

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование)

15.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Оборудование и технология сварочного производства»

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Технология восстановления колеса
велосипедного крана

Студент

В.А. Телепегин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент А.С. Климов

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

Консультанты

к.т.н., доцент Н.В. Зубкова

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

к.т.н., доцент А.Н. Москалюк

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

Тольятти 2021

Аннотация

Перед современным производством стоит задача повышения производительности и снижения себестоимости выпускаемой продукции. При этом возможны два направления повышения экономической эффективности производства. Первое направление – совершенствование основных технологических операций. Второе направление – механизация и автоматизация вспомогательных работ.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества восстановления крановых колёс за счёт внедрения прогрессивных технологий наплавки.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы решены следующие задачи:

- составить проектную технологию восстановительной наплавки;
- предложить оборудование для реализации проектной технологии;
- оценить предлагаемые решения с точки зрения отрицательного влияния на окружающую среду и рабочий персонал;
- оценить затраты на внедрение предлагаемых технологических решений и потенциальный экономический эффект при принятии в производство проектной технологии ремонтной наплавки крановых колёс.

На основании проведённого анализа преимуществ и недостатков альтернативных способов ремонтной наплавки для построения проектной технологии восстановительной наплавки крановых колёс рекомендована автоматическая наплавка под флюсом.

Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 1,7 млн. рублей.

Содержание

Введение	5
1 Анализ состояния вопроса.....	7
1.1 Описание изделия и условий его эксплуатации.....	7
1.2 Свойства материала изделия и оценка его свариваемости.....	10
1.3 Предварительный анализ источников научно-технической информации по вопросу восстановления крановых колёс.....	10
1.4 Обоснование выбора способа восстановительной наплавки	13
1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы	20
2 Проектная технология восстановительной наплавки крановых колёс ...	22
2.1 Выбор параметров режима восстановительной наплавки.....	22
2.2 Выбор и описание наплавочных материалов.....	23
2.3 Оборудование для проведения восстановительной наплавки	24
2.4 Описание операций проектного технологического процесса восстановительной наплавки	26
3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса	31
3.1 Технологическая характеристика объекта	31
3.2 Идентификация профессиональных рисков	33
3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков	35
3.4 Обеспечение пожарной безопасности	37
3.5 Обеспечение экологической безопасности	39
4 Оценка экономической эффективности проектной технологии.....	41
4.1 Исходная информация для выполнения экономической оценки предлагаемых технических решений	41
4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования	43
4.3 Расчет штучного времени	44

4.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов технологии	46
4.5 Капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии.	50
4.6 Показатели экономической эффективности.	53
Заключение	55
Список используемой литературы и используемых источников	56

Введение

Перед современным производством стоит задача повышения производительности и снижения себестоимости выпускаемой продукции. При этом возможны два направления повышения экономической эффективности производства. Первое направление – совершенствование основных технологических операций. Второе направление – механизация и автоматизация вспомогательных работ.

Именно второе направление имеет наибольший потенциал, потому что, как показывает статистика, на 1 тонну готовой продукции приходится приблизительно 10...100 тонн сырья, которое необходимо перемещать, складировать, транспортировать. При этом применяются различные грузоподъёмные механизмы, в частности, велосипедные краны.

Велосипедные краны используются на металлургических и машиностроительных предприятиях, благодаря своей конструкции они позволяют экономить производственную площадь и обеспечивать механизацию грузоподъёмных операций на всех этапах производства.

В восьмидесятые годы 20-го века в СССР производилось около 6...7 тысяч различных кранов в год. Согласно статистическим данным, в начале 21-го века производство кранов в России получило отрицательный рост и в настоящий момент стабилизировалось на уровне 1,0...1,5 тысяч кранов в год. Следует отметить, что требования ГОСТ 28448-90 «Краны консольные электрические передвижные. Типы» и ГОСТ 28648-90 «Колёса крановые. Технические условия» в настоящий момент производителем не соблюдаются. На рынке присутствует сотни типов и разновидностей кранов с различными техническими исполнениями. Это особенно затрагивает колеса, поскольку каждый производитель грузоподъёмной техники выпускает их по собственным нормам. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (от 20 июня 1997 года) относит к категории опасных производственных объектов грузоподъёмные механизмы.

Техническое состояние крана определяет безопасность и продолжительность его эксплуатации. Нормативный срок службы большинства мостовых кранов уже истёк, а их эксплуатация продолжается [15].

Для того, чтобы обеспечить безопасность при работе грузоподъёмной техники, применяются различные методы. В приводных механизмах и управляющих системах применяется дублирование. Стальные канаты и быстроизнашивающиеся детали проходят периодическую замену. Крановые колёса работают в неблагоприятных условиях, которые приводят к их интенсивному износу вследствие действия динамических нагрузок и абразивного изнашивания.

Значительные статические и динамические нагрузки приводят к возникновению дефектов крановых колёс. При ремонте металлических конструкций широкое применение получила ручная дуговая наплавка штучными электродами, которая сопровождается получением большого числа дефектов. Исправление этих дефектов требует привлечения дополнительных трудозатрат. Практический опыт по реновации деталей машин позволяет установить, что дефекты наплавки возникают в случае нарушения заданных параметров режима наплавки, недостаточно качественно проведённой подготовки поверхности деталей под наплавку, неправильный выбор технологии наплавки и наплавочных материалов [4], [6], [14], [22], [25], [26].

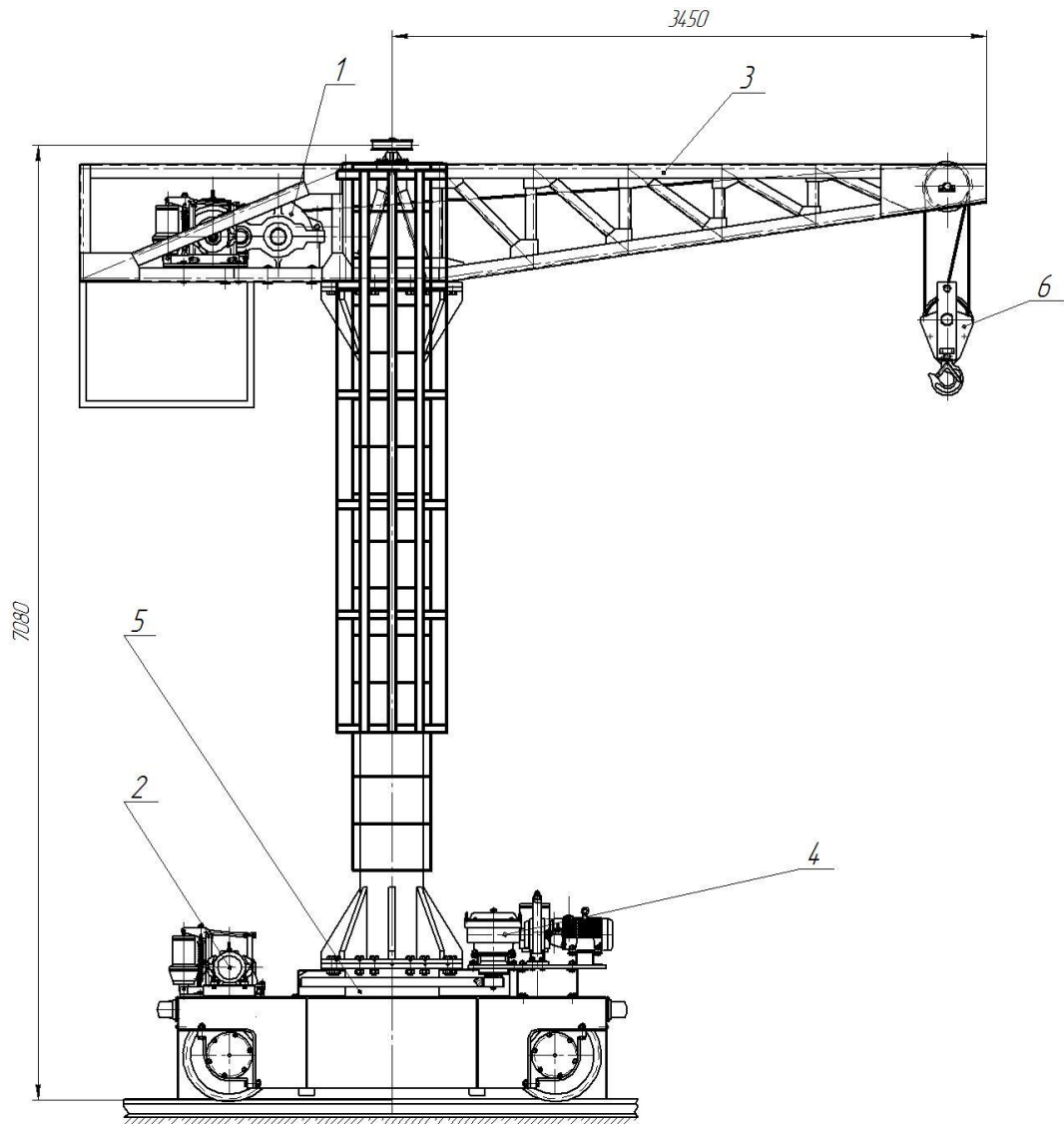
Повышение эффективности ремонтных работ требует замены ручной дуговой наплавки на более производительный способ восстановления.

Исходя из вышеизложенного следует признать актуальной **цель** выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества восстановления крановых колёс за счёт внедрения прогрессивных технологий наплавки.

1 Анализ состояния вопроса

1.1 Описание изделия и особенностей его эксплуатации

Велосипедный кран, представленный на рисунке 1, является грузоподъемной машиной, в состав которой входят следующие элементы: механизмы подъёма, перемещения и поворота (1, 2 и 4), консоль (3), опорное поворотное устройство (5) и крюковую подвеску (6).



1 – механизм подъёма; 2 – механизм перемещения; 3 – консоль; 4 – механизм поворота;
5 – опорное поворотное устройство; 6 – крюковая подвеска

Рисунок 1 – Общий вид велосипедного крана

В процессе движения крана по рельсовому пути колёса крана испытывают значительные динамические нагрузки, которые вызывают интенсивный износ реборд. Скорость износа реборды в значительной мере зависит от действующих на участке контакта «рельсовая головка – реборда колеса» сил трения. Знакопеременные нагрузки при разгоне и торможении крана вызывают интенсивный усталостный износ крановых колёс, представленный на рисунке 2.



Рисунок 2 - Износ крановых колёс: отслоение поверхности катания и деформация реборды (а), разрушение колеса (б)

Несоответствие твёрдости реборды кранового колеса и дорожки катания рельсового пути существенно сокращает срок службы кранового колеса. Также при составлении технологии восстановления кранового колеса следует учитывать, что излишняя твёрдость наплавленного слоя может привести к износу уже рельса. Так как нагрузка на крановые колёса прикладывается неравномерно, вследствие их износа возникает значительная разница в диаметрах, которая может стать причиной перекаса крана на рельсовом пути и существенно ускорить износ реборды кранового колеса и рельсов. Исходя из этого необходимо внимательно отслеживать состояние крановых колёс, выполняя их замену и восстановление по мере необходимости. При этом заменять и восстанавливать необходимо весь комплект колёс. Также следует учитывать, что на скорость износа крановых колёс влияет точность их установки и наличие монтажного перекаса.

