

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 Технология восстановления элементов трубопроводной
арматуры

Обучающийся

Е.Н. Плеханов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

ст. преподаватель Д.Э. Советкин

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

Консультанты

к.э.н., доцент Е.Г. Смышляева

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

к.т.н., доцент Д.А. Романов

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

Тольятти 2024

Аннотация

Работа запорной арматуры проходит в тяжелейших условиях, для обеспечения безотказности элементов арматуры необходимо проведение наплавки на их поверхности материалов, имеющих высокую твердость и стойкость по отношению к коррозии и эрозии. Шиббер и седла задвижек изготавливают из высокопрочной стали, а на их рабочие поверхности наплавляют специальное покрытие, состав которого обеспечивает защиту против коррозии и эрозии.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества восстановления рабочих поверхностей запорной трубной арматуры.

Предварительный анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности восстановительной наплавки деталей запорной арматуры позволил сформулировать задачи на исполнительский раздел.

В ходе выполнения исполнительского раздела на основании анализа источников-научно-технической информации принято решение применить плазменно-порошковую наплавку, для которой составлена проектная технология, назначены параметры режима и оборудование.

В ходе выполнения оценочных разделов проведена идентификация опасных и вредных производственных факторов, негативно влияющих на персонал и окружающую среду, предложены мера защиты от них. Также на основании анализа результатов расчета изменяющихся экономических показателей сделан вывод о целесообразности внедрения предлагаемых решений в производство. Годовой экономический эффект составляет около двух миллионов рублей. Результаты работы предлагаются к внедрению на ремонтных предприятиях.

Содержание

Введение	5
1 Современное состояние восстановления элементов запорной арматуры.	7
1.1 Конструкция и условия работы изделия.	7
1.2 Сведения о материале, из которого выполняются рабочие элементы запорной арматуры.	11
1.3 Операции базового технологического процесса наплавки.	12
1.4 Анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности наплавки	16
1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы.	18
2 Проектная технология восстановительной наплавки.	20
2.1 Обоснование толщины наплавляемого слоя.	20
2.2 Плазменная наплавка элементов запорной арматуры	21
2.3 Лазерная наплавка элементов запорной арматуры	23
2.4 Наплавка проволокой сплошного сечения в защитных газах.	25
2.5 Наплавка порошковой проволокой.	28
2.6 Обоснование выбора способа восстановления элементов запорной арматуры.	31
2.7 Технология восстановительной плазменной наплавки.	32
3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений.	36
3.1 Постановка задачи. Характеристика технологического объекта.	36
3.2 Идентификация профессиональных рисков.	37
3.3 Устранение возникающих профессиональных рисков.	39
3.4 Обеспечение пожарной безопасности.	40
3.5 Экологическая безопасность.	42
4 Экономическое обоснование проектных решений.	44
4.1 Анализ исходных данных для выполнения экономического обоснования.	44

4.2 Фонд времени оборудования.	46
4.3 Штучное время и годовая программа.	47
4.4 Заводская себестоимость рассматриваемых вариантов технологии.	49
4.5 Расчёт капитальных затрат.	54
4.6 Расчёт экономических показателей.	56
Заключение	58
Список используемой литературы и используемых источников.	59

Введение

На газовых и нефтяных промыслах одним из элементов трубопровода, отвечающим за безопасность персонала, являются задвижки, корректная работа которых направлена на перекрытие поступления горючего продукта. Нарушение работы задвижки может привести к экологической катастрофе и человеческим жертвам [11]. Работа запорной арматуры проходит в тяжелейших условиях, для обеспечения безотказности элементов арматуры необходимо проведение наплавки на их поверхности материалов, имеющих высокую твёрдость и стойкость по отношению к коррозии и эрозии. «Шиббер и седла задвижек изготавливают из высокопрочной стали, а на их рабочие поверхности наплавляют специальное покрытие, состав которого обеспечивает защиту» [11] против коррозии и эрозии. При использовании задвижки её элементы подвергаются интенсивному износу, в результате которого рабочая поверхность затворов и седел истирается. Поэтому становится необходимым либо замена элементов (или все задвижки), либо восстановление работоспособности элементов.

Как показывает практика строительства трубопроводов различного назначения, на запорную арматуру приходится приблизительно 10...12 % всех затрат на содержание трубопровода [16], [25].

В настоящее время следование мировой экологической повестке заставляет принимать меры по обеспечению экономии электрической энергии и материалов при проведении технологических процессов. С точки зрения расходования энергии и металла процесс изготовления новых элементов задвижек намного более затратен, чем их восстановление с применением сварочных и наплавочных технологий. Таким образом, ресурсосбережение будет обеспечиваться именно при восстановительной наплавке рабочих поверхностей арматуры.

Применение современных технологий сварки и наплавки позволяет не только восстановить до исходных размеры детали, но и повысить

эксплуатационные свойства восстанавливаемой детали, в результате чего она по некоторым параметрам будет превосходить новую деталь. Таким образом, вторичные ресурсы, которыми являются отработавшие и отбракованные детали, становятся новым источником материальных благ.

Кроме того, внедрение технологий восстановления деталей машин позволяет обеспечить независимость российской промышленности от иностранных комплектующих, что особенно важно в настоящих условиях [13], [17], [18], [27].

Вопросы наплавки рабочих поверхностей запорной арматуры посвящено значительное количество работ, на мировом рынке технологий, материалов и оборудования присутствует значительное количество решений, правильность выбора которых с учётом исходных данных представляет собой самостоятельную задачу [22]. При этом для выполнения наплавки рабочих поверхностей арматуры применяются различные способы: «механизированная наплавка в защитных газах проволокой сплошного сечения и порошковой проволокой, наплавка под слоем флюса, лазерная и плазменная наплавка. Для построения проектной технологии необходим обоснованный выбор способа восстановления с учётом правильного понимания всех преимуществ и недостатков каждого способа» [22].

На основании вышеизложенного следует признать актуальность выбранного направления исследований и поставленной цели – повышение производительности и качества восстановления рабочих поверхностей запорной трубной арматуры.

Достижение поставленной цели должно быть основано на применении мирового и российского опыта, предлагаемые решения должны учитывать особенности российского внутреннего рынка оборудования и технологий. Применение отечественных разработок позволяет помимо экономического эффекта достигнуть независимости отечественного производителя от поставок импортных комплектующих [5], [23].

1 Современное состояние восстановления элементов запорной арматуры

1.1 Конструкция и условия работы изделия

При построении технологических и промышленных трубопроводов широкое применение получили задвижки, позволяющие эффективно перекрывать потоки газа и жидкости [8]. На рисунке 1 представлена клиновидная задвижка, в состав которой входит маховик, представленный на рисунке позицией 1, крышка манжеты и сама манжета, представленные на рисунке соответственно позициями 2 и 3. Также в состав клиновидной задвижки входят шпindel с буртом, который обозначен на схеме позицией 4. «Между корпусом задвижки (позиция 8) и крышкой задвижки (позиция 5) располагается прокладка, которая обозначена на схеме позицией 6. Внутри корпуса располагается клин и кольцо, которые обозначены на схеме позициями 8 и 9» [4].

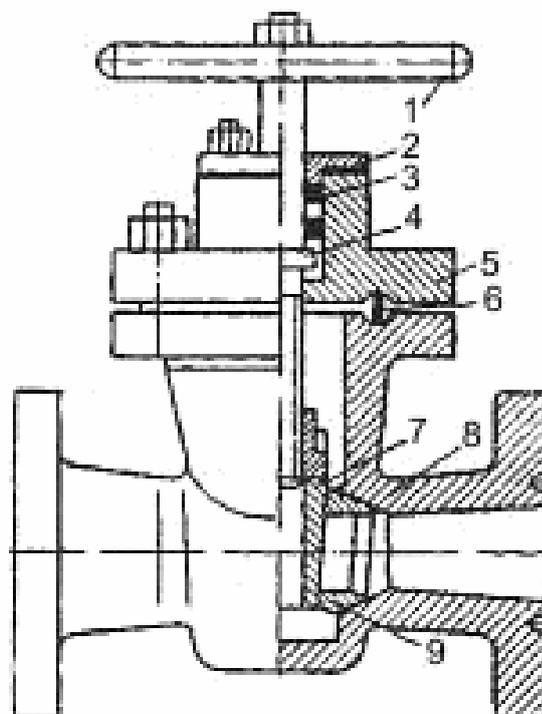


Рисунок 1 – Устройство клиновидной задвижки

Клиновидная задвижка имеет наиболее простую конструкцию и меньшую стоимость по сравнению с прямооточной задвижкой, которая представлена на рисунке 2. Однако ряд недостатков заложены в самой конструкции клиновидной задвижки и определяют особенности её использования. Главным недостатком конструкции является омывание клина и кольца потоками идущей взвеси продукта, что приводит к ускоренной их эрозии под действием содержащихся во взвеси твёрдых частиц. Кроме того, в полости задвижки происходит образование различных завихрений, выпадают в осадок примеси и соли.

Представленная на рисунке 2 прямооточная задвижка включает маховик 1, вращение которого происходит относительно корпуса подшипника 2. Шпindel 4 перемещается в крышке задвижки 3, между которой и корпусом 11 размещается прокладка 5. Поршнями 6 под давлением среды смазка поступает к местам уплотнения плашек 10 по шейке корпуса 7. В состав задвижки также входят гайка плашек 8 и втулка 9.

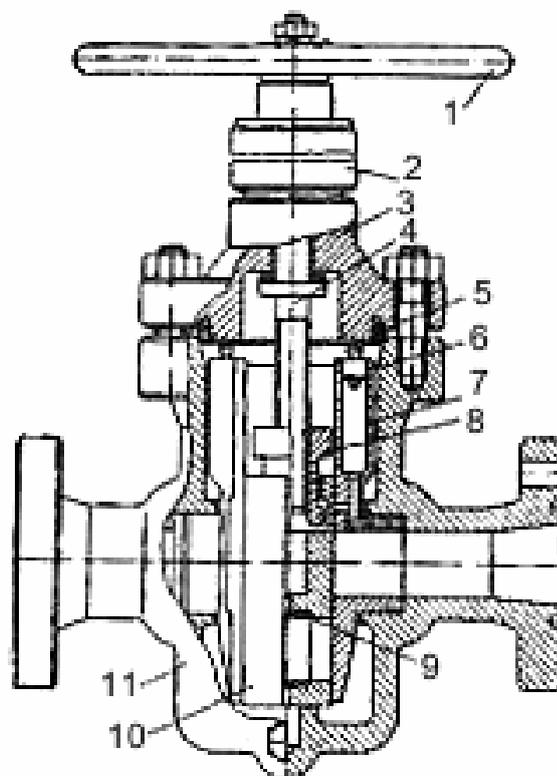


Рисунок 2 – Устройство прямооточной задвижки

Интенсивный износ элементов задвижек происходит по целому ряду причин [4], [33]. В качестве первой причины износа задвижек следует указать попадающие в транспортируемый продукт твердые частицы породы которые приводят к интенсивному истиранию поверхностей задвижки. В качестве второй причины следует указать наличие в транспортируемом продукте коррозионных примесей, которые вызывают химическую деградацию рабочих поверхностей задвижки. В качестве третьей причины следует указать образование в полостях задвижки турбулентных потоков высокой скорости, которые вызывают эрозионный износ поверхности элементов задвижки.

Также при длительном нахождении шибера задвижки в одном состоянии происходит прикипание шибера к седлам, которое также вызывает выход из строя элементов задвижки.

Для того, чтобы обеспечить длительную сохранность свойств запорной арматуры, её элементы должны обладать высокой стойкостью по отношению к коррозии и эрозии. Для этого при изготовлении элементов запорной арматуры поверхности наплавливают с применением соответствующих материалов. При длительной эксплуатации происходит износ на затворе задвижки, которая представлена на рисунке 3, и седле задвижки, которое представлено на рисунке 4.

На рисунке 3 представлен затвор задвижки, в состав которого входят следующие элементы: упорная шайба (показана на рисунке позицией 1), «центратор (позиция 2), шток (обозначен на рисунке позицией 3), корпус (обозначен на рисунке позицией 4), упор нижний (обозначен на рисунке позицией 5) и фиксатор (обозначен на рисунке позицией 6). Скорость и характер износа элементов задвижки в значительной степени определяется условиями работы, при этом сами условия характеризуются значительным числом факторов, среди которых следует выделить определяющие: давление транспортируемой среды и её состав, температура транспортируемой среды, количество циклов работы задвижки» [4].

