматриваемой детали и построения проектной технологии восстановительной и упрочняющей наплавки.

2.2 Повышение эффективности плазменной наплавки деталей машин

Для повышения эффективности плазменной наплавки современным производителем оборудования представлено на рынке множество образцов оборудования, реализующих различные способы. На рисунке 12 представлена «схема плазменной наплавки с применением двух присадочных проволок сплошного сечения 1, для разогрева которых перед подачей в сварочную ванну применяется дополнительный источник питания 2, подача тока на проволоки происходит от токоподводов 6. Для автоматической подачи присадочных проволок в сварочную ванну служат подающие механизмы 7. Сжатая дуга горит между вольфрамовым электродом и деталью, питается от источника 4. Плазматрон 3 имеет каналы для подачи водяного охлаждения в, защитного газа ЗГ и плазмообразующего газа ПГ. Применение такой схемы позволяет вести наплавку с производительностью до 30 килограммов в час» [24].

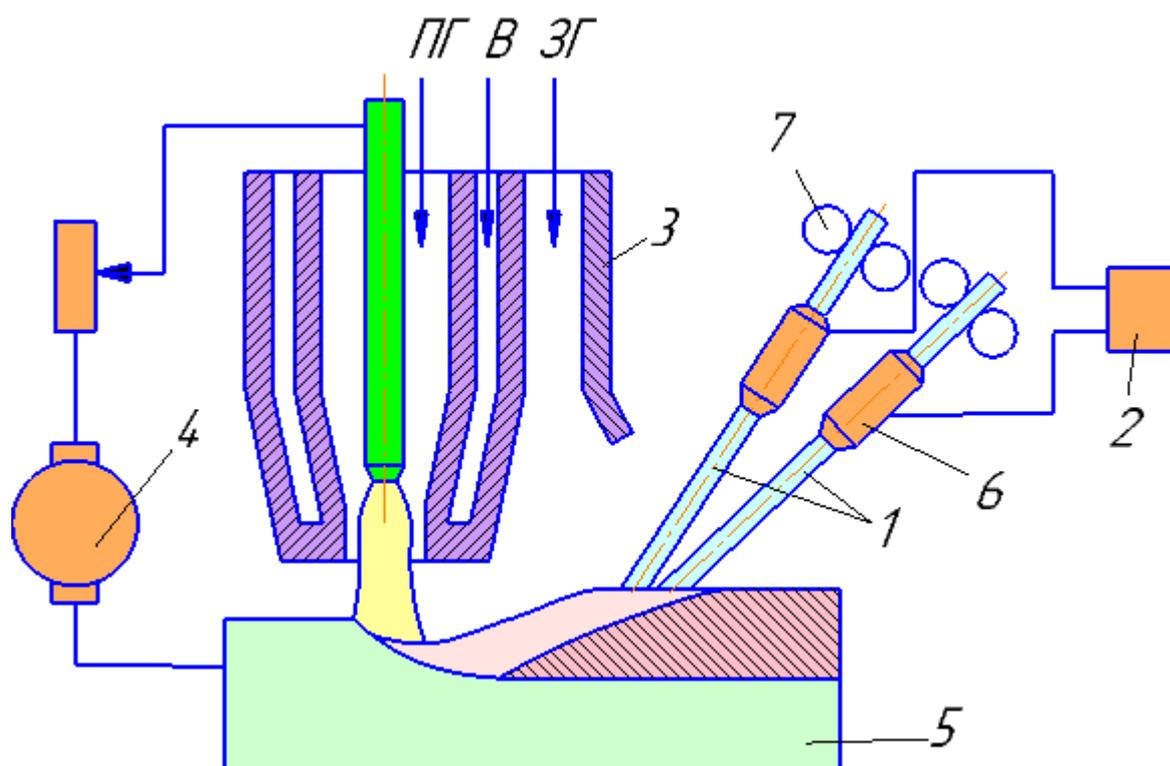


Рисунок 12 – Функциональная схема плазменной наплавки с применением двух присадочных проволок

«Высокой производительностью, достигающей 30 килограммов в час, характеризуется схема комбинированной плазменной наплавки, представленная на рисунке 13. Сжатая дуга 8 горит между неплавящимся электродом 3 и деталью 10. В зону горения сжатой дуги подается присадочная проволока 4, между этой проволокой и деталью горит сварочная дуга 9. Питание сжатой дуги обеспечивается от источника с падающей характеристикой 2». [24]. Зажигание сжатой дуги обеспечивается посредством осциллятора 1, который включен в цепь последовательно с источником сжатой дуги 2. Подвод тока к неплавящемуся электроду 3 обеспечивается через токоподвод 11. В плазменную горелку 7 подается плазмообразующий газ ПГ и защитный газ ЗГ. Питание сварочной дуги обеспечивается от источника с жесткой характеристикой 6, подвод тока к присадочной проволоки выполняется через токоподводы 5.

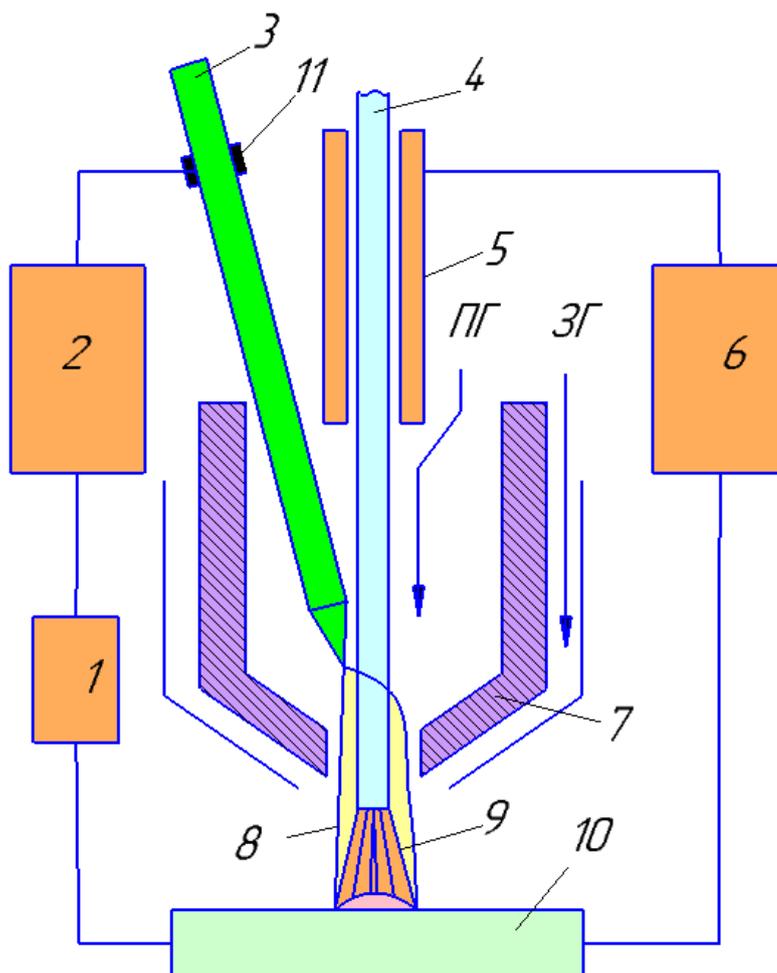


Рисунок 13 – Функциональная схема комбинированной плазменной наплавки

Для повышения производительности плазменной наплавки может быть применена функциональная схема, представленная на рисунке 14, позволяющая наплавлять слои толщиной до 8 мм. «Сжатая дуга горит между неплавящимся электродом 3 и деталью 8. В плазматрон 4 подают плазмообразующий газ ПГ и защитный газ ЗГ. В дугу посредством подающих механизмов 6 подаются две присадочные проволоки 5. К присадочным проволокам через токоподводы 7 подается ток от источника питания 2» [24], который вторым полюсом подключен к неплавящемуся электроду 3. Питание сжатой дуги обеспечивается источником 1, который подключен к неплавящемуся электроду 3 и детали 8. Такая схема позволяет в широких пределах регулировать высоту наплавляемого слоя от 3 до 8 мм.