1.2 Свойства материала изделия и оценка его свариваемости

Заготовки крановых колёс согласно ГОСТ 14959 должны быть выполнены из стали 75 или 65Г. Требования ГОСТ 25835 разрешают выполнение крановых колёс из марок стали других марок, механические свойства которых не хуже, чем у стали 30. Рассматриваемое в настоящей выпускной квалификационной работе крановое колесо выполнено из стали 30, состав которой приведён в таблице 1, а свойства - в таблице 2.

Таблица 1 – Содержание химических элементов в стали 30 (ГОСТ 1050-84)

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As
0,27 – 0,35	0,17 – 0,37	0,5 – 0,8	до 0,3	до 0,04	до 0,035	до 0,25	до 0,008	до 0,3	до 0,08

Таблица 2 – Механические свойства при T=20°C материала сталь 30

Сортамент	σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ , %	ψ , %
Прокат	490	295	21	50

Сталь 30 является ограниченно свариваемой, это означает, что её сварка и наплавка должны выполняться с использованием предварительного подогрева до температуры 100...120 °С.

1.3 Предварительный анализ источников научно-технической информации по вопросу восстановления крановых колёс

Для выполнения предварительного анализа был выполнен поиск в сети ИНТЕРНЕТ источников научно-технической информации по вопросу восстановительной наплавки крановых колёс выполнили по ключевым словам «восстановительная наплавка», «крановое колесо», «диссертация», «Автоматическая сварка», «патент». Поиск источников научно-технической информации проводили по базам данных «Киберленинка» (научные статьи и

патенты на изобретение), «ДиссерКэт» (диссертации) и «ФриПатент» (патенты на изобретение).

В работе [5] обобщён опыт применения восстановительной наплавки порошковой проволокой на различных машиностроительных предприятиях. Показана высокая эффективность механизированной и автоматической наплавки с применением порошковой проволоки, возможность управления свойствами наплавленного металла и повышения срока службы крановых колёс. Для наплавки предложено применять проволоку Велтек-Н285.01, которая позволяет увеличить ресурс кранового колеса до 3 раз. Твёрдость наплавленного металла достигает 217...220 НВ, а после наклепа твёрдость увеличивается до 380...410 НВ.

В работе [13] выполнена оценка зависимости экономической эффективности наплавки колёс от различных факторов. Показано, что срок службы колеса определяется в основном количеством и величиной обточки при капитальном ремонте колеса. При этом во время обточки снимается значительно больший слой металла, чем в процессе эксплуатации. Средний срок эксплуатации колеса составляет 10,6 месяца. Если перед обточкой колеса выполнять восстановительную наплавку, то количество снимаемого металла при обточке значительно уменьшается, а срок службы колеса увеличивается до нескольких лет [1], [3], [19].

В работе [8] представлены недостатки традиционной восстановительной наплавки с применением ручной дуговой сварки. Повышение эффективности восстановительных работ предложено достичь применением лазерной наплавки.

В работе [2] представлены результаты исследования эффективности дуговой наплавки при различных способах. В критерием качества выбраны проплавление основного металла, свойства наплавленного слоя, геометрия наплавленных валиков. При оценке эффективности наплавочных работ были рассмотрены девять порошковых проволок. По результатам экспериментов сделан вывод о значительном влиянии напряжения дуги на качество

наплавки. При этом оптимальный диапазон напряжений, при которых выполняется восстановительная наплавка с получением минимальной дефектности, для каждой проволоки будет различным. Рассматривались следующие способы дуговой наплавки с применением порошковых проволок: автоматическая наплавка под флюсом, открытой дугой самозащитной проволокой, наплавка в защитных газах. Показано, что минимального проплавления основного металла удаётся достигнуть при восстановительной наплавке открытой дугой самозащитной порошковой проволокой.

В работе [7] представлены результаты исследования зависимости эксплуатационных свойств наплавленных крановых колёс от параметров режима наплавки и наплавочных материалов. Предложена технология наплавки, позволяющая получить наплавленный слой со свойствами не ниже основного металла. В результате экспериментов установлены параметры предварительного подогрева, которые обеспечивают получение наплавленного слоя без образования закалочных структур.

Таким образом, предварительный анализ источников научно-технической информации сделал возможным обозначение выделить нескольких способов восстановительной наплавки, применение которых к нашему изделию наиболее рационально:

- ручная дуговая наплавка штучными электродами,
- механизированная наплавка в среде защитных газов,
- наплавка под флюсом,
- электрошлаковая наплавка,
- наплавка порошковой самозащитной проволокой.

Обоснование выбора способа восстановительной наплавки должно быть выполнено с учётом анализа преимуществ каждого способа применительно к восстановлению крановых колёс.

1.4 Обоснование выбора способа восстановительной наплавки

При выборе способа наплавки следует руководствоваться «возможностью рассматриваемого способа обеспечить получение наплавленного слоя с требуемыми свойствами (химический состав, механические и эксплуатационные свойства), а также возможностью исправления рассматриваемой величины износа. На выбор способа наплавки оказывает влияние производительность, конфигурация и размеры восстанавливаемой детали, доля основного металла в наплавленном слое» [14].

Ручная дуговая наплавка, схема которой представлена на рисунке 4, «широко распространена при восстановлении деталей машин благодаря своим преимуществам. Это наиболее универсальный способ, который может быть применён для восстановления деталей различных форм и из различных материалов. Ручная дуговая наплавка может выполняться в различных пространственных положениях. Используются электроды диаметром 3...6 мм. Для того, чтобы обеспечить минимальное проплавление и сохранить устойчивость дуги, плотность тока должна быть 11...12 А/мм. Ручную дуговую наплавку можно вести как обычными электродами для дуговой сварки, так и специальными наплавочными электродами.

Ручная дуговая наплавка осуществляется стандартным сварочным оборудованием, специальной организации поста не требуется. Процесс наплавки может быть начат практически сразу после разработки соответствующей технологии с применением имеющегося на предприятии оборудования.

В числе недостатков ручной дуговой наплавки следует отметить, во-первых, низкую производительность. Во-вторых, ручная дуговая наплавка проходит при тяжёлых условиях сварщика, которые связаны с повышенной загазованностью рабочей зоны» [14]. В-третьих, при ручной дуговой

наплавке сложно получить необходимое качество наплавленного слоя, часто возникают дефекты наплавки.

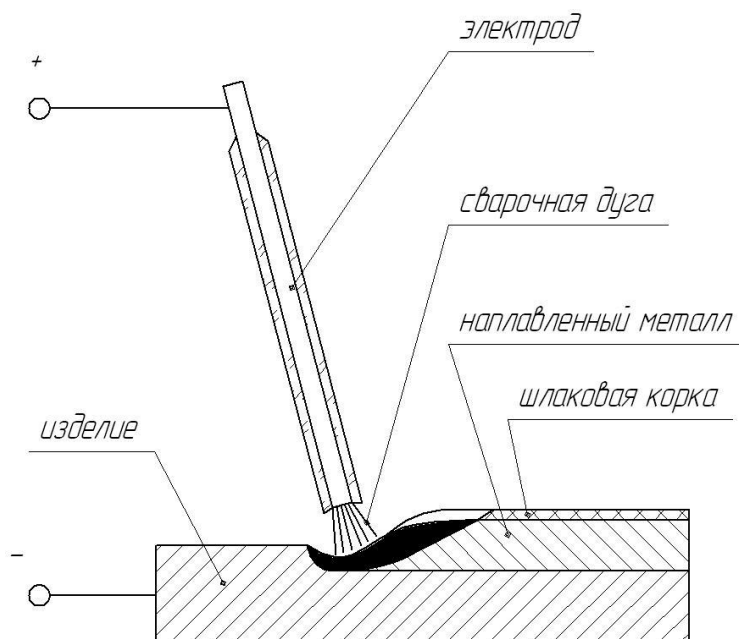


Рисунок 4 – Схема выполнения ручной дуговой наплавки штучными электродами

Дуговая наплавка в защитных газах проволокой сплошного сечения, схема выполнения которой представлена на рисунке 5, в настоящее время широко распространена при восстановлении деталей машин. Этот способ продолжает совершенствоваться, поэтому информацию о достижениях наплавки в защитных газах можно почерпнуть из множества источников.

Самое широкое распространение получила наплавка в углекислом газе с применением плавящегося электрода. Обычно для такой наплавки применяется постоянный ток обратной полярности. При использовании в качестве защитного газа углекислоты происходит окисление расплавленного металла, поэтому в наплавочную проволоку необходимо вводить раскислители (кремний и марганец).

Недостатком наплавки в углекислом газе является сильное разбрызгивание электродного металла. При этом происходит налипание брызг на поверхность изделия и мундштук сварочной горелки. Разбрызгивание не позволяет выполнять наплавку на форсированных

режимах, что существенно снижает производительность наплавки по сравнению с потенциально возможной производительностью.

Исследования в области повышения эффективности наплавки в защитных газах ведутся в направлении разработки компьютеризированных электроприводов подачи наплавочной проволоки. Вторым направлением исследований является управление горением дуги и переносом электродного металла [17], [20]. В качестве третьего направления можно выделить разработку новых наплавочных материалов [24].