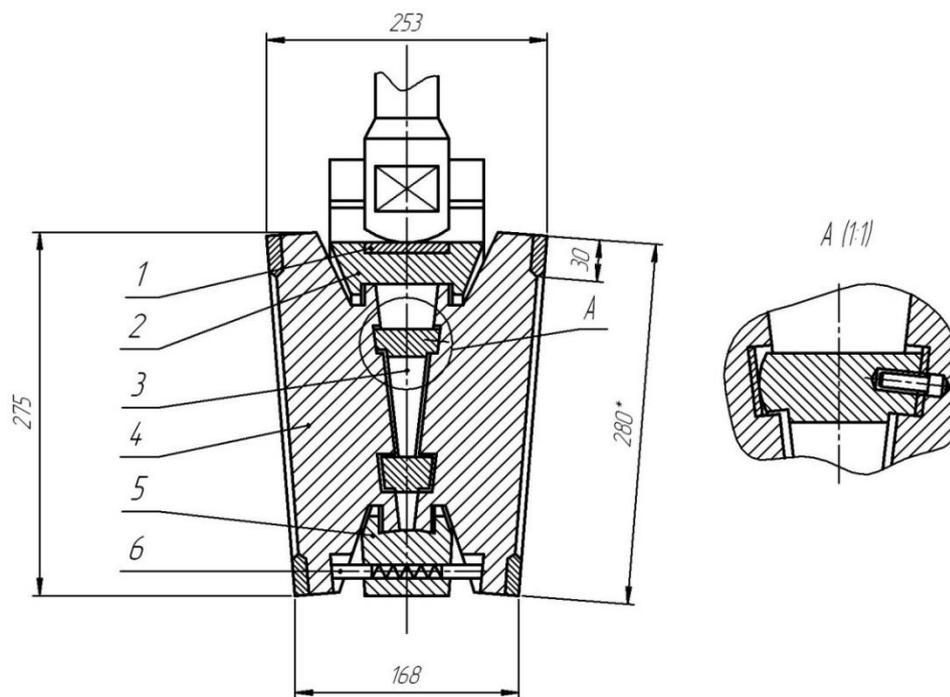


Рисунок 3 – Затвор задвижки

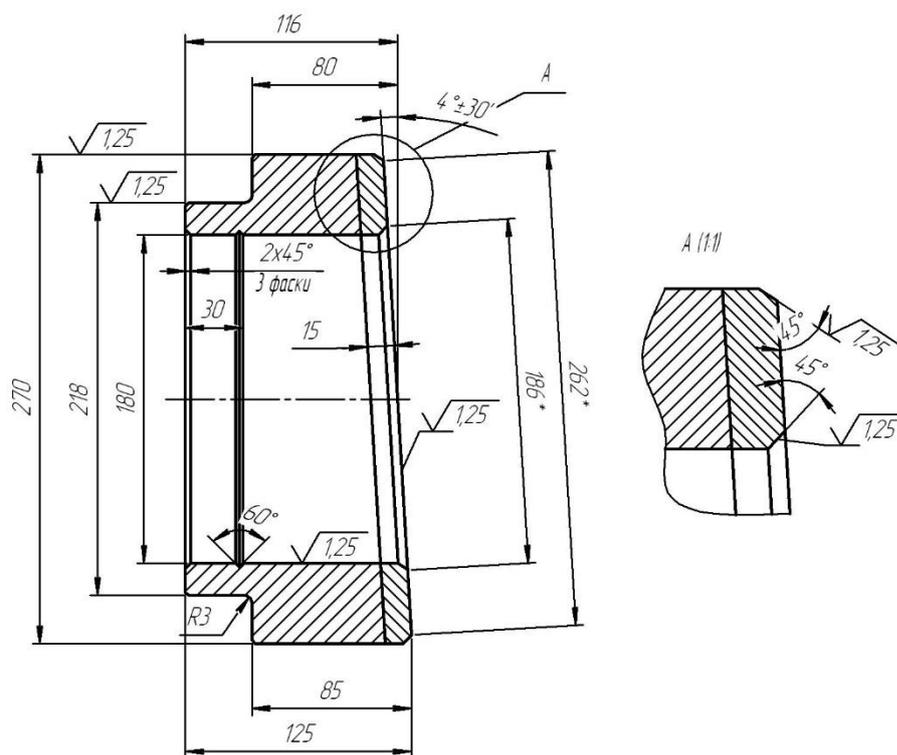


Рисунок 4 – Седло задвижки

«Величина износа рабочей поверхности по толщине на рабочих элементах запорной арматуры может составлять» [4] от десятых долей до единиц миллиметра.

1.2 Сведения о материале, из которого выполняются рабочие элементы запорной арматуры

Рассматриваемая в настоящей выпускной квалификационной работе задвижка выполняется из стали 12Х1МФ. Эта сталь является низколегированной жаропрочной и имеет химический состав, представленный в таблице 1 [30], [31].

Таблица 1 – Содержание химических элементов в стали 12Х1МФ

«С	Si	Mn	Cr	Mo	V	S	P	Cu
0,08 - 0,15	0,17- 0,37	0,4 - 0,7	0,9 - 1,2	0,25 - 0,35	0,15 - 0,3	до 0,025	до 0,03	до 0,2» [14]

Рассматриваемая сталь имеет повышенную жаростойкость, которая обеспечивается за счёт содержания в ней хрома. Присутствие в стали хром позволяет стали 12Х1МФ успешно сопротивляться окислению при температурах до 450 °С. Также повышенное содержание хрома позволяет предотвратить графитизацию и разупрочнение стали при проведении сварочных работ.

Повышение прочности стали при нагреве за счёт образования карбидов происходит благодаря содержащемуся в ней ванадию, кроме того, ванадий позволяет образующимся карбидам равномерно распределяться в объеме наплавленного металла при формировании сварного соединения.

Повышение сопротивляемости ползучести и длительной прочности у рассматриваемой стали достигается за счёт совместного действия содержащихся в её составе хрома и молибдена. При сварке содержащийся в стали молибден образует упрочняющий интерметаллид Fe₂Mo.

Выполнение сварочных и наплавочных работ на конструкциях из стали 12Х1МФ затрудняется по причине ряда особенностей, характеризующих эту сталь и определяемых её химическим и структурным составом [30]. К

затруднениям при сварке и наплавке следует отнести холодные трещины и разупрочнение.

Образование холодных трещин при сварке стали 12Х1МФ объясняется образованием в ней под действием термического цикла при сварке неустойчивых структур, которые со временем распадаются с уменьшением металла в объеме. В результате в основном и наплавленном металле формируются остаточные растягивающие напряжения, вызывающие образование и раскрытие холодных трещин. Наиболее опасными с точки зрения холодных трещин являются участки, температура которых в ходе сварки превышала 785 °С.

Охрупчивание стали при сварке наблюдается вследствие образования в ней закалочных структур, к которым относят бейнит, тростит и мартенсит. Высокий отпуск и неполная перекристаллизация металла в околошовной зоне становится причиной разупрочнения стали, отрицательное действие которого проявляется в виде снижения усталостной прочности при повышенных температурах.

Устранение затруднений, сопровождающих сварку и наплавку деталей из стали 12Х1МФ, обеспечивается назначением правильных параметров режима, соблюдением техники сварки и наплавки и применением новых сварочных и наплавочных материалов.

1.3 Операции базового технологического процесса наплавки

«Проведению восстановительной наплавки элементов запорной арматуры предшествует демонтаж арматуры и выемку необходимых элементов. Демонтаж при необходимости проводят с применением средств малой механизации, после чего арматуру следует перевести на участок для проведения осмотра, замера и восстановления с применением наплавки» [10].

На участке восстановления арматуру разбирают, выполняют очистку элементов и их замер. При осмотре и замере элементов арматуры определяют

наличие на их поверхностях трещин и раковин, недопустимого износа и нарушения сплошности защитного покрытия. По результатам осмотра проводят маркировку элементов. Элементы, которые не имеют недопустимых дефектов, помечают зеленой краской и направляют на участок складирования и сборки. Элементы, которые требуют восстановления и могут быть восстановлены с применением имеющихся на предприятии технических средств, помечают желтой краской и отправляют на участок наплавки. Элементы, которые не могут быть восстановлены, помечают красной краской и отправляют на утилизацию.

После проведения дефектации рабочих элементов арматуры выполняют подготовку их поверхности под наплавку. Зачищают поверхности и прилегающие к ним участки на ширину 10 мм. В процессе зачистки следует удалить все загрязнения, снять заусенцы.

При наплавке в качестве источника тока применяют сварочный выпрямитель ВД-301, который оснащён балластным реостатом РБ. Пост для наплавки оснащён вытяжной вентиляцией и ограждён от других участков светонепроницаемыми экранами.

С применением газовой горелки проводят предварительный нагрев деталей до температуры 150...300 °С, которую контролируют при помощи прижимной термопары.

После того, как провели «предварительный подогрев, проводят наплавку предварительного слоя, толщина которого составляет 1...2 мм, которую ведут в нижнем положении. При наплавке предварительного слоя принимают следующие режимы параметра сварки: сила тока наплавки 60...80 А, напряжение на дуге 23...24 В. При наплавке применяют электроды ЦЛ-25 диаметром 3 мм» [10].

После того, как предварительный слой был наплавлен, удаляют шлак с наплавленного металла, проводят визуальный контроль качества и передают на механическую обработку.

Механическую обработку проводят на токарном станке 1К62Ф3С, обточку ведут до гладкого состояния. Скорость резания составляет 120...140 м/мин при диаметре элемента более 200 мм и 90...110 м/мин при диаметре элемента до 200 мм. Подача при резании составляет 1,2...1,4 мм/об при диаметре элемента более 200 мм и 0,6...0,9 мм при диаметре элемента до 200 мм.

После проведения токарной обработки детали нагревают до температуры 150...300 °С, которую контролируют при помощи прижимной термопары. Нагрев ведут газовым пламенем.

После предварительного нагрева проводят наплавку рабочего слоя с применением электродов ЦН-6Д диаметром 3 мм. Сила тока наплавки составляет 60...80А, напряжение на дуге составляет 23...24 В.

При выполнении наплавки следует соблюдать определенную технику. «Наплавку ведут на в нижнем положении на минимальной дуге, длина которой не должна превышать 1 диаметра электрода. Наплавленные валики должны иметь ширину не более трех диаметров электрода и перекрывать друг друга на величину не менее одной трети от ширин валика.

После выполнения наплавки рабочего слоя выполняют термическую обработку (отпуск) детали с применением электрической печи СНО. Температура нагрева составляет 640 °С, длительность выдержки при этой температуре составляет не менее одного часа. Отпуск проводят сразу после выполнения наплавки.

После отпуска и остывания детали проводят визуально-измерительный контроль качества наплавленной поверхности по всей площади восстановительной наплавки. На поверхности наплавленного металла не допускается присутствия трещин, шлаковых включений и выходящих на поверхность пор диаметром более 0,5 мм» [26]. Поверхность наплавленного металла должна иметь равномерную чашуйчатость с углублениями не превышающими 0,5 мм.

После проведения визуального и измерительного контроля проводят механическую обработку наплавленного слоя на токарном станке 1К62Ф3С, обточку ведут до гладкого состояния. Скорость резания составляет 120...140 м/мин при диаметре элемента более 200 мм и 90...110 м/мин при диаметре элемента до 200 мм. Подача при резании составляет 1,2...1,4 мм/об при диаметре элемента более 200 мм и 0,6...0,9 мм при диаметре элемента до 200 мм.

Далее проводят замер твёрдости и капиллярный контроль. «Твёрдость металла должна составлять 30...45 НРС. Для проведения капиллярного контроля применяется набор ДМК-4. Слой подкрашенной проникающей жидкости наносят на контролируемые поверхности и дают подержаться на ней в течение 15...20 минут, после чего выполняют промывку поверхности с применением 50% раствора кальцинированной соды. Далее на контролируемую поверхность наносят проявляющую суспензию, после нанесения которой через 5 минут и через 25 минут осматривают поверхность» [26].

При анализе базовой технологии наплавки на рабочие поверхности элементов запорной арматуры можно сформулировать ряд недостатков. Первым недостатком базовой технологии является необходимость прерывания процесса наплавки для замены электрода, что существенно нарушает стабильность процесса и снижает качество выполнения работ. Вторым недостатком является низкая стабильность химического и структурного состава наплавленного металла. Третьим недостатком является малая производительность процесса и высокий процент брака при выполнении наплавки с применением штучных электродов. На основании вышеизложенного следует сделать вывод о необходимости замены способа наплавки на более перспективный, для чего следует рассмотреть источники научно-технической информации по вопросу восстановительной наплавки элементов запорной арматуры и постараться обобщить производственный опыт, накопленный на предприятиях мира и российских предприятиях.

1.4 Анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности наплавки

Выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности работ при ремонтной наплавке рабочих поверхностей запорной арматуры. В ходе работы над введением выполнен краткий анализ состояния вопроса, обоснована актуальность исследования и сформулирована цель выпускной квалификационной работы. Для достижения поставленной цели предстоит решать задачи, правильная постановка которых определяет эффективность полученных решений и их применимость на практике. При этом необходимо ознакомиться с мировым опытом в области повышения эффективности сварочных процессов. Необходимо выполнить поиск и анализ источников научно-технической информации. Поиск ведем в сети ИНТЕРНЕТ с применением баз знаний «Диссеркэт» (база кандидатских и докторских диссертаций по различным наукам), «Киберденинка» (база научных статей по различным наукам), «Патонпаблишхаус» (база статей украинских исследователей-сварщиков), архивы журнала «Сварка и диагностика», архивы журнала «Сварочное производство», архивы журнала «Технология машиностроения», база знаний «Е-Лайбрери».

Для поиска информации воспользуемся ключевыми словами «наплавка запорной арматуры» «Автоматическая сварка», «Сварка и диагностика», «статья», «диссертация».

Также в поиске применим материалы, полученные при подготовке отчетов по практикам и курсовым работам. Заключительный анализ будем проводить с использованием знаний, полученных на кафедре сварки в ходе обучения сварочным дисциплинам.