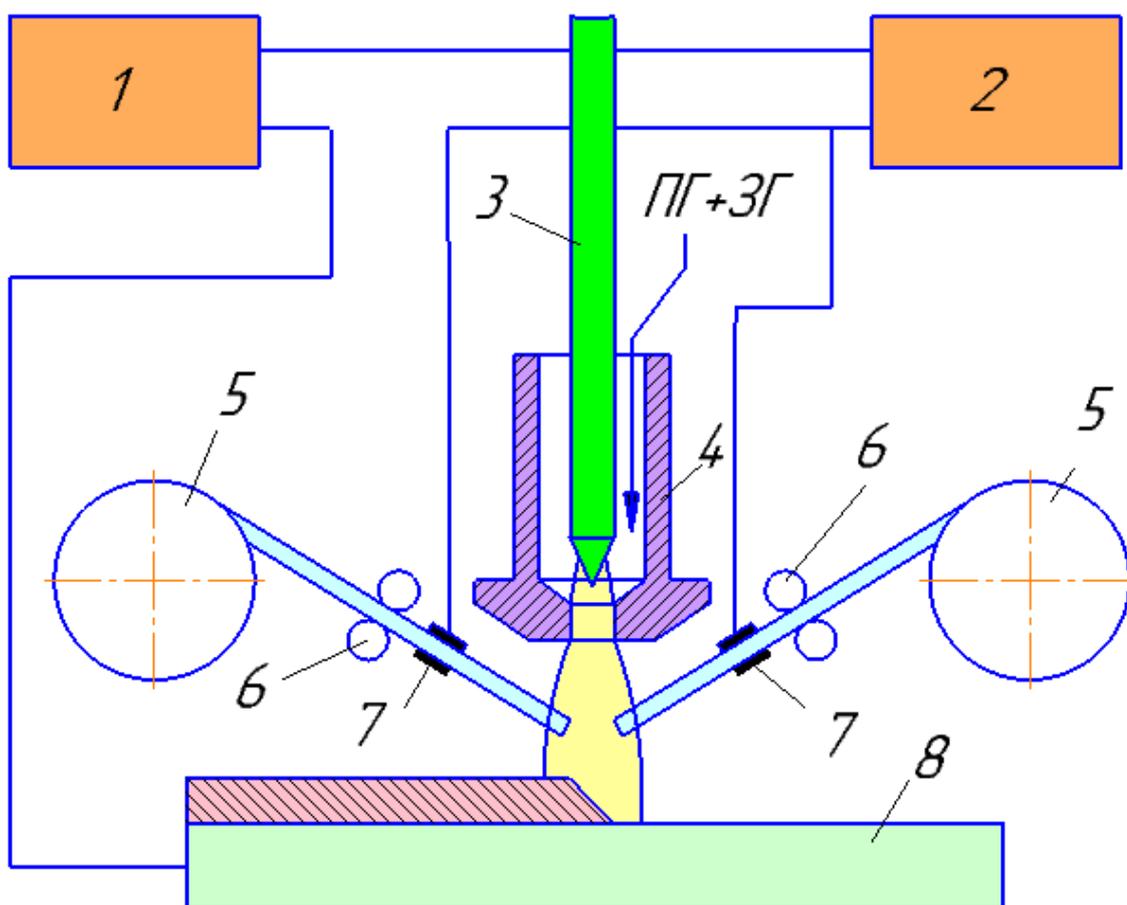


Рисунок 14 – Функциональная схема плазменной наплавки двумя присадочными проволоками

В настоящей выпускной квалификационной работе для построения проектной технологии предлагается применить функциональную схему плазменной наплавки двумя дугами согласно описанию изобретения [28], которая представлена на рисунке 15. При реализации предлагаемого способа плазменной наплавки применяется система из двух дуг. «Первая дуга 1 является основной и горит между неплавящимся электродом 2 и деталью 3, питается от источника постоянного тока 7. В зону горения сжатой дуги 1 подается присадочная проволока 6. Дополнительная дуга 4 горит между неплавящимся электродом 5 и деталью 3, питается от источника постоянного тока 8 и служит для подогрева поверхности детали. Мощность основной дуги составляет $1,3 \dots 1,8$ от мощности дополнительной дуги. Расстояние L между дугами выбирается из диапазона $2 \dots 3,2d_{ст.ср}$, где средний диаметр столба дуги вычисляется как среднее арифметическое диаметра столба $d_{ст.осн}$ основной дуги и диаметра столба $d_{ст.доп}$ дополнительной дуги» [28].

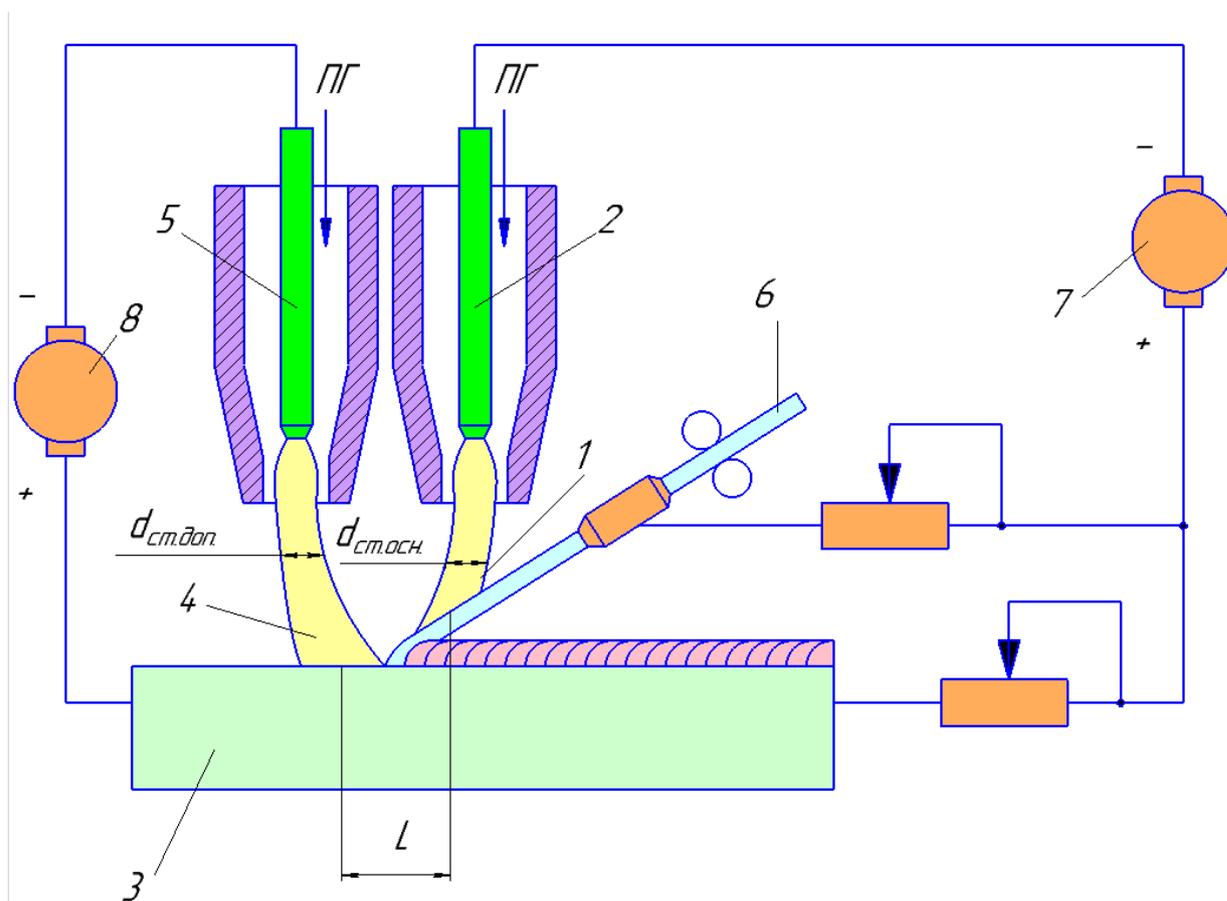


Рисунок 15 – Функциональная схема плазменной наплавки двумя дугами

«Предлагаемая схема плазменной наплавки позволяет использовать электромагнитное влияние одной дуги на другую, что делает возможным управление нагревом основного металла и присадочного металла. Если мощность дополнительной дуги уменьшается, то происходит сближение основной дуги и дополнительной дуги, в результате нагрев присадочного металла увеличивается. При увеличении мощности вспомогательной дуги она начинает отклоняться в сторону от основной дуги, что приводит к увеличению прогрева основного металла. Таблица 2 содержит информацию об особенностях формирования наплавленного слоя при различном соотношении мощности основной дуги $W_{осн}$ и мощности вспомогательной дуги $W_{всп}$ » [28].

Таблица 2 – Особенности формирования наплавленного слоя при различных соотношениях мощности основной и дополнительной дуги

Ток основной дуги, А	Ток дополнительной дуги, А	$W_{доп}/W_{осн}$	Скорость наплавки, м/ч	Доля участия основного металла, %	Производительность наплавки, кг/ч
240	260	1,1	7	0...5	15...17
230	270	1,3	8	4...8	14...15
210	290	1,6	9	5...10	13...15
200	300	1,8	10	8...12	12...14
190	310	2,0	11	15...20	8...10

Таким образом, при отношении мощности дополнительной дуги к мощности основной дуги менее 1,3 при формировании наплавленного слоя велик риск получения несплавления с основным металлом. При мощности дополнительной дуги к мощности основной дуги более 1,8 наблюдается значительное увеличение в наплавленном слое доли основного металла, что ухудшает свойства наплавленного металла.

Таким образом, предлагаемая схема позволяет эффективно управлять процессом наплавки за счёт регулирования вложения тепла в присадочную проволоку и основной металл. Также за счёт нагрева присадочной проволоки удается существенно повысить качество и производительность наплавки.