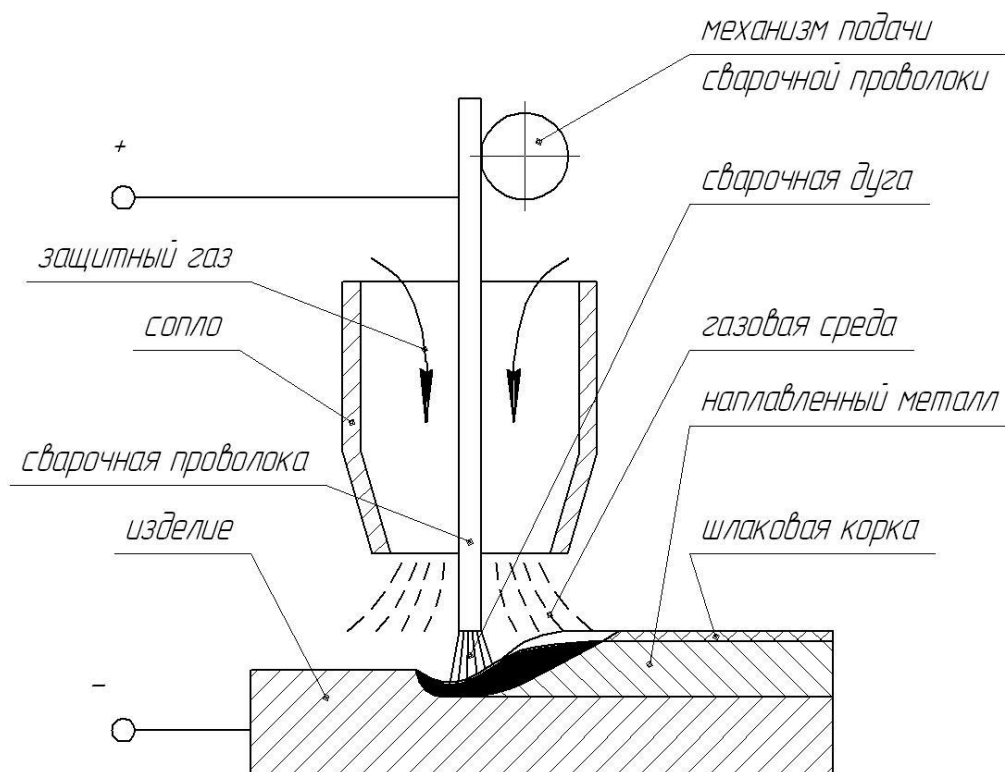
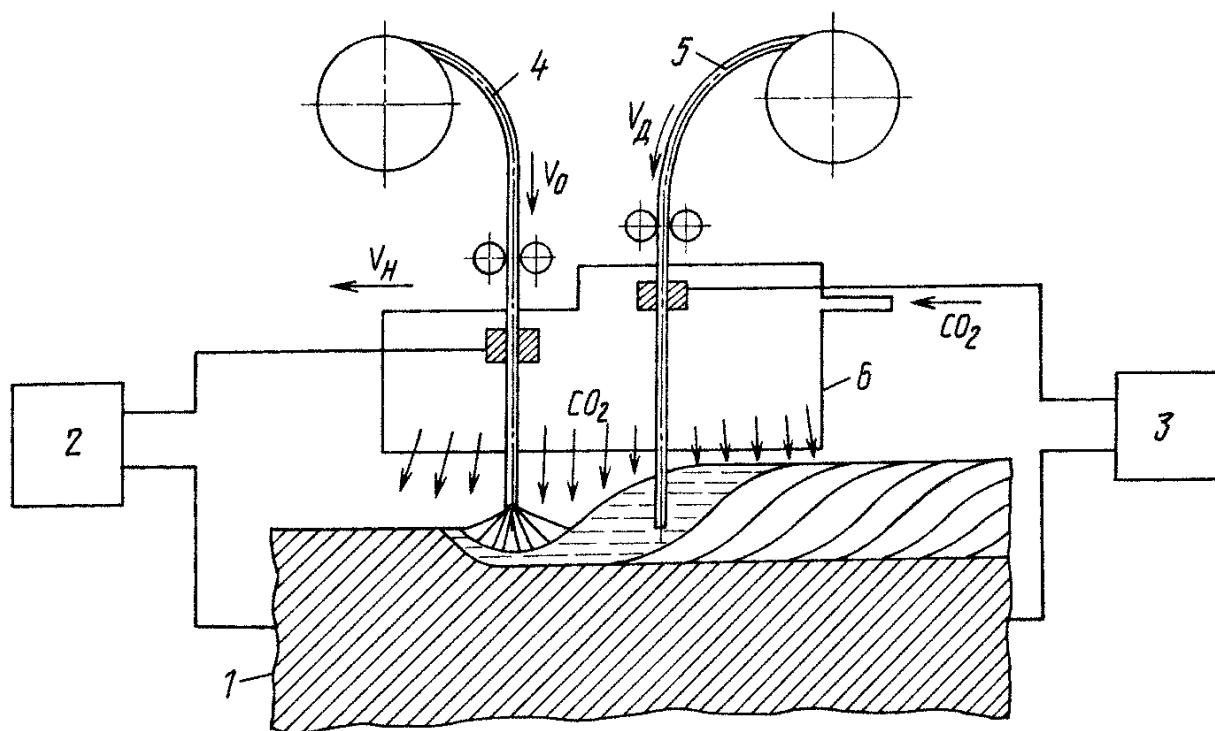


Рисунок 5 – Схема наплавки в защитном газе плавящимся электродом

Повышение эффективности механизированной и автоматической наплавки в среде защитных газов может быть получено при осуществлении способа [18] с применением дополнительной горячей присадки, как показано на рисунке 6. При его осуществлении дуга горит на основной проволоке, которая, плавясь, формирует аустенитный подслои в сварочной ванне. Дополнительная горячая присадочная проволока подается в сварочную ванну, формирует двухфазную структуру без горячих трещин.



1 – изделие; 2 – источник питания основной дуги; 3 – источник нагрева дополнительной сварочной проволоки; 4 – основная сварочная проволока; 5 – дополнительная сварочная проволока

Рисунок 6 – Способ наплавки с подачей дополнительной горячей присадочной проволоки [18]

При наплавке под флюсом, схема выполнения которого представлена на рисунке 7, в результате нагрева от горячей между изделием и проволокой сварочной дуги образуется ванна расплавленного металла, которая защищается слоем шлака (расплавленного флюса). Этот слой не только обеспечивает газовую защиту расплавленного и перегретого металла от воздействия воздуха, но и устраняет разбрызгивание, повышает эффективность нагрева металла от сварочной дуги.

Наплавка под флюсом обладает высокой производительностью и минимальным коэффициентом потерь электродного металла. Кроме того, поскольку горящая дуга закрыта слоем флюса, не требуется применения каких-либо мер по защите персонала от светового и теплового излучения дуги.

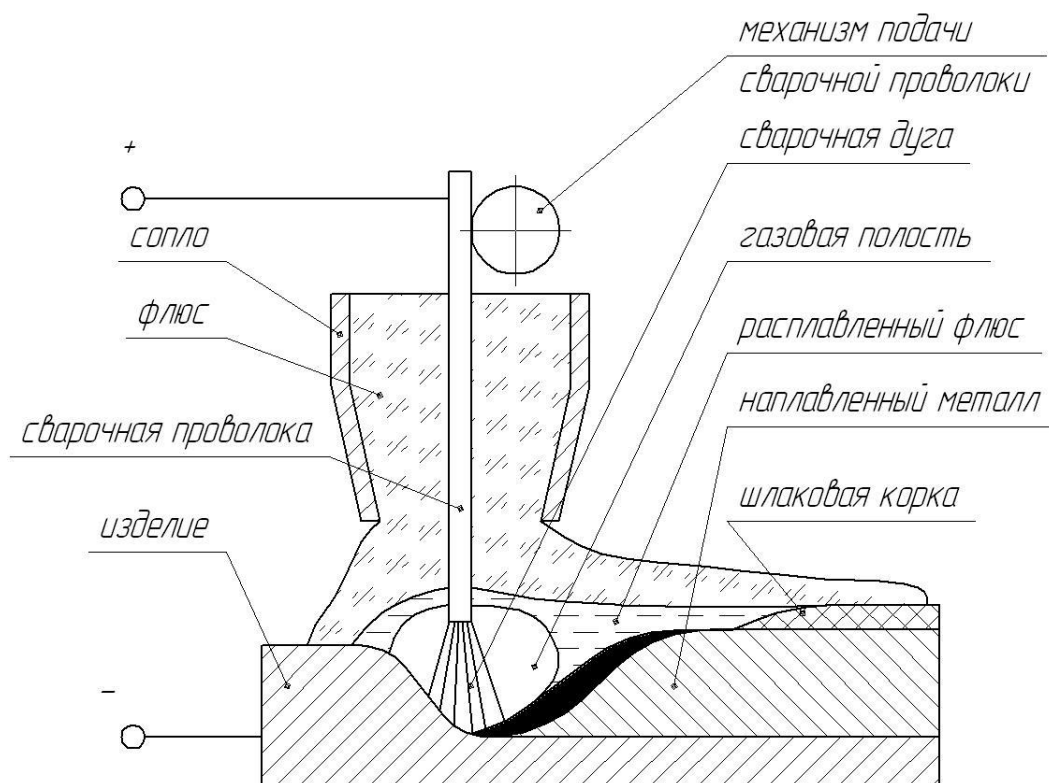
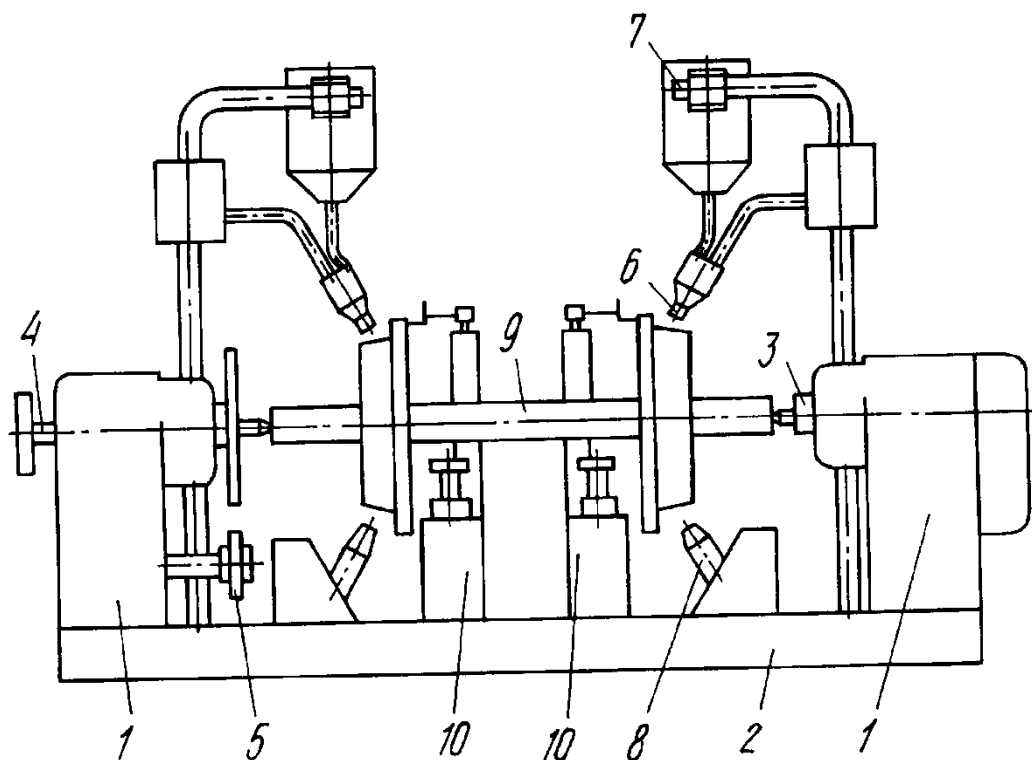


Рисунок 7 – Схема наплавки под флюсом



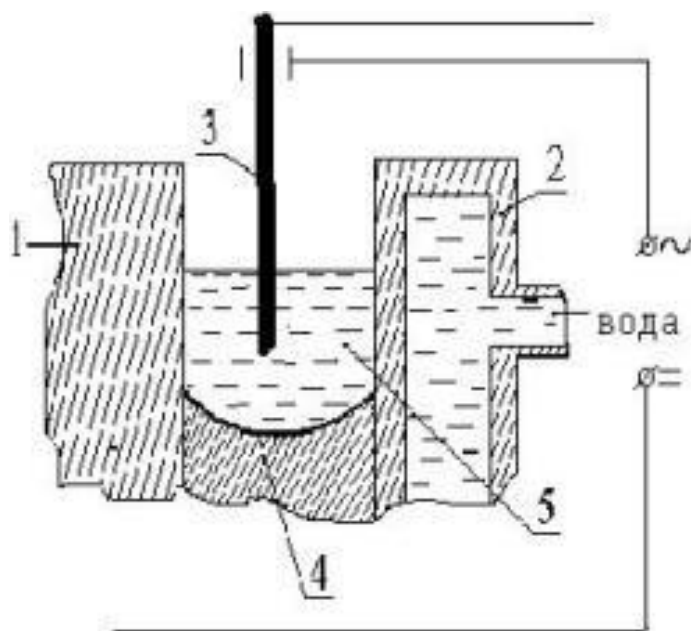
1 – стойка; 2 – станина; 3 – центры вращателя; 4 – пиноль; 5 – привод;
6 – автомат дуговой сварки; 7 – бункер для флюса; 8 – подогревающий источник;
9 – колёсная пара; 10 – подъёмник

Рисунок 8 – Установка для наплавки гребней колёс

Автоматическая наплавка под флюсом нашла применение при восстановлении колёсных пар железнодорожного состава [16], [17], по такой же технологии могут быть восстановлены восстановлены и крановые колёса. Наплавку осуществляют с помощью установки, показанной на рисунке 8.