В первой работе [11] выполнено обоснование минимально допустимой толщины наплавляемого слоя при наплавке рабочих поверхностей запорной арматуры. Практика использования восстановленных задвижек позволяет

выдвинуть требование к минимальной толщине наплавляемого слоя. С учётом последующего снятия механической обработкой оптимальная толщина наплавляемого слоя может приниматься равной 3 мм. С учётом обеспечения минимальной защиты для основы детали минимальная толщина наплавляемого слоя принимается равной 1,5 мм.

Данная работа, позволяет говорить о высокой эффективности применения плазменной наплавки при наплавке рабочих поверхностей арматуры и будет использована при обосновании выбора способа наплавки. Также данная работа будет использована при построении проектной технологии, так как обосновывает требования к толщине наплавляемого слоя.

Во второй работе [1] показано, что применение лазерной наплавки порошками на основе железа и кобальта позволяет получить наплавленный слой, по характеристикам превосходящий полученные при помощи электродуговой и газовой наплавки. Таким образом, роботизированную лазерную наплавку можно рекомендовать для восстановления рабочих поверхностей запорной арматуры. Применение порошков с железной и кобальтовой основой позволяет получить твёрдость наплавленного слоя 47...54 HRC, при этом слой будет свободен от дефектов и иметь равномерные по площади рабочие характеристики.

Данная работа, позволяет говорить о высокой эффективности применения лазерной наплавки при наплавке рабочих поверхностей арматуры и будет использована при обосновании выбора способа наплавки.

В третьей работе [21] показано, что применение импульсной подачи проволоки при наплавке в защитных газах проволокой сплошного сечения позволяет уменьшить глубину проплавления и регулировать геометрию валика. Также следует отметить пространственную стабильность дуги и значительное снижение потерь на разбрызгивание и угар.

Данная работа, позволяет говорить о высокой эффективности применения наплавки в защитных газах и будет использована при

обосновании выбора способа наплавки. Также данная работа будет использована при построении проектной технологии, если будет принято решение применить наплавку в защитных газах.

В четвёртой работе «показана высокая эффективность наплавки с применением порошковой проволоки. Эта работа позволяет говорить о высокой эффективности применения наплавки порошковой проволокой и будет использована при обосновании выбора способа наплавки» [12].

В пятой работе [28] описывается результат применения плазменно-порошковой наплавки для восстановления рабочих поверхностей запорной арматуры, показана высокая эффективность применения порошка ПГ-10Р6М5.

Данная работа, позволяет говорить о высокой эффективности применения плазменной наплавки и будет использована при обосновании выбора способа наплавки. Также данная работа будет использована при построении проектной технологии, если будет принято решение применить этот способ наплавки.

1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности восстановительной наплавки при ремонте элементов запорной арматуры. Базовая технология предусматривает применение ручной дуговой наплавки штучными электродами. Анализ базовой технологии позволил сформулировать её недостатки, устранение которых приведет к достижению поставленной цели. Анализ информации по мировым рынкам сварочных технологий и материалов позволяет заключить, что применение ручной дуговой наплавки в настоящее время сокращается, уступая место механизированным и автоматическим способам наплавки [6], [19], [20]. Предварительный анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности восстановительной

наплавки деталей запорной арматуры позволил обозначить ряд направлений, в которых следует двигаться при достижении поставленной цели.

Исходя из этого сформулированы задачи выпускной квалификационной работы.

Первой задачей является обоснование выбора способа восстановительной наплавки деталей запорной арматуры, при выполнении которой следует выполнить анализ преимуществ и недостатков каждого рассмотренного способа наплавки, оценить эффективность способа по выбранным критериям и дать обоснование выбора способа.

Второй задачей является построение проектной технологии наплавки элементов запорной арматуры, решение которой предусматривает формулировку перечня технологических операций, составление требований к выполнению каждой операции, назначение параметров режима и выбор технологического оборудования.

Третьей задачей, решение которой предстоит выполнить в оценочном разделе настоящей выпускной квалификационной работы, является оценка промышленной безопасности предлагаемых технологических решений для персонала предприятия и окружающей среды. Решение этой задачи предусматривает оценку производственных рисков и выработку перечня мер по их снижению [2], [7].

Четвёртой задачей, решение которой предстоит выполнить в оценочном разделе настоящей выпускной квалификационной работы, является экономическое обоснование эффективности предлагаемых технологических решений. Решение этой задачи предусматривает оценку базовой и проектной технологии с точки зрения затрат на их осуществление и сравнение экономических показателей рассматриваемых технологий [14], [15].

На основании решения поставленных задач следует сформулировать заключение, которое позволит доказать достижение поставленной цели и указать направления дальнейших исследований.

2 Проектная технология восстановительной наплавки

2.1 Обоснование толщины наплавляемого слоя

При составлении проектной технологии восстановительной наплавки и обосновании выбора способа наплавки следует определиться с толщиной наплавляемого слоя, чему посвящена работа [11]. В этой работе проведены исследования применительно к плазменной наплавке, но полученные результаты, касающиеся обоснования толщины наплавляемого слоя, могут быть применены для всех случаев восстановительной наплавки.

При применении плазменно-порошковой наплавки толщина слоя, который удастся получить за «один проход при восстановлении элементов запорной арматуры, составляет 3 мм. В результате последующей механической обработки 1 мм слоя снимается, таким образом, толщина остающегося слоя составляет 2 мм» [11]. При работе в условиях действия повышенных нагрузок, характеризующей работу запорной арматуры, толщина защитного наплавленного слоя 2 мм является допустимо минимальной. При меньшей толщине наплавляемого слоя необходимая защитная функция в полной мере реализована быть не может. Тем более малая толщина защитного слоя недопустима по причине последующей «перешлифовки рабочей поверхности арматуры при проведении ремонта. Таким образом, для наплавки могут быть рекомендованы только такие способы, которые обеспечивают нанесение слоя не менее 3 мм» [11]. Кроме того, необходимо обеспечить хорошее сцепление наносимого слоя с основной, по причине чего авторами не рекомендуется применение плазменных, вакуумных и детонационных технологий напыления. На рисунке 1 представлена деформация защитного покрытия при испытании на твёрдость по Бринеллю при толщине 2,5 мм (рисунок 5-а) и толщине 0,5 мм (рисунок 5-б).

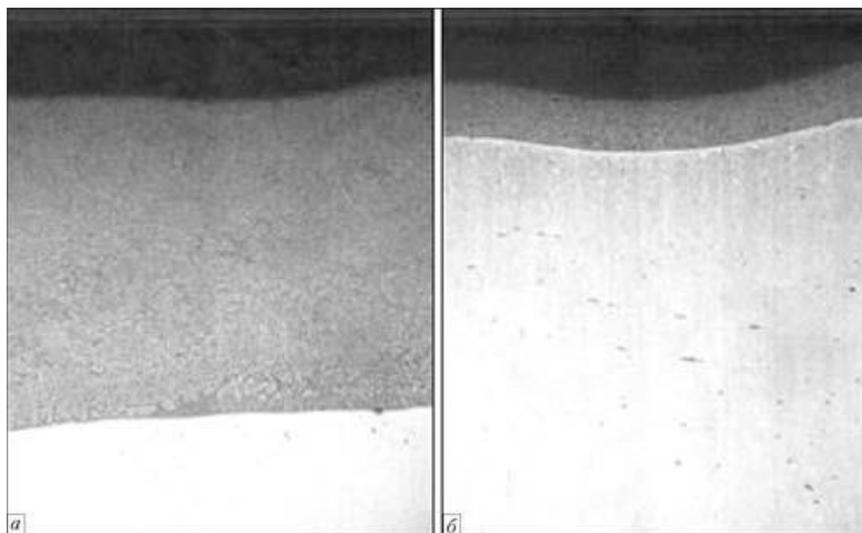


Рисунок 5 – «Макроструктура покрытия под отпечатком при испытании твердости по Бринеллю при толщине покрытия 2,5 (а) и 0,5 (б) мм» [11]

Также результаты работы [11] позволяют сделать вывод о высокой эффективности применения плазменно-порошковой наплавки при восстановлении рабочих элементов запорной арматуры. Высокие показатели получены при применении хромоникелевых сплавов с бором и кремнием, которые обеспечивают высокую сопротивляемость против коррозии и эрозии.

Практика использования восстановленных задвижек позволяет выдвинуть требование к минимальной толщине наплавляемого слоя. С учётом последующего снятия механической обработкой оптимальная толщина наплавляемого слоя может приниматься равной 3 мм. С учётом обеспечения минимальной защиты для основы детали минимальная толщина наплавляемого слоя принимается равной 1,5 мм.

2.2 Плазменная наплавка элементов запорной арматуры

Схема плазменной наплавки представлена на рисунке 6. Применение плазменной наплавки предусматривает использование двух источников питания (сварочных инверторов). Первый источник питания является основным, второй – вспомогательным. По этой причине оборудование для

плазменной наплавки существенно дороже, чем оборудование для наплавки другими способами.

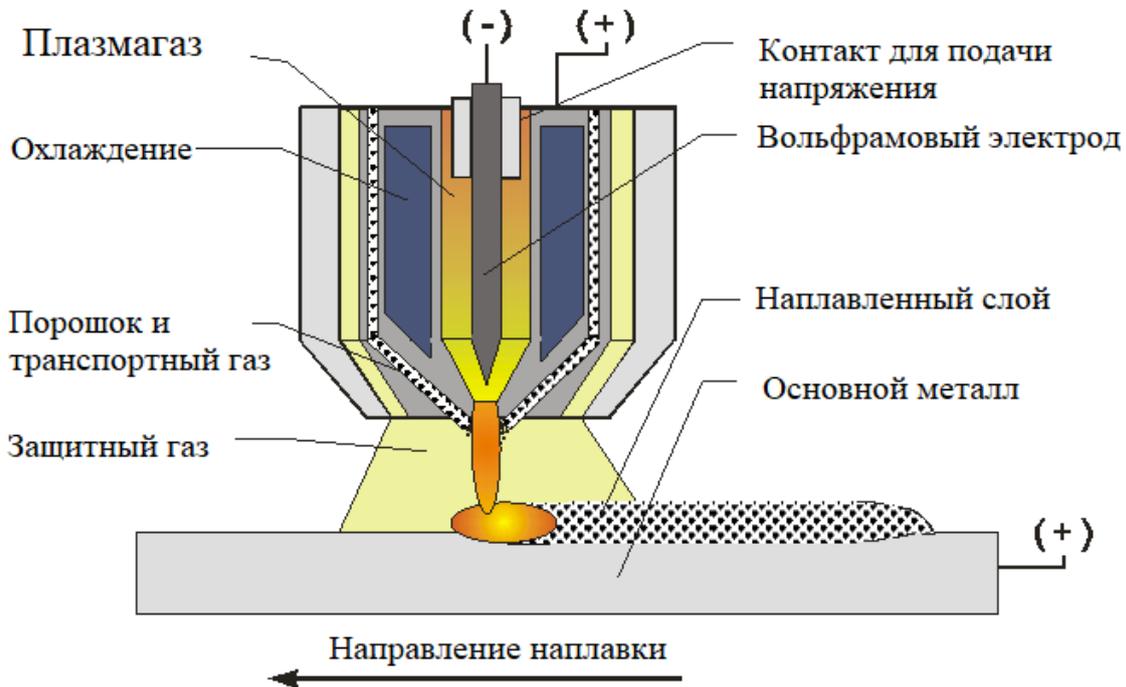


Рисунок 6 – Схема проведения плазменной наплавки деталей машин

Преимущества плазменной наплавки по сравнению с другими способами наплавки представлены на рисунке 7. Применение плазменной наплавки позволяет получить ряд положительных эффектов, которые возникают благодаря особенностям этого процесса.

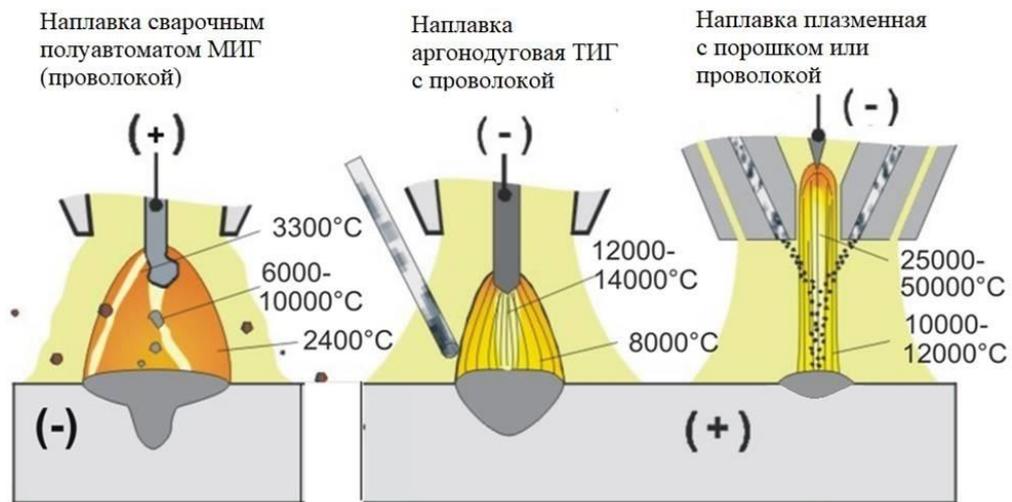


Рисунок 7 – Основные отличия плазменной наплавки от других распространенных способов наплавки

Первым преимуществом является высокая плотность энергии, которая позволяет проводить наплавку с применением узкой дуги, что снижает тепловую нагрузку на основной металл и позволяет минимизировать отрицательные эффекты от дуги. Вторым преимуществом является высокая скорость подачи наплавочного порошка, которая составляет 0,18...24 кг/час, что обеспечивает более высокую производительность по сравнению с другими способами наплавки. Третьим преимуществом является высокое качество наплавленного металла и отсутствие в нем пор. Четвертым преимуществом является снижение припуска на механическую обработку, что позволяет существенно экономить наплавочные материалы и электрическую энергию. Пятым преимуществом является высокая пространственная стабильность процесса, который независим от магнитного дутья, также следует отметить высокую стабильность зажигания дуги. Шестым преимуществом является возможность автоматизации процесса наплавки, что позволяет применить самые перспективные способы механизации и автоматизации.

