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 Восстановление наплавкой гребня колесных пар

Обучающийся А.С. Чугайнов _____
(И.О. Фамилия) (личная подпись)

Руководитель ст. преподаватель Д.Э. Советкин
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультанты к.э.н., доцент О.М. Сярдова
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2025

Аннотация

Увеличение интенсивности перевозок с применением железнодорожных составов предусматривает увеличение массы перевозимых грузов и скорости движения по пути. В результате статические и динамические нагрузки на элементы состава возрастают, что приводит к повышению скорости их износа. Поставленная цель – повышение производительности и качества наплавочных работ при восстановлении гребней колесных пар. При решении первой задачи в ходе экспертизы рассмотрены особенности способов сварки и с использованием технологических критериев выставлена оценка рассматриваемым способам, на основании которой планирование операций проектного технологического процесса восстановительной наплавки предлагается проводить с применением плазменной порошковой наплавки. Решение второй задачи позволило составить комплекс мероприятий и технических средств, обеспечивающих повышение эффективности выбранного способа применительно к рассматриваемому изделию. При решении третьей задачи составлен список операций и сформулированы условия их выполнения, проведено назначение оптимальных параметров и выбор технологического оборудования. Возможность и экономическую целесообразность внедрения предлагаемых решений в производство обоснованы в ходе выполнения двух оценочных разделов. В первом оценочном разделе технологический участок рассмотрен с точки зрения обеспечения промышленной и экологической безопасности. Во втором оценочном разделе проектный процесс, составленный с учетом предлагаемых решений, сравнивался по показателям с базовым процессом, в результате чего установлено потенциальное получение экономического эффекта, в числовом выражении составляющего 3,24 миллиона рублей. На основании обобщенного анализа полученных решений сделан вывод о возможности и целесообразности их внедрения в производство.

Содержание

Введение 5
1 Современное состояние восстановительной наплавки гребней колесных пар вагонного хозяйства Российской Федерации. 6
1.1 Конструкция и условия работы колесной пары. 6
1.2 Анализ стали для изготовления колесных пар. 11
1.3 Особенности базовой технологии восстановительной наплавки. 14
1.4 Анализ содержания научных работ по вопросу восстановительной наплавки колесных пар. 17
1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы 19
2 Построение проектной технологии восстановительной наплавки колесных пар. 20
2.1 Обоснование выбора способа восстановительной наплавки для построения проектной технологии. 20
2.2 Повышение эффективности плазменной наплавки 27
2.3 Описание операция технологического процесса восстановительной наплавки колесной пары. 33
3 Промышленная безопасность производственного участка. 38
3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи 38
3.2 Идентификация негативных производственных факторов. 39
3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов. 41
3.4 Пожарная безопасность производственного участка 43
3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка. 45
4 Экономическая эффективность предлагаемых технических решений. 47

4.1 Исходные данные для экономического расчёта. 47
4.2 Фонд времени работы оборудования. 49
4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства. . 50
4.4 Заводская себестоимость. 52
4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам. 57
4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей. 59
Заключение 61
Список используемой литературы и используемых источников. 63
.

Введение

Увеличение интенсивности перевозок с применением железнодорожных составов предусматривает увеличение массы перевозимых грузов и скорости движения по пути. В результате статические и динамические нагрузки на элементы состава возрастают, что приводит к повышению скорости их износа. Одним из нагруженных элементов является колесная пара. На скорость её износа влияет также изменение конструкции путей – вместо применявшихся ранее деревянных шпал в настоящее время применяются железобетонные шпалы, что становится причиной повышения жесткости пути и ускорения износа колес подвижного состава. Таким образом, становится актуальным вопрос восстановительной наплавки колесных пар. При анализе состояния вагонного хозяйства Российской Федерации отмечается тот факт, что количество повреждений колесных пар по сравнению предыдущими периодами многократно увеличилось [26]. Также на износ колесной пары оказывает влияние особенности климата Российской Федерации, суровость которого ускоряет износ приблизительно в два раза по сравнению с эксплуатацией в условиях умеренных широт [5]. Возникновение дефектов в колесных парах обуславливается комплексным действием негативных эксплуатационных факторов, в том числе перегревом при торможении и разгоне, перегрузом составов и увеличением скорости передвижения по пути. При этом на продолжительность и безопасность эксплуатации в значительной мере оказывают влияние особенности ранее проводимых ремонтов колесных пар [8], [14]. Качество проведения ремонтных работ определяется не только квалификацией исполнителя, но и фактором применения передовых технологий, позволяющих повысить эффективность восстановительных операций и увеличить эксплуатационный ресурс колесной пары. Таким образом, следует признать актуальной поставленную цель – повышение производительности и качества наплавочных работ при восстановлении гребней колесных пар.

1 Современное состояние восстановительной наплавки гребней колесных пар вагонного хозяйства Российской Федерации

1.1 Конструкция и условия работы колесной пары

Назначение колесных пар – обеспечивать контактное взаимодействие рельсового пути и подвижного состава, при этом непосредственно через колесную пару происходит передача динамической и статической нагрузки в системе «вагон-путь», колесная пара направляет движение состава по рельсовой колее и жестко воспринимает все удары и толчки, получая их от рельсового пути. Если состав проходит поворот, то на колесные пары дополнительно оказывает влияние центробежная сила. Кроме того, в ряде случаев колесная пара при движении состава не вращается, а скользит по поверхности пути, что становится причиной ускорения её локального износа. Помимо пути колесная пара взаимодействует с элементами привода генераторов электрической энергии, обеспечивая подачу электрической энергии в пассажирский вагон.

К колесной паре предъявляются требования, неукоснительное соблюдение которых обеспечивает безопасность пассажиров и грузов при движении по рельсовому пути. Колесная пара должна иметь высокую прочность и минимальную необрессоренную массу, в противном случае повышение необрессоренной массы становится причиной ускорения износа рельсового пути и самой колесной пары. Также материал, из которого изготовлена колесная пара, должен обладать некоторой упругостью, что позволяет подавлять негативное действие неровностей пути при движении состава. От колесной пары требуется обеспечить минимальное сопротивление качению при минимальном же износе в контакте «колесо-рельс». На рисунке 1 представлена колесная пара вагона, в состав которой входит ось пары 1 и напрессованные на неё колеса 2.

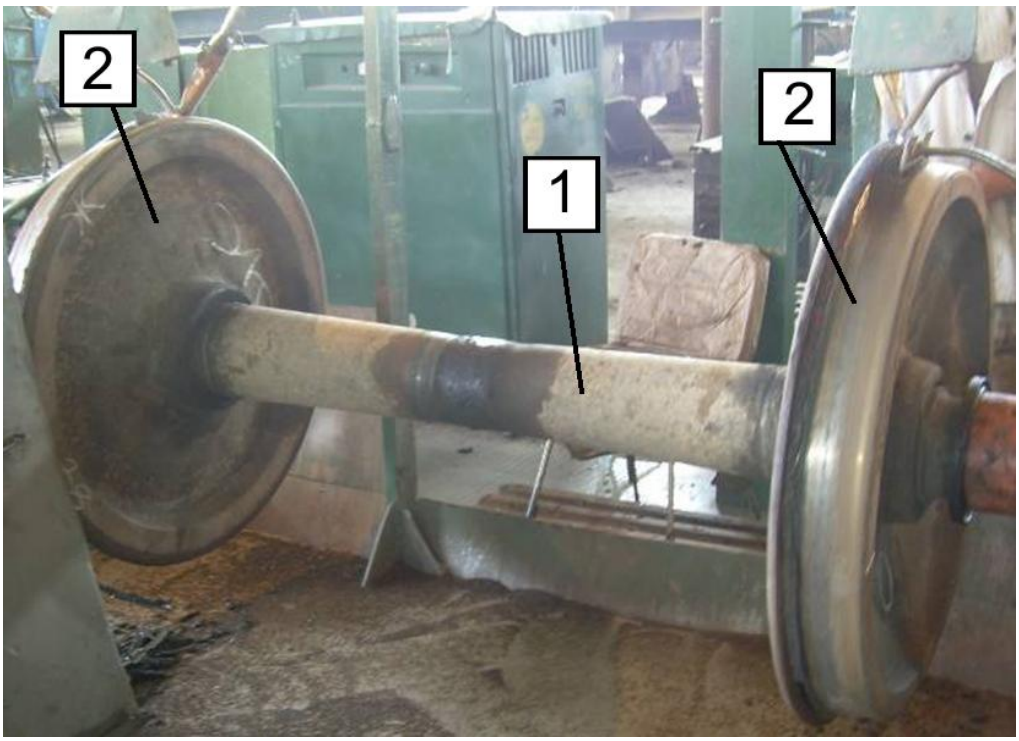


Рисунок 1 – Внешний вид колесной пары

Особенности конструкции колесной пары обеспечивают стабилизацию движения состава на поворотах. При этом вписывание состава в поворот достигается за счёт неравномерного диаметра колесной пары по её длине, за счёт смещения колесной пары относительно рельсового пути изменяется радиус катания внешнего и внутреннего колеса относительно поворота. Для этого профиль колесной пары выполнен коническим. Таким образом, при повороте, например, влево, радиус катания правого колеса увеличивается, а радиус катания левого колеса уменьшается, что облегчает прохождение поворота и обеспечивает равномерность износа колесных пар.