При электрошлаковой наплавке, схема выполнения которой представлена на рисунке 9, протекание сварочного тока происходит по электроду, жидкому шлаку и основному металлу. При этом плавится основной и присадочный материалы. Из-за меньшей плотности, чем у расплавленного металла, расплавленный шлак всплывает наверх сварочной ванны. Таким образом обеспечивается защита расплавленного металла сварочной ванны от окружающей среды. При движении через шлак капли расплавленного электродного металла очищаются от вредных примесей и легируются.

Электрошлаковая наплавка происходит по следующей схеме, представленной на рисунке 9.



1 – наплавляемая поверхность, 2 – кристаллизатор, 3 – присадочный материал, 4 – наплавленный металл, 5 – жидкий шлак

Рисунок 9 – Схема выполнения электрошлаковой наплавки

Между наплавляемой поверхностью 1 и кристаллизатором 2 имеется полость, в которую подают наплавочный электрод 3. При прохождении тока через электрод 3, жидкий шлак 5 и наплавленный металл 4 происходит нагрев шлака до высоких температур (несколько тысяч °С) и плавление подаваемой в шлак присадочной проволоки 3. Кроме того, расплавленный шлак оплавляет кромки изделия. Присадочная проволока 3 плавится, её капли проходят через расплавленный шлак и кристаллизуются на дне шлаковой ванны на наплавляемой поверхности 4.

Наплавка самозащитными порошковыми проволоками выполняется по схеме, представленной на рисунке 10, сочетает в себе преимущества ручной дуговой наплавки и наплавки в защитных газах. Применение самозащитной порошковой проволоки позволяет отказаться от использования газовой аппаратуры (редукторы, смесители газов, баллоны, осушители, шланги), которые в значительной мере снижают мобильность сварщика [23], [27].

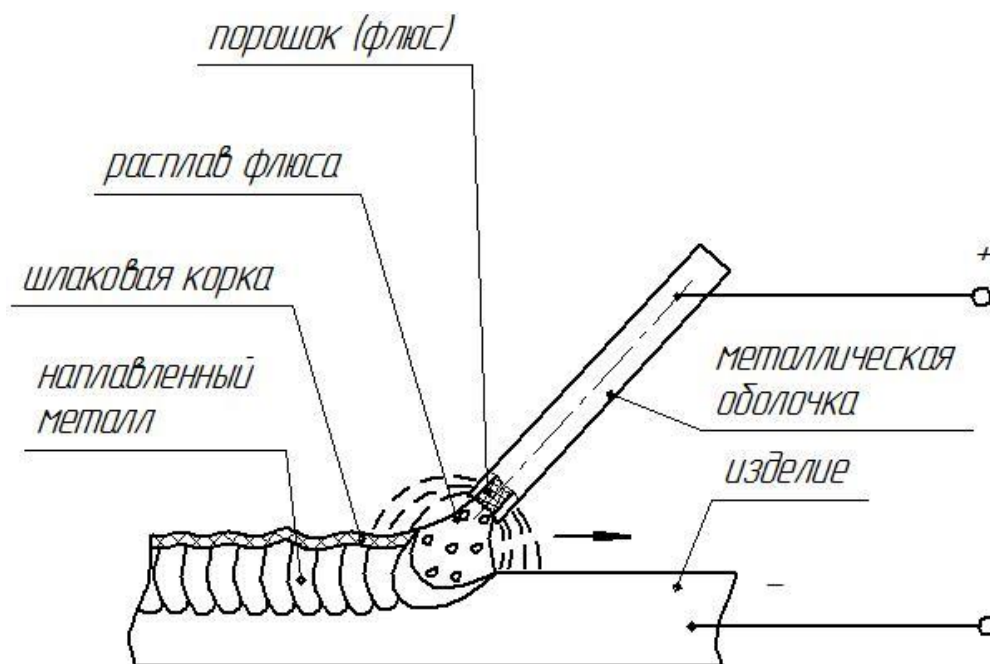


Рисунок 10 – Схема осуществления сварки самозащитной порошковой проволокой

Недостатками наплавки самозащитной порошковой проволокой являются:

- необходимость удаления шлаковой корки с поверхности шва;
- высокая стоимость порошковой проволоки;
- сильное порообразование и возможность получения дефектов в виде пор и шлаковых включений;
- необходимость борьбы с заломы сварочной проволоки из-за её излишней мягкости;
- неравномерное плавление оболочки и сердцевины сварочной проволоки.

На основании проведённого анализа преимуществ и недостатков каждого способа в качестве способа для построения проектной технологии восстановительной наплавки крановых колёс рекомендуем автоматическую наплавку под флюсом.

1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности восстановительной наплавки крановых колёс. Краткий анализ состояния вопроса, выполненный во введении, позволил сформулировать цель выпускной квалификационной работы. Поставленная цель – повышение производительности и качества восстановления крановых колёс за счёт внедрения прогрессивных технологий наплавки.

Проведённый анализ возможных способов восстановительной наплавки крановых колёс предусматривает рассмотрение преимуществ и недостатков следующих способов:

- ручная дуговая наплавка с применением штучных электродов,
- механизированная наплавка в среде защитных газов с применением проволоки сплошного сечения,
- наплавка под флюсом,
- электрошлаковая наплавка,

- механизированная и автоматическая наплавка порошковой самозащитной проволокой.

Рассмотрение преимуществ и недостатков каждого из рассмотренных способов восстановительной наплавки восстановительной наплавки крановых колёс позволило выбрать способ для построения проектной технологии. Принято решение построение проектной технологии восстановительной наплавки выполнять на базе автоматической наплавки под флюсом.

На основании вышеизложенного были сформулированы задачи выпускной квалификационной работы, в ходе решение которых ожидается достижение поставленной цели:

- составить проектную технологию восстановительной наплавки;
- предложить оборудование для реализации проектной технологии;
- оценить предлагаемые решения с точки зрения отрицательного влияния на окружающую среду и рабочий персонал;
- оценить затраты на внедрение предлагаемых технологических решений и потенциальный экономический эффект при принятии в производство проектной технологии ремонтной наплавки крановых колёс.

Решение первой и второй задач будет выполнено в о втором разделе настоящей выпускной квалификационной работы. Решение третьей и четвёртой задач – соответственно в третьем и четвёртом разделах выпускной квалификационной работы.

2 Проектная технология восстановительной наплавки крановых колёс

2.1 Выбор параметров режима восстановительной наплавки

На основании проведённого анализа возможных способов восстановительной наплавки крановых колёс в качестве способа наплавки для построения проектной технологии принята автоматическая наплавка под флюсом. Параметры режима наплавки под флюсом:

- ток наплавки I_n ;
- диаметр присадочного прутка, d_3 , мм

Таблица 3 – Параметры режима восстановительной наплавки

Диаметр электродной проволоки, мм	Сварочный ток, А	Напряжение на дуге, В	Скорость наплавки, м/ч
2	170 – 180	25 – 27	35

Силу тока наплавки I_n рассчитываем с учётом выполнения условия провара на необходимую глубину при наплавке:

$$I_{\text{нн}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{э}}^2}{4} \cdot a = \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} \cdot 60 = 180 \text{ А} \quad (1)$$

где d_3 – диаметр прутка присадочного металла, принимаем 2 мм;

a – плотность тока при наплавке, А/мм², принимаем 50...60 А/мм²;

$$V_{\text{нн}} = \frac{F_{\text{э}} \cdot V_{\text{э}}}{F_{\text{нн}}} = \frac{3,14 \cdot 88}{7,8} = 35 \text{ м/ч} \quad (3)$$

где F_3 - площадь поперечного сечения электродной проволоки, мм²:

$$F_{\text{э}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{э}}^2}{4} = 3,14 \text{ мм}^2 \quad (4)$$

$F_{\text{нн}}$ - поперечное сечение валика наплавленного металла, мм²:

$$F_{\text{нн}} = h \cdot S \cdot k_1 = 2 \cdot 6 \cdot 0,65 = 7,8 \text{ мм}^2 \quad (5)$$

где h - заданная толщина наплавленного слоя, 2 мм;

S - шаг наплавки, мм: $S = (2,5 \div 4) \cdot d_{\text{дв}} = 3 \cdot 2 = 6$;

k_1 - коэффициент, учитывающий отклонения фактической площади сечения слоя от площади прямоугольника, $k_1=0,6-0,7$.

Определяем напряжение на дуге в зависимости от диаметра электродной проволоки и величины сварочного тока по формуле:

$$U_{\text{д}} = 20 + \frac{0,05 \cdot I_{\text{св}}}{\sqrt{d_{\text{дв}}}} \pm 1 = 20 + \frac{0,05 \cdot 180}{\sqrt{2}} \pm 1 = 26 \pm 1 \text{ В} \quad (6)$$

Определим расход электродной проволоки:

$$Q_{\text{дв}} = (1,02 + 1,03) \cdot Q_{\text{и}} = 2,05 \cdot 343,9 = 705 \text{ г} \quad (7)$$

где $Q_{\text{н}}$ - масса наплавленного металла,

$$Q_{\text{и}} = V_{\text{и}} \cdot \gamma = 44065,6 \cdot 0,0078 = 343,9 \text{ г}$$

$V_{\text{н}}$ - объём наплавленного металла,

$$V_{\text{и}} = F_{\text{и}} \cdot l \cdot m \cdot n = 7,8 \cdot 408 \cdot 6 \cdot 2 = 38188,8 \text{ мм}^3 \quad (8)$$

где l - длина наплавленного валика, 408 мм;

m - количество швов с учётом шага наплавки, 6;

n - количество слоёв наплавки, 2 по 2мм;

Рассчитаем расход флюса $Q_{\text{ф}}$ на один метр шва:

$$Q_{\text{ф}} = \frac{780(U_{\text{д}} - 18)}{V_{\text{и}}} = \frac{780(26,36 - 18)}{0,59} = 11 \text{ кг} \quad (9)$$

где $U_{\text{д}}$ - напряжение на дуге, 26,36 В;

$$V_{\text{и}} = 35 \text{ м/ч} = 0,6 \text{ м/мин.} \quad (10)$$

Таким образом, по формулам (1)-(10) были рассчитаны параметры режима восстановительной наплавки под флюсом, которые будут использованы при составлении проектной технологии восстановления.