2.3 Лазерная наплавка элементов запорной арматуры

В работах [1], [32] представлены результаты исследования эффективности лазерной наплавки для восстановления элементов запорной арматуры. Для наплавки применялись специальные образцы-имитаторы DN 115 мм, изготавливаемые из стали 12X18H10T. Толщина образцов составляла 25 мм, а форма была максимально приближена к форме стандартных тарелок, которые применяются в задвижках. Такая форма образцов позволяет получить условия наплавки, аналогичные условиям наплавки при восстановлении реальных элементов запорной арматуры.

После проведения исследований на образцах-имитаторах была проведена наплавка на тарелки задвижки DN 200, которая была выполнена из стали 12X1МФ. Поскольку имеется различие по составу образцов-

имитаторов и реальной задвижки, была выполнена корректировка параметров режима.

Наплавку образцов и реальной задвижки выполняли на установке для лазерной наплавки Laserline, которая была смонтирована на промышленном роботе KUKA. На рисунке 8 представлен внешний вид робота с установленным на нём оборудованием для лазерной наплавки. С учётом аналитического обзора применяемых для наплавки материалов было принято решение использовать порошок на железной основе фракцией 63...150 мкм, позволяющий получать состав наплавленного слоя сходный с применением электродов ЦН-12. Также для наплавки применялся порошок ВЗК с фракцией 53...150 мкм.

Мощность излучения лазера принималась 1000...1600 Вт при линейной скорости перемещения 0,01...0,02 м/с. За один проход наплавливали слой толщиной 1 мм. Всего выполняли 4 прохода.

Для оценки качества наплавленного слоя применяли капиллярный контроль и микроструктурный анализ. Также при помощи твердомера ТН 320 определяли твердость наплавленного слоя. Сравнение свойств наплавленного покрытия проводили с аналогичным покрытием, полученным при помощи газовой наплавки и при помощи электродуговой наплавки.

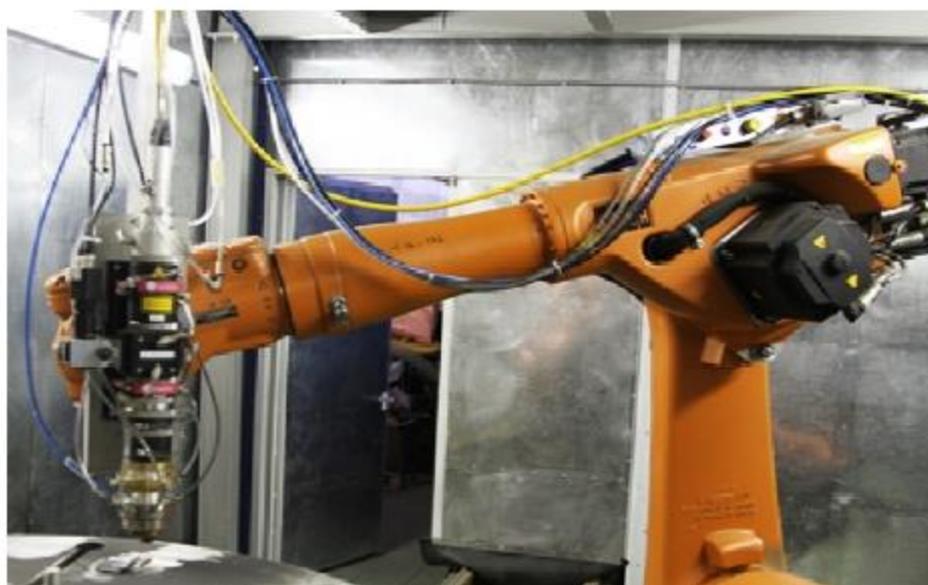


Рисунок 8 – Оборудование для лазерной наплавки, смонтированное на роботе

Применение лазерной наплавки порошками на основе железа и кобальта позволяет получить наплавленный слой, по характеристикам превосходящий полученные при помощи электродуговой и газовой наплавки. Таким образом, роботизированную лазерную наплавку можно рекомендовать для восстановления рабочих поверхностей запорной арматуры. Применение порошков с железной и кобальтовой основой позволяет получить твердость наплавленного слоя 47...54 HRC, при этом слой будет свободен от дефектов и иметь равномерные по площади рабочие характеристики. Следует отметить сдерживание внедрения лазерной технологии на предприятиях Российской Федерации, что объясняется малой изученностью процесса и высокой стоимостью оборудования. Следует популяризировать роботизированную лазерную наплавку, которая является одним из самых перспективных способов восстановления рабочей поверхности элементов запорной арматуры.

В работе [26] сформулированы недостатки лазерной наплавки, которые ограничивают применение этого перспективного способа для восстановления элементов запорной арматуры. Главным недостатком применения лазерного луча в качестве источника нагрева является необходимость перпендикулярного расположения относительно наплаваемой детали, при этом часть присадочного порошка не попадает под лазерный луч и теряется. При использовании присадочной проволоки не решена проблема стабильного расплавления, так как не достигается требуемой точности наведения на проволоку.

2.4 Наплавка проволокой сплошного сечения в защитных газах

В работе [29] представлены результаты исследования эффективности наплавки элементов запорной арматуры с применением механизированной наплавки в защитных газах проволокой сплошного сечения. Выполняли

наплавку с применением нескольких вариантов построения технологического процесса.

В первом варианте деталь выполняли целиком из стали 20X13, при этом торцевую поверхность термически упрочняли с применением дуги, горящей в инертном газе дуги. Во втором варианте образец, выполненный полностью из стали 20X13, закаливали в печи. «В третьем варианте образец выполняли из стали 20, а на его торцевую поверхность наплавляли слой металла с применением проволоки Св-20X13 диаметром 2 мм.

Наплавку проводили на цилиндрические образцы диаметром 40 мм. На рисунке 9-а представлен твердомер ТК-2, который был использован для измерения твердости» [29] наплавленного слоя. На рисунке 9-б представлен микроскоп МБС-9, который использовался для исследования микроструктуры образцов.



а)



б)

Рисунок 9 – Оборудование, применяемое для исследования образцов: твердомер ТК-2 (а) и микроскоп МБС-9 (б)

Твердость и структура образцов исследовались после проведения их «механической обработки, в ходе которой выполняли снятие поверхностного слоя. На первом и втором образцах поверхностный слой снимали на толщину 0,4 мм. На третьем образце поверхностный слой снимали на толщину 2,2,5 мм» [29]. При помощи химического анализа выполняли проверку состава наплавленного металла, который должен соответствовать составу стали 20X13. В работе [3] представлена методика, по которой выполняли подготовку образцов перед проведением металлографических испытаний.

Как показали визуальные исследования, на поверхности образцов № 1 и № 3 присутствуют чередующиеся темные и светлые участки, имеющие вид концентрических колец. На образце № 2, который выполнен с применением объемной закалки, таких зон не обнаруживается.

При увеличении в 100 раз обнаружено что чередующиеся темные и светлые зоны представляют собой области с зёрнами металла различной ориентации, которые при травлении приобретают различные оттенки. Поверхность всех трёх образцов имеет неметаллические включения глобулярной формы.

На поверхности образца № 1, который получен с применением поверхностной закалки неплавящимся электродом, обнаруживаются участки мартенсита, границы зёрен которых могут быть ярко выраженными или не иметь ярко выраженных границ. Также на этих образцах присутствуют участки с мелким мартенситным зёрном, по границам которого выделены карбиды.

На поверхности образца № 2, который был получен с применением объемной закалки, структура металла представляет мартенсит с цепочками неметаллических включений.

На поверхности образца № 3, который был получен с применением дуговой наплавки, обнаруживается два типа структуры. Первый тип структуры имеет ярко выраженные границы зёрен мартенсита. Вторым типом структуры ярко выраженных границ зёрен мартенсита не имеет.

Все рассмотренные образцы имели твёрдость 43...48 HRC. При этом

По результатам замера твёрдости установлено, что все образцы имеют твёрдость порядка 43...48 HRC. При поверхностной и объемной закалке (образцы № 1 и №2) наблюдается твёрдость несколько снижается ближе к центру и увеличивается при приближении к краям образца. На образце, полученном с применением наплавки (образец № 3) твёрдость распределена равномерно по поверхности и составляет 47...49 HRC.

Таким образом, проведенные исследования позволили обосновать возможность применения наплавки в защитных газах проволокой сплошного сечения при восстановлении рабочих поверхностей элементов запорной арматуры.

В работе [21] показано, что применение импульсной подачи проволоки при наплавке в защитных газах проволокой сплошного сечения позволяет уменьшить глубину проплавления и регулировать геометрию валика. Также следует отметить пространственную стабильность дуги и значительное снижение потерь на разбрызгивание и угар. Применение импульсной подачи проволоки при наплавке в защитных газах проволокой сплошного сечения позволяет уменьшить глубину проплавления и регулировать геометрию валика. Также следует отметить пространственную стабильность дуги и значительное снижение потерь на разбрызгивание и угар. Применение импульсной подачи проволоки с частотой 10...60 Гц позволяет для тока 220 А и напряжения на дуге 26 В обеспечить регулирование глубины проплавления в 2,6 раза, ширины валика в 1,2 раза и выпуклости в 1,5 раза. Оптимальными значениями считаются частота 10...30 Гц при скваженности 3...5 единиц.

2.5 Наплавка порошковой проволокой

Для оценки эффективности наплавки порошковой проволокой по сравнению с наплавкой проволоками сплошного сечения проведены исследования, описанные авторами работы [9]. Выполняли наплавку образцов с применением проволок сплошного сечения, которые рекомендованы в работе [10] и позволяют получать наплавленные слои с составом, близким стали 2Х13, 13Х25Т и 11Х11Н2В2МФ. В таблице 2 представлен состав проволок, которые были использованы при проведении экспериментальной наплавки.

Помимо указанных проволок была выполнена наплавка с применением порошковой проволоки ПП-2Х14М2Б, которая предложена отечественными исследователями-сварщиками [24], состав проволоки представлен в таблице 3. Наплавку вели с применением автомата АДГ-502, представленного на рисунке 10-а. При наплавке в качестве защитного газа был использован чистый аргон. В качестве образцов применялись заготовки из стали 20, имеющих продольную и кольцевую форму. Испытания образцов после наплавки проводили на стенде, представленном на рисунке 10-б.

Таблица 2 – Содержание химических элементов в проволоках сплошного сечения для наплавки элементов запорной арматуры [10]

«Марка проволоки	Состав проволоки, %							
	С	Si	Mn	Cr	Ni	W	Ti	проч.
СВ-20Х13	0,16	0,6	0,6	13	0,15	-	-	-
СВ-13Х25Т	0,15	0,8	0,8	24	0,2	-	0,4	-
СВ-11Х11Н2В2МФ	0,13	0,5	0,65	12	1,5	1,8	-	Мо 0,5 V 0,2» [32]

Таблица 3 – Содержание порошковой проволоки ПП-2Х14М2Б для наплавки элементов запорной арматуры [24]

«Наименование вещества	Содержание
Мрамор	4,8...6,0 %
Плавиковый шпат	6,4...9,5 %
Рутил	11,9...14,3 %
Графит	0,7...1,2 %
Феррохром	47,6...52,4 %
Ферромolibден	7,1...9,5 %
Феррониобий	3,6...7,1 %
Железный порошок» [33]	Остальное



Рисунок 10 – Автомат для сварки и наплавки в среде защитных газов АДГ-502 (а) и стенд для испытания на истирание (б)

При испытаниях на износостойкость применялись образцы диаметром 50 мм, при этом относительно нижнего образца, который закреплялся в установке неподвижно, осуществлялись поступательные движения верхнего образца с амплитудой 10 мм и скоростью перемещения 0,005 м/с при нагружении 200 кгс/см² и 500 кгс/см². Образование задиров контролировалось при помощи микроскопа МИС-11, который представлен на рисунке 11.



Рисунок 11 – Микроскоп МИС-11

Наплавленные с применением проволоки Св-20Х13 образцы при нагружении 200 кгс/см² после 300...400 циклов сформировали на поверхности заDIR. При нагружении 500 кгс/см² заDIR образуется уже после 10...15 циклов нагружения.

При наплавке образцов с применением проволоки Св-13Х25Т заDIRу образуются после нескольких циклов при нагружении уже 200 кгс/см².

При наплавке образцов проволокой Св-11Х11Н2В2МФ испытания при нагружении 200 кгс/см² показали стойкость против задиров до 400 циклов, а при нагружении 500 кгс/см² стойкость против задиров составила 100 циклов.