Внутренняя грань колеса имеет гребень высотой 28 мм, который предотвращает сход состава с рельсового пути и обеспечивает сохранность рельсовых скреплений и стрелочных переводов. При установке новой колесной пары толщина такого гребня равна 33 мм, а в процессе эксплуатации происходит его истирание и уменьшение толщины, остаточное значение которой контролируется в течение всего периода эксплуатации колесной пары.

При износе колесной пары могут возникать различные дефекты, которые схематично представлены на рисунке 2.

Ползун, показанный позицией 1, представляет собой локальный износ поверхности колеса, выражающийся в виде образований плоской площадки. Такой дефект получается при проскальзывании колесной пары по рельсовому пути и движению состава «юзом», в результате чего на поверхности возникают зоны перегрева, пластической деформации металла и его схватывания. В зоне ползуна под действием высоких температур и скоростей охлаждения возникают закалочные структуры, что может стать причиной выкрашивания.

Позицией 2 показана выщерблина, которая характеризуется локальным разрушением обода колеса. Такие дефекты возникают в результате усталостного износа и растрескивания металла под действием локального перегрева. Значительные растягивающие напряжения на поверхности вызывают образование микротрещин, которые по мере своего развития вызывают выкрашивание металла. При образовании выщерблины в области термомеханических повреждений они характеризуются групповым расположением и глубиной 2…3 мм. При расположении выщерблины в месте усталостного износа образуется одиночная выщерблина глубиной до 10 мм.

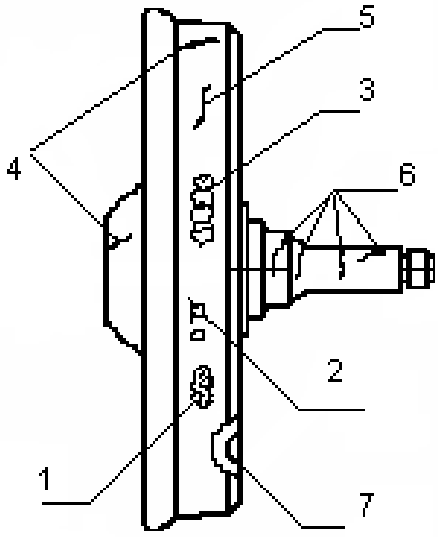


Рисунок 2 – Дефекты колесной пары при её износе

Навар, показанный позицией 3, представляет образование на поверхности U-образный сдвиг металла, в центре такого участка смещение металла максимально, по периферии сдвиг металла минимален.

Позицией 4 обозначены трещины, которые возникают в диске колеса и ступице под действием динамического нагружения. В основном трещины образуются в места металлургических дефектов, допущенных при изготовлении элементов колесной пары. Развитию трещин способствуют растягивающие напряжения на поверхности деталей.

Продольная трещина на ободе колеса, показанная позицией 5, характеризуется отдельно располагающейся трещиной вдоль рабочей поверхности колеса. Зарождение таких трещин происходит в области залегания металлургических дефектов под действием динамических нагрузок.

Позицией 6 показаны трещины на шейке и предступичной части оси колесной пары. Чаще всего такие дефекты возникают в области галтелей, выступающих в роли концентраторов напряжений.

На рисунке 3 представлены виды выработок, которые возникают при износе колесной пары в ходе её продолжительной эксплуатации.

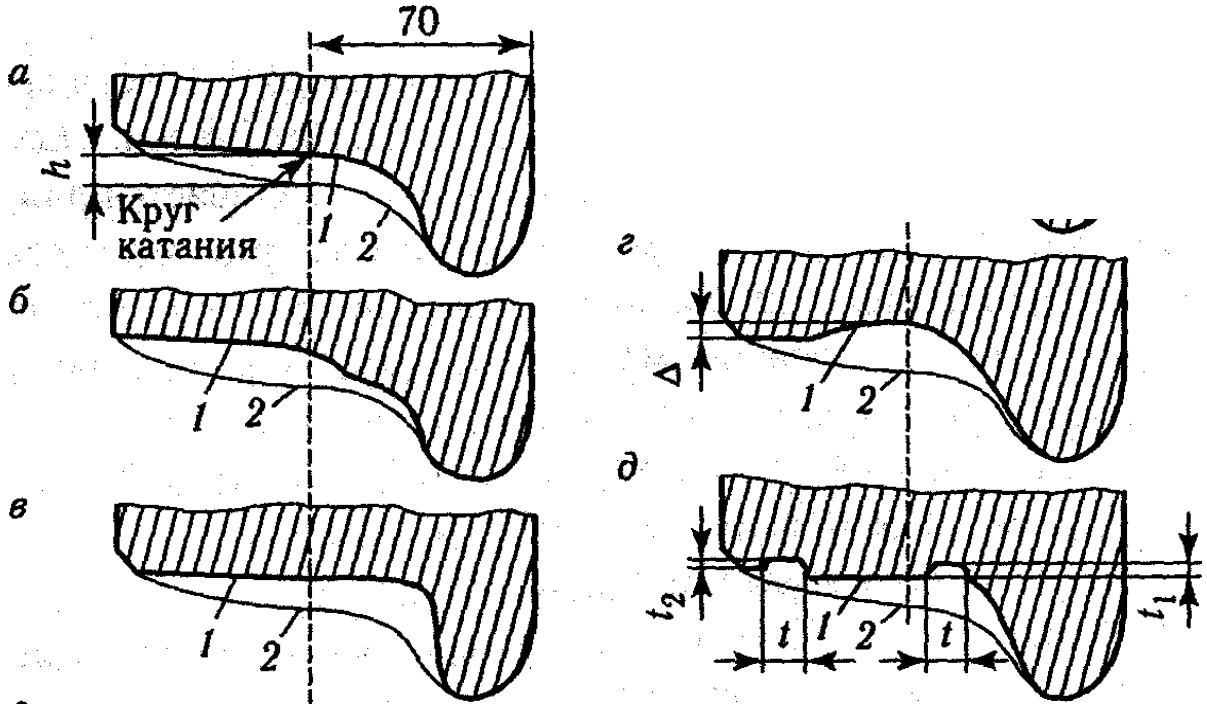


Рисунок 3 – Выработка колесной пары

На рисунке 3-а представлен равномерный круговой износ, который характеризуется занижением профиля изношенного колеса (позиция 1) относительно профиля неизношенного колеса (позиция 2) на величину h. Причиной такого износа является разрушительный процесс, проходящий при динамических нагружениях на поверхности контакта колеса с рельсом и на поверхности контакта колеса с тормозной колодкой. При этом происходит сминание волокон металла и его истирание. На рисунке 3-б представлен ступенчатый прокат, который характеризуется «неравномерным износом по профилю. На рабочей поверхности колеса происходит образование ярко выраженной кольцевой ступени. Причиной такого дефекта является перекос в установке колесной пары, возникающий при установке на одну ось колес со значительной разницей в диаметре. Эксплуатация колесных пар со ступенчатым прокатом не допускается, такой дефект должен быть исправлен переточкой» [32]. На рисунке 3-в представлен износ гребня колеса, причиной которого является взаимодействие головки рельса с гребнем колесной пары. При расхождении диаметров устанавливаемых на одну ось колес скорость развития такого дефекта увеличивается. На рисунке 3-г «представлен седлообразный прокат, характеризующийся образованием на рабочей поверхности колеса вогнутой седловины» [32]. На рисунке 3-д «представлены кольцевые выработки, характеризующиеся образованием на поверхности катания кольцевых углублений, ширина которых может быть различной. Причиной образования такого дефекта является износ под действием тормозных колодок» [32].

Большинство дефектов в виде выработки могут быть исправлены с применением переточки, которая выполняется на специализированных токарных станках. При этом следует принимать во внимание, что переточка в основном направлена на восстановление рабочей поверхности колеса. Толщина гребней колесных пар восстанавливается с применением наплавки, так как переточка в этом случае требует снятия значительной массы металла.

1.2 Анализ стали для изготовления колесных пар

ГОСТ 10791 регламентирует сталь, которая применяется для изготовления элементов колесной пары. В большинстве случаев применятся сталь марки 2, структура которой преимущественно состоит из перлита, причем на рабочих поверхностях за счёт прерывистой закалки создается структура дисперсного перлита. По химическому составу марка применяемой стали соответствует марке 60Г и включает в себя: углерод в количестве от 0,55 до 0,65 %, марганец в количестве от 0,5 до 0,9 %, кремний в количестве от 0,22 до 0,45 %. Такое содержание кремния позволяет обеспечить уменьшение размеров зерна, что положительно сказывается на стойкость стали при ударных воздействиях. Также высокое содержание кремния в стали улучшает её свариваемость, так как кремний является активным раскислителем. Следует принимать во внимание некоторое снижение коррозионной стойкости стали из-за повышения содержания в ней кремния. Как и кремний, марганец является раскислителем и улучшает свариваемость стали. Также марганец позволяет измельчить зерно, что положительно сказывается на прочности и сопротивляемости износу. В качестве вредных примесей в стали содержится фосфор и сера, количество которых ограничено в рассматриваемой стали соответственно 0,035 % и 0,04 %.