2.2 Выбор и описание наплавочных материалов

«Для наплавки крановых колес, как правило, применяются наплавочные материалы, обеспечивающие получение наплавленного металла

типа низколегированных сталей 18Х1Г1М или 30ХГСА. Однако при наплавке тяжело нагруженных колес кранов, которые эксплуатируются на металлургических предприятиях, эти материалы не обеспечивают необходимый ресурс эксплуатации» [5].

«Повышение износостойкости деталей подобного типа можно достичь при использовании наплавочных материалов, обеспечивающих получение наплавленного металла со структурой метастабильного аустенита, претерпевающего превращение в мартенсит под влиянием деформаций, возникающих при нагружении детали в процессе эксплуатации» [11], [12], [21].

Для наплавки применим сварочную проволоку Св-08Г2СМФ и флюс марки АН-348А, химический состав которых представлен в таблице 4 и таблице 5.

Таблица 4 – Сварочная проволока для наплавки

Марка проволоки	Химический состав %							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	S	P
Св-08Г2СМФ	0,05- 0,11	0,7-0,95	1,8-2,1	<0,2	0,25	-	-	0,25

Таблица 5 – Флюс для наплавки

Марка флюса	Химический состав, %								
	Si	MnO	CaP	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	S	P
АН-348А	41-44	34-38	3,5-4,5	>6,5	5,0-7,5	>4,5	2	0,15	0,12

2.3 Оборудование для проведения восстановительной наплавки

Для осуществления наплавки применим двухголовочный автомат А-1416, представленный на рисунке 11. Продолжительность включения автомата ПВ=100%, диаметр наплавочной проволоки составляет 1,2...5,0 мм. Автомат А-1416 позволяет проводить двухдуговую сварку и наплавку проволокой сплошного сечения под слоем флюса. Возможно проведение восстановительной наплавки деталей из низкоуглеродистой и легированной

стали с использованием постоянного тока, независимой установки скорости подачи каждой электродной проволоки.



Рисунок 11 – Автомат А-1416

Установка для наплавки под флюсом, представленная на рисунке 12, включает в себя:

- основание (позиция 1);
- траверса (позиция 2);
- вращатель горизонтальный (позиция 3);
- головка наплавочная (позиция 4);
- пульт управления (позиция 5);
- источник питания (позиция 6);
- механизм подачи проволоки (позиция 7);
- маховик перемещения (позиция 8);
- бункер для флюса (позиция 9);
- пульт управления вращателем (позиция 10);
- сток флюса (позиция 11);
- лоток для сбора флюса (позиция 12);
- катушка проволоки (позиция 13).

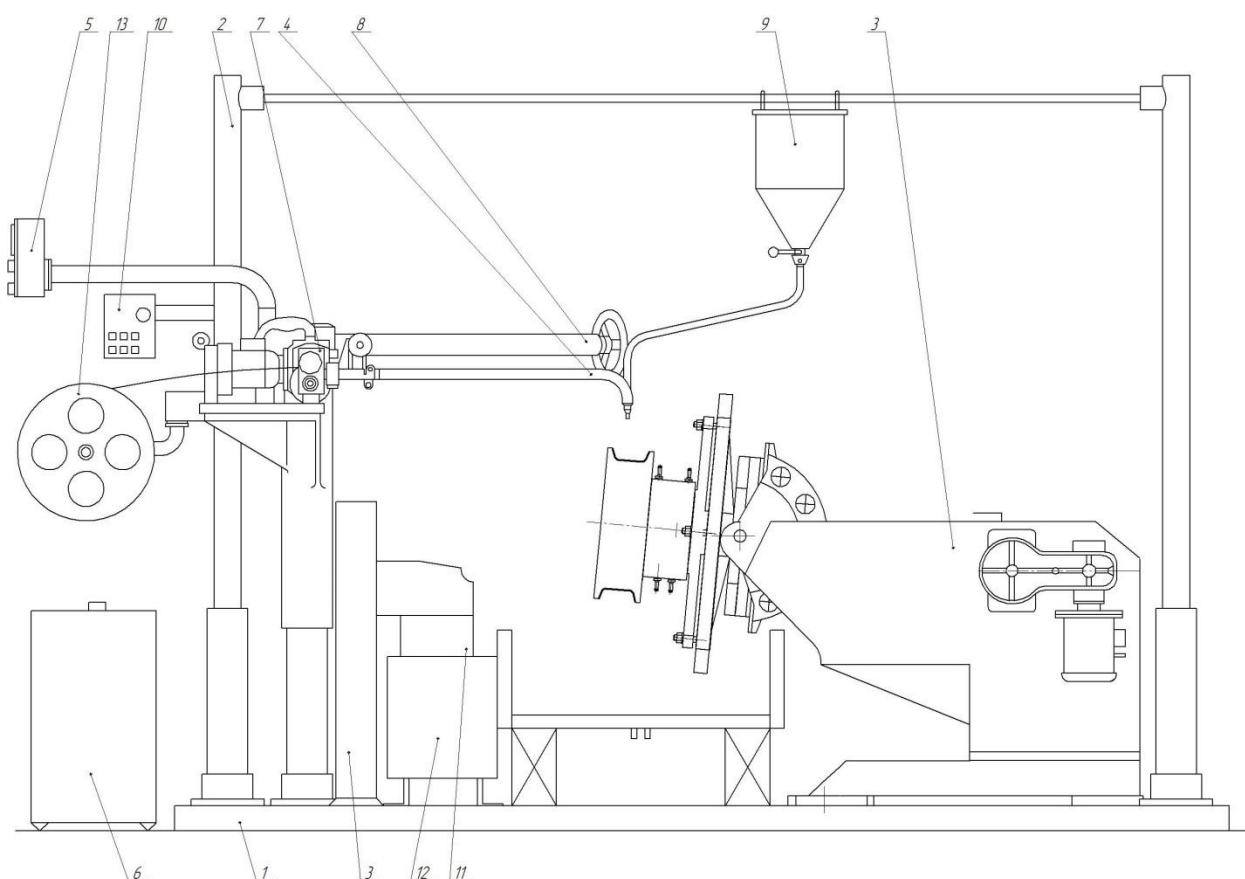


Рисунок 12 – Установка для наплавки под флюсом

2.4 Описание операций проектного технологического процесса восстановительной наплавки

Производят осмотр и измерение геометрических параметров кранового колеса, далее подают колесо в токарное отделение. В токарном отделении колесо устанавливают и закрепляют в центрах станка и обтачивают поверхность катания колес. Выбор размеров и параметров обработки производят на основании размеров, которые были отмечены бригадиром при внешнем осмотре. В процессе обработки поверхности катания крановых цельнокатаных колес подвергают: поверхность катания; гребень колеса; внутреннюю грань (по мере необходимости).

Зачистку наплавляемой поверхности производят с использованием стальных щеток или путём поверхностной обточкой на станке. Перед

проведением наплавки поверхность следует обезжирить бензином, применять керосин не допускается.

Подготовленное колесо подают на участок наплавки и устанавливают на устройство для предварительного подогрева. Для подогрева используют установку индукционного подогрева ИПК-250, представленную на рисунке 13. Температура предварительного подогрева $180...190^{\circ}\text{C}$, нагрев должен быть обеспечен за 45...60 минут. После предварительного подогрева колесо подают на установку наплавки.



Рисунок 13 – Установка индукционного подогрева

Выполняют установку мундштука сварочной головки на стартовую позицию наплавки, открывают задвижку механизма подачи флюса, производят включение вращателя, зажигают сварочную дугу и начинают процесс наплавки.

В ходе наплавки «оператору необходимо следить за формированием наплавленного металла. В случае, если не происходит самопроизвольного отставания шлаковой корки, необходимо удалять её вручную. Шлаковую корку следует сбивать со шва после затвердевания и остывания корки, когда она стала темного цвета» [25].

«Если произошёл обрыв дуги, повторно возбуждать дугу следует после полного оборота колеса за 20...50 мм перед местом обрыва дуги. Это необходимо для переварки получившегося кратера.

После полного оборота наплавляемого колеса сварочную горелку смещают в направлении раскладки валиков на необходимую величину. Направление наплавки – снизу вверх.

Наплавку производим на постоянном токе обратной полярности. Допускается производить наплавку на постоянном токе прямой полярности.

После наплавки крановое колесо для равномерного и замедленного остывания помещают в термостат. Между съёмом наплавленного колеса с вращателя и установкой его в термостат не должен проходить более 5 минут.

Остывание наплавленного колеса в термостате должно проводиться со средней скоростью, не превышающей 50°С/час и продолжительностью не менее 6 часов.

Температура наплавленной поверхности колеса в момент извлечения его из термостата не должна быть больше 50 °С» [25]. Постановка колеса тележку крана должна производиться только после его полного остывания до комнатной температуры.

Для питания дуги при наплавке под флюсом применим источник питания ВДУ-1250, представленный на рисунке 14.



Рисунок 14 – Источник питания для наплавки под флюсом ВДУ-1250

Источник питания ВДУ-1250 характеризуется надежным зажиганием и устойчивым горением сварочной дуги, обладает высокой стабильностью процесса сварки на всем диапазоне значений сварочных параметров. Источник обеспечивает получение двух видов жестких внешних вольтамперных характеристик. Источник обладает возможностью дистанционного регулирования параметров сварки. ВДУ-1250 может быть рекомендован при выполнении ответственных работ, требующих высокую интенсивность нагрузки при ПВ 100%.

Выводы по второму разделу

В работе поставлена цель – повышение производительности и качества восстановления крановых колёс за счёт внедрения прогрессивных технологий наплавки.

Проведённый анализ возможных способов восстановительной наплавки крановых колёс предусматривает рассмотрение преимуществ и недостатков следующих способов:

- ручная дуговая наплавка штучными электродами;
- механизированная наплавка в среде защитных газов;
- наплавка под флюсом;
- электрошлаковая наплавка;
- наплавка порошковой самозащитной проволокой.

Рассмотрение преимуществ и недостатков каждого из рассмотренных способов восстановительной наплавки восстановительной наплавки крановых колёс позволило выбрать способ для построения проектной технологии. Принято решение построение проектной технологии восстановительной наплавки выполнять на базе автоматической наплавки под флюсом.

На основании литературных исследований по предложенным методикам выполнен расчёт оптимальных параметров режима

автоматической наплавки под флюсом: тока наплавки, диаметра проволоки, напряжения на дуге, скорости подачи проволоки, скорости сварки и расхода флюса.