2.3 Описание операций проектного технологического процесса

Реализация проектной технологии наплавки предусматривает выполнение следующих операций: очистка поверхности деталей при помощи дробеструйной обработки, предварительный подогрев деталей с применением электрической печи, плазменная наплавка с применением предлагаемой схемы, высокий отпуск с применением электрической печи, контроль качества наплавленного слоя, закалка.

Для очистки поверхности деталей перед выполнением восстановительной и упрочняющей наплавки применяется дробеструйная очистка. Для этого предлагается использовать представленную на рисунке 16 дробеструйную установку Wheelabrator Group, которая является мобильной и имеет емкость бака 200 литров. Скорость выхода дроби составляет 100...120 метров в секунду при расходе 200...230 килограммов в минуту. Для очистки применяется стальная дробь твердостью 43 HRC и диаметром 1,2 мм.



Рисунок 16 – Мобильные дробеструйные установки

Для предотвращения растрескивания в процессе наплавки и остывания детали предлагается провести предварительный подогрев до температуры 250...300 °С с использованием представленной на рисунке 17 электрической печи СНО 3.6.2/10.



Рисунок 17 – Электрическая печь СНО 3.6.2/10.

Наплавку ведут с применением представленной на рисунке 18 установке для плазменной обработки деталей машин, которая в зависимости от особенностей комплектации может быть использована как для плазменной наплавки, так и плазменного напыления. В состав установки входит цеховая вентиляционная система 1, камера для наплавки и напыления 2, газораспределительный шкаф 3, шкаф управления 4, пульт управления 5, газовая аппаратура 6, камера вентиляционная 7, источник питания 8, блок автоматического охлаждения 9.

Для комплектования комплекса плазменной обработки деталей машин предлагается применить оборудование российских поставщиков плазменной техники – ООО «Плазмастрой» (г. Санкт-Петербург, Россия).

Для питания комбинированного плазматрона применяется два источника УПНС-БС-315, которые представлены на рисунке 19. Для охлаждения элементов установки предлагается применить модули водяного охлаждения УПНС-БАО-039, которые представлены на рисунке 19. Ток основной дуги принимается 220...230 ампер, ток дополнительной дуги принимается 260...270 ампер, производительность наплавки составляет 7...8 кг в час. Расход плазмообразующего газа 1,5...2,5 литров в минуту, расход защитного газа установлен 16...20 литров в минуту.

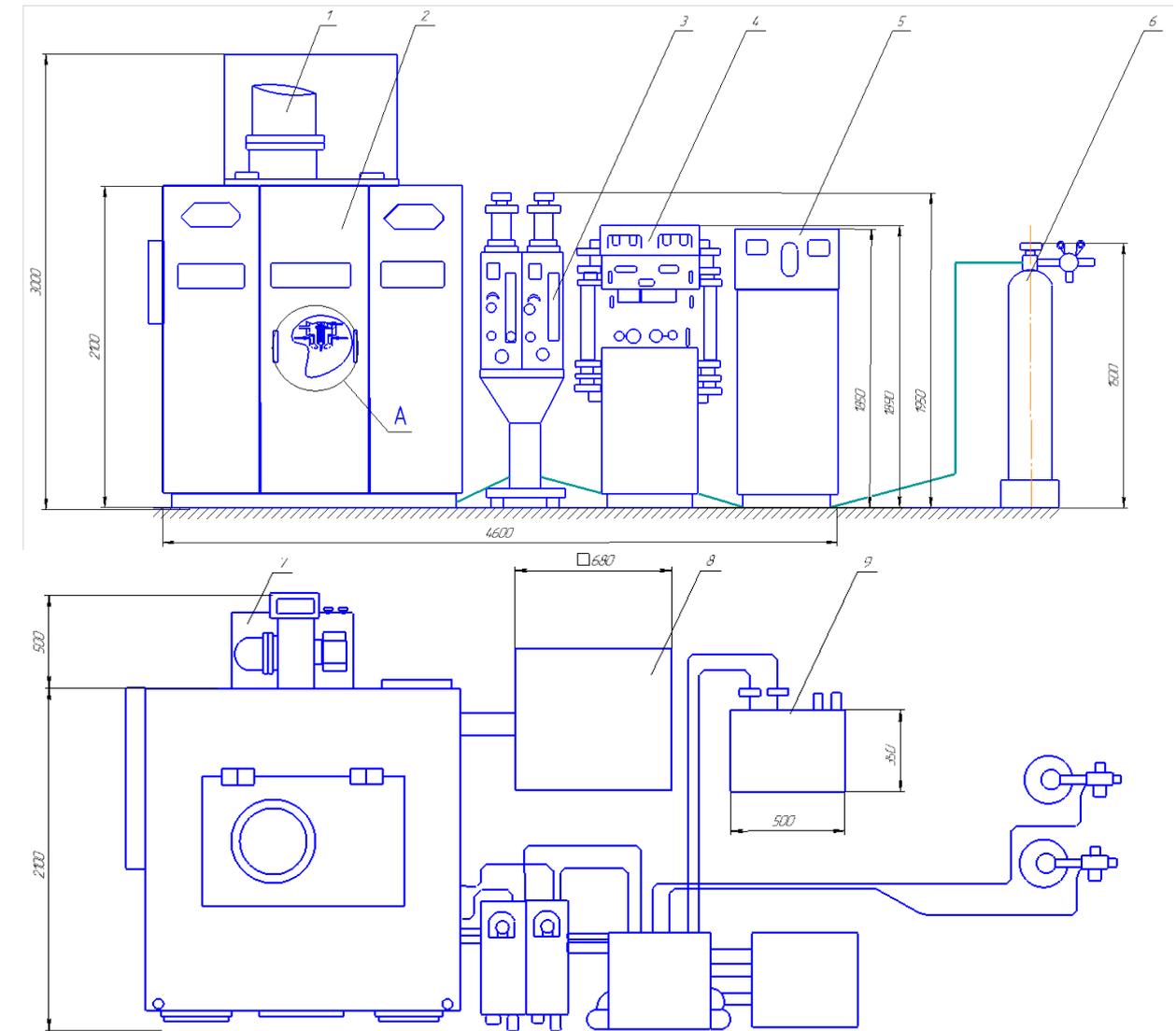


Рисунок 18 – Установка для плазменной обработки деталей машин



Рисунок 19 – Оборудование для комплектации поста наплавки

Для наплавки предлагается применить проволоку сплошного сечения состава Св-Х12МФ диаметром 1,2 мм, которая обеспечивает высокие показатели прочности и износостойкости наплавленного слоя.

После наплавки детали помещают в разогретую электрическую печь СНО 3.6.2/10. Для защиты от окисления применяются контейнеры, в которые укладываются наплавленные детали и засыпаются порошком древесного угля. Проводят высокий отпуск при температуре 600...700 °С в течение 0,5 часа.

Проверку качества проводят после полного остывания детали. С применением лупы увеличением 4 крат проводят визуальный контроль наплавленного слоя. Не допускается наличие непроваров, трещин и раковин. Следует принимать во внимание, что перечисленные дефекты при визуальном контроле могут быть обнаружены только если они выходят на поверхность наплавленного слоя.

После визуального контроля проверяют твёрдость наплавленного слоя, которая должна составлять 40...45 HRC.

Далее проводят закалку с помещением деталей в разогретую электрическую печь. Температура закалки составляет 810...850 °С, после чего детали помещают в масло. После закалки твердость наплавленного слоя составляет 65...70 HRC.

Выводы по второму разделу

В настоящем разделе описано решение задач, постановка которых выполнена в первом разделе. На основании анализа преимуществ и недостатков способов наплавки построение проектной технологии предлагается вести на базе плазменной наплавки. С использованием разработок отечественных исследователей-сварщиков предложен способ высокопроизводительной наплавки двумя дугами. Составлена проектная технология с описанием выполняемых операций. Дальнейшие работы предусматривают экологическое и экономическое обоснование предлагаемых технологических решений.

3 Промышленная безопасность производственного участка

3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи

Выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности восстановительной и упрочняющей наплавки деталей машин. Предыдущие два раздела посвящены постановке и выполнению задач, в ходе чего составлена проектная технология наплавки с применением сжатой дуги, для повышения эффективности которой предлагается применить разработанный российскими исследователями способ. Решение о возможности внедрения предлагаемых решений в современное производство должно приниматься на основании анализа возможности обеспечения безопасности труда и экологической безопасности рассматриваемого производственного участка. Укрупненная характеристика проектного технологического процесса ремонтной сварки представлена в таблице 3, которая дает начальную информацию о перечне выполняемых операций, персонале, применяемом оборудовании и материалах, что позволяет провести идентификацию опасных и вредных производственных факторов, которыми характеризуется рассматриваемый производственный участок, на котором предлагается реализовать проектную технологию. Операция очистки поверхности деталей перед восстановительной наплавкой проводит слесарь-сборщик. Операции предварительного нагрева, высокого отпуска и закалки проводит контролер по термической обработке. Операцию наплавки проводит электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах. Операцию контроля качества проводит инженер-дефектоскопист. Применяемое при выполнении операций оборудование может стать причиной возникновения факторов, при этом, если фактор не ухудшает состояние персонала, то он признается нейтральным и в дальнейшем не учитывается.