При производстве колесных пар из рассматриваемой стали в качестве металлургической проблемы следует указать низкую пластичность и образование грубопластинчатого перлита в ходе термической обработки.

За счёт оптимизации параметров термической обработки рассматриваемой стали удается повысить эксплуатационные свойства колесных пар [11]. При обточке колесных пар в процессе проведения ремонта следует принимать во внимание, что происходит удаление более стойкого слоя металла и выход на поверхность металла с меньшей твердостью, что становится причиной ускорения износа. На рисунке 4 представлена диаграмма, демонстрирующая интенсивность износа гребней колесных пар в

зависимости от предэксплуатационной подготовки (с упрочнением и без упрочнения). Диаграмма построена на основании анализа данных, полученных при эксплуатации составов Московской железной дороги.

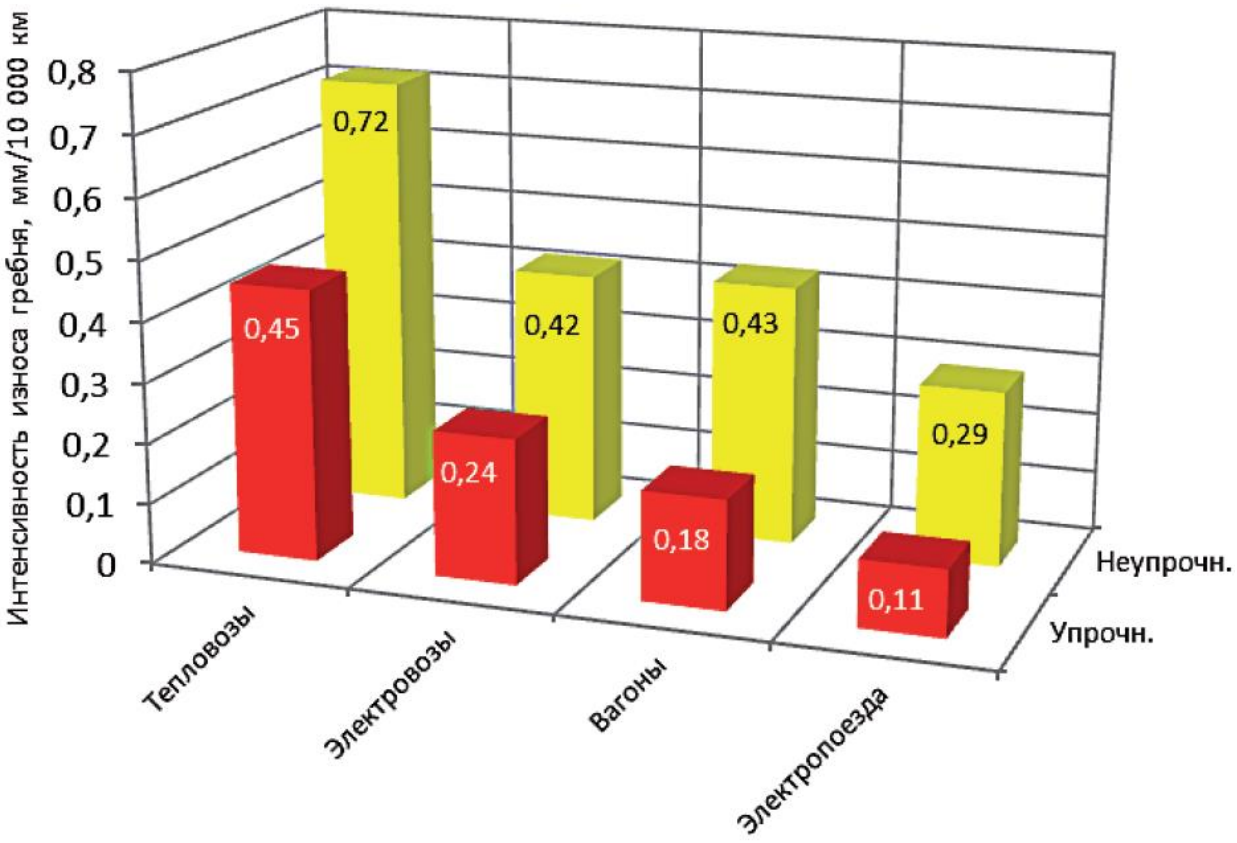


Рисунок 4 – Интенсивность износа гребней колесных пар в зависимости от предэесплуатационной подготовки

Трудности при наплавке деталей машин из рассматриваемой стали заключаются в высокой склонности к образованию кристаллизационных трещин, холодных трещин и разупрочнению стали под действием термического цикла. Сущность образования кристаллизационных (горячих трещин) заключается в том, что при кристаллизации металла происходит образование в нем растягивающих напряжений в результате уменьшения объема в условиях снижения сопротивляемости деформации при повышенных температурах. При кристаллизации металла в нем могут возникать участки нарушения целостности и образовываться трещины. Для того, чтобы предотвратить образование горячих трещин при восстановительных работах

применяют специальные сварочные электроды и технику сварки. Если вести наплавку предварительно подогретой детали, уровень напряжений в ней существенно снижается, что позволяет в ряде случаев устранить опасность образования и развития горячих трещин.

Ещё одной трудностью при наплавке являются закалочные трещины, образование которых происходит по причине значительного содержания в рассматриваемой стали углерода. Применение предварительного нагрева позволяет уменьшить опасность возникновения закалочных трещин. Разупрочнение основного металла при наплавке может быть предотвращения применением термической обработки, так как размеры восстанавливаемой детали позволяют поместить её полностью в печь. Также успешно бороться с разупрочнением основного металла позволяет применение перспективных способов наплавки, уменьшающих тепловое воздействие на основной металл, такими способами являются плазменная наплавка, лазерная наплавка. Таким образом, для построения проектной технологии восстановительной наплавки рассматриваемой детали потребуется учесть описанные выше особенности её материала. Для устранения сложностей наплавки потребуется рассмотреть применение перспективных способов и технологических приемов, применить современные наплавочные материалы и технологии.

Ручная дуговая наплавка рассматриваемой стали требует применения «электродов со сложной системой легирования. Опасность выгорания легирующих элементов заставляет вести сварку короткой дугой, длина которой составляет диаметр электрода» [4].

Механизированная и автоматическая наплавка с применением проволок требует применения проволок состава, обеспечивающего уменьшение опасности горячих трещин.

Для снижения склонности к образованию трещин следует проводить предварительный подогрев и термическую обработку после сварки. При этом для получения требуемых эксплуатационных параметров необходима последующая поверхностная закалка изделия.

1.3 Особенности базовой технологии восстановительной наплавки

Базовая технология восстановительной наплавки гребней колесных пар в соответствии с действующей нормативной документацией выполняется с применением автоматической наплавки под флюсом. Установка УН-1 для наплавки представлена на рисунке 5. Установка оснащена двумя сварочными автоматами АДФ-1202. Питание сварочных дуг осуществляется от двух выпрямителей ВДУ-1202. Предварительный подогрев колесных пар перед выполнением наплавки, отжиг перед колесных пар обточкой и термическое упрочнение гребней колесных пар проводят с применением установки высокочастотного нагрева ВЧГ-9.

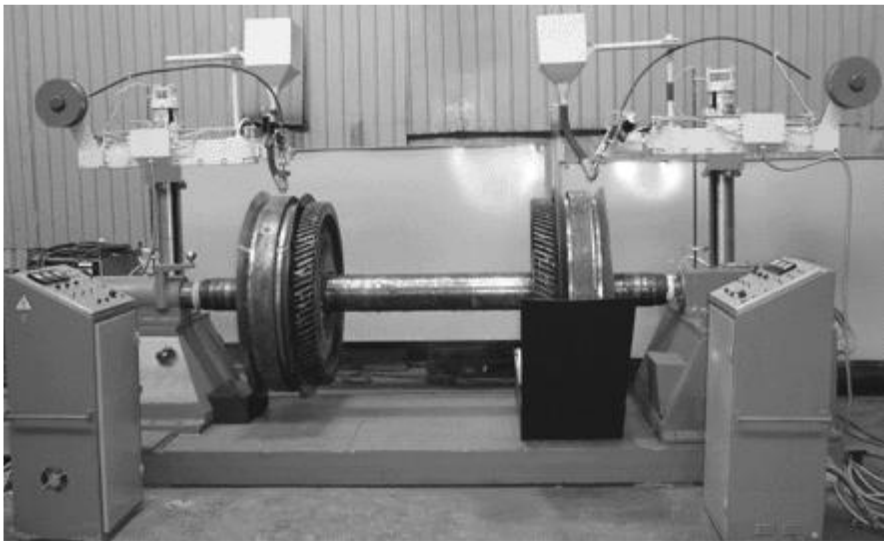


Рисунок 5 – Установка для наплавки гребней колесных пар

При наплавке применяют проволоку Св-10НМА диаметром 3 мм. Наплавку ведут под слоем флюса АН-348А. При выполнении первого наплавленного слоя его ширина составляла 55 мм, при этом наплавку вели пятью проволоками. Сила сварочного тока составляла 1000 ампер при напряжении на дуге 30 вольт, наплавку вели в горизонтальном положении. Второй наплавленный валик имел ширину 40 мм и выполнялся четырьмя электродами, при этом ток сварки составил 800 ампер при напряжении на дуге 30 вольт. Далее колесная поворачивалась таким образом, чтобы наплавка

выполнялась по поверхности с наклоном 60 градусов, при этом наплавлялся третий слой шириной 30 мм при помощи трех электродов при токе 600 ампер и напряжении на дуге 32 вольта. Далее при помощи одного электрода наплавлялся валик, при этом сила тока составляла 300 ампер при напряжении на дуге 28 вольт. Последовательность выполнения наплавляемых слоев представлена на рисунке 6. На рисунке 7 представлена схема измерения уровня остаточных деформаций с применением датчика угловых перемещений МУ-616 и сварной металлической фермы, на которую было установлено исследуемое наплавленное колесо.