На основании литературных исследований выбраны наплавочные материалы: флюс АН-348А и проволока Св-08Г2СМФ.

Выполнен выбор автомата для выполнения наплавки под флюсом и спроектирована наплавочная установка.

Проектная технология автоматической наплавки под флюсом предусматривает выполнение следующих операций:

- омывка и очистка;
- предварительный подогрев;
- наплавка;
- охлаждение;
- контроль качества;
- обточка.

После решения поставленных задач воспоследует оценочный блок, где будут проведены следующие работы:

- выполнить оценку предложенных в исполнительском разделе технологических решений на предмет отрицательного влияния на здоровье персонала и окружающую среду;
- выполнить оценку предложенных технологических решений с точки зрения получения потенциального экономического эффекта.

3 Безопасность и экологичность проектного технологического процесса

3.1 Технологическая характеристика объекта

В настоящем разделе выпускной квалификационной работы следует рассмотреть вопросы безопасности предлагаемой проектной технологии ремонтной наплавки крановых колёс. Операции технологического процесса согласно проектной технологии предусматривают применение автоматической наплавки под флюсом. Выполнение операций проектного технологического процесса предусматривает возникновение опасных и вредных производственных факторов, действие которых на персонал может привести к нежелательным последствиям.

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

Проектная технология автоматической наплавки под флюсом предусматривает выполнение следующих операций: омывка и очистка, предварительный подогрев, наплавка, охлаждение, контроль качества.

Для выполнения первой операции применяется: машина моечная, станок обточной.

Для выполнения второй операции применяется: установка индукционного подогрева токами промышленной частоты ИПК-250, цифровой контактный термометр ТК-5.

Для выполнения третьей операции применяется: горизонтальный вращатель, установка наплавки, источник питания ВДУ-1250, сварочная проволока Св-08Г2СМФ, флюс АН-348А, вода техническая.

Для выполнения четвёртой операции применяется: термокамера.

Для выполнения пятой операции применяется: лупа, дефектоскоп УДС-2-52.

Таблица 6 – Технологический паспорт технического объекта

Составляющая технологический процесс операция и перечень выполняемых работ	Должность работника, который выполняет технологическую операцию	Технологическое оборудование, применяемое для выполнения операции	Вспомогательные материалы и вещества, применяемые для выполнения операции
1. Омывка и очистка	Слесарь-сборщик	Машина моечная, станок обтачной	Моющий раствор, вода техническая, бензин
2. Проведение предварительного подогрева колеса	Контролёр по термообработке	Установка индукционного подогрева токами промышленной частоты - ИПК-250, цифровой контактный термометр ТК-5	-
3. Осуществление восстановительной наплавки	Электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	Горизонтальный вращатель, установка наплавки, источник питания ВДУ-1250	Сварочная проволока Св-08Г2СМФ, флюс АН-348А, вода техническая
4. Охлаждение	Контролёр по термообработке	Термокамера	-
5. Проведение контроля качества восстановленного колеса	Инженер - дефектоскопист	Лупа, дефектоскоп УДС-2-52	-

Выполнение приведённых в таблице 6 операций технологического процесса с применением технологического оборудования приводит к возникновению опасных и вредных производственных факторов, которые необходимо идентифицировать. Правильная идентификация производственных рисков позволит устранить опасные и вредные факторы или уменьшить их влияние на рабочий персонал до приемлемого уровня.

3.2 Идентификация профессиональных рисков

Идентификация профессиональных рисков предполагает поиск и формулировку опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих эксплуатацию технологического оборудования в соответствии с операциями рассматриваемого технологического процесса, особенности выполнения которых представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Идентификация профессиональных рисков

Составляющая технологический процесс операция и перечень выполняемых работ	Наименование опасного или вредного фактора, действие которого в условиях производства может составлять угрозу жизни и здоровью персонала	Перечень оборудования и других объектов производства, являющихся источником опасного или вредного фактора
1	2	3
1. Омывка и очистка	- 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	Машина моечная, станок обтачной
2. Проведение предварительного подогрева колеса	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги - инфракрасное излучение	Установка индукционного подогрева токами промышленной частоты - ИПК-250

Продолжение таблицы 7

1	2	3
3. Осуществление восстановительной наплавки	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги - инфракрасное излучение; - ультрафиолетовое излучение	Горизонтальный вращатель, установка наплавки, источник питания ВДУ-1250
4. Охлаждение	- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги - инфракрасное излучение	Термокамера
5. Проведение контроля качества восстановленного колеса	- ультразвуковое излучение; - острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования	Лупа, дефектоскоп УДС-2-52

Возникновение травм и профессиональных заболеваний работников происходит по причине воздействия опасных и вредных производственных факторов. Это воздействие, приводящее в различных обстоятельствах к различным результирующим последствиям, зависит от наличия в условиях труда того или иного фактора, его потенциально неблагоприятных для организма человека свойств.

3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 8 – Применяемые для уменьшения воздействия негативных производственных факторов средства и методики

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

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

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

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

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

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

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

3.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

Разрабатываемый перечень мероприятий направлен на защиты персонала и имущества предприятия от опасных факторов возможного пожара. Для этого следует выполнить идентификацию опасных факторов пожара и предложить стандартные средства и методики для их устранения. В соответствии с классификацией пожаров возможный на рассматриваемом техническом объекте пожар может быть отнесён к классу «Е» - горение веществ и материалов под напряжением. Анализ опасных факторов такого пожара согласно таблице 9 позволит в дальнейшем сформулировать технические предложения согласно таблице 10.

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

Таблица 9 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Наименование участка	Наименование оборудования	Классификация по виду горящего вещества	Наименование основных опасных факторов пожара	Наименование вторичных опасных факторов пожара
Участок, на котором осуществляется ремонтная наплавка	Стойки, источник питания сварочной дуги, сварочный полуавтомат, сварочный трактор, дефектоскоп, машинка шлифовальная	«пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)» [14]	«Резкое повышение температуры на участке и вокруг него; выделение при горении токсичных продуктов и угарного газа; выделение аэрозолей, снижающих видимость на участке и вокруг него.» [14]	«Короткие замыкания на оборудовании, запитанном высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения.» [14]

Таблица 10 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

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

Таблица 11 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Наименование участка	Перечень мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Участок для выполнения ремонтной наплавки (автоматическая наплавка под флюсом)	«Инструктаж сотрудников производственного участка правилам предупреждения возгораний и действиям в случае возгорания, деловые игры с сотрудниками по тематике борьбы с пожарами» [14].	«На участке необходимо иметь первичные средства пожаротушения в достаточном количестве, должны быть защитные экраны, ограничивающие разлет искр» [14].

Полноценная защита работающего персонала и имущества предприятия от вероятностного пожара обеспечивается при условии проведения соответствующих организационных мероприятий согласно таблице 11.

3.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта

Реализация предлагаемого технологического процесса помимо опасных и вредных производственных факторов приводит к возникновению опасных и вредных экологических факторов. Следовательно, в рамках выполнения экологического раздела следует выполнить идентификацию согласно таблице 12 этих негативных факторов и предложить меры защиты согласно таблице 13 от этих факторов.

Таблица 12 – Идентификация опасных и вредных экологических факторов при реализации рассматриваемого технологического процесса

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

Таблица 13 – Предлагаемые меры по борьбе с негативными экологическими факторами

Наименование технического объекта	Сварка
Мероприятия по исключению негативного действия на воздушную среду.	«Оснащение вентиляционной системы фильтрами, позволяющими выполнить сбор и утилизацию выделяющихся при горении дуги вредных продуктов» [14]
Мероприятия по исключению негативного действия на водную среду.	Контроль утечек в гидросистеме приспособления или кантователя и незамедлительное их устранение.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	«Установка на участке сварки соответствующих емкостей для сбора отходов производственного цикла и при проведении повторных инструктажей подробное разъяснение необходимости складирования отходов производственного цикла в установленные емкости» [14].

Выводы по экологическому разделу

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

Изучение особенностей технологического процесса ремонтной наплавки с применением автоматической наплавки под флюсом позволило идентифицировать опасные и вредные производственные факторы. На основании этих выделенных факторов предложен ряд стандартных средств и методик, позволяющих устранить опасный фактор или уменьшить его влияние на персонал до приемлемого уровня.

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

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

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

4 Оценка экономической эффективности проектной технологии

4.1 Исходная информация для выполнения экономической оценки предлагаемых технических решений

В настоящей выпускной квалификационной работе предложен ряд мероприятий по повышению эффективности ремонтной наплавки при восстановлении крановых колёс. Принято решение построение проектной технологии сварки выполнять на базе автоматической наплавки под флюсом.

Базовая технология восстановления предусматривает применение дуговой наплавки штучными электродами. Проектная технология предусматривает автоматическую наплавку под флюсом с применением модернизированной установки. Составлена проектная технология автоматической наплавки под флюсом, которая предусматривает выполнение следующих операций: первая – омывка и очистка, вторая – предварительный подогрев, третья – наплавка, четвёртая – охлаждение, пятая – контроль качества, шестая – обточка.

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

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

Для выполнения экономических расчётов следует привести исходные данные по базовой и проектной технологиям, которые приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Исходные данные для выполнения расчётов по оценке экономической эффективности проектной технологии по отношению к базовой технологии

Экономический показатель	Принятое в расчётной формуле буквенное обозначение показателя	Единица измерения экономического показателя	Значение экономического показателя применительно к базовой и проектной технологиям	
			Базовая технология	Проектная технология
1	2	3	4	5
Разряд занятого в выполнении технологических операций персонала	P_p		V	V
Величина часовой тарифной ставки занятого в выполнении технологических операций персонала	$Cч$	Р/час	200	200
Суточное количество смен, предусмотренных для выполнения технологических операций	$K_{см}$	-	1	1
Принятые значения коэффициентов для расчёта фонда заработной платы:				
- доплат к основной заработной плате	$K_{доп}$	%	12	12
- отчислений на дополнительную заработную плату	$K_{д}$	-	1,88	1,88
- отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
- выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования, которое используется для выполнения операций технологического процесса	$Ц_{об}$	Руб.	100000	800000
Принятое значение установленной мощности оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	$M_{уст}$	кВт	12	70
Принятые значения коэффициентов для расчёта расходов на оборудование :				
- норма амортизации оборудования	$Н_{а}$	%	21,5	21,5
- коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
- коэффициент затрат на монтаж и демонтаж	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
- стоимость электрической энергии для питания оборудования при выполнении технологических операций	$Ц_{э-э}$	Р/ кВт	3,02	3,02