Таблица 3 – Укрупненная характеристика проектного технологического процесса исправления восстановительной и упрочняющей наплавки

«Операция	Персонал	Оборудование
Дробеструйная очистка	Слесарь-сборщик	- дробемёт, - дробемётная камера
Предварительный подогрев	Контролёр по термообработке	- печь, - поддон
Наплавка	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	- установка плазменной наплавки - пирометр, - фиксатор детали
Высокий отпуск	Контролёр по термообработке	- печь, - поддон, - контейнер
Контроль качества наплавки	Инженер - дефектоскопист	- лупа, - твердомер
Закалка» [24]	Контролёр по термообработке	- печь, - поддон, - контейнер, - твердомер

На основании представленной в таблице информации становится возможным сформулировать производственные факторы, влияние которых может оказать негативное воздействие на персонал предприятия.

3.2 Идентификация негативных производственных факторов

На основании представленного выше укрупненного технологического процесса могут быть сформулированы присущие каждой операции негативные производственные факторы. Операции сварки и наплавки предусматривают наличие дуги, что приводит к «повышенному уровню опасных и вредных факторов, возникающих на рассматриваемом производственном участке по сравнению с другими производственными участками. Также следует принимать во внимание наличие на участке оборудования, работающего при опасных уровнях напряжения и тока» [8]. В таблице 4 представлен перечень возникающих опасных и вредных производственных факторов, для разработки средств и методик защиты .

Таблица 4 – Негативные производственные факторы при реализации операций проектного технологического процесса

Наименование операции	Опасный или вредный производственный фактор
Дробеструйная очистка	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатости на поверхности заготовок - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения
Предварительный подогрев	<ul style="list-style-type: none"> - опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током - повышенная температура поверхностей
Плазменная наплавка	<ul style="list-style-type: none"> - чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания - повышенный уровень шума - опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током - инфракрасное излучение - ультрафиолетовое излучение - химические вещества в аэрозольном состоянии - повышенная температура поверхностей
Высокий отпуск	<ul style="list-style-type: none"> - опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током - повышенная температура поверхностей
Контроль качества	<ul style="list-style-type: none"> - повышенный уровень ультразвуковых колебаний - острые кромки, заусенцы и шероховатости на поверхности заготовок - химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии
Закалка	<ul style="list-style-type: none"> - опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током - повышенная температура поверхностей

Рассматриваемые неблагоприятные производственные факторы по характеру действия на человека разделяются на вредные производственные факторы и опасные производственные факторы. К первым следует отнести такие факторы, которые становятся причиной возникновения заболеваний или причиной развития уже имеющихся у человека заболеваний. При этом заболевания могут протекать как остро, так и хронически. К второй группе факторов следует отнести такие факторы, которые могут способствовать получению человеком травмы или возникновению на предприятии смертельного случая. Идентифицированные факторы относятся к факторам, ранее возникающим на предприятии, для их нейтрализации может быть применен стандартный набор средств.

3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов

Для составленного выше списка неблагоприятных производственных факторов, которые были сформулированы по требованиям ГОСТ 12.0.003-2015, необходимо представить перечень средств и мероприятий, обеспечивающих необходимый уровень безопасности персонала, что выполнено в таблице 5. Рассмотрен перечень из двенадцати негативных факторов, сопровождающих реализацию технологического процесса наплавки с применением сжатой дуги при восстановлении и упрочнении деталей машин. Для защиты персонала от действия этих факторов могут быть применены как стандартные, так и специальные средства, обеспечивающие безопасность производственного процесса. Необходимо учитывать кумулятивное действие вредных факторов, заключающееся в накоплении негативного действия в течении времени и острого их проявления. Также следует принимать во внимание, что действующие совместно факторы могут усиливать друг друга, что повышает их опасность и вредоносность. В арсенале средств, призванных нейтрализовать действие негативных факторов, числятся средства технического характера, организационные мероприятия и средства личной защиты. Значительная роль отводится организационным мероприятиям, от своевременности и полноты проведения которых в значительной степени зависит безопасность труда. Как показывает практика, именно нарушение трудовой дисциплины становится причиной большинства несчастных случаев на производстве. Также следует принимать во внимание необходимость поддержания порядка на рабочем месте, что позволяет лучше организовать производственный процесс и обеспечить его безопасность по отношению к участникам. Также следует постоянно проверять комплектность и исправность средств индивидуальной защиты, состояние которых должно контролировать как руководство предприятия, так и сам персонал. Для обслуживания технических средств безопасности труда должны привлекаться квалифицированные работники.

Таблица 5 – Средства и методики для устранения профессиональных рисков

Негативный фактор	Технические средства	Индивидуальные средства
отсутствие или недостатков естественного освещения	- контроль уровня освещенности рабочего места - дополнительная подсветка	индивидуальная подсветка
«инфракрасное излучение	- ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений - защитные экраны	специальная одежда, перчатки, защитные маски
отсутствие или недостатков искусственного освещения	- контроль уровня освещенности рабочего места - дополнительная подсветка	индивидуальная подсветка
повышенная температура поверхностей	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	специальная одежда, перчатки, защитные маски
опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током	- организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности - контроль изоляции и заземления - защитное заземление, защитное отключение	защитная одежда, диэлектрические коврики
повышенный уровень ультразвуковых колебаний	- ограничение проникновения персонала в опасную зону	защита расстоянием и уменьшением времени воздействия
движущиеся части машин и механизмов	устройства защитного отключения привода станков	Специальная одежда, перчатки
ультрафиолетовое излучение	- ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений - защитные экраны	специальная одежда, перчатки, защитные маски
химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания	- устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	индивидуальные средства защиты дыхательных путей
острые кромки и заусенцы и шероховатости и поверхности заготовок	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
химические вещества в аэрозольном состоянии» [8]	- устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	защитные маски

Анализ данных таблицы позволяет судить о высокой эффективности применяемых стандартных средств и методик. Разработки специальных средств не требуется. Требуемый уровень промышленной безопасности

3.4 Пожарная безопасность производственного участка

При выполнении операций восстановительной и упрочняющей наплавки основным инструментом является сжатая дуга, горение которой характеризуется высокой степенью пожарной опасности, поэтому проводимые наплавочные работы становятся источником повышенной пожарной опасности вследствие. Горение сжатой дуги характеризуется высокими температурами и «интенсивностью теплового излучения; брызг расплавленного металла, которые могут попасть на горючие предметы; самих нагретых поверхностей. Также следует учитывать, что питание размещенного на производственном участке оборудования выполняется от источника электрической мощности высокой мощности, повреждение в электрических сетях и оборудовании также может вызвать возникновение пожара. В таблице 6 выполнена идентификация пожара, возникновение которого следует предотвратить» [8].

Таблица 6 – Идентификация пожара на производственном участке

«Наименование участка	Участок проведения восстановительной и упрочняющей наплавки деталей машин
Наименование оборудования	Дробемёт, дробемётная камера, электрическая печь, установка плазменной наплавки, дефектоскоп
Классификация по виду горящего вещества	Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)
Наименование основных опасных факторов пожара	Пламя, повышенная температура воздуха, токсические продукты горения, уменьшение концентрации кислорода в воздухе, снижение видимости из-за задымления, искры
Наименование вторичных опасных факторов пожара» [8]	Поражение персонала электрическим током, падение на персонал элементов конструкции здания и оборудования

Если на производственном участке возникает пожар, персонал предприятия и сотрудники МЧС могут подвергнуться негативным факторам, характеризующим данный пожар. К таким факторам относят разлетающиеся при горении искры, застилающее обзор и мешающее ориентироваться в

пространстве задымление, отравляющие людей токсические продукты горения, приводящее к удушению уменьшение содержания в воздухе кислорода, волны горячего воздуха и само пламя. Также при пожаре возможно падение на людей элементов оборудования и строительной конструкции при её разрушении. На основании результатов проведенного анализа возникающий на «рассматриваемом производственном участке пожар может быть отнесен к категории Е, так как ещё одним поражающим фактором является электрический ток, поражение которым может произойти при тушении пожара. В таблице 7 представлены средства, обеспечивающие устранение опасных факторов такого пожара, которые следует быть готовым применить на рассматриваемом производственном участке» [8].

Таблица 7 – Средства устранения факторов пожара

«Первичные средства пожаротушения	Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.
Мобильные средства пожаротушения	Специализированные расчеты (вызываются)
Стационарные установки системы пожаротушения	Нет необходимости
Средства пожарной автоматики	Установки пожарной сигнализации, пожарного оповещения
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» [8]	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели

Особое внимание следует уделить средствам и мероприятиям, обеспечивающим предотвращение появления возгорания на рассматриваемом производственном участке. Для этого запрещается складирование на нем мусора, могущего стать потенциальным топливом, к такому мусору относятся ветошь, картон, бумага, элементы упаковки, куски пенопласта. Также запрещается хранение на производственном участке значительных количеств возгорающихся жидкостей. Необходимо проведение инструктажа персонала.