При наплавке с применением порошковой проволоки ПП-2Х14М2Б заDIRы отсутствовали при нагружении 500 кгс/см² до 600 циклов. При нагружении «600 кгс/см² образование задиров начинается с 300...400 циклов, а при 700 кгс/см² – начиная с 50...60 циклов.

Микроструктура наплавленного металла при применении проволоки ПП-2Х14М2Б представлена на рисунке 12 и характеризуется наличием значительного количества мартенсита» [33].

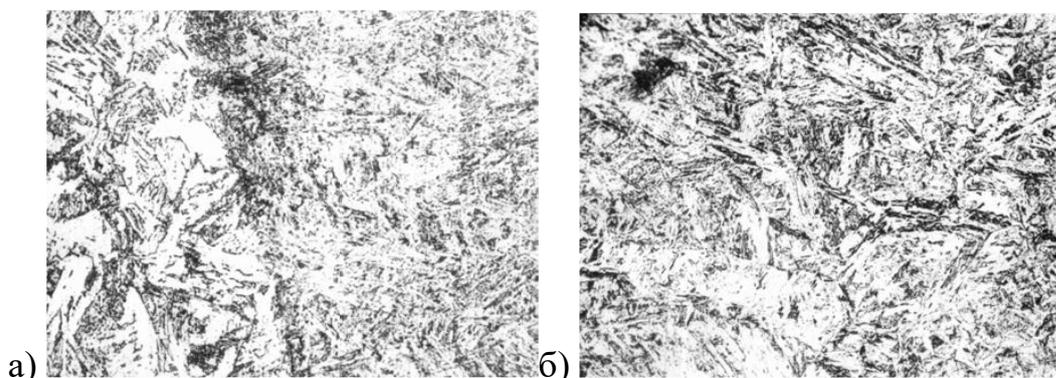


Рисунок 12 – «Микроструктура наплавленного металла при применении проволоки ПП-2Х14М2Б (х200): металл сварного шва (а) и переходной зоны (б)» [33]

Проведенные исследования позволяют сделать заключение о высокой эффективности применения наплавки порошковой проволокой при восстановлении рабочих поверхностей элементов запорной арматуры. По сравнению с применением стандартной проволоки сплошного сечения Св-20Х13 применение порошковой проволоки ПП-2Х14М2Б позволяет повысить стойкость наплавленных элементов в 1,8...2,2 раза.

2.6 Обоснование выбора способа восстановления элементов запорной арматуры

«С учетом перечисленных условий эксплуатации конструкция запорного узла должна исключать заклинивание затворов и обеспечивать их необходимую стойкость к коррозии и гидроабразивному износу. Зачастую такие требования обеспечивают наплавкой износо- и коррозионностойкими материалами. Однако многие проблемы импортозамещения подобной продукции сдерживаются из-за нерешенности ряда вопросов по реализации процессов наплавки. Это актуализирует необходимость совершенствования

технологий антикоррозионной наплавки уплотнительных поверхностей трубопроводной арматуры» [26].

«На основании проведенного исследования для построения проектной технологии восстановительной наплавки могут быть реализованы следующие способы наплавки: наплавка порошковой проволокой, наплавка в защитных газах проволокой сплошного сечения, плазменную наплавка и лазерная наплавка» [25].

В таблице 4 представлены характеристика рассматриваемых способов наплавки, которые были проанализированы с применением работы [25].

Таблица 4 – Эффективность применения различных способов наплавки при восстановлении элементов запорной арматуры [25]

Способ	Производительность, кг/ч	Доля основного металла, %	Толщина наплавленного слоя, мм	Сплавы для наплавки на основе		
				Co	Ni	Fe
«Ручная дуговая покрытыми электродами»	0,4-3,5	10-30	3-5	+	+	++
Лазерная наплавка	1-3	20-50	4-6	++	+	-
Дуговая порошковой проволокой	2,5-10	30-60	3-5	+	-	++
Дуговая плавящимся электродом в защитном газе	1,5-9	30-60	3-5	+	+	+
Плазменно-порошковая» [25]	0,5-6	5-10	1-6	++	++	+

«+++» – Применяют широко; «+» – Применяют ограниченно; «-» – Не применяют.

Проведенный анализ эффективности различных способов наплавки, применение которых может оказаться перспективным при восстановлении рабочих поверхностей элементов запорной арматуры, позволил заключить, что в рассматриваемом случае целесообразно применить плазменно-порошковую наплавку, позволяющую обеспечить получение заданной толщины наплавленного слоя при незначительном участии основного металла и высокой производительности. Плазменная наплавка позволяет существенно повысить стойкость деталей по сравнению с другими способами наплавки.

2.7 Технология восстановительной плазменной наплавки

Для выполнения плазменной наплавки элементов запорной арматуры предлагается применить универсальную установку ОБ-2184, которая представлена на рисунке 13. «Для выполнения предварительного подогрева предлагается применить печь СНО, которая представлена на рисунке 14.

Температура предварительного нагрева составляет 120...150 °С. После предварительного подогрева проводят наплавку предварительного слоя, толщина которого составляет $2\pm 0,5$ мм» [25]. Наплавку предварительного слоя ведут на силе тока 180...190 А при напряжении 30...32 В. Расход плазмообразующего газа составляет 1,2...2 л/мин. При наплавке применяется порошок ПТ-НА-01 фракции 60...100 мкм, подаваемый с производительностью 12...14 г/мин при частоте колебания плазматрона 0,4...0,5 Гц.

Механическую обработку проводят на токарном станке 1К62Ф3С, обточку ведут до гладкого состояния. Скорость резания составляет 120...140 м/мин при диаметре элемента более 200 мм и 90...110 м/мин при диаметре элемента до 200 мм. Подача при резании составляет 1,2...1,4 мм/об при диаметре элемента более 200 мм и 0,6...0,9 мм при диаметре элемента до 200 мм.

После проведения механической обработки проводят дробеструйную обработку с применением представленной на рисунке 15 камеры Avan-blast TL-H D3.



Рисунок 13 – Установка плазменной наплавки ОБ-2184



Рисунок 14 – Печь электрического нагрева СНО



Рисунок 15 – Камера для дробеструйной обработки Avan-blast TL-H D3

Наплавку рабочего слоя ведут на силе тока 180...190 А при напряжении 30...32 В. Расход плазмообразующего газа составляет 1,2...2 л/мин. При наплавке применяется порошок ПГ-С1 + ПГ-СР2 фракции 60...100 мкм, подаваемый с производительностью 12...14 г/мин при частоте колебания плазматрона 0,4...0,5 Гц.

Механическую обработку проводят на токарном станке 1К62Ф3С, обточку ведут до гладкого состояния. Скорость резания составляет 120...140 м/мин при диаметре элемента более 200 мм и 90...110 м/мин при диаметре элемента до 200 мм. Подача при резании составляет 1,2...1,4 мм/об при диаметре элемента более 200 мм и 0,6...0,9 мм при диаметре элемента до 200 мм.

«Далее проводят замер твёрдости и капиллярный контроль. Твёрдость металла должна составлять 30...45 HRC. Для проведения капиллярного контроля применяется набор ДМК-4. Слой подкрашенной проникающей жидкости наносят на контролируемые поверхности и дают подержаться на ней в течение 15...20 минут, после чего выполняют промывку поверхности с применением 50% раствора кальцинированной соды. Далее на контролируемую поверхность наносят проявляющую суспензию, после нанесения которой через 5 минут и через 25 минут осматривают поверхность» [26].

Выводы по второму разделу

Второй раздел настоящей выпускной квалификационной работы посвящен решению исполнительских задач, связанных с обоснованием выбора способа восстановительной наплавки рабочих поверхностей деталей задвижек и построением проектной технологии восстановительной наплавки.

На основании анализа источников-научно-технической информации принято решение применить плазменно-порошковую наплавку, для которой составлена проектная технология, назначены параметры режима и оборудование.

Дальнейшие работы необходимо выполнить в направлении оценки промышленной безопасности предлагаемых технологических решений для персонала предприятия и окружающей среды. Решение этой задачи предусматривает оценку производственных рисков и выработку перечня мер по их снижению [2], [7].

Также следует выполнить экономическое обоснование эффективности предлагаемых технологических решений. Решение этой задачи предусматривает оценку базовой и проектной технологии с точки зрения затрат на их осуществление и сравнение экономических показателей рассматриваемых технологий [14], [15].

3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений

3.1 Постановка задачи. Характеристика технологического объекта

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности восстановительной наплавки элементов запорной арматуры. Для построения проектного технологического процесса обоснован выбор плазменной наплавки, для проведения которой на предприятии выделяется восстановительный участок. В работе проведена замена способа восстановительной наплавки, вместо применяющейся в базовой технологии ручной дуговой наплавки применена плазменная наплавка, что повлекло за собой изменение технологического процесса, негативных производственных факторов и требует выработки решений по их компенсации, что позволит обеспечить безопасность предлагаемого проектного технологического процесса для персонала предприятия и окружающей среды. Анализ проектной технологии восстановительной наплавки представлен в таблице 5. Проектный технологический процесс укрупненно предусматривает последовательное выполнение шести операций: подготовка дефектного участка восстанавливаемой детали, предварительный подогрев детали, восстановительная наплавка, термическая обработка, механическая обработка, контроль качества. Для выполнения каждой операции привлекается соответствующий технический персонал, приведенный во втором столбце таблицы 5, и технологическое оборудование, приведенное в третьем столбце таблицы 5. Также для выполнения операция могут потребоваться расходные материалы, которые приведены в четвертом столбце таблицы 5. Таким образом, проектный технологический процесс условно разбивается на шесть операций, особенности кадрового и технического обеспечения выполнения которых представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Паспортизация технического объекта

Операция	Персонал	Оборудование	Материалы
1. «Подготовка дефектного участка	Слесарь-сборщик	Машина моечная, дробеструйная камера, щетка металлическая	Моющий раствор, вода техническая, ацетон, дробь стальная
2. Проведение предварительного подогрева	Электросварщик	Электропечь СНО	-
3. Наплавка на дефектное место	Электросварщик	Источник питания плазменной установки, плазменная установка	Наплавочный порошок, аргон
4. Термическая обработка	Слесарь-сборщик	Электропечь СНО	-
5. Механическая обработка	Слесарь-сборщик	Токарный станок	СОЖ
6. Контроль качества» [1]	Дефектоскопист	Лупа, дефектоскоп, штангенциркуль, твердомер	масло

На основании данных таблицы 5 «может быть выполнена идентификация негативных производственных факторов, оказывающих воздействие на персонал и окружающую среду» [2], [7].

3.2 Идентификация профессиональных рисков

Профессиональные риски при реализации проектной технологии восстановительной наплавки возникают по причине наличия негативных факторов, источниками которых является применяемое технологическое оборудование, элементы обрабатываемых деталей. Кроме того, при реализации технологического процесса с применением сварочных технологий источником негативных факторов является сварочная дуга (сжатая или горящая свободно в зависимости от особенностей применяемого способа сварки или наплавки). В таблице 6 представлены негативные факторы (опасные и вредные), возникновение которых происходит при реализации соответствующей операции технологического процесса.

Таблица 6 – Идентификация негативных производственных факторов

Операция	Негативный фактор
1. Подготовка дефектного участка	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека
2. Проведение предварительного подогрева	- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека ; - повышенная температура поверхностей оборудования, материалов
3. Наплавка на дефектное место	- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека - повышенная температура поверхностей оборудования, материалов; - ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений; - инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации
4. Термическая обработка	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны
5. Механическая обработка	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека
6. Контроль качества	- ультразвуковое излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья.

Источниками негативных факторов при реализации проектного технологического процесса выступают моечная машина и дробеструйная камера (применяются для очистки деталей и подготовки поверхности под наплавку), электрическая печь (применяется для предварительного нагрева деталей перед сваркой), установка плазменной наплавки, токарный станок. Представленные в таблице 6 негативные факторы в количестве семи штук, не являются новыми и успешная нейтрализация может быть обеспечена стандартными техническими средствами и методиками, находящимися в резерве промышленного предприятия.

3.3 Устранение возникающих профессиональных рисков

На основании ранее проведенных работ по идентификации профессиональных рисков, возникновение которых происходит при реализации предлагаемой технологии, могут быть предложены мероприятия и технические средства из имеющихся в арсенале промышленного предприятия решений, которые для наглядности были сведены в таблицу 7.

Таблица 7 – Устранение профессиональных рисков

«Наименование негативного фактора»	Средство устранения негативного фактора	Индивидуальная защита
1) острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования	1) проведение инструктажа по технике безопасности 2) ролевые игры с работниками предприятия 3) предупреждающие плакаты и таблички	Оснащение работника специальной одеждой, защитными очками, перчатками
2) движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования	1) предупреждающие плакаты и таблички 2) защитное отключение приводов оборудования 3) ограничение проникновения на производственный участок	Оснащение работника специальной одеждой, защитными очками, перчатками
3) повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	1) общеобменная вентиляция 2) устройства удаления загрязненного воздуха	Применение индивидуальных средств защиты органов дыхания
4) повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	1) проверка изоляции и заземления 2) проведение инструктажа по технике безопасности 3) ролевые игры с работниками предприятия	Оснащение работника специальной одеждой, защитными очками, перчатками
5) повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	1) проведение инструктажа по технике безопасности 2) предупреждающие плакаты и таблички	Оснащение работника специальной одеждой, перчатками
6) инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	1) защитные экраны 2) проведение инструктажа по технике безопасности 3) ограничение проникновения на производственный участок	Оснащение работника специальной одеждой, защитными масками, перчатками
7) ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений» [7]	1) защитные экраны 2) проведение инструктажа по технике безопасности 3) ограничение проникновения на производственный участок	Оснащение работника специальной одеждой, защитными масками, перчатками

На основании анализа состава таблицы 6 можно заключить, что для предотвращения воздействия на работников негативных производственных факторов достаточно применения средств и методик из стандартного арсенала предприятия. Применение предлагаемых в таблице 6 средств защиты и технологий защиты позволяют снизить до приемлемого уровня возникающие при реализации проектной технологии производственные риски.