Продолжение таблицы 14

1	2	3	4	5
- коэффициент полезного действия оборудования для выполнения технологических операций	КПД	-	0,7	0,85
Общая площадь под оборудование, выполняющее операции рассматриваемого технологического процесса	S	m^2	40	60
Принятые значения коэффициентов и показателей для расчёта расходов на площади:				
- стоимость эксплуатации площадей	$C_{\text{эксп}}$	$(P/m^2)/\text{год}$	2000	2000
- цена производственных площадей	$C_{\text{пл}}$	P/m^2	30000	30000
- норма амортизации производственных площадей	$Ha_{\text{пл}}$	%	5	5
- коэффициента дополнительной производственной площади	$K_{\text{пл}}$	-	3	3
Принятые значения коэффициентов и показателей для расчёта заводской себестоимости:				
- коэффициент цеховых расходов	$K_{\text{цех}}$	-	1,5	1,5
- коэффициент заводских расходов	$K_{\text{зав}}$	-	1,15	1,15
- коэффициента эффективности капитальных вложений	E_n	-	0,33	0,33

4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования

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

Значения параметров и коэффициентов примем с учётом исходных данных согласно таблицы 14: суммарное число рабочих дней в календарном году $D_p = 277$ дней, длительность рабочей смены $T_{\text{см}} = 8$ часов, количество предпраздничных дней $D_{\text{п}} = 7$ дней, уменьшение продолжительности рабочей смены в часах в предпраздничные дни $T_{\text{п}} = 1$ час, принятое для

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

$$F_{н} = (D_{р} \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см} . \quad (11)$$

Расчёты, выполненные согласно (4.1) после подстановки численных значений параметров и коэффициентов из исходных данных:

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

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

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

Расчёты, выполненные согласно (12) после подстановки численных значений параметров и коэффициентов из исходных данных:

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

4.3 Расчёт штучного времени

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

времени $t_{п-3}$:

$$t_{шт} = t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отл} + t_{п-3}. \quad (13)$$

Машинное время, рассчитанное для базового и проектного вариантов технологии согласно (13), составит:

$$t_{шт.баз} = 2 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 3,5 \text{ ч.}$$

$$t_{шт.проектн.} = 0,3 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 0,5 \text{ ч.}$$

Годовая программа $\Pi_{г}$ выполнения сварки может быть рассчитана исходя из рассчитанного согласно (12) эффективного фонда времени $F_{э}$ и согласно (13) штучного времени $t_{шт}$:

$$\Pi_{г} = F_{э} / t_{шт}. \quad (14)$$

Готовая программа для базового и проектного вариантов технологии, рассчитанная согласно (14) после подстановки численных значений:

$$\Pi_{г.баз.} = 2054 / 3,5 = 586 \text{ деталей за год;}$$

$$\Pi_{г.проектн.} = 2054 / 0,5 = 4108 \text{ деталей за год.}$$

Расчёт экономической эффективности проектной технологии будем выполнять для годовой программы $\Pi_{г} = 300$ деталей в год.

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

$$n_{расч} = t_{шт} \cdot \Pi_{г} / (F_{э} \cdot K_{вн}). \quad (15)$$

Требуемое количество оборудования $n_{расч}$ для базового и проектного вариантов технологии, рассчитанное согласно (15), составляет:

$$n_{расч.баз} = 3,5 \cdot 300 : 2054 : 1,1 = 0,5;$$

$$n_{расч.пр} = 0,5 \cdot 300 : 2054 : 1,1 = 0,1.$$

Необходимое количество оборудования $n_{пр}$, которое следует задействовать в технологическом процессе по базовому и проектному вариантам, задаётся исходя из рассчитанных согласно (15) значений. На основании проведённых расчётов принимаем по одной единице оборудования для базового и проектного вариантов технологии ($n_{пр} = 1$). Коэффициент K_3 загрузки оборудования в этом случае составит:

$$K_3 = n_{расч}/n_{пр}. \quad (16)$$

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

$$K_{3б} = 0,5/1 = 0,5,$$

$$K_{3п} = 0,1/1 = 0,1.$$

4.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов технологии

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

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

$$M = C_m \cdot H_p \cdot K_{тз}, \quad (17)$$

Затраты на материалы, рассчитанные согласно (17) для базового и проектного вариантов технологии, составят:

$$M_{баз.} = 345 \text{ р/кг} \cdot 3,0 \text{ кг} \cdot 1,5 \cdot 1,05 = 1630 \text{ руб.}$$

$$M_{проектн.} = 150 \text{ р/кг} \cdot 3,0 \text{ кг} \cdot 1,2 \cdot 1,05 + 39 \text{ р/кг} \cdot 3,0 \text{ кг} \cdot 0,5 \cdot 1,05 = 628 \text{ руб.}$$

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

$$Z_{\text{осн}} = t_{\text{шт}} \cdot C_{\text{ч}} \cdot K_{\text{д}}. \quad (18)$$

Основная заработная плата рабочих для базового и проектного вариантов технологии после подстановки значений в формулу (18) составляет:

$$Z_{\text{осн.баз.}} = 3,5 \cdot 200 \cdot 1,88 = 1316 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн.проектн.}} = 0,5 \cdot 200 \cdot 1,88 = 188 \text{ руб.}$$

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

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{доп}} / 100. \quad (19)$$

Дополнительная заработная плата $Z_{\text{доп}}$ работников, занятых в выполнении операций по базовому и проектному вариантам технологии, рассчитанная согласно (19) после подстановки значений составляет:

$$Z_{\text{доп.базов.}} = 1316 \cdot 12 / 100 = 158 \text{ рублей;}$$

$$Z_{\text{доп.проектн.}} = 188 \cdot 12 / 100 = 23 \text{ рублей.}$$

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

$$\Phi ЗП_{\text{базов..}} = 1316 + 158 = 1474 \text{ рублей;}$$

$$\Phi ЗП_{\text{проектн.}} = 188 + 23 = 211 \text{ рублей.}$$

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

$$O_{\text{сн}} = \Phi 3П \cdot K_{\text{сн}} / 100. \quad (20)$$

Отчисления на социальные нужды по базовому и проектному вариантам технологии после подстановки в (20) соответствующих значений:

$$O_{\text{сн баз.}} = 1474 \cdot 34 / 100 = 501 \text{ руб.},$$

$$O_{\text{сн проектн.}} = 211 \cdot 34 / 100 = 72 \text{ руб.}$$

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

$$Z_{\text{об}} = A_{\text{об}} + P_{\text{э}}. \quad (21)$$

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

$$A_{\text{об}} = \frac{C_{\text{об}} \cdot H_{\text{а}} \cdot t_{\text{маш}}}{F_{\text{э}} \cdot 100}. \quad (22)$$

Амортизация оборудования, которое применяется для выполнения операций по базовому и проектному вариантам технологии, после подстановки в (22) соответствующих значений, составляет:

$$A_{\text{об. баз.}} = 100000 \cdot 21,5 \cdot 3,5 / 2054 / 100 = 36 \text{ руб.},$$

$$A_{\text{об. пр.}} = 800000 \cdot 21,5 \cdot 0,5 / 2054 / 100 = 42 \text{ руб.}$$

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

$$P_{\text{э-э}} = \frac{M_{\text{уст}} \cdot t_{\text{маш}} \cdot C_{\text{э-э}}}{\text{КПД}}. \quad (23)$$

Рассчитанные после подстановки в (23) соответствующих значений расходы на электрическую энергию по базовому и проектному вариантам технологии составляют:

$$P_{\text{э баз}} = 12 \cdot 3,5 \cdot 3,02 / 0,7 = 181 \text{ руб.},$$

$$P_{\text{э пр}} = 70 \cdot 0,5 \cdot 3,02 / 0,85 = 124 \text{ руб.}$$

Рассчитанные после подстановки в (21) соответствующих значений расходы на оборудование по базовому и проектному вариантам технологии составляют:

$$З_{\text{об баз.}} = 36 + 181 = 217 \text{ рублей},$$

$$З_{\text{об проектн.}} = 42 + 124 = 166 \text{ рублей.}$$

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

$$C_{\text{ТЕХ}} = M + \Phi ЗП + O_{\text{сс}} + З_{\text{об}} + З_{\text{ПЛ}} \quad (24)$$

Рассчитанная после подстановки в (24) соответствующих значений технологическая себестоимость по базовому и проектному вариантам технологии составляет:

$$C_{\text{ТЕХБаз.}} = 1630 + 1474 + 501 + 217 + 162 = 3984 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{ТЕХПроектн.}} = 628 + 211 + 72 + 166 + 117 = 1194 \text{ руб.}$$

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

$$C_{\text{цех}} = C_{\text{тех}} + З_{\text{осн}} \cdot K_{\text{цех}}. \quad (25)$$

Рассчитанная после подстановки в (25) соответствующих значений цеховая себестоимость по базовому и проектному вариантам технологии составляет:

$$C_{\text{ЦЕХБаз.}} = 3984 + 1,5 \cdot 1316 = 3984 + 1974 = 5958 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЦЕХПроектн.}} = 1194 + 1,5 \cdot 188 = 1194 + 282 = 1476 \text{ руб.}$$

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

$$C_{\text{зав}} = C_{\text{цех}} + Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{зав}}. \quad (26)$$

Рассчитанная после подстановки в (26) соответствующих значений заводская себестоимость «по базовому и проектному вариантам технологии составляет:

$$C_{\text{ЗАВБаз.}} = 5958 + 1,15 \cdot 1316 = 5958 + 1513 = 7471 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЗАВПроектн.}} = 1476 + 1,15 \cdot 188 = 1476 + 216 = 1692 \text{ руб.}$$

Калькуляция заводской себестоимости для базового и проектного вариантов технологии сведена в таблицу 15.

Таблица 15 – Калькуляция технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки

Наименование экономического показателя	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант технологии	Проектный вариант технологии
1. Затраты на материалы	M	1630	628
2. Фонд заработной платы	$\Phi ЗП$	1474	211
3. Отчисления на соц. нужды	$O_{\text{сн}}$	501	72
4. Затраты на оборудование	$Z_{\text{об}}$	217	166
5. Расходы на площади	$Z_{\text{пл}}$	162	117
5. Технологическая себестоимость	$C_{\text{тех}}$	3984	1194
6. Цеховые расходы	$P_{\text{цех}}$	1974	282
7. Цеховая себестоимость	$C_{\text{цех}}$	5958	1476
8. Заводские расходы	$P_{\text{зав}}$	1513	216
9. Заводская себестоимость	$C_{\text{зав}}$	7471	1692

Предварительная оценка данных в таблице позволяет судить об экономической эффективности проектной технологии» [9].