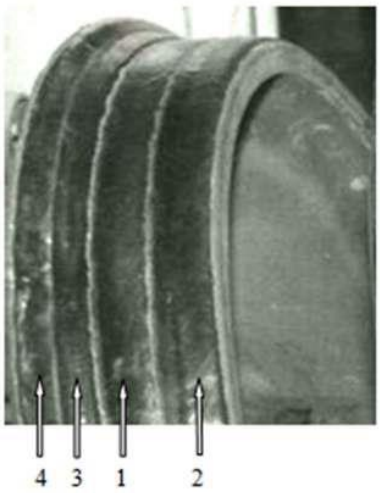
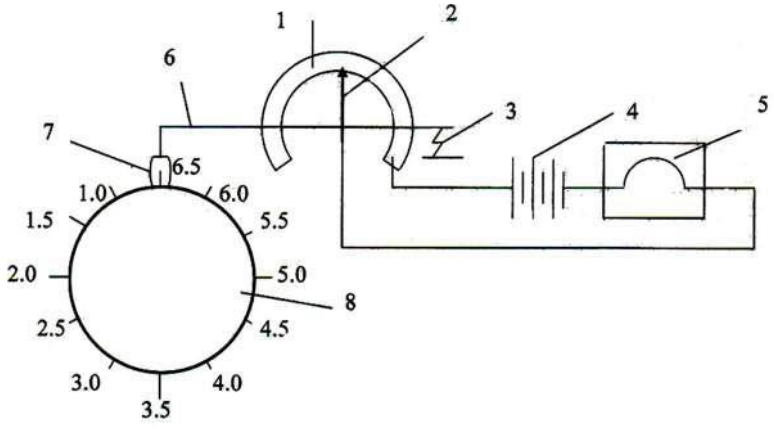


Рисунок 6 – Последовательность выполнения наплавляемых слоев



1 – обмотка сопротивления, 2 – скользящий контакт, 3 – пружина сжатия, 4 – источник постоянного тока; 5 – осциллограф, 6 – качалка, 7 – щуп, 8 – колесо

Рисунок 7 – Функциональная схема измерения остаточных деформация колеса после наплавки

На рисунке 8 представлена макроструктура наплавленного колеса (показан обод), которая была выполнена с применением наплавки в три слоя.

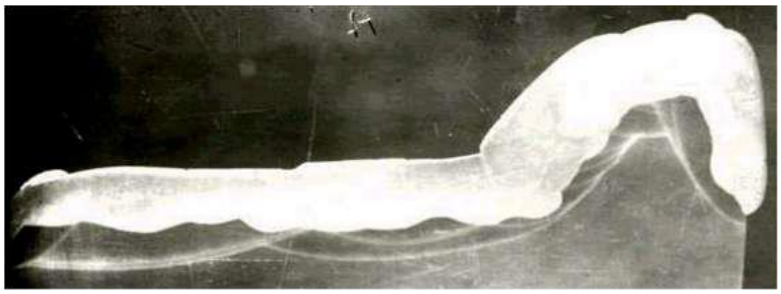


Рисунок 8 – Макроструктура трехслойной наплавки

На рисунке 9 «представлены кривые изменения коробления колеса в зависимости от количества наплавляемых слоев. Анализ результатов показывает неравномерное коробление колеса по различным его сечениям. Наплавка холодного колеса первым слоем медленно прогревает массивный обод» [29].

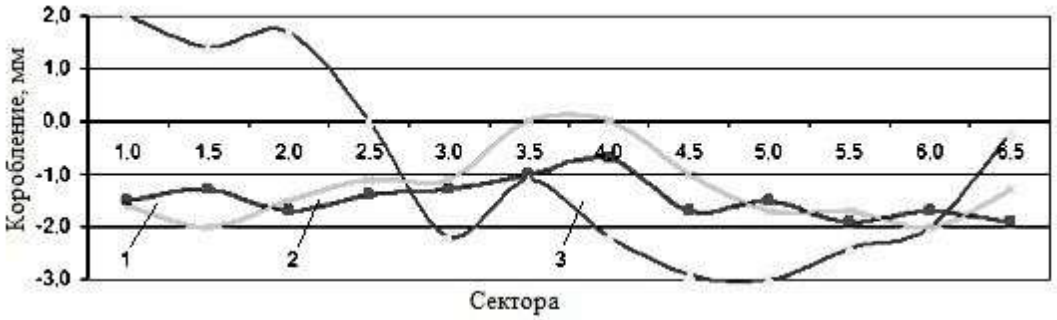


Рисунок 9 – Коробление колеса

«Коробление постепенно увеличивается и достигает максимального значения (2 мм) в сечениях, соответствующих началу и концу наплавки первого слоя. При наплавке второго слоя, когда обод хорошо прогревается, существенного увеличения коробления не происходит, т. е. создаются благоприятные условия для выравнивания температур по всему его сечению. Однако наплавка третьего слоя прогревает обод до более высоких градиентов и наблюдается значительный перепад температур на участках перехода обода в тонкостенный диск колеса, что вызывает нарастание коробления до высоких значений» [29].

1.4 Анализ содержания научных работ по вопросу восстановительной наплавки колесных пар

Для анализа было отобрано пять источников научно-технической информации, которые будут использованы для дальнейшего выполнения выпускной квалификационной работы.

В первом источнике [29] предложен способ дуговой наплавки колес грузовых вагонов, предусматривающий применение многослойной наплавки под флюсом. В ходе проведения исследований установлено, что к возрастанию остаточных деформаций колеса после наплавки может привести увеличение количества наплавляемых слоев. В работе предлагается свести количество наплавляемых слоев к двум. Результаты исследования реализованы в проектной технологии, которая была внедрена на предприятии «Узжелдорреммаш».

Данная работа показывает высокую эффективность наплавки под флюсом и будет применена при обосновании выбора способа наплавки для построения проектной технологии. также предполагается, что наплавка в проектном варианте будет проводиться с применением автоматической сварки под флюсом, поэтому, скорее всего, данная работа будет использована для построения проектной технологии.

Во второй работе [13] «показано, что применение импульсной подачи проволоки при сварке и наплавке деталей позволяет повысить стабильность процесса горения сварочной дуги и уменьшить разбрызгивание электродного металла. Кроме того, повышается стабильность формирования наплавленного валика. Дальнейшие исследования в области повышения эффективности сварки и наплавки в защитных газах деталей следует вести в области комбинированного управления подачей проволоки и электрическими параметрами горения сварочной дуги.

Результаты этой работы показывают эффективность сварки и наплавки деталей проволоками сплошного сечения в защитных газах с импульсным

управлением. Работа будет использована при обосновании выбора способа ремонтной наплавки» [13].

В третьей работе [3] «показано, требуемый химический состав наплавленного слоя может быть в полной мере обеспечен при широкослойной наплавке лентами, имеющими широкие возможности регулирования процесса за счёт изменения их взаимного расположения при наплавке.

Данная работа будет использована при обосновании выбора способа наплавки и построении проектной технологии износостойкой наплавки» [3].

В четвертой работе [23] на основании обобщения опыта промышленных предприятий показана высокая эффективность восстановительной и упрочняющей наплавки деталей машин с применением порошковой проволоки. Для повышения стабильности качества наплавки и эксплуатационных свойств предлагается проволока ПП-АН198 диаметром 1,6 мм, применение которой позволяет получать биметаллические изделия с комбинированными свойствами. Проволоку отличает пониженный уровень остаточных напряжений в наплавленном слое и низкое содержание дефектов.

«Данная работа показывает высокую эффективность применения наплавки порошковыми проволоками и будет использована при обосновании выбора способа износостойкой наплавки» [23].

В пятой работе [18] исследовался процесс наплавки с применением покрытых электродов, предложен состав электродов, обеспечивающий получение наплавленного слоя сходного по составу с быстрорежущей сталью. Предложены мероприятия по устранению образования трещин в наплавленном слое.