3.4 Обеспечение пожарной безопасности

Реализация предлагаемого технологического процесса предполагает применение сварочных и наплавочных работ, которые характеризуются повышенной опасностью возникновения пожаров на предприятии. Работы по сварке и наплавке сопряжены с применением источников нагрева высокой интенсивности, воздействие которых на окружающие предметы могут вызвать возгорание. Кроме того, применение электрической аппаратуры, работа которой предусматривает протекание значительного тока, также становится потенциальным источником возникновения пожара. В таблице 8 представлена идентификация потенциального пожара, который может возникнуть на рассматриваемом технологическом участке.

Таблица 8 – Идентификация класса потенциального пожара

Наименование участка	Участок сварки и восстановительной наплавки
«Наименование оборудования»	Моечная машина, воздушный компрессор, наплавочная установка, дробеструйная камера, электрическая печь
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	Повышенная температура воздуха вокруг возгорания; выделение токсичных продуктов горения; снижение видимости; выгорание кислорода
Наименование вторичных опасных факторов пожара» [7]	Опасность поражения пострадавших и спасателей электрическим током от технологического оборудования на рассматриваемом производственном участке

По результатам анализа данных, сведенных в таблицу 7, потенциальный пожар, опасность возникновения которого следует рассмотреть применительно к технологическому участку, относится к классу «Е», так как помимо горения материалов наблюдается опасность поражения людей электрическим током. В числе негативных факторов рассматриваемого пожара следует указать поток горячего воздуха, движущийся по направлению от места горения; тепловое излучение; токсичные выделения от продуктов горения; затруднение видимости из-за образования аэрозоля при горении веществ; разлет искр; выгорание кислорода. Также в результате пожара происходит нарушение изоляции технологического оборудования и электрической проводки на производственном участке, из-за чего персонал предприятия и спасатели могут подвергаться опасности поражения электрическим током. В таблице 9 представлены предлагаемые средства по нейтрализации негативных факторов потенциального пожара.

Таблица 9 – Средства нейтрализации негативных 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» [7]	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели

Для обеспечения пожарной безопасности производственного участка предлагаются стандартные средства из резерва предприятия.

3.5 Экологическая безопасность

Помимо негативных производственных факторов, образующихся на участке в ходе реализации предлагаемого проектного технологического процесса и защита от которых описывается выше, необходим рассмотреть вопросы защиты окружающей среды. Реализация технологического процесса становится причиной возникновения антропогенных факторов, которые нарушают естественное состояние природы и при неблагоприятном исходе могут стать причиной экологической катастрофы, если накопление антропогенных факторов превысит определенный предел. Следование мировой экологической повестке, направленной на природосбережение, предполагает уменьшение антропогенного действия и защиту основных составляющих природы – гидросферы, литосферы и атмосферы от факторов, представленных в таблице 10.

Таблица 10 – Идентификация антропогенных факторов

Операция	атмосфера	гидросфера	литосфера
«Подготовка дефектного участка	-	-	частицы упаковки, бытовой мусор
Проведение предварительного подогрева	вредные испарения	масло	частицы упаковки, бытовой мусор
Наплавка на дефектное место	вредные испарения	масло	отходы шлака, частицы упаковки, бытовой мусор
Термическая обработка	вредные испарения	масло	частицы упаковки, бытовой мусор
Механическая обработка	вредные испарения	масло	отходы шлака, частицы упаковки, бытовой мусор
Контроль качества» [1]	вредные испарения	масло	частицы упаковки, бытовой мусор

На основании анализа данных таблицы 10 для обеспечения защиты окружающей среды могут применены стандартные средства и методики, которые для наглядности сведены в таблицу 11. Применение указанных средств позволяет обеспечить разумный уровень антропогенного действия производства.

Таблица 11 – Средства и методики по обеспечению экологической безопасности

Наименование технического объекта	Производственный участок сборки и сварки с установленным на нём технологическим оборудованием
действие на атмосферу	«Применение специальных фильтров, устанавливаемых в вентиляционную систему цеха, которые позволяют собирать и утилизировать выделяющиеся при работе технологического оборудования вредные вещества» [2]
действие на гидросферу	«Контролировать утечки машинного масла из гидравлической системы технологического оборудования, в случае возникновения таких утечек их следует незамедлительно устранять» [2]
действие на литосферу	«На производственном участке необходимо выполнить установку ёмкостей, которые позволяют провести селективный сбор получаемых при выполнении технологического процесса отходов. Проведение инструктажа персонала о необходимости соблюдения мер по сбору мусора» [2]

Выводы по экологическому разделу.

В экологическом разделе настоящей выпускной квалификационной работ рассмотрены негативные производственные факторы, действующие на персонал предприятия при реализации проектной технологии на рассматриваемом производственном участке. Выполнена идентификация негативных производственных факторов и предложены меры по их нейтрализации, представляющие набор стандартных методик и технических средств из резерва предприятия. Кроме того, были рассмотрены негативные воздействия производства на окружающую среду и предложены мероприятия по обеспечению экологической ответственности и грамотности. Также была рассмотрена опасность возникновения пожара на предприятии, для устранения которой предусмотрены соответствующие средства.

Предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе методики и средства являются стандартными и имеются в резерве предприятия. Разработки специальных средств и методик для защиты персонала и окружающей среды не требуется.

4 Экономическое обоснование проектных решений

4.1 Анализ исходных данных для выполнения экономического обоснования

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности восстановительной наплавки при ремонте элементов запорной арматуры. Базовая технология предусматривает применение ручной дуговой наплавки штучными электродами.

Выполнено обоснование выбора способа восстановительной наплавки деталей запорной арматуры. Проведен анализ преимуществ и недостатков каждого рассмотренного способа наплавки, оценена эффективность способа по выбранным критериям и дано обоснование выбора способа. Построена проектная технология наплавки элементов запорной арматуры. Сформулирован перечень технологических операций, составлены требования к выполнению каждой операции, назначены параметры режима и выбрано технологическое оборудование.

Для построения проектной технологии предлагается применить плазменно-порошковую наплавку, которая позволяет повысить эксплуатационные свойства восстановленной детали и является перспективным процессом, внедрение которого в производство позволяет повысить его экономическую эффективность. Ожидаемый эффект будет получен за счёт повышения производительности и уменьшения затрат на материалы. Также следует ожидать уменьшение затрат на оборудование, так как повышение производительности приводит к снижению коэффициента загрузки оборудования.

Для выполнения экономических расчётов все исходные данные по применяемым технологиям и расчётным коэффициентам приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Исходные данные для экономического обоснования

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.	200 тыс.	600 тыс.
Норма амортизации оборудования	K_a	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	25	40
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	0,85
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	S	m^2	50	50
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эксп}$	(Р/ m^2)/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	Р/ m^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» [14]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

На основании представленных данных предстоит выполнить расчёт себестоимости (технологическая, цеховая, заводская) по базовому и проектному вариантам. Далее следует оценить величину капитальных затрат. Для оценки эффективности предлагаемых решений будут вычислены основные экономические показатели: «повышение производительности труда, снижение технологической себестоимости, снижение трудоемкости, условно-годовая экономия и годовой экономический эффект» [14].

4.2 Фонд времени оборудования

Принимаемые для рассмотрения варианты технологического процесса предусматривают применение технологического оборудования и персонала, работу на производственных площадях. При этом для вычисления годовой программы, расходов и капитальных вложений требуется знание размеров фонда рабочего времени F_H и эффективного фонда рабочего времени F_3 , который отличается от фонда рабочего времени s по причине наличия потерь времени, величина которых задается коэффициентом потерь рабочего времени B . Для расчётов принимается $B=7\%$.

Поскольку в проектном варианте технологии предлагается использовать имеющуюся производственную базу, то годовой фонд времени по сравнению с базовым вариантом технологии не изменится. Для расчёта фонда времени необходимо задать количество смен $K_{см}$ и количество рабочих дней в году D_p , для рассматриваемого в выпускной квалификационной работе технологического объекта принимаем $K_{см}=1$ и $D_p=277$. С учётом нормативов труда продолжительность рабочей смены составляет $T_{см}=8$ часов. В течение одного года есть предпраздничные дни в количестве $D_{п}=7$ дней, в эти дни на величину $T_{п}=1$ час происходит уменьшение продолжительности смены. С учётом представленных данных годовой фонд времени составит

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

Для рассматриваемой технологии коэффициент потерь рабочего времени принимается равным $B = 7\%$, таким образом, рассчитываем эффективный фонд времени:

$$F_3 = F_H(1 - B/100) = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054 \text{ часов.} \quad (2)$$

Для проведения дальнейших расчётов по обоснованию эффективности предлагаемых решений принимаем эффективный фонд времени $F_3 = 2054$ часов.

4.3 Штучное время и годовая программа

Годовая программа выпуска и составляющие технологической себестоимости проведения наплавочных работ зависят от объемов времени, которое затрачивается на проведение рассматриваемых в настоящей выпускной квалификационной работе технологических операций при наплавке одного изделия – штучного времени $t_{шт}$. Для расчета величины штучного времени $t_{шт}$ необходимо применить знания по нормированию труда. «Рабочее время затрачивается непосредственно на выполнение основных операций, что учитывается частью рабочего времени, обозначаемой как $t_{маш}$ – машинное время. Вспомогательное время $t_{всп}$ является частью штучного времени, которое расходуется на действия по обеспечению основной работы, упрощенно можно принять $t_{всп} = 0,1t_{маш}$ » [15]. На обслуживание рабочего места расходуется время $t_{обсл}$, для которого в настоящей выпускной квалификационной работе можно принять $t_{обсл} = 0,05t_{маш}$. На личный отдых работника затрачивается время $t_{отд}$, для выполнения расчётов в настоящей выпускной квалификационной работе можно упрощенно принять $t_{отд} = 0,05t_{маш}$. На подготовку к сварке, изучение документации и сдачу работ расходуется подготовительно-заключительное время, которое упрощенно принимается как $t_{п-з} = 0,01t_{маш}$. Таким образом, расчёт штучного времени для базового $t_{шт.баз}$ и проектного $t_{шт.проектн.}$ вариантов технологии составит:

$$\begin{aligned} t_{шт} &= t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отд} + t_{п-з} . & (3) \\ t_{шт.баз} &= 1,5 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 1,89 \text{ часов} \\ t_{шт.проектн.} &= 0,6 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 0,76 \text{ часов} \end{aligned}$$

«Для расчёта экономического эффекта необходимо знание годовой программы Π_r , значение которой зависит от штучного времени $t_{шт}$ и эффективного фонда времени $F_э$, расчёт годовой программы выполняется по формуле» [15]

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

«Согласно (4) были получены для базового варианта $\Pi_{\Gamma} = 2054/1,89 = 1086$ деталей за год, для проектного варианта $\Pi_{\Gamma} = 2054/0,76 = 2700$ деталей за год» [15].

«С учётом реальной потребности производства предлагается для выполнения дальнейших экономических расчётов принимать 1000 наплавливаемых деталей в год.

С учётом годового эффективного фонда времени $F_{\text{э}} = 2954$ часов, годовой программы $\Pi_{\Gamma} = 1000$, коэффициента выполнения нормы $K_{\text{вн}} = 1,03$, штучного времени $t_{\text{шт}}$ количество оборудования рассчитывается как

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

По расчётам согласно (5) для базового варианта получаем для $t_{\text{шт}} = 1,89$ часов, $n_{\text{расч.}} = 1,89 \cdot 1000 / (2054 \cdot 1,03) = 0,9$, при подстановке исходных данных в формулу (5) для проектного варианта получаем для $t_{\text{шт}} = 0,76$ часов, $n_{\text{расч.}} = 0,76 \cdot 1000 / (2054 \cdot 1,03) = 0,4$ » [15]. При построении технологического процесса принимаем количество технологического оборудования в базовом варианте и проектном варианте $n=1$. Расчётное и реальное количество оборудования связаны через коэффициент загрузки $K_{\text{з}}$ следующим образом

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

По расчётам согласно (6) коэффициент загрузки оборудования для базового варианта равен $K_{\text{з}} = 0,9/1 = 0,9$, для проектного варианта коэффициент загрузки равен $K_{\text{з}} = 0,4/1 = 0,4$. Вычисленные таким образом значения коэффициента загрузки оборудования для рассматриваемых вариантов построения технологического процесса будут использованы для расчётного определения капитальных затрат. Снижение коэффициента загрузки оборудования в проектном варианте относительно базового варианта технологии объясняется повышением производительности труда, достигнутым за счёт внедрения предлагаемых технологических решений.