4.5 Капитальные затраты по базовому и проектному вариантам технологии

Капитальные затраты $K_{\text{общ. б.}}$ для базового варианта технологии рассчитываем с учётом остаточной стоимости оборудования $\Pi_{\text{об.б.}}$, коэффициента загрузки оборудования $K_{\text{з. б.}}$ рассчитанного для базового варианта согласно (16):

$$K_{\text{общ. б.}} = \Pi_{\text{об.б.}} \cdot K_{\text{з.б.}}. \quad (27)$$

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

$$\Pi_{\text{об.б.}} = \Pi_{\text{перв}} - (\Pi_{\text{перв}} \cdot T_{\text{сл}} \cdot H_a / 100). \quad (28)$$

Остаточная стоимость оборудования, рассчитанная после подстановки в (28) соответствующих значений, составляет:

$$\Pi_{\text{об.баз.}} = 100000 - (100000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 35500 \text{ рублей}$$

$$K_{\text{общ.баз.}} = 1 \cdot 35500 \cdot 0,5 = 17750 \text{ руб.}$$

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

$$K_{\text{общ. пр.}} = K_{\text{об. пр.}} + K_{\text{пл. пр.}} + K_{\text{соп.}} \quad (29)$$

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

$$K_{\text{об. пр.}} = \Pi_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{тз}} \cdot K_{\text{зп.}} \quad (30)$$

Величина капитальных вложений в оборудование после подстановки в (30) соответствующих значений составляет:

$$K_{\text{об.пр.}} = 800000 \cdot 1,05 \cdot 0,1 = 84000 \text{ руб.}$$

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

$$K_{\text{соп}} = K_{\text{дем}} + K_{\text{монт}}. \quad (31)$$

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

$$K_{\text{дем}} = C_{\text{об. б.}} \cdot K_{\text{д}}, \quad (32)$$

$$K_{\text{монт}} = C_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{м}}. \quad (33)$$

Сопутствующие капитальные вложения при проектном варианте технологии, рассчитанные после подстановки в (31), (32) и (33) соответствующих значений:

$$K_{\text{дем}} = 1 \cdot 100000 \cdot 0,05 = 5000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{монт}} = 800000 \cdot 0,05 = 40000 \text{ руб.},$$

$$K_{\text{соп}} = 5000 + 40000 = 45000 \text{ руб.}$$

Капитальные затраты для проектного варианта, рассчитанные после подстановки в (29) соответствующих значений:

$$K_{\text{общ.пр}} = 84000 + 45000 = 129000 \text{ руб.}$$

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

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общ.пр}} - K_{\text{общ.б.}}: \quad (34)$$

$$K_{\text{доп}} = 129000 - 17750 = 111250 \text{ руб.}$$

Величину удельных капитальных вложений $K_{уд}$ рассчитываем с учётом годовой программы Π_T :

$$K_{уд} = \frac{K_{общ.}}{\Pi_T}, \quad (35)$$

После подстановки в (35) соответствующих значений:

$$K_{удБаз.} = 17750/300 = 59 \text{ руб./ед.}$$

$$K_{удПроектн.} = 129000/300 = 430 \text{ руб./ед.}$$

4.6 Показатели экономической эффективности

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

$$\Delta t_{шт} = \frac{t_{штБ} - t_{штПР}}{t_{штБ}} \cdot 100\% \quad . \quad (36)$$

Расчётное снижение трудоёмкости согласно (36) составило:

$$\Delta t_{шт} = (3,5 - 0,5)/3,5 \cdot 100 \% = 85 \%.$$

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

$$\Pi_T = \frac{100 \cdot \Delta t_{шт}}{100 - \Delta t_{шт}} \quad . \quad (37)$$

Расчётное повышение производительности труда согласно (37) составило:

$$\Pi_T = (100 \cdot 85)/(100 - 85) = 566 \%.$$

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

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{C_{\text{ТЕХБ}} - C_{\text{ТЕХПР}}}{C_{\text{ТЕХБ}}} \cdot 100\% \quad (38)$$

Расчётное снижение технологической себестоимости согласно (38) составило:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = (3984 - 1194) / 3984 \cdot 100 \% = 70 \%$$

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

$$\text{Пр}_{\text{ож.}} = \Xi_{\text{у.г.}} = \left(C_{\text{зав}}^{\text{б}} - C_{\text{зав}}^{\text{пр}} \right) \cdot \Pi_{\Gamma} \quad (39)$$

Ожидаемая прибыль после подстановки в (39) соответствующих значений составила:

$$\Xi_{\text{у.г.}} = (7471 - 1692) \cdot 300 = 1733700 \text{ руб.}$$

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

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{доп}}}{\Xi_{\text{уГ}}} \quad (40)$$

Срок окупаемости после подстановки в (4.30) соответствующих значений составил:

$$T_{\text{ок}} = 111250 / 1733700 = 0,2 \text{ года.}$$

Годовой экономический эффект Ξ_{Γ} , получаемый при принятии проектной технологии определим следующим образом:

$$\Xi_{\Gamma} = \Xi_{\text{уГ}} - E_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}} \quad (41)$$

Годовой экономический эффект после подстановки в (41) соответствующих значений составил:

$$\Xi_{\Gamma} = 1733700 - 0,33 \cdot 111250 = 1696988 \text{ руб.}$$

Выводы по экономическому разделу

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

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

Выполнение экономических расчётов позволило выявить экономическую эффективность проектной технологии: уменьшение трудоемкости на 85 %, повышение производительности труда на 566 %, уменьшение технологической себестоимости на 70 %.

Условно-годовая экономия при внедрении проектной технологии составляет 1,73 млн. рублей. Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 1,70 млн. рублей. Срок окупаемости капитальных затрат составляет 0,2 года.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод о высокой экономической эффективности проектной технологии.

Заключение

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение производительности и качества восстановления крановых колёс за счёт внедрения прогрессивных технологий наплавки.

При анализе возможных способов восстановительной наплавки были рассмотрены такие способы и их разновидности, как: ручная дуговая наплавка штучными электродами, механизированная наплавка в среде защитных газов, наплавка под флюсом, электрошлаковая наплавка, наплавка порошковой самозащитной проволокой. На основании проведённого анализа преимуществ и недостатков каждого способа в качестве способа для построения проектной технологии восстановительной наплавки крановых колёс рекомендована автоматическая наплавка под флюсом.

Составлена проектная технология автоматической наплавки под флюсом, которая предусматривает выполнение следующих операций: омывка и очистка, предварительный подогрев, наплавка, охлаждение, контроль качества, обточка.

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

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

Годовой экономический эффект при внедрении проектной технологии составляет 1,70 млн. рублей. Вышеизложенное позволяет сделать вывод достижения цели и целесообразности внедрения результатов выпускной квалификационной работы в производство.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Аснис А. Е., Гутман Л. М. Восстановление изношенных гребней бандажей наплавкой // Сб. тр. по автоматической сварке под флюсом. Киев : ИЭС им. Е. О. Патона АН УССР, 1948. С. 281–298.
2. Бабинец А. А., Рябцев И. А., Панфилов А. И. Влияние способов дуговой наплавки порошковой проволокой на проплавление основного металла и формирование наплавленного металла // Автоматическая сварка. 2016. № 11. С. 20–25.
3. Богданов В. М., Захаров С. М. Современные проблемы системы рельс–колесо // Железнодорожный транспорт. 2004. № 1. С. 57–62.
4. Власов В. М., Нечаев Л. М., Фомичева Н. Б., Фомичева Е. В. Влияние дефектов, возникающих в процессе наплавки, на механические характеристики металла // Соврем. наукоемкие технологии. 2004. № 1. С. 9–11.
5. Голякевич А. А., Орлов Л. Н., Малинов Л. С., Титаренко В. И. Опыт применения электродуговой наплавки порошковой проволокой на предприятиях Украины // Автоматическая сварка. 2016. № 9. С. 37–41.
6. Деев Г. Ф., Пацкевич И. Р. Дефекты сварных швов. Киев : Наук. думка, 1984. 208 с.
7. Иванов В. П., Сергиенко Ю. В., Сорочан Е. Н., Таранина Е. В. Повышение работоспособности наплавленных крановых колес // Наука та виробництво. 2017. Вып. № 17. С. 49–53.
8. Козубенко И. Д., Хаскин В. Ю., Черниенко В. Д. Технология лазерной наплавки и термообработки деталей колёсных пар подвижного состава // Автоматическая сварка. 2001. № 3. С. 35–27.
9. Кудинова, Г. Э. Организация производства и менеджмент: метод. указания к выполнению курсовой работы. / Г. Э. Кудинова. – Тольятти: ТГУ, 2005. – 35 с.

10. Лебедев В. А., Лендел И. В., Яровицын А. В. Особенности формирования структуры сварных соединений при дуговой наплавке с импульсной подачей электродной проволоки // Автоматическая сварка. 2006. № 3. С. 25–30.
11. Малинов Л. С., Малинов В. Л. Марганецсодержащие наплавочные материалы // Сварочное производство. 2001. № 8. С. 34–36.
12. Малинов Л. С., Чейлях А. П., Харланова Е. Я. Выбор состава хромомарганцевой стали с метастабильным аустенитом в качестве основы наплавочного материала // Известия ВУЗ. Черная металлургия. 1994. № 8. С. 45–46.
13. Матвеев В. В. Экономическая эффективность восстановления профиля железнодорожных колёс // Автоматическая сварка. 2006. № 4. С. 44–47.
14. Машиностроение. Технология сварки, пайки и резки. Том 3 / под ред. Б. Е. Патона. М. : Машиностроение, 2006. 768 с.
15. Москвин П. В. Разработка методики прогнозирования остаточного ресурса сварных металлоконструкций с использованием датчиков деформации интегрального типа на примере мостовых кранов : дис. ... канд. техн. наук. Челябинск : Курганский гос. ун-т. 2007.
16. Патент РФ № 2041785. Способ восстановления гребней вагонных колес / Родионов Ю.С., Козубенко И.Д., Рассоха А.И., Бызова Н.Е. МКИ В23Р6/00. 1995
17. Патент РФ № 2124974. Способ восстановления колесных пар железнодорожного подвижного состава и установка для его осуществления / Соловьев П.Н., Дмитренко В.Н., Дмитренко Г.В., Лазебный А.С., Карпенко В.Н. МКИ В23К9/04. 1999
18. Патент РФ № 2143962. Способ восстановления наплавкой поверхностей катания / Шефель В.В., Лойко В.М., Стржалковский В.Д. и др. МКИ В23К9/04. 2000

19. Пашолок И. Л., Цюренко В. Н., Самохин Е. С. Повышение твердости колес // Железнодорожный транспорт. 1999. № 7. С. 41–43.
20. Потапьевский А. Г., Сараев Ю. Н., Чинахов Д. А. Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего: монография. Томск : Издательство Томского политехнического университета, 2012. 208 с.
21. Разиков М. И., Ильин В. П. Сварка и наплавка кавитационной стали марки 30X10Г10. М. : НИИМАШ, 1964. 35 с.
22. Рябцев И. А. Наплавка деталей машин и механизмов. Киев : Екотехнологія, 2004. 160 с.
23. Розерт Р. Применение порошковых проволок для сварки в промышленных условиях // Автоматическая сварка. 2014. № 6–7. С. 60–64.
24. Смирнов И. В. Сварка специальных сталей и сплавов : учебное пособие. Тольятти : ТГУ, 2007. 301 с.
25. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. Б. Е. Патона. М. : Машиностроение, 1974. 768 с.
26. Фрумин И. И. Автоматическая электродуговая наплавка. Харьков : Металлургиздат, 1961. 421 с.
27. Шлепаков В. Н., Гаврилюк Ю. А., Котельчук А. С. Современное состояние разработки и применения порошковых проволок для сварки углеродистых и низколегированных сталей // Автоматическая сварка. 2010. № 3. С. 46–51.