3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка

К технологическим процессам, реализуемым на современных предприятиях предъявляются требования не только по обеспечению безопасности по отношению к персоналу и пожарной безопасности, но и требования по бережному расходованию природных ресурсов, что заставляет при проектировании процессов рассматривать вопросы экологической безопасности. В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается процесс восстановительной и упрочняющей наплавки деталей машин, который может представлять опасность для элементов природы – гидросферы, литосферы и атмосферы. Для защиты атмосферы вентиляционная система, обслуживающая производственный участок, должна быть оснащена системой фильтров, обеспечивающей сбор и утилизацию выделяющихся вредных компонентов. Запрещается сжигание промышленного мусора, полученного в ходе функционирования рассматриваемого производственного участка. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Для защиты гидросферы запрещается сливать в канализационную систему цеха машинное масло и другие отходы производства. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Очистка и повторное использование технической воды, позволяющие уменьшить расход водных ресурсов. Запрещается использование для технических нужд питьевой воды. Для защиты литосферы следует обеспечить отдельный сбор и утилизацию промышленного мусора, возникающего в ходе «функционирования рассматриваемого производственного участка. Запрещается закапывание и несанкционированное выбрасывание промышленного мусора. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Рециклинг промышленных отходов, позволяющий значительно уменьшить негативную нагрузку со стороны предприятия на литосферу» [2].

Выводы по экологическому разделу

При выполнении настоящего раздела проведена оценка возможности внедрения предлагаемых технических решений в производство при условии соблюдения требований по производственной, пожарной и экологической безопасности. По результатам анализа операций проектного технологического процесса составлен перечень производственных факторов, как опасных, так и вредных, защита от действия которых реализуется путем применения стандартных средств и организационных мероприятий. Как установлено, необходимый уровень безопасности обеспечивается, и проведение специальной разработки не требуется. Оценка пожарной безопасности рассматриваемого производственного участка позволила сформулировать перечень средств и мероприятий по повышению пожарной безопасности и предотвращению возникновения пожара на предприятии. При составлении перечня средств и методик производственной и пожарной безопасности особое внимание уделено предупредительным мероприятиям, предусматривающим проведение инструктажа, соблюдение трудовой и производственной дисциплины, участие работников в обучении и тренировках. Также производственный участок был рассмотрен с точки зрения потенциальной опасности по отношению к природным ресурсам. Были предложены мероприятия по защите составляющих природы – атмосферы, литосферы и гидросферы от негативного воздействия со стороны производственного участка. Особое внимание предлагается уделить селективному сбору промышленных отходов и недопустимости несанкционированного их выбрасывания, что может привести к загрязнению гидросферы и литосферы. На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе технические решения не представляют существенной угрозы работникам предприятия и окружающей среде. Все возникающие при реализации проектной технологии негативные воздействия могут быть нейтрализованы с применением стандартных технических средств и методик.

4 Экономическая эффективность предлагаемых технических решений

4.1. Исходные данные для экономического расчёта

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности восстановительной и упрочняющей наплавки деталей машин. В качестве типовой детали для наплавки рассматривается лопатка смесителя, предназначенная для работы в условиях абразивного изнашивания и ударного действия. Во втором разделе настоящей выпускной квалификационной работы описано решение задач, выполнение которых позволяет построить проектную технологию восстановительной и упрочняющей наплавки. На основании экспертной оценки альтернативных способов наплавки для построения проектной технологии предлагается применить плазменную наплавку. Для расширения технологических возможностей способа наплавки предлагается применить разработку российских исследователей, позволяющую повысить эксплуатационные свойства наплавленного слоя. Составленная проектная технология ремонтной наплавки. Применение предлагаемых решений при реализации проектного технологического процесса по сравнению с базовой технологией позволяет получить комплексный положительный технологический эффект, выражающийся в одновременном повышении производительности выполняемых работ и их качества. За счёт повышения производительности ожидается снижение размеров фонда заработной платы, а повышение качества позволяет экономить на сварочных материалах, электрической энергии и фонде заработной платы, так как существенно снижается количество брака и работ по его исправлению. Исходные данные, которые будут применены для расчёта экономических показателей, представлены в таблице 8. Эти данные послужат для задания временных и экономических показателей базового и проектного вариантов технологии наплавки рассматриваемых деталей.

Таблица 8 – Данные для расчета экономических показателей производства

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Принимаемое значение по варианту технологии	
			базовый	проектный
«Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	1	1
Разряд работников	P_p	-	V	V
Часовая тарифная ставка	$Cч$	Р/час	200	200
Коэффициент доплат	$K_{доп}$	%	12	12
Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП	K_d	-	1,88	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
Коэффициент выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования	$Ц_{об}$	руб.	250 тыс.	900 тыс.
Норма амортизации оборудования	K_a	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	40	70
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
Стоимость электрической энергии	$Ц_{э-э}$	Р/ кВт	3,4	3,4
Коэффициент полезного действия	$K_{пд}$	-	0,7	0,7
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	S	м ²	400	400
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эксп}$	(Р/м ²)/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	Р/м ²	30000	30000
Норма амортизации площади	$На.пл.$	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	$K_{пл}$	-	3	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	E_n	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех}$	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [11]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

Дальнейшие экономические показатели рассчитываются на основании представленных в настоящей таблице исходных данных. Алгоритм оценки эффективности предусматривает отдельное определение временных показателей рассматриваемого производства, отдельный расчёт составляющих технологической себестоимости, цеховых и заводских расходов, капитальных вложений.

4.2 Фонд времени работы оборудования

Начальным этапом для расчета экономических показателей производства является определение его временных параметров, к которым, в первую очередь, следует отнести годовой фонд времени работы оборудования F_H и «эффективный фонд времени работы оборудования $F_Э$, связанные друг с другом через коэффициент рабочего времени B . Годовой фонд времени работы оборудования F_H в дальнейшем определяет годовую программу и влияет на последующие расчеты.

Рассматриваемое в настоящей выпускной квалификационной работе производство предусматривает работу в одну смену, таким образом, для расчетов принимается количество смен $K_{см}=1$. Общее число рабочих дней в одном календарном году принимается равным $D_p=277$. Нормальная продолжительность рабочей смены для проведения последующих расчетов принимается равной $T_{см}=8$ часов. В предпраздничные дни уменьшение продолжительности рабочей смены составляет $T_{п}=1$ час. Количество предпраздничных дней в году для выполнения расчетов принимается равным $D_{п}=7$ дней. На основании вышеизложенного может быть рассчитано значение годового фонда времени:

$$F_H = (D_p \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см} = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209 \text{ часов.} \quad (1)$$

Эффективный фонд времени работы оборудования позволяет учесть потери рабочего времени» [11] через коэффициент B , значение которого для рассматриваемого случая построения технологического процесса принимается $B=0,07$. На основании вышеизложенного

$$F_Э = F_H(1-B) = 2209 \cdot (1 - 0,07) = 2054 \text{ часов.} \quad (2)$$

Расчет показателей экономической эффективности в дальнейшем выполняем с учетом рассчитанного выше значения эффективного фонда времени $F_Э= 2054$ часа.

4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства

Расчёт капитальных вложений и экономической эффективности внедрения в производство предлагаемых решений требует для своего «проведения задания годовой программы производства Π_{Γ} . Для его определения предварительно следует задаться значением штучного времени $t_{шт}$ для базового и проектного вариантов технологии, которые могут упрощенно рассчитывать» [11] по составляющим: «машинное время $t_{маш}$, значение которого задается по результатам анализа особенностей базового и проектного вариантов технологического процесса; вспомогательное время $t_{всп}$, которое задается через машинное время и составляет 50 % от него; время на обслуживание рабочего места $t_{обсл}$, которое задается через машинное время и составляет 10 % от него; времени на личный отдых $t_{отд}$, которое задается через машинное время и составляет 10 % от него; подготовительно-заключительное время $t_{пз}$, которое задается через машинное время и составляет 5 % от него. Таким образом, расчёт штучного времени по упрощенной схеме» [11] выполняется как

$$t_{шт} = t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отд} + t_{пз} . \quad (3)$$

Расчёт по формуле (3) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы: $t_{шт} = 1,5 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 1,82$ часов. Расчёт по формуле (3) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы: $t_{шт} = 0,4 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 0,49$ часов.