4.4 Заводская себестоимость рассматриваемых вариантов технологии

При реализации рассматриваемых вариантов построения технологического процесса помимо электрической энергии и труда затрачиваются материалы, в качестве которых вступают наплавочные материалы, стоимость которых рассчитывается с учетом коэффициента транспортно-заготовительных расходов, который в настоящей выпускной квалификационной работе принимается равным $K_{ТЗ} = 1,05$, нормы расхода H_p и цены C_M материалов:

$$M = C_M \cdot H_p \cdot K_{ТЗ} . \quad (7)$$

Согласно (7) для базового варианта построения технологии получаем $M_{\text{баз.}} = 270 \cdot 0,48 = 129,6 \approx 130$ рублей. Для проектного варианта технологического процесса стоимость материалов будет $M_{\text{баз.}} = 310 \cdot 0,448 + 90 \cdot 0,213 = 158,05 \approx 158$ рублей.

Основная заработная плата $Z_{\text{осн}}$ является составной фонда заработной платы ФЗП, который, в свою очередь, входит в состав технологической себестоимости. Эта величина определяется для рассматриваемых вариантов построения технологии исходя из ранее определенных значений штучного времени $t_{\text{шт}}$, и тарифной ставки, которая для рассматриваемого производства составляет $C_{\text{ч}} = 200$ рублей. Также при расчёте основной заработной платы следует учитывать коэффициент доплат, который в настоящей выпускной квалификационной работе принимается равным $K_{\text{д}} = 1,88$. Таким образом, для проектной и базовой технологии:

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

«Для базового варианта построения технологии значение штучного времени составляет $t_{\text{шт}} = 1,89$ часов, поэтому согласно (8) размер основной заработной платы» [15] $Z_{\text{осн}} = 1,89 \cdot 200 \cdot 1,88 = 711$ рублей; для проектного

варианта построения технологии значение штучного времени составляет $t_{шт} = 0,76$ часов, согласно (8) основная заработная плата $Z_{осн.} = 0,76 \cdot 200 \cdot 1,88 = 286$ рублей.

Ещё одной составляющей фонда заработной платы ФЗП является дополнительная заработная плата $Z_{доп}$, для расчёта необходимо задаться коэффициентом дополнительных доплат, который применительно к рассматриваемой технологии составит $K_{доп} = 0,12$. Величина $Z_{доп}$ пропорциональна основной заработной плате $Z_{осн.}$:

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

Для базового варианта построения технологического процесса величина основной заработной платы оставляет $Z_{осн.} = 711$ рублей, поэтому согласно (9) $Z_{доп} = 711 \cdot 0,12 = 85$ рублей. Для проектного варианта построения технологического процесса величина основной заработной платы оставляет $Z_{осн.} = 286$ рублей, поэтому согласно (9) дополнительная заработная плата $Z_{доп} = 286 \cdot 0,12 = 34$ рублей.

Фонд заработной платы ФЗП, являющийся составляющей технологической себестоимости, представляет собой сумму основной $Z_{осн.}$ и дополнительной $Z_{доп}$ заработной платы. При выполнении операций согласно базового процесса размер ФЗП = $711 + 85 = 796$ рублей. При выполнении операций согласно проектного технологического процесса размер ФЗП = $286 + 34 = 320$ рублей.

«Размер отчислений на социальные нужды $O_{сн}$ пропорционален размеру фонда заработной платы ФЗП, для рассматриваемых условий принимается значение коэффициента отчислений на социальные нужды» [15] $K_{сн} = 0,34$, с учётом которого:

$$O_{сн} = ФЗП \cdot K_{сн}. \quad (10)$$

Для базового варианта технологии ранее рассчитано значение ФЗП = 796 рублей, поэтому согласно (10) отчисления на социальные нужды

$O_{\text{сн.}} = 796 \cdot 34 / 100 = 271$ рублей. Для проектного варианта технологии ранее получено $\Phi ЗП = 320$ рублей, поэтому согласно (10) отчисления на социальные нужды $O_{\text{сн.}} = 320 \cdot 34 / 100 = 109$ рублей.

Амортизационные отчисления $A_{\text{об}}$ являются составляющими затрат на оборудование $Z_{\text{об}}$ и рассчитываются с учётом нормы амортизации, которая принимается $N_a = 21,5 \%$: эффективного фонда времени F_3 , стоимости оборудования $C_{\text{об}}$, которое для базового варианта составляет $C_{\text{об}} = 200000$ рублей, для проектного варианта $C_{\text{об}} = 600000$ рублей; машинного времени $t_{\text{маш}}$, которое для базового варианта составляет $t_{\text{маш}} = 1,89$ часов, для проектного варианта $t_{\text{маш}} = 0,76$ часов.

$$A_{\text{об}} = \frac{C_{\text{об}} \cdot N_a \cdot t_{\text{маш}}}{F_3 \cdot 100}. \quad (11)$$

Для базового варианта технологии согласно (10) $A_{\text{об}} = 200000 \cdot 21,5 \cdot 1,89 / 2054 / 100 = 40$ рублей. Для проектного варианта технологии согласно (10) $A_{\text{об}} = 600000 \cdot 21,5 \cdot 0,76 / 2054 / 100 = 48$ рублей.

«Ещё одной составляющей затрат на оборудование $Z_{\text{об}}$ являются затраты на электрическую энергию $P_{\text{э}}$. Эти затраты рассчитываются с учётом цены электрической энергии $C_{\text{э}}$, которая для рассматриваемого варианта принимается $C_{\text{э}} = 3,4$ руб/кВт·ч; коэффициента полезного действия КПД, машинного времени $t_{\text{маш}}$ и установленной мощности оборудования $M_{\text{уст}}$ » [15].

$$P_{\text{э}} = M_{\text{уст}} \cdot t_{\text{маш}} \cdot C_{\text{э}} / \text{КПД}. \quad (12)$$

Согласно (12) для базового варианта $P_{\text{э}} = 25 \cdot 1,89 \cdot 3,4 / 0,7 = 204$ рублей. Согласно (12) для проектного варианта $P_{\text{э}} = 40 \cdot 0,76 \cdot 3,4 / 0,85 = 108$ рублей.

Затраты на оборудование $Z_{\text{об}}$ являются составляющей технологической себестоимости и определяются с учётом ранее рассчитанных $A_{\text{об}}$ и $P_{\text{э}}$:

$$Z_{\text{об}} = A_{\text{об}} + P_{\text{э}}. \quad (13)$$

С учётом ранее определенных значений, при подстановке в (13) для базового варианта технологии $Z_{об.} = 40+204 = 244$ рублей, для проектного варианта технологии $Z_{об} = 48+108 = 156$ рублей.

Технологическая себестоимость $C_{тех}$ является суммой фонда заработной платы (в базовом варианте ФЗП = 796 рублей, в проектном варианте ФЗП = 320 рублей), затрат на материалы (в базовом варианте $M = 129$ рублей, в проектном варианте $M = 158$ рублей) отчислений на социальные нужды (в базовом варианте $O_{сс} = 271$ рублей, в проектном варианте $O_{сс} = 109$ рублей), затрат на оборудование (в базовом варианте $Z_{об} = 244$ рублей, в проектном варианте $Z_{об} = 156$ рублей). Таким образом:

$$C_{тех} = M + \text{ФЗП} + O_{сс} + Z_{об} . \quad (14)$$

По расчётам согласно (14) технологическая себестоимость для базового варианта $C_{тех} = 129+796+271+244 = 1440$ рублей, для проектного варианта себестоимость составляет $C_{тех} = 158 + 320 + 109 + 156 = 743$ рублей.

Расчёт цеховой себестоимости $C_{цех}$ ведется с учётом основной заработной платы $Z_{осн}$ и коэффициента цеховых расходов $K_{цех} = 1,5$:

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

По расчётам согласно (15) цеховая себестоимость для базового варианта технологии $C_{цех} = 1440 + 1,5 \cdot 711 = 1440 + 1067 = 2507$ рублей, для проектного варианта $C_{цех} = 743 + 1,5 \cdot 286 = 743 + 429 = 1172$ рублей.

Расчёт заводской себестоимости $C_{зав}$ ведется с учётом основной заработной платы $Z_{осн}$ и коэффициента заводских расходов $K_{зав} = 1,15$:

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

Согласно (16) $C_{зав} = 2507+1,15 \cdot 711 = 2507+818 = 3325$ рублей для базовой технологии и $C_{зав} = 1172+1,15 \cdot 286 = 1172+329 = 1501$ рублей для проектной технологии.

Рассчитанные выше составляющие заводской себестоимости сведены в таблицу 13, по которой может быть построена сравнительная диаграмма, представленная на рисунке 16.

Таблица 13 – Данные для расчёта заводской себестоимости

Показатель	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант	Проектный вариант
1. «Затраты на материалы	М	129	158
2. Фонд заработной платы	ФЗП	796	320
3. Отчисления на соц. нужды	Осн	271	109
4. Затраты на оборудование	Зоб	244	156
5. Технологическая себестоимость	С _{тех}	1440	743
6. Цеховые расходы	Р _{цех}	1067	429
7. Цеховая себестоимость	С _{цех}	2507	1172
8. Заводские расходы	Р _{зав}	818	329
9. Заводская себестоимость» [14]	С _{зав}	3325	1501

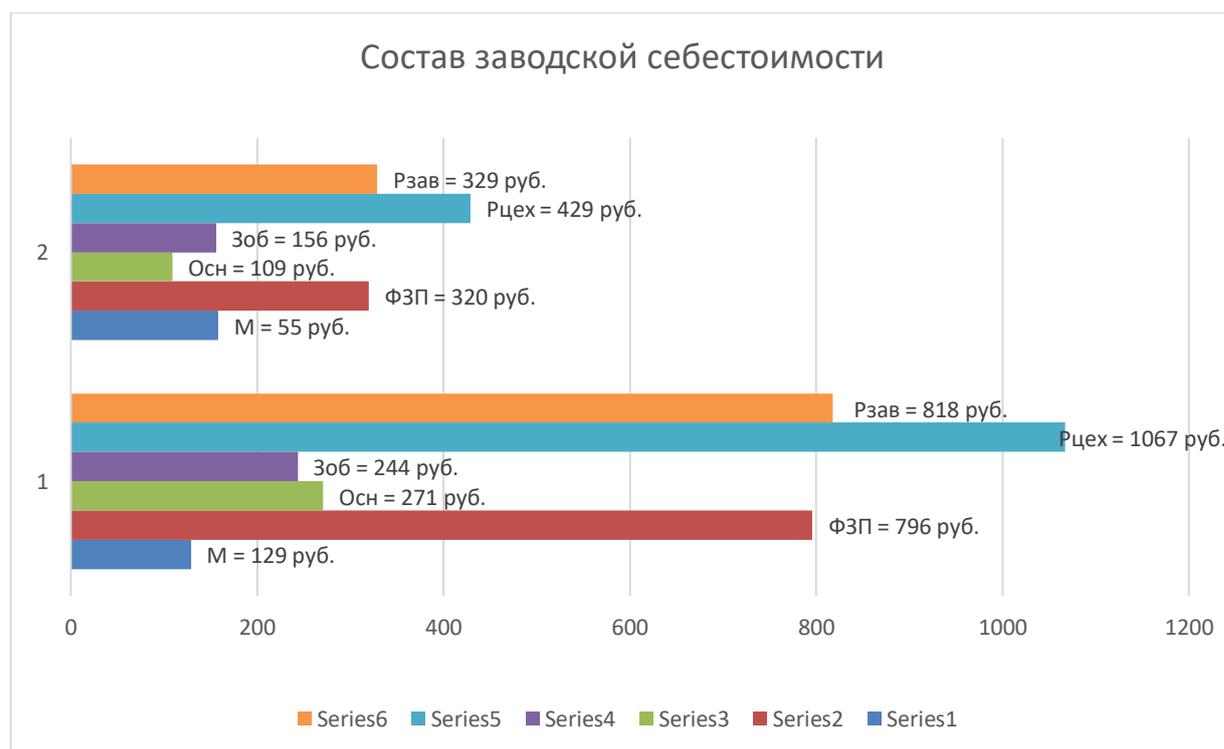


Рисунок 16 – Состав заводской себестоимости

На основании анализа структуры заводской себестоимости рассматриваемых вариантов технологии следует признать высокую эффективность предлагаемых решений.

4.5 Расчёт капитальных затрат

Остаточная себестоимость оборудования $\Pi_{об.б.}$ определяется расчётным путем исходя из продолжительности эксплуатации, которая принимается $T_c = 3$ года, и цены нового оборудования на рынке $\Pi_{перв.}$, которая принимается $\Pi_{перв.} = 200000$ рублей. Расчеты ведем с учетом нормы амортизационных отчислений $H_a = 21,5 \%$. Таким образом, остаточная стоимость оборудования составляет:

$$\Pi_{об.б.} = \Pi_{перв.} - (\Pi_{перв.} \cdot T_{сл} \cdot H_a / 100). \quad (17)$$

Согласно (17) $\Pi_{об.б.} = 200000 - (200000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 71000$ рублей.