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

1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

Выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности наплавочных операций при восстановлении колесных пар железнодорожного состава. В процессе выполнения настоящего раздела рассмотрена конструкция изделия и условий работы, а также возникающие дефекты, требующие исправления. Далее рассмотрены особенности состава и наплавки стали, из которой выполнена колесная пара. В ходе анализа источников научно-технической литературы рассмотрены способы восстановительной наплавки, применение которых может быть целесообразным для построения проектной технологии. Достижение поставленной цели с применением оптимальных временных и финансовых затрат обеспечивается правильной постановкой научно-практических задач, формулировка которых выполняется с учётом проведенного литературного исследования. В ходе решения первой задачи предполагается обоснование выбора способа наплавки при восстановлении колесной пары, который должен быть выполнен на основании экспертной оценки рассматриваемых способов сварки. Для этого следует сформулировать технологические критерии, применение которых позволит комплексно оценить преимущества и недостатки рассматриваемых способов в учетом особенности данной конструкции. В ходе решения второй задачи на основании литературных исследований предлагается предложить ряд мероприятий и средство по расширению технологических возможностей выбранного способа наплавки. В ходе решения третьей задачи предлагается составить перечень операций, для каждой из которых необходимо сформулировать технологические требования к выполнению и назначить оптимальные параметры. Далее следует выполнить экологическое [2], [7] и экономическое [12], [19] обоснование предлагаемых решений.

2 Построение проектной технологии восстановительной наплавки колесных пар

2.1 Обоснование выбора способа восстановительной наплавки для построения проектной технологии

Как показали результаты предварительного литературного исследования в области «восстановительной наплавки колесных пар, для построения проектной технологии следует рассмотреть варианты применения таких способов, как» [28]: «ручная дуговая наплавка штучными электродами» [15], [16], «механизированная и автоматическая наплавка в защитных газах проволокой сплошного сечения» [24], «механизированная и автоматическая наплавка порошковой проволокой» [23], [32], «плазменная наплавка» [27], «автоматическая наплавка под флюсом» [6].

Применение ручной дуговой наплавки, схема выполнения которой представлена на рисунке 10, «позволяет получить минимальные капитальные вложения в производство, так как необходимое для реализации технологического процесса оборудование уже имеется в достаточном количестве на предприятии, и может быть использовано без дополнительных финансовых затрат» [15].

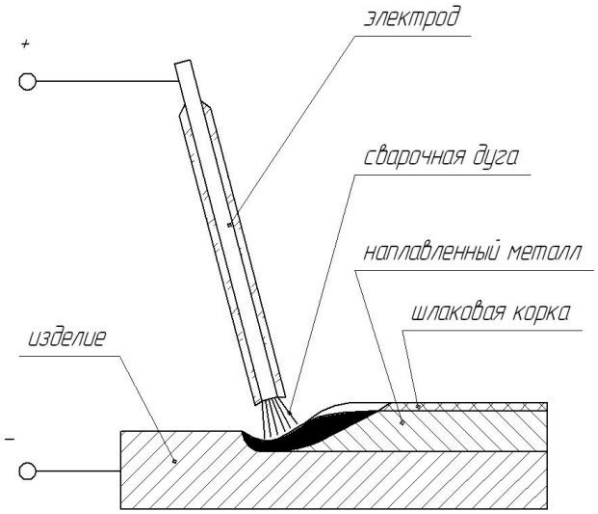


Рисунок 10 – Схема наплавки с применением штучных электродов

Следует признать, что ручная дуговая наплавка характеризуется рядом неустранимых недостатков, наличие которых заставляет повсеместно заменять этот способ восстановления деталей на боле перспективные способы [9], [10], [30]. «При этом на первый план выходят автоматизированные и механизированные способы сварки и наплавки. При выполнении ручной дуговой наплавки приходится работать во вредных сварочных аэрозолях и подвергаться излучению дуги. Также следует указать на низкую стабильность качества наплавленного металла, которое в значительной мере зависит от квалификации сварщика» [9], что становится дополнительной проблемой в условиях кадрового голода. Применение ручной дуговой наплавки легированными электродами не может относиться к экономичным процессам, так как значительны потери дорогостоящего электродного металла на разбрызгивание и электродные огарки.

Схема наплавки в защитных газах проволокой сплошного сечения представлена на рисунке 11. Применение этого способа позволяет автоматизировать процесс наплавки, особенно при восстановлении тел вращения. По сравнению с ручной дуговой наплавкой этот способ позволяет существенно повысить качество и производительность процесса. Также наблюдается улучшение условий труда, так как выделяющиеся при наплавке аэрозоли менее вредны при использовании защитных газов, чем при использовании покрытых электродов. Так как при механизированной наплавке отсутствует необходимость замены электрода и очистки поверхности валиков от шлака, производительность и качество работ при этом повышаются. Значительное расширение технологических возможностей способа достигается за счёт применения современных достижений в области импульсного управления дугой и переносом электродного металла.

Главным недостатком наплавки в защитных газах является низкая текучесть расплавленного металла, что становится причиной образования несплавлений и трещин. Также из-за высокой скорости охлаждения и кристаллизации ухудшаются условиях выделения растворенных в металле

газов, что вызывает пористость наплавленного металла. Изготовление легированных проволок сплошного сечения обходится намного дороже, чем изготовление аналогичных порошковых проволок. Также следует принимать во внимание существенное разбрызгивание электродного металла, что ухудшает внешний вид и качество работ, а также снижает их производительность.

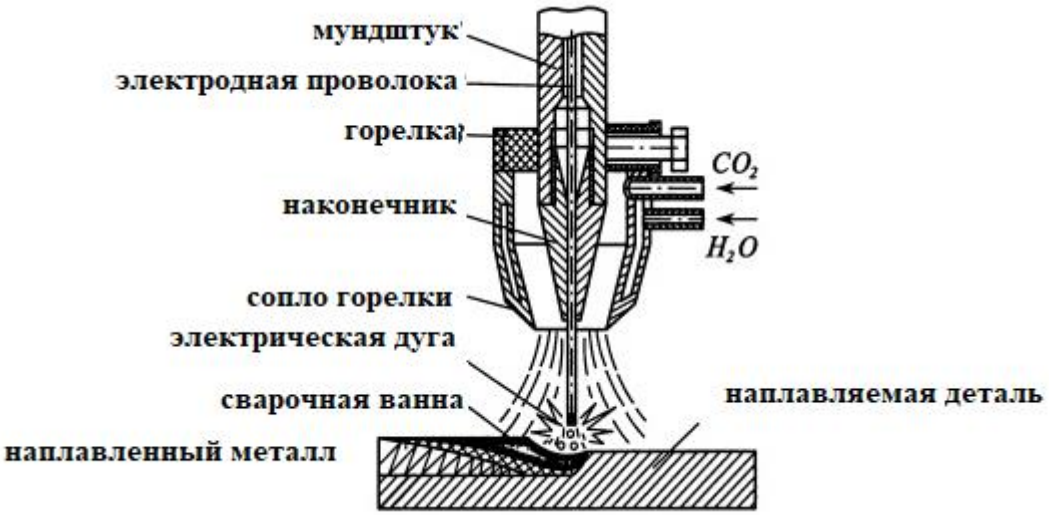


Рисунок 11 – Схема наплавки в защитных газах проволокой сплошного сечения

На рисунке 12 представлена схема наплавки порошковой проволокой, этот способ восстановления деталей машин обладает более широкими возможностями по регулированию состава наплавленного слоя по сравнению с наплавкой проволоками сплошного сечения. При наплавке самозащитными проволоками и лентами упрощается строение оборудования, так как устраняется необходимость применения газовой аппаратуры. Это позволяет повысить мобильность и универсальность способа, а также улучшает условия защиты наплавленного металла от действия атмосферы [23], [25], [31]. Кроме того, за счёт изменения состава порошкового наполнителя удается регулировать содержание химических элементов в наплавленном слое в широких пределах, при этом существует возможность изготовления малых партий проволоки без увеличения её стоимости.

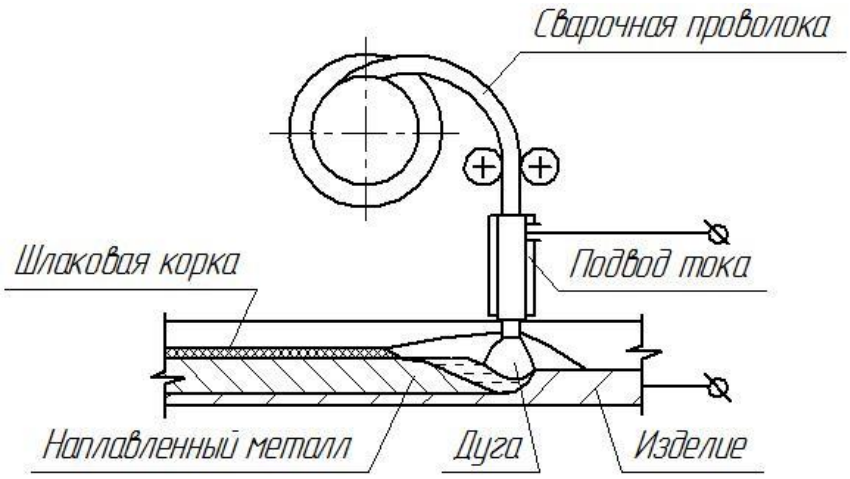


Рисунок 12 – Схема наплавки порошковой проволокой

«В числе недостатков сварки самозащитными проволоками следует указать повышенную мягкость проволоки, в результате чего существенно увеличивается частота заломов и застреваний в подающих механизмах. Также следует принять во внимание повышенную текучесть расплавленного шлака» [23] и металла сварочной ванны, из-за чего повышаются требования к сборке и подготовке кромок, ухудшаются условия формирования корневого слоя шва. При плавлении порошковой проволоки может наблюдаться неравномерность нагрева проволоки по сечению, в результате чего часть нерасплавившегося шлака просыпается в сварочную ванну и становится причиной образования пор и шлаковых включений.