Далее рассчитывается годовая программа как отношение эффективного фонда времени оборудования $F_{\text{э}}$ и штучного времени $t_{шт}$ как

$$\Pi_{\Gamma} = F_{\text{э}} / t_{шт} . \quad (4)$$

Расчёт по формуле (4) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы $\Pi_{\Gamma} = 2054/1,82 = 1128$ восстанавливаемых наплавкой деталей в год. Расчёт по формуле (4) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы $\Pi_{\Gamma} = 2054/0,49 = 4191$ восстанавливаемых наплавкой деталей в год. С учётом потребностей рассматриваемого производства для значения годовой программы принимается $\Pi_{\Gamma} = 1000$ восстанавливаемых наплавкой деталей в год. Далее следует выполнить расчёт количества оборудования $n_{\text{расч}}$ для проектного и базового вариантов технологического процесса, для чего «следует применить ранее рассчитанное значение эффективного фонда времени $F_{\text{э}}$, годовой программы Π_{Γ} и штучного времени $t_{\text{шт}}$ с учётом коэффициента выполнения нормы $K_{\text{вн}}$, значение которого в рассматриваемом варианте производства принимается $K_{\text{вн}} = 1,03$ » [21]:

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

«Расчёт по формуле (5) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования $n_{\text{расч.}} = 1,82 \cdot 1000 / (2054 \cdot 1,03) = 0,81$. Расчёт по формуле (5) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования $n_{\text{расч.}} = 0,49 \cdot 1000 / (2054 \cdot 1,03) = 0,22$. Следует принять ближайшее большее натуральное значение, которое для проектного и базового вариантов составляет по одному. Коэффициент загрузки оборудования $K_{\text{з}}$, который рассчитывается как отношение расчётного и принимаемого количества оборудования по вариантам технологии» [11]:

$$K_{\text{з}} = n_{\text{расч}} / n. \quad (6)$$

Расчёт по формуле (6) для базового и проектного вариантов позволяет получить $K_{\text{з}} = 0,8/1 = 0,8$ и $K_{\text{з}} = 0,22/1 = 0,22$ соответственно, что объясняется повышением производительности труда.

4.4 Заводская себестоимость

Для определения размеров технологической себестоимости $C_{\text{тех}}$ проведения работ согласно рассматриваемым вариантам технологического процесса необходимо выполнить отдельный расчёт составляющих: «затрат на материалы M , фонда заработной платы ФЗП, отчислений на социальные нужды $O_{\text{сс}}$, затрат на оборудование $Z_{\text{об}}$ и затрат на площади $Z_{\text{пл}}$. Расчёт расходов на сварочные материалы проводится с учётом их цены $C_{\text{м}}$, нормы расхода $N_{\text{р}}$ и коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{\text{тз}}$, значение которого для рассматриваемого производства согласно таблице исходных данных составляет $K_{\text{тз}} = 1,05$ » [11]:

$$M = C_{\text{м}} \cdot N_{\text{р}} \cdot K_{\text{тз}} . \quad (7)$$

«Расчёт по формуле (7) для базового варианта технологии позволяет получить $M=3000 \cdot 0,08 \cdot 1,05 = 252$ руб. Расчёт по формуле (7) для проектного варианта позволяет получить $M_{\text{баз}}=90 \cdot 0,6 \cdot 1,05 + 50 \cdot 0,3 \cdot 9 \cdot 1,05 = 56,70 + 41,75 = 198,45$ руб.

Фонд заработной платы ФЗП предприятия характеризует расходы на основную заработную плату $Z_{\text{осн}}$ и дополнительную заработную плату $Z_{\text{доп}}$ [11], которые рассчитываются с учетом часовой тарифной ставки $C_{\text{ч}}$, коэффициента доплат $K_{\text{д}}$ и коэффициента дополнительных затрат $K_{\text{доп}}$. Для рассматриваемого производства по таблице исходных данных принимается $C_{\text{ч}}=200$ руб., $K_{\text{д}}=1,88$ и $K_{\text{доп}}=0,12$. Расчёт величины $Z_{\text{осн}}$:

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

Применение (8) для базового варианта позволяет получить величину $Z_{\text{осн}} = 1,82 \cdot 200 \cdot 1,88 = 684,32$ руб. Применение (8) для проектного варианта позволяет получить величину $Z_{\text{осн}} = 0,49 \cdot 200 \cdot 1,88 = 184,24$ руб.

Расчёт величины $Z_{\text{доп}}$ предусматривает применение следующей математической зависимости:

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

Применение (9) для базового варианта позволяет получить величину $Z_{\text{доп}} = 684,32 \cdot 0,12 = 82,12$ руб. Применение (9) для проектного варианта позволяет получить величину $Z_{\text{доп}} = 184,24 \cdot 0,12 = 22,11$ руб.

Расчёт величины ФЗП:

$$\text{ФЗП} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}. \quad (10)$$

Применение (10) для базового варианта позволяет получить величину $\text{ФЗП} = 684,32 + 82,12 = 766,44$ руб. Применение (10) для проектного варианта позволяет получить величину $\text{ФЗП} = 184,24 + 22,11 = 206,35$ руб.

Уменьшение значения ФЗП для проектного варианта по сравнению с базовым вариантом технологии происходит по причине повышения производительности труда, а не снижения часовой тарифной ставки, таким образом, работники предприятия с учётом снижения трудоемкости процесса не теряют в заработной плате.

«Размер отчислений на социальные нужды $O_{\text{сн}}$ определяется с учетом ранее определенных значений ФЗП для рассматриваемых вариантов и коэффициента отчислений на социальные нужды $K_{\text{сн}}$, значение которого для рассматриваемого производства» [11] из таблицы исходных значений принимается $K_{\text{сн}} = 0,34$. Расчёт величины $O_{\text{сн}}$:

$$O_{\text{сн}} = \text{ФЗП} \cdot K_{\text{сн}}. \quad (11)$$

Применение (11) для базового варианта позволяет получить величину $O_{\text{сн}} = 766,44 \cdot 0,34 = 260,59$ руб. Применение (11) для проектного варианта позволяет получить величину $O_{\text{сн}} = 206,35 \cdot 0,34 = 70,16$ руб. Для того, чтобы рассчитать размер затрат на оборудование $Z_{\text{об}}$, необходимо предварительно определить составляющие: амортизационные отчисления $A_{\text{об}}$ и затраты на электрическую энергию $P_{\text{э}}$. При расчете величины $A_{\text{об}}$ применяются ранее определенные значения $F_{\text{э}}$ и $t_{\text{маш}}$, а также принятые для рассматриваемого

производства норма амортизации H_a и стоимость оборудования $\Pi_{об}$, значения которых берутся из таблицы исходных данных. Расчёт величины $A_{об}$:

$$A_{об} = \frac{\Pi_{об} \cdot H_a \cdot t_{маш}}{F_3 \cdot 100}. \quad (12)$$

Применение (12) для базового варианта позволяет получить величину $A_{об} = 250000 \cdot 21,5 \cdot 1,82 / 2054 / 100 = 14,37$ руб. Применение (12) для проектного варианта даёт $A_{об} = 900000 \cdot 21,5 \cdot 0,49 / 2054 / 100 = 46,16$ руб. Увеличение амортизационных отчислений в проектном варианте технологии по сравнению с базовым вариантом технологии объясняется применением более сложного технологического оборудования больше стоимости.

Для расчёта величины $P_{ээ}$ выполняется применяется цена электрической энергии $\Pi_{ээ}$, установленная мощность применяемого оборудования $M_{уст}$, машинное время $t_{маш}$ и коэффициент полезного действия. Эти значения были рассчитаны ранее или принимаются из таблицы исходных данных. Расчёт величины $P_{ээ}$:

$$P_{ээ} = M_{уст} \cdot t_{маш} \cdot \Pi_{ээ} / \text{КПД}. \quad (13)$$

Применение (13) для базового варианта позволяет получить величину $P_{ээ} = 40 \cdot 1,82 \cdot 3,2 / 0,7 = 332,80$ руб. Применение (13) для проектного варианта позволяет получить величину $P_{ээ} = 70 \cdot 0,49 \cdot 3,2 / 0,85 = 129,12$ руб.

Величина затрат на оборудование $Z_{об}$ определяется как сумма $A_{об}$ и $P_{ээ}$:

$$Z_{об} = A_{об} + P_{ээ}. \quad (14)$$

Применение (14) для базового варианта позволяет получить величину «затрат на оборудование $Z_{об} = 14,37 + 332,80 = 347,17$ руб. Применение (14) для проектного варианта позволяет получить величину $Z_{об} = 46,16 + 129,12 = 175,28$ руб.

Полученные значения составляющих позволяют рассчитать полное значение технологической себестоимости $C_{тех}$ выполняется как сумма затрат

на материалы M , фонда заработной платы ФЗП, отчислений на социальные нужды O_{cc} , затрат на оборудование $Z_{об}$, затрат на площади $Z_{пл}$:

$$C_{тех} = M + \text{ФЗП} + O_{cc} + Z_{об} + Z_{пл}. \quad (15)$$

Применение (15) для базового варианта позволяет получить величину $C_{тех} = 252 + 766 + 261 + 347 + 164 = 1790$ руб. Применение (15) для проектного варианта позволяет получить $C_{тех} = 198 + 206 + 70 + 175 + 76 = 725$ руб.» [11].

Снижение технологической себестоимости в проектном варианте технологии обеспечивается за счёт уменьшения размеров фонда заработной платы, затрат на материалы и затрат на оборудование, что объясняется применением более производительного оборудования с расширенными технологическими возможностями.

Для расчётного определения «цеховой себестоимости $C_{цех}$ необходимо применить ранее рассчитанное значение технологической себестоимости $C_{тех}$ и основной заработной платы $Z_{осн}$, а также коэффициент цеховых расходов $K_{цех}$, значение которого для рассматриваемого производства принимается из таблицы исходных данных $K_{цех}=1,5$. Расчёт величины $C_{цех}$:

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

Применение (16) для базового варианта позволяет получить величину $C_{цех}=1790 + 1,5 \cdot 684,32 = 1790 + 1026 = 2816$ руб. Применение (16) для проектного варианта позволяет получить $C_{цех}=725 + 1,5 \cdot 184,24 = 725 + 276 = 1001$ руб.