Ранее для базового варианта был рассчитан коэффициент загрузки оборудования $K_z = 0,9$, с учётом которого для остаточной стоимости оборудования $\Pi_{об.б.} = 71000$ рублей общие капитальные затраты составят:

$$K_{общ. б.} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{z.б} = 71000 \cdot 0,9 = 63900 \text{ рублей}. \quad (18)$$

Для расчета размеров «капитальных затрат $K_{общ.пр.}$ по проектному варианту необходимо определить величину капитальных вложений в производственные площади $K_{пл.пр.}$, капитальных затрат на оборудование $K_{об.пр.}$ и сопутствующих затрат $K_{соп.}$:

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

Согласно исходным данным для проектной технологии в настоящей выпускной квалификационной работе принимаем цену оборудования $\Pi_{об. пр.} = 600000$ рублей, коэффициент транспортно-заготовительных расходов $K_{tz} = 1,05$ и коэффициент загрузки оборудования $K_z = 0,4$. Далее выполним расчёт капитальных затрат на оборудование $K_{об. пр.}$:

$$K_{об. пр.} = \Pi_{об. пр.} \cdot K_{tz} \cdot K_{зп.} \quad (20)$$

По результатам подстановки в (20) исходных данных размер капитальных затрат на оборудование при реализации проектной технологии составляет $K_{об.пр} = 600000 \cdot 1,05 \cdot 0,4 = 252000$ рублей.

Сопутствующие капитальные затраты $K_{соп}$ рассчитываются с учётом расходов на монтаж нового оборудования $P_{мон}$ и расходов на демонтаж оборудования, которое ранее было использовано при реализации базовой технологии $P_{дем}$. Расчёты ведутся по формуле» [15]

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

«Для рассматриваемого в настоящей выпускной квалификационной работе технологического процесса принимаем коэффициент расходов на демонтаж оборудования $K_{дем} = 0,05$. С учётом ранее заданной цены оборудования $Ц_{об.б} = 2000000$ рублей расходы на демонтаж $P_{дем}$ составят:

$$P_{дем} = Ц_{об. б.} \cdot K_{д} = 200000 \cdot 0,05 = 10000 \text{ рублей}. \quad (22)$$

Величина расходов на монтаж оборудования оценивается по цене оборудования $Ц_{об. пр.}$ с учётом значения коэффициента расходов на монтаж, который принимается $K_{мон} = 0,05$ » [15]:

$$P_{монт} = Ц_{об. пр.} \cdot K_{м} = 600000 \cdot 0,05 = 30000 \text{ рублей}. \quad (23)$$

Расчётное значение сопутствующих расходов $K_{соп}$ согласно (21) составляет $K_{соп} = 10000 + 30000 = 40000$ рублей.

Расчётное значение капитальных затрат по проектной технологии $K_{общ. пр.}$ согласно (19) составляет $K_{общ. пр.} = 252000 + 40000 = 292000$ рублей.

На основании рассчитанных ранее капитальных затрат по проектной технологии $K_{общ. пр.} = 109000$ рублей и капитальных затрат по базовой технологии $K_{общ. б.} = 22800$ рублей рассчитываем дополнительные капитальные затраты $K_{доп}$:

$$K_{доп} = K_{общпр} - K_{общб} = 292000 - 63900 = 228100 \text{ рублей}. \quad (24)$$

«Удельные капитальные вложения $K_{уд}$ рассчитываются как отношение величины капитальных вложений $K_{общ}$ к годовой программе P_T согласно формулы

$$K_{уд} = K_{общ} / P_T. \quad (25)$$

Согласно (25) базовый вариант предполагает удельные капитальные вложения $K_{уд} = 63900/1000 = 63,9$ руб./ед. Проектный вариант предполагает удельные капитальные вложения $K_{уд} = 292000/1000 = 292$ руб./ед» [15].

4.6 Расчёт экономических показателей

«Для обоснования эффективности предлагаемых в работе решений применяются объективные показатели, расчёт которых выполняется с использованием полученных ранее значений» [15].

Первым объективным показателем является снижение трудоемкости $\Delta t_{шт}$, которое определяется исходя из штучного времени для проектного варианта $t_{шт пр} = 1,89$ часов и штучного времени для базового варианта $t_{шт б} = 0,76$ часов:

$$\Delta t_{шт} = (t_{шт б} - t_{шт пр}) \cdot 100 \% / t_{шт б} = (1,89 - 0,76) \cdot 100 \% / 1,89 = 60 \%. \quad (26)$$

Следующим объективным показателем эффективности проектной технологии является повышение производительности труда P_T , рассчитываемая как

$$P_T = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}) = 100 \cdot 60 / (100 - 60) = 150 \%. \quad (27)$$

Следующим объективным показателем является «снижение технологической себестоимости $\Delta C_{тех}$, которая рассчитывается для технологической себестоимости по базовой технологии $C_{тех.б} = 1440$ рублей и себестоимости по проектной технологии» [15] $C_{тех.пр.} = 743$ рублей:

$$\Delta C_{\text{тех}} = (C_{\text{тех.б.}} - C_{\text{тех.пр.}}) \cdot 100\% / C_{\text{тех.б.}} = (1440 - 743) \cdot 100\% / 1440 = 48 \%. \quad (28)$$

Для расчёта условно-годовой экономии $\mathcal{E}_{\text{уг}}$ применяются ранее определенное значение заводской себестоимости по базовому и проектному вариантам $C_{\text{зав.б.}} = 3325$ рублей и $C_{\text{тех.пр.}} = 1501$ рублей. Расчёты ведутся по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{уг}} = (C_{\text{зав.б.}} - C_{\text{зав.пр.}}) \cdot \Pi_{\Gamma} = (3325 - 1501) \cdot 1000 = 1823000 \text{ рублей.} \quad (29)$$

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений $T_{\text{ок}}$ рассчитывается для $K_{\text{доп}} = 228100$ рублей и $\mathcal{E}_{\text{уг}} = 1823000$ рублей по формуле:

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{доп}} / \mathcal{E}_{\text{уг}} = 228100 / 1823000 = 0,2 \text{ года.} \quad (30)$$

Для рассматриваемого в настоящей выпускной квалификационной работе технологического процесса принимается значение коэффициента окупаемости затрат $E_{\text{н}} = 0,33$. С учётом дополнительных капитальных вложений $K_{\text{доп}} = 228100$ рублей и условно-годовой экономии $\mathcal{E}_{\text{уг}} = 1823000$ рублей рассчитываем годовой экономический эффект:

$$\mathcal{E}_{\Gamma} = \mathcal{E}_{\text{уг}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}} = 1823000 - 0,33 \cdot 228100 = 1748000 \text{ рублей.} \quad (31)$$

«На основании проведенных экономических расчётов продемонстрировано, что применение предлагаемых решений в построении технологических процессов обеспечивает получение условно-годовой экономии в размере 1,82 миллиона рублей. При этом за счёт модернизации производства трудоемкость снижается на 60 %, производительности труда повышается на 150 %. Технологическая себестоимость снижается на 48 %. Годовой экономический эффект оценивается в 1,75 миллиона рублей, что позволяет сделать вывод о высокой эффективности предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений» [15].

Заключение

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности восстановительной наплавки при ремонте элементов запорной арматуры. Базовая технология предусматривает применение ручной дуговой наплавки штучными электродами. Анализ базовой технологии позволил сформулировать её недостатки, устранение которых приведет к достижению поставленной цели. Анализ информации по мировым рынкам сварочных технологий и материалов позволяет заключить, что применение ручной дуговой наплавки в настоящее время сокращается, уступая место механизированным и автоматическим способам наплавки. Содержащаяся в актуальных источниках научно-техническая информация позволяет для построения проектной технологии восстановления предложить использование нескольких способов наплавки, применение которых будет эффективно для рассматриваемой конструкции. Проведенный предварительный анализ позволил квалифицированно составить перечень задач на выполнение выпускной квалификационной работы. Во-первых, проведено обоснование выбора способа восстановительной наплавки на основании анализа преимуществ и недостатков каждого способа, проведена оценка эффективности каждого способа по выбранным критериям и дано обоснование выбора способа. При решении второй задачи построена проектная технология наплавки элементов запорной арматуры. Сформулирован перечень технологических операций, составлены требования к выполнению каждой операции, назначены параметры режима и выбрано технологическое оборудование. При решении третьей задачи выполнена оценка промышленной безопасности предлагаемых технологических решений для персонала предприятия и окружающей среды. При решении четвертой задачи выполнено экономическое обоснование эффективности предлагаемых технологических решений. Годовой экономический эффект составляет около двух миллионов рублей.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Балдаев Л. Х., Степин В. С., Грачев О. Е. Опыт применения технологии лазерной наплавки для реновации уплотнительных поверхностей запорной арматуры // Трубопроводная арматура и оборудование. 2015. № 1. С. 17-23.
2. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372с.
3. Богомолова Н. А. Практическая металлография. М. : Высшая школа, 1978. 272 с.
4. Васильев А. С., Шагельман И. Р., Щукин О. П. Некоторые особенности технических решений на конструкции клиновых задвижек для магистральных трубопроводов предприятий атомной, тепловой энергетики, нефтегазовой промышленности // Инженерный вестник Дона. 2013. № 3. С. 45-53.
5. Вертакова Ю. В., Плотников В. А.. Перспективы импортозамещения в высокотехнологичных отраслях промышленности. // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 7-20.
6. Голов Р.С., Сорокин А.Е., Мельник А.В., Рожков И.В. Основные технологические и маркетинговые тенденции развития сварочного производства // Сварочное производство. 2016. № 11. С. 46–51.
7. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
8. Гульянц Г. М. Противовыбросовое оборудование скважин, стойкое к сероводороду: Справ. пособие. М.: Недра, 1991. 348 с.
9. Еремин Е. Н., Еремин А. Е., Филиппов Ю. О. Разработка порошковой проволоки для наплавки запорной арматуры // Омский научный вестник. 2014. № 2. С. 45–47.
10. Еремина А.Е. Еремин Е. Н., Филиппов Ю. О. Структура и свойства высокохромистого металла запорной арматуры, наплавленного серийно

выпускаемыми сварочными проволоками // Омский научный вестник. 2014. № 1. С. 55–58.

11. Жадкевич М. Л., Переплётчиков М. Л., Пузырин Л. Г. Расчет толщины наплавленного слоя на деталях задвижек нефтегазовой арматуры высокого давления // Автоматическая сварка. 2007. № 5. С. 59–62.

12. Жариков С. В. Влияние экзотермической смеси в составе сердечника самозащитной порошковой проволоки на параметры наплавленного валика // Вісник східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. Луганск: СНУ, 2010. № 2. С. 102–105.

13. Клепач А. Н. Социальный инновационный поворот Российской экономики: планы и реальность // Научные труды Вольного экономического общества России. 2021. № 1. С. 17-23.

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

15. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.

16. Куршин А.П. Пути повышения надежности и качества трубопроводной арматуры на основе научно-технических достижений в области герметологии // Арматуростроение. 2004. № 6. С. 27–31.

17. Лейбин В. Отключение от научной сети / В. Лейбин // Эксперт. – 2022. № 19. С. 50–51.

18. Ленчук Е. Б. Научно-технологическое развитие России в условиях санкционного давления // Экономическое возрождение России. 2022. № 3. С. 52-60.

19. Мазур А.А., Маковецкая О.К., Пустовойт С.В., Петрук В.С. Экономико-статистический обзор мирового и региональных рынков сварочных материалов // Автоматическая сварка. 2019. № 9. С. 45–51.

20. Маковецкая О.К. Состояние и тенденции развития мирового рынка основных конструкционных материалов и сварочной техники // Автоматическая сварка. 2015. № 10. С. 54–61.

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

22. Матвиенко В. Н. Совершенствование технологии наплавки уплотнительных поверхностей трубопроводной арматуры // Вісник Приазовського державного технічного університету. 2011. № 22. С. 169-176.

23. Неёлов Ю. В. Перспективы импортозамещения в Российской Федерации, // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 4-7.

24. Пат. 2356715 РФ, МПК Н 04 В 1/38, Н 04 J 13/00. Порошковая проволока / Еремин Е. Н., Еремин А. Е., Филиппов Ю. О. Заявл. 07.04.00; опубл. 27.05.09, Бюл. № 15. 3 с.

25. Переpletчиков Е.Ф., Рябцев И.А. Плазменно-порошковая наплавка деталей запорной арматуры различного назначения // Арматуростроение. № 4. 2007. С. 57–61.

26. Полосков С. С. Проблемы наплавки уплотнительных поверхностей трубопроводной арматуры и пути их решения // Вестник Донского государственного технического университета. 2019. № 4. С. 349-356.

27. Резниченко А. Наука под санкциями: пора просыпаться / А. Резниченко // Эксперт. 2022. № 11. С. 76–79.

28. Рябцев И. А., Переpletчиков 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.

29. Савельев В.А., Сорогина Т.П. Влияние технологии обработки на структуру и свойства запорной арматуры из стали 20X13 // Вестник КГУ. 2010. № 1. С. 106–107.

30. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов : учебное пособие. Тольятти : ТГУ, 2007. 301 с.

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

32. Татаринов Е. А. Лазерная наплавка элементов запорной арматуры // Известия Тульского государственного технического университета. 2015. № 11. С. 101–107.

33. Шегельман И. Р., Васильев А. С., Щукин П. О. Некоторые аспекты проектирования запорной аппаратуры для предприятий атомной, тепловой энергетики и нефтегазовой отрасли // Наука и бизнес: пути развития, 2013. № 8. С. 94-96.