Схема плазменной наплавки представлена на рисунке 13. Применение сжатой дуги как источника нагрева при сварке и наплавке раскрывает дополнительные возможности перед технологом при организации восстановления деталей машин. В настоящий момент плазменная наплавка считается одним из перспективных способов, внедрение которого на предприятиях Российской Федерации будет интенсивно продолжаться. Первым преимуществом плазменной наплавки является высокая энергоэффективность процесса, осуществление которого требует в несколько раз меньших затрат энергии, чем при сварке и наплавке свободно горящей дугой. Вторым преимуществом является экономичность способа, так как

расход защитного газа при плазменных процессах меньше, чем при аналогичных процессах при свободно горящей дуге. Кроме того, стоимость присадочного порошка, который применяется для выполнения плазменной наплавки, существенно ниже стоимости аналогичного количества штучных электродов и порошковой проволоки. При обосновании выбора плазменной наплавки как способа для построения проектной технологии необходимо также принимать во внимание, что плазменная наплавка позволяет существенно уменьшить припуск на механическую обработку детали после наплавки, что дополнительно повышает производительность и сокращает расходы дорогостоящего наплавочного материала.

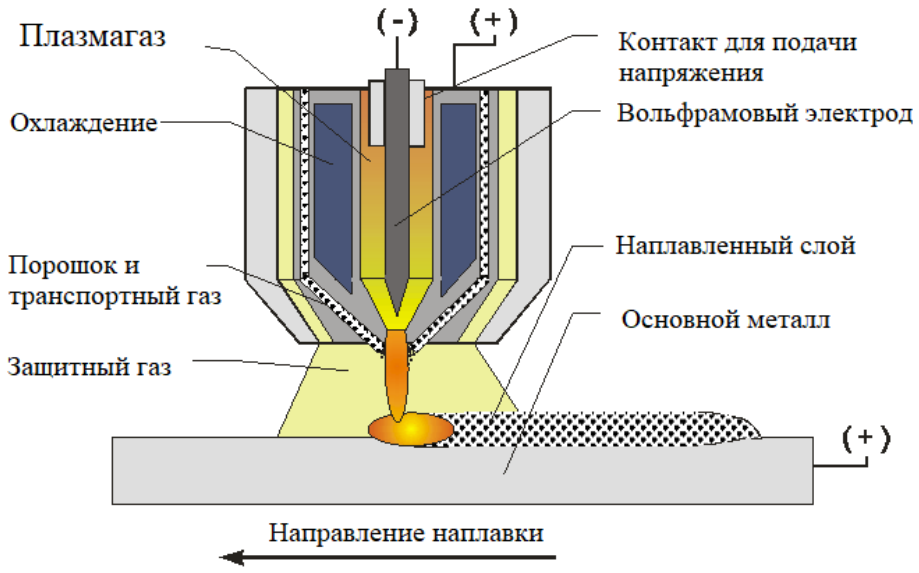


Рисунок 13 – Схема плазменной наплавки

Главным недостатком плазменной наплавки следует признать недостаточный опыт её применения в производстве. Промышленные предприятия не накопили в должной мере оборудования для проведения плазменных процессов обработки металлов, поэтому любой переход на применение плазменной наплавки и сварки будет сопровождаться значительными финансовыми затратами. Повышение экономической эффективности плазменных процессов возможно только при условии

широкого внедрения в производство, что позволит повысить универсальность процесса и снизить простои дорогостоящего оборудования.

«Автоматическая наплавка под флюсом, схема выполнения которой представлена на рисунке 14, позволяет максимально повысить производительность по сравнению с другими рассматриваемыми выше способами восстановления. Способ характеризуется высокой производительности существенным улучшением условий труда, так как сварочная дуга горит под слоем флюса, что частично решает проблему вредного излучения и сварочного аэрозоля. Наплавленный слой получается стабильно высокого качества» [6].

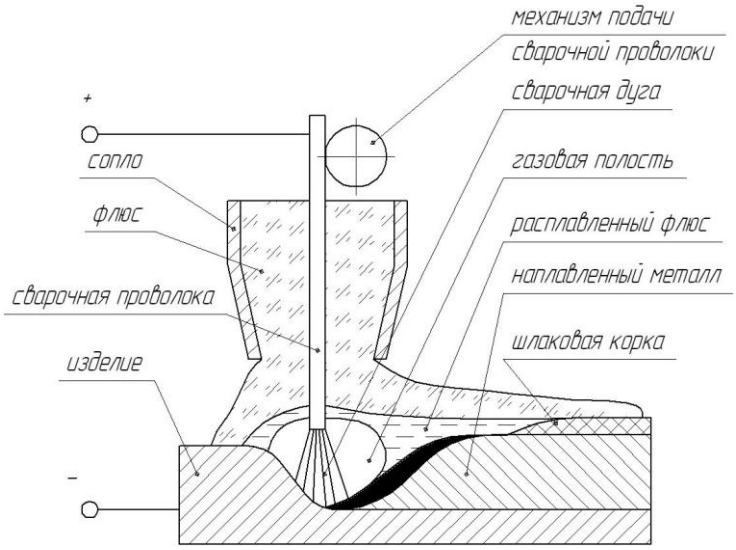


Рисунок 14 – Схема автоматической наплавки под флюсом

Следует указать на ряд недостатков, ограничивающих применение сварки и наплавки под флюсом при восстановлении деталей машин. Главным недостатком следует признать перегрев основного металла, в результате которого возможно разупрочнение штампа. Также количество восстановительных наплавок с применением наплавки под флюсом по сравнению с ручной дуговой наплавкой сокращается с семи до трех, так как при механической обработке наплавленного ранее под флюсом колеса приходится снимать больший слоя металла. Также из-за насыпанного флюса затрудняется наблюдение за процессом наплавки.

На основании анализа преимуществ и недостатков рассмотренных способов восстановительной наплавки следует выставить экспертную оценку по технологическим и экономическим критериям.

В качестве первого критерия принят размер капитальных затрат, которые необходимо провести при построении проектной технологии на базе рассматриваемого способа наплавки. Ручная дуговая наплавка получает максимальный балл (5), наплавка в защитных газах (2), наплавка порошковой проволокой (3), наплавка сжатой дугой (1) и наплавка под флюсом (2).

В качестве второго критерия выступает производительность наплавки. Минимальный балл получает ручная дуговая наплавка, далее следует наплавка в защитных газах, потом наплавка порошковой проволокой, наплавка под флюсом и плазменная наплавка..

В качестве третьего критерия принято качество наплавки, максимальный балл получает плазменная наплавка, далее следует наплавка под флюсом, наплавка в защитных газах, порошковой проволокой и ручная дуговая наплавка.

В качестве четвертого критерия принимается универсальность способа, где ручная дуговая наплавка получает наивысший балл, далее следует наплавка в защитных газах, порошковой проволокой, плазменная и под флюсом.

Пятым критерием приняты условия труда, где минимальный балл получает ручная дуговая наплавка, далее следует наплавка порошковой проволокой, наплавка под флюсом, и максимальный балл получает плазменная наплавка.

Шестым критерием выступает эксплуатационные свойства наплавленного слоя, где максимальный балл принадлежит плазменной наплавке, далее следует наплавка под флюсом, наплавка порошковой проволокой, в защитных газах и ручная дуговая наплавка.

На основании суммарного балла для построения проектной технологии наибольшей эффективностью обладает плазменная наплавка.

2.2 Повышение эффективности плазменной наплавки

При выполнении плазменной наплавки значительные трудности представляет решение вопроса равномерного прогрева и расплавления порошка, который вносится в сжатую дугу. При этом по причине неравномерного разогрева присадочного порошка часть его перегревается, что приводит к уменьшению содержания легирующих элементов в наплавленном слое и увеличении расхода дорогостоящего порошка. Неравномерный нагрев может стать причиной увеличения потерь порошка до 30 % и существенного снижения качества наплавки. Повышению эффективности нагрева и «расплавления присадочного порошка при плазменной наплавке посвящены несколько технических решений, предложенных как российскими, так и зарубежными исследователями» [1], [21], [22]. Устройства, обеспечивающие стабилизацию скорости подачи порошка в область сжатой дуги, в основной своей массе становятся причиной уменьшения скорости подачи и производительности наплавки. Также следует принимать во внимание, что «неравномерная зернистость порошка, которая наблюдается в большинстве поставляемых на рынок образцов, также становится причиной неравномерности нагрева и большинством механизмов подачи компенсирована быть не может. При малой зернистости порошка наблюдается сцепление частиц» [1] между собой, что ухудшает их нагрев. Также на неравномерность подачи присадочного порошка оказывают влияние застойные зоны в бункере и механизме подачи.