Для расчётного определения заводской себестоимости $C_{зав}$ необходимо применить ранее рассчитанные значения цеховой себестоимости $C_{цех}$ и основной заработной платы $Z_{осн}$, а также коэффициент заводских расходов $K_{зав}$, значение которого для рассматриваемого производства принимается из таблицы исходных значений $K_{зав}=1,15$. Расчёт величины $C_{зав}$:

$$C_{зав} = C_{цех} + Z_{осн} \cdot K_{зав}. \quad (17)$$

Применение (17) для базового варианта позволяет получить значение $C_{зав} = 2816 + 1,15 \cdot 684,32 = 2816 + 787 = 3603$ руб. Применение (17) для проектного варианта дает $C_{зав} = 1001 + 1,15 \cdot 184,24 = 1001 + 212 = 1213$ руб.

Для анализа которых на рисунке 25 представлена диаграмма, демонстрирующая состав заводской себестоимости по базовому и проектному вариантам технологического процесса» [11]. Калькуляция представлена в таблице 9.

Таблица 9 – Калькуляция заводской себестоимости

Показатель	Обозначение	Базовый	Проектный
1. «Затраты на материалы	М	252	198
2. Фонд заработной платы	ФЗП	766	206
3. Отчисления на соц. нужды	Осн	261	70
4. Затраты на оборудование	Зоб	347	175
5. Затраты на площади	Зпл	164	76
5. Технологическая себестоимость	Стех	1790	725
6. Цеховые расходы	Рцех	1026	276
7. Цеховая себестоимость	Сцех	2816	1001
8. Заводские расходы	Рзав	787	212
9. Заводская себестоимость» [11]	Сзав	3603	1213

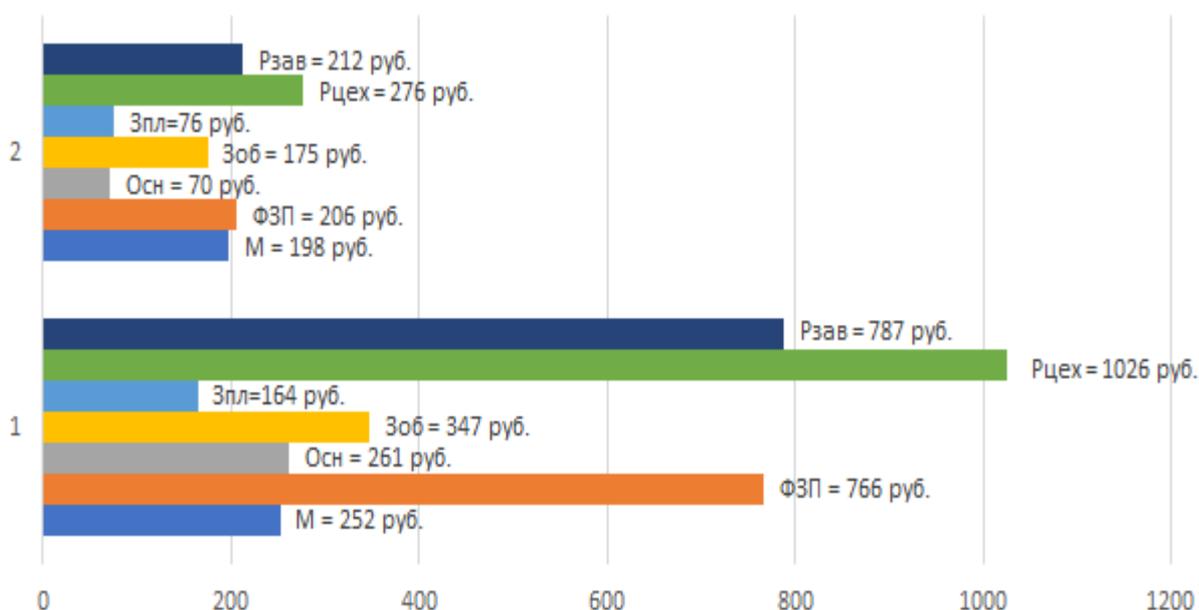


Рисунок 9 – Состав заводской себестоимости

Далее для расчётного определения показателей экономической эффективности требуется рассчитать капитальные затраты.

4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам

«Первоначально следует определиться с величиной остаточной стоимости оборудования $\Pi_{об.б.}$, использование которого выполнялось при реализации базовой технологии. При продолжительности эксплуатации $T_c=3$ года и цене оборудования $\Pi_{перв.} = 250$ тыс. руб. с учетом нормы амортизационных отчислений $H_a=21,5\%$ » [11]:

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

«Применение (18) для базового варианта позволяет получить величину $\Pi_{об.б.} = 250000 - (250000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 88750$ руб.» [11]

Величина общих капитальных затрат $K_{общ.б.}$ в базовом варианте технологии рассчитывается по ранее полученному коэффициенту загрузки K_z и остаточной стоимости $\Pi_{об.б.}$:

$$K_{общ.б.} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{z.б.} = 1 \cdot 88750 \cdot 0,81 = 71888 \text{ рублей.} \quad (19)$$

«Капитальные затраты на оборудование при реализации проектного технологического процесса $K_{об.пр.}$ рассчитываются с учётом цены оборудования по проектному варианту $\Pi_{об.пр.}$, коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{тз}$ и коэффициента загрузки оборудования K_z , расчётное значение которого составляет $K_z=0,22$. Из таблицы исходных данных принимается $\Pi_{об.пр.} = 900$ тыс. рублей, $K_{тз}=1,05$. Капитальные затраты по на оборудование по проектному варианту составят» [11]

$$K_{об.пр.} = \Pi_{об.пр.} \cdot K_{тз} \cdot K_{зп} = 900000 \cdot 1,05 \cdot 0,22 = 207900 \text{ руб.} \quad (20)$$

«Далее рассчитывают расходы на демонтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на демонтаж $K_{дем}=0,05$ и цены оборудования $\Pi_{об.б.} = 250$ тыс. рублей определяют как» [11]

$$P_{дем} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{д} = 1 \cdot 250000 \cdot 0,05 = 12500 \text{ руб.} \quad (21)$$

«Далее рассчитывают расходы на монтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на монтаж $K_{\text{мон}}=0,05$ и цены оборудования $C_{\text{об.пр.}}=900$ тыс. рублей определяют как» [11]

$$P_{\text{монт}} = C_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{м}} = 900000 \cdot 0,05 = 45000 \text{ рублей.} \quad (22)$$

«Далее рассчитываем величину сопутствующих расходов как сумму расходов на демонтаж $P_{\text{дем}}$ и расходов на монтаж $P_{\text{монт}}$ » [11]:

$$K_{\text{соп}} = P_{\text{дем}} + P_{\text{монт}} = 12500 + 45000 = 57500 \text{ рублей.} \quad (23)$$

«Величину капитальных затрат по проектной технологии $K_{\text{общ.пр.}}$ рассчитывается как сумма сопутствующих расходов $K_{\text{соп}}$ и капитальных затрат на оборудование $K_{\text{об.пр.}}$ » [11]:

$$K_{\text{общ. пр.}} = K_{\text{об. пр.}} + K_{\text{соп.}} = 207900 + 57500 = 265400 \text{ руб.} \quad (24)$$

«Размер дополнительных капитальных затрат $K_{\text{доп}}$ вычисляется с учётом ранее определенных капитальных затрат по базовой технологии $K_{\text{общ. б.}}$ и капитальных затрат по проектной технологии $K_{\text{общ. пр.}}$ » [11]:

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общпр}} - K_{\text{общб}} = 265400 - 71888 = 311888 \text{ рублей.} \quad (25)$$

«Размер удельных капитальных затрат $K_{\text{уд}}$ рассчитывается по капитальным вложениям $K_{\text{доп}}$ с учётом годовой программы $\Pi_{\text{Г}}$ » [11]:

$$K_{\text{уд}} = K_{\text{общ}} / \Pi_{\text{Г}}. \quad (26)$$

«Для базового варианта технологического процесса величина удельных капитальных затрат составляет $K_{\text{уд}} = 71888/1000 = 71,8$ рублей» [11] за одну наплавленную деталь. Для проектного варианта технологического процесса величина удельных капитальных затрат составляет $K_{\text{уд}} = 265400/1000 = 265,4$ рублей за одну наплавленную деталь. Далее предлагается провести расчёт показателей эффективности проектного варианта.