Для устранения описанных причин предлагается применить устройство подачи присадочного порошка, функциональная схема которого представлена на рисунке 15. Наплавку ведут с применением плазматрона 1, внутри сопла которого установлен неплавящийся электрод 2. Подача присадочного порошка осуществляется из бункера 3, который имеет выпускную полость 4 конической формы. В вершине выпускной полости выполнено выходное отверстие 5, перекрываемое запорной иглой 6, которая имеет возможность

возвратно-поступательного движения. Присадочной порошок 7 засыпается в бункер 3 через верхнее отверстие. Под действием гравитационных сил присадочный порошок 7 через выходное отверстие 5 поступает в вертикальный податчик 8, откуда переходит в столб 9 сжатой дуги 10, которая горит между изделием 11 и неплавящимся электродом 2. Подача присадочного порошка выполняется вертикально, а плазматрон располагают под углом α к потоку порошка. Питание сжатой дуги обеспечивается от источника 12. В бункер вводят узкоцилиндрический канал 13 подачи сжатого воздуха, край которого 14 расположен от выходного отверстия на высоте h.

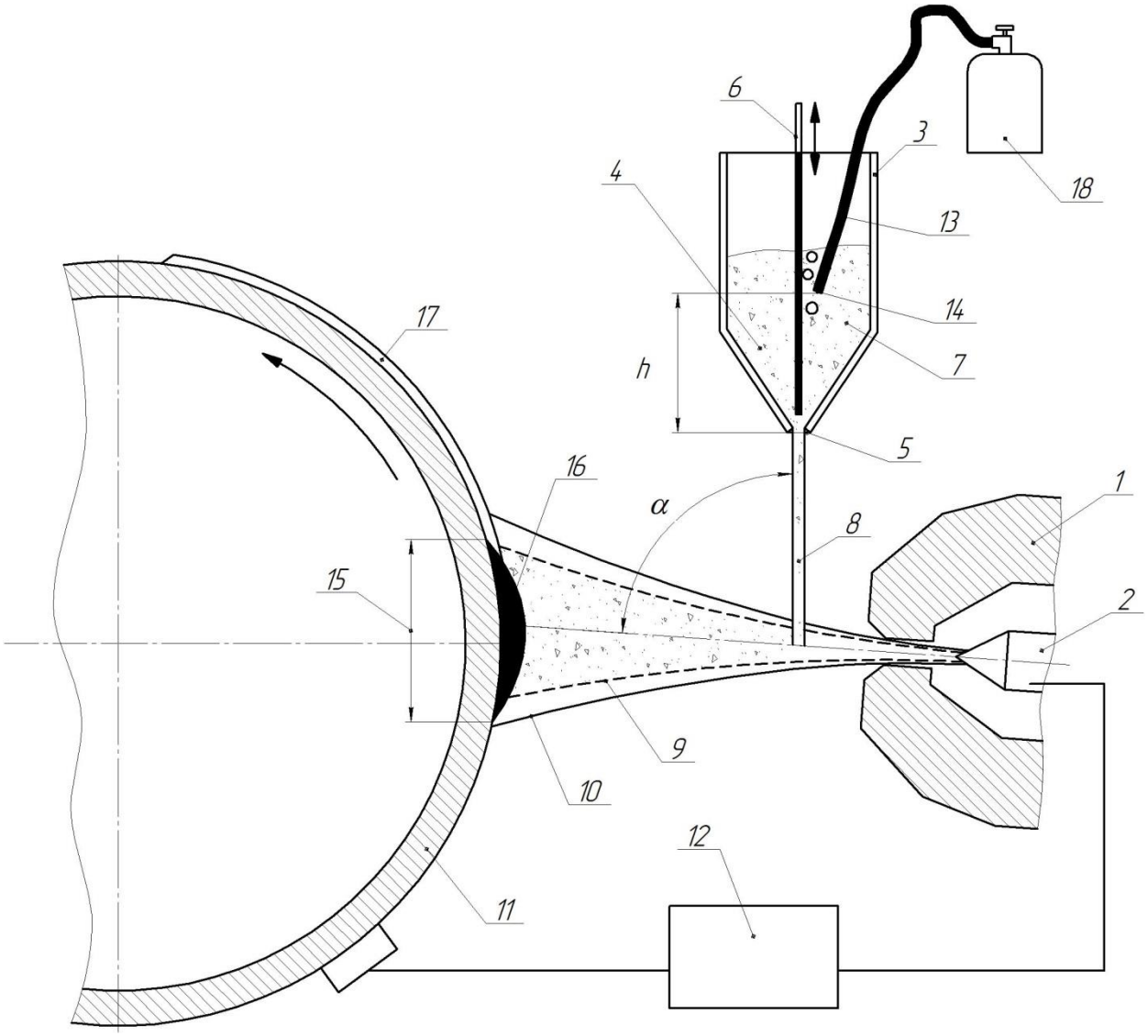


Рисунок 15 – Функциональная схема предлагаемого способа высокопроизводительной наплавки

В бункер 3 может подаваться как сжатый воздух, так и инертный газ из баллона 18. Запорная игла 6 регулирует подачу присадочного порошка из бункера 3. Подача присадочного порошка в сжатую дугу осуществляется посредством вертикального податчика 8. За счет подачи в бункер сжатого воздуха или инертного газа в порошке возникают пульсации , которые обеспечивают перемешивание порошка, снижение трения частиц друг о друга и разрыхление порошка. При этом истечение порошка через регулировочное отверстие стабилизируется. На рисунке 16 представлена компоновочная схема установки для наплавки колесных пар. В состав установки входит основание 1, на котором смонтирована вся установка, траверса 2, на которой закреплены пульт управления 11, два бункера 10. Колесная пара 12 закрепляется в манипуляторе 3. В установке размещены две наплавочные головки 4. Наплавка может выполняться как с применением присадочного порошка, так и с применением присадочной проволоки, поэтому в конструкции установки предусмотрено два механизма подачи проволоки 5. Управление работой наплавочной головкой осуществляется от пульта 6. Питание каждой наплавочной головки осуществляется от источника питания 7. Для горизонтального и вертикального перемещения наплавочных головок служат маховики 8 и 9. Плазменную наплавку предлагается вести с применением представленного на рисунке 17 плазмотрона ПН-03. Данный плазмотрон предназначен для плазменно-порошковой наплавки и может применяться также для выполнения наплавки с подачей в сварочную ванну присадочной проволоки. Максимальный ток плазмотрона составляет 350 ампер, в качестве защитного газа применяется аргон. Расход плазмообразующего газа составляет 1,5…3 литра в минуту. Расход защитного газа составляет 12…30 литров в минуту. Расход транспортирующего газа составляет 8…10 литров в минуту. При наплавке может применяться присадочный порошок фракцией 40…200 мкм. Производительность наплавки достигает 8 кг в час. Расход воды для охлаждения составляет 2 литра в минуту. Плазмотрон позволяет применять плазмообразующие сопла диаметром от 3 до 5 мм.