4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей

Доказательство целесообразности внедрения предлагаемых технологических решений в современное производство выполняется по результатам анализа «показателей экономической эффективности». Снижение трудоемкости $\Delta t_{шт}$ оценивается по изменению значения штучного времени $t_{шт}$:

$$\Delta t_{шт} = (t_{шт\ б} - t_{шт\ пр}) \cdot 100 \% / t_{шт\ б} = (1,82 - 0,49) \cdot 100 \% / 1,82 = 73 \% . (27)$$

Расчёт повышения производительности труда Π_T :

$$\Pi_T = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}) = 100 \cdot 73 / (100 - 73) = 270 \% . (28)$$

Расчёт снижения технологической себестоимости:

$$\Delta C_{тех} = (C_{тех.б.} - C_{тех.пр.}) \cdot 100 \% / C_{тех.б.} = (1790 - 725) \cdot 100 \% / 1790 = 59 \% (29)$$

Условно-годовая экономия $\mathcal{E}_{уг}$ позволяет оценить величину экономического эффекта без учета капитальных вложений и рассчитывается с учётом разности заводской себестоимости $C_{зав}$ по вариантам технологии и годовой программы Π_T [11]:

$$\mathcal{E}_{уг} = (C_{зав.б.} - C_{зав.пр.}) \cdot \Pi_T = (3603 - 1213) \cdot 1000 = 2390000 \text{ рублей} . (30)$$

Эффективность внедрения предлагаемых технологических решений характеризуется сроком окупаемости $T_{ок}$:

$$T_{ок} = K_{доп} / \mathcal{E}_{уг} = 311888 / 239000 = 0,3 \text{ года} . (31)$$

Расчёт годового экономического эффекта \mathcal{E}_T с учетом коэффициента окупаемости затрат $E_H = 0,33$:

$$\mathcal{E}_T = \mathcal{E}_{уг} - E_H \cdot K_{доп} = 2390000 - 0,33 \cdot 311888 = 2287077 \text{ рублей} . (32)$$

С использованием рассчитанных показателей эффективности можно судить о целесообразности внедрения предлагаемых решений.

Выводы по экономическому разделу

В исполнительском разделе рассматривался вопрос построения технологии восстановительной и упрочняющей наплавки деталей машин. Базовый процесс предусматривает применение ручной дуговой наплавки. Проведено обоснование применения плазменной порошковой наплавки для реализации проектной технологии. Далее составлена проектная технология, реализованная применительно к рассматриваемому изделию. Применение предлагаемых решений при реализации проектного технологического процесса по сравнению с базовой технологией позволяет получить комплексный положительный технологический эффект, выражающийся в одновременном повышении производительности выполняемых работ и их качества. За счёт повышения производительности ожидается снижение размеров фонда заработной платы, а повышение качества позволяет экономить на сварочных материалах, электрической энергии и фонде заработной платы, так как существенно снижается количество брака и работ по его исправлению. С учетом исходных данных и рассчитанных временных параметров процесса в базовом и проектном вариантах технологии выполнен расчёт составляющих технологической себестоимости проведения сварочных работ. При расчётах установлено, что внедрение предлагаемых технологических решений позволяет уменьшить размер фонда заработной платы и отчислений на социальные нужды за счёт повышения производительности труда. Также это привело к значительному уменьшению цеховых и заводских расходов, что положительно сказалось на уменьшении заводской себестоимости проведения наплавочных работ. Трудоемкость выполнения работ уменьшается на 73 %, производительность процесса повышается на 270 %. За счёт уменьшения размера основных составляющих технологической себестоимости её величина уменьшается на 59 %. При капитальных вложениях 312 тыс. рублей срок окупаемости составляет 0,3 года, а экономический эффект составляет 2,29 млн. рублей.

Заключение

В выпускной квалификационной работе рассматривается вопрос износостойкой наплавки на высокопрочную сталь. В качестве типовой детали принята лопатка гравитационного смесителя.

Базовая технология, анализ которой выполнен в первом разделе работы, предусматривает применение ручной дуговой сварки специальными электродами. Помимо высокой трудоемкости и тяжелых условия труда сварщика, которые характеризуют применение ручной дуговой наплавки, этот способ не позволяет получить требуемых эксплуатационных характеристик восстановленного гребного винта, что заставляет искать способы совершенствования базовой технологии восстановительной наплавки.

Анализ способов наплавки, который выполнен во втором разделе работы, позволил обосновать для составления проектной технологии применить плазменную наплавку. Для расширения технологических возможностей способа наплавки предлагается применить разработку российских исследователей, позволяющую повысить эксплуатационные свойства наплавленного слоя. Составленная проектная технология ремонтной наплавки может быть реализована на значительном количестве предприятий Российской Федерации с применением имеющегося в наличии сварочного оборудования.

На основании выполнения настоящего оценочного (экологического) раздела следует сделать вывод, что предлагаемая проектная технология не нарушает установленных нормативной документацией требований по производственной, пожарной и экологической безопасности.

Трудоемкость выполнения работ уменьшается на 73 %, производительность процесса повышается на 270 %. За счёт уменьшения размера основных составляющих технологической себестоимости её величина уменьшается на 59 %. Экономический эффект составляет 2,29 млн. рублей. Поставленная в работе цель достигнута.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Авторское свидетельство № 1761402 СССР, МКИ В23К9/04. Способ плазменной наплавки / Стеклов О. И., Алексеев А. В. Смирнов В. И. – № 4787609/08, заяв. 01.02.90; опубл. 15.09.92, Бюл. № 34. 4 с.
2. Батищев А. Н. Методика обоснования рационального способа восстановления изношенных деталей // Современное оборудование и технологические процессы для восстановления и упрочнения деталей машин: тез. докл. науч.-техн. конф. стран – членов СЭВ «Ремдеталь-88», 17–21 октября 1988 г., г. Пятигорск. М., 1988. Ч. 1. С. 23–24.
3. Белик А. Г., Ефременко Б. В., Чейлях Я. А. Способы широкослойной наплавки износостойких сплавов // Вестник Приазовского государственного университета. 2016. № 33. С. 63-67.
4. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.
5. Васильев Н. Г., Галиев И. И., Васильева Т. Н. Выбор способа восстановления изношенных деталей // Сварочное производство. 1996. № 7. С. 13–15.
6. Власов В. М., Нечаев Л. М., Фомичева Н. Б., Фомичева Е. В. Влияние дефектов, возникающих в процессе наплавки, на механические характеристики металла // Современ. наукоемкие технологии. 2004. № 1. С. 9–11.
7. Габельченко Н. И., Белов А. А., Кидалов Н. А. Исследование износостойкости материалов лопаток для смесителей-пневмонагнетателей // Известия Самарского научного центра Российской академии наук 2016. № 1. С. 175-178.
8. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИИ, 2000. 68 с.
9. Данилов П. А. Повышение эффективности восстановления работоспособности изношенных деталей на основе обоснованного выбора технологических методов восстановления их эксплуатационных свойств :

дис. ... канд. техн. наук. М. : Московский гос. техн. университет «СТАНКИН». 2010.

10. Иванов В. П. Выбор способа восстановления деталей // Наука и техника. 2016. № 1. С. 9–17.

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

12. Лебедев В. А., Лендел И. В. Совершенствование механизированной дуговой сварки и наплавки нержавеющей сталей с импульсной подачей электродной проволоки // ВІСНИК Донбаської державної машинобудівної академії. 2016. № 2. С. 156–159.

13. Макаренко Н. А., Богуцкий А. А., Грановская Н. А. 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.

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

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

16. Михальченков А. М., Ульянова Н. Д., Феськов С. А. Механические свойства термоупрочнённой стали 65Г, поверхностно-армированной наплавкой твёрдым сплавом // Agricultural Engineering. 2021. № 3. С. 63–68.

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

18. 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.
19. Павлова И. А., Павлов А. С. Технико-экономический анализ при внедрении инновации на производственном предприятии // Экономический анализ: теория и практика. 2014. № 40. С. 14–21.
20. Петришин Г. В., Быстренков В. М., Одарченко В. И. Метод обеспечения износостойкости лопаток лопастных смесителей // Литье и металлургия. 2019. № 2. С. 32-35.
21. Походня И. К., Шлепаков В. Н., Максимов С. Ю. Исследования и разработки ИЭС им. Е. О. Патона в области электродуговой сварки и наплавки порошковой проволокой // Автоматическая сварка. 2010. № 12. С. 34-42.
22. Рябцев И. А., Переплетчиков Е. Ф., Миц И. В. Влияние исходной структуры и гранулометрического состава порошка на структуру металла 10P6M5, наплавленного плазменно-порошковым способом // Автоматическая сварка. 2007. № 10. С. 23–27.
23. Розерт Р. Применение порошковых проволок для сварки в промышленных условиях // Автоматическая сварка. 2014. № 6–7. С. 60–64.
24. Сидоров А. И. Восстановление деталей машины напылением и наплавкой // М. : Машиностроение, 1987. 192 с.
25. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов. Санкт-Петербург : Лань, 2021. 268 с.
26. Сорокин В. Г., Волосникова А. В., Вяткин А. В. Марочник сталей и сплавов. М. : Машиностроение, 1989. 640 с.
27. Шлепаков В. Н., Гаврилюк Ю. А., Котельчук А. С. Современное состояние разработки и применения порошковых проволок для сварки углеродистых и низколегированных сталей // Автоматическая сварка. 2010. № 3. С. 46–51.