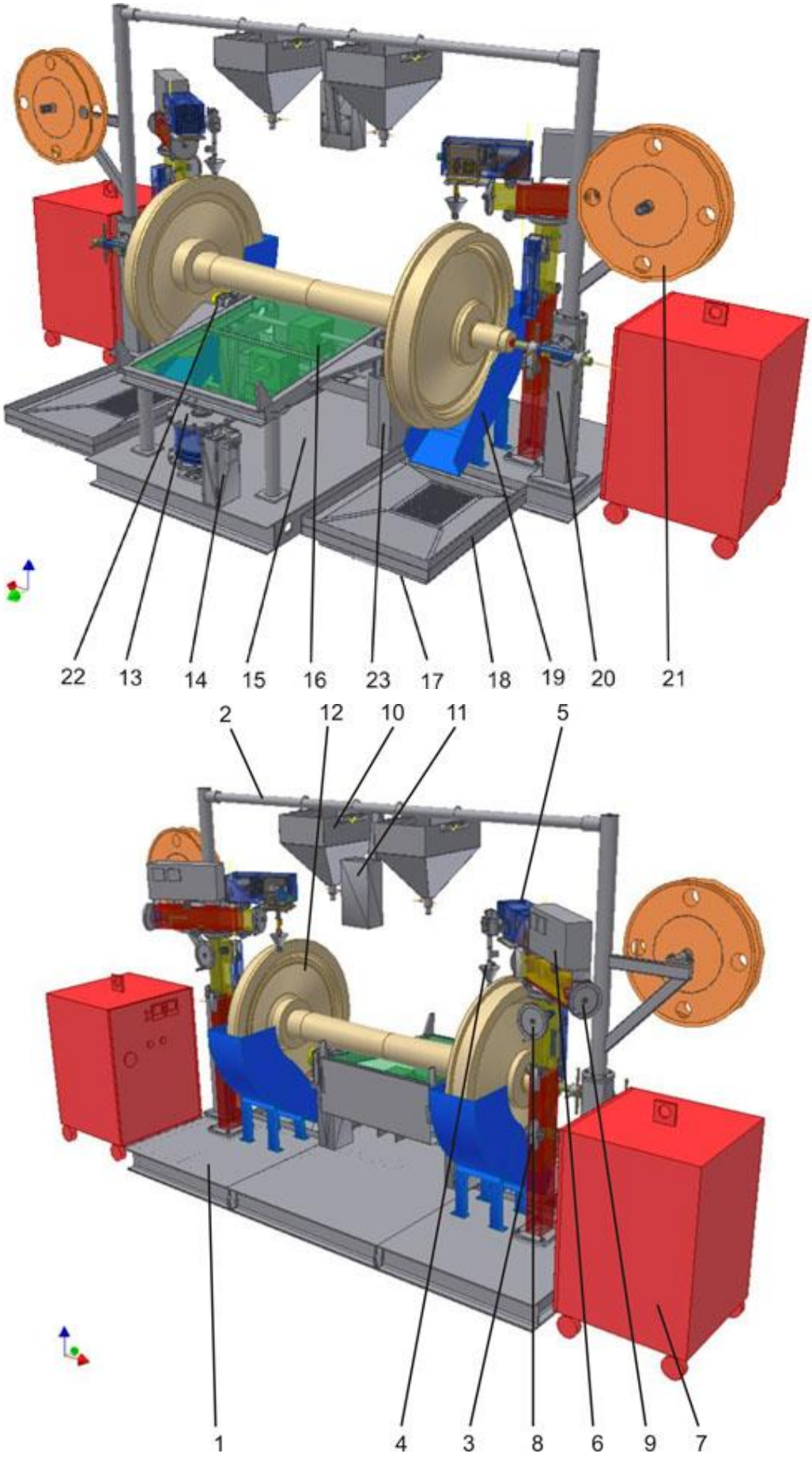


Рисунок 16 – Компоновочная схема для наплавки колесных пар

Рисунок 17 – Наплавочный плазмотрон ПН-03

Для питания сжатой дуги применяется представленный на рисунке 18$_а$ источник УПНС-БС-315. Для охлаждения токоведущих элементов установки применяется блок водяного охлаждения УПНС-БАО-039, который представлен на рисунке 18-б.

Рисунок 18 – Источник питания УПНС-БС-315 (а) и блок водяного охлаждения УПНС-БАО-039 (б)

Российскими исследователями предложен эффективный способ управления плазменной наплавкой [20], реализованный на ряде предприятий с получением положительного технологического и экономического эффекта. Функциональная схема предлагаемого способа представлена на рисунке 19. Способ управления плазменной наплавки реализуется на имеющихся установках и подробно представлена в описании к изобретению.

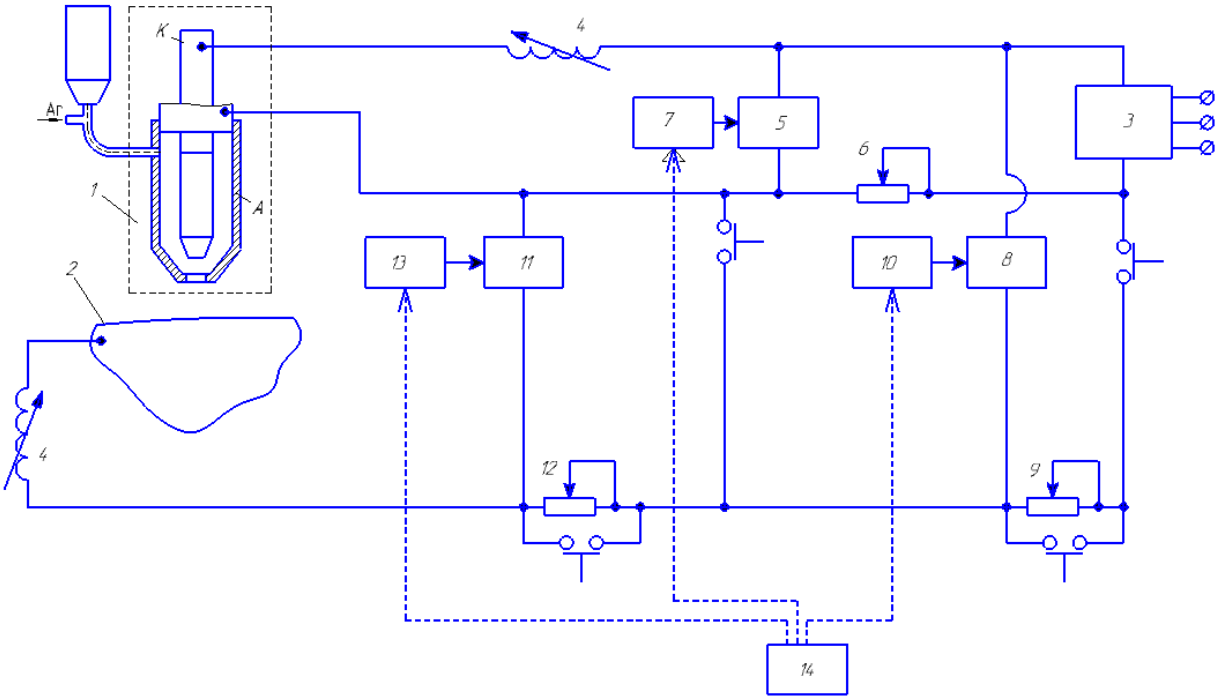


Рисунок 19 – Функциональная схема плазменной наплавки согласно изобретению [31]

Схема включает в себя «плазмотрон 1, обрабатываемую деталь 2, источник 3 постоянного тока, дроссель 4, контур дуги косвенного действия с модулятором 5 косвенной дуги, балластным сопротивлением 6 и блоком управления 7, контур дуги прямого действия между катодом К и деталью 2 с модулятором 8 дуги прямого действия, балластным сопротивлением 9 и блоком управления 10, контур дуги прямого действия между анодом А и деталью 2 с модулятором 11, балластным сопротивлением 12 и блоком управления 13, блок согласования 14 работы модуляторов» [20].

2.3 Описание операция технологического процесса восстановительной наплавки колесной пары

Колесную пару, которая подлежит восстановлению, перемещают на участок подготовки, где выполняют очистку поверхности пары от загрязнений. Для промывки колесных пар применяется представленная на рисунке 20 моечная машина ММ704. Напряжение питания такой машины составляет 380 вольт, установленная мощность составляет 100 кВт. Мойка осуществляется как с использованием моечного раствора, так и чистой воды, которая подается под давлением 6 атмосфер с расходом до 2000 литров в час. Подача колесной пары в зону помывки может выполняться как вручную, так и с применением вспомогательных механизмов. Для очистки колесной пары от загрязнений применяется принцип грязевых фрез, реализуемый с применением вращающихся форсунок высокого давления. Моечная машина снабжена замкнутой системой водооборота. После промывки проводят обтирку колесной пары сухой ветощью. С применением металлической щетки удаляют такие загрязнения поверхности, как окалина и ржавчина. После очистки п обтирки поверхность катания колесной пары должна иметь металлический блеск.

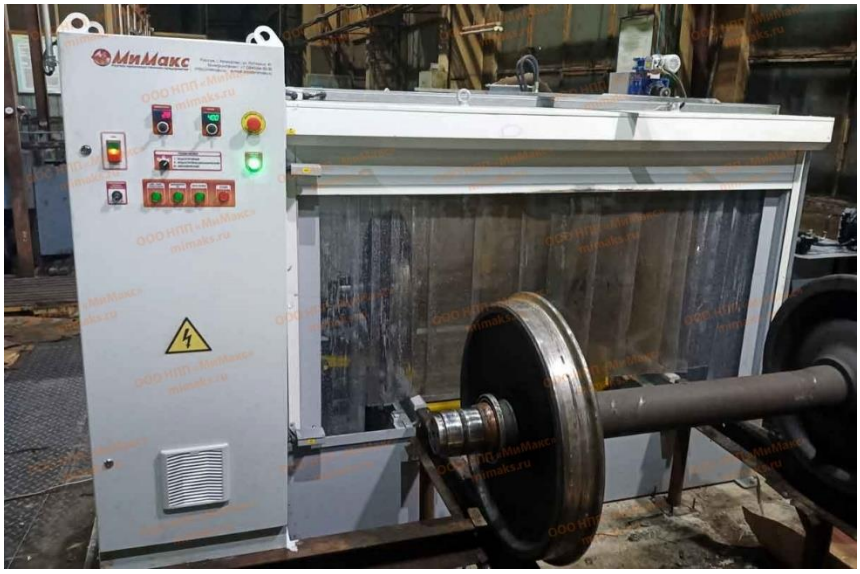


Рисунок 20 – Моечная машина для очистки колесных пар ММ704

Обточка колесных пар в ремонтный размер выполняется на токарном станке КС1836Ф3, который представлен на рисунке 21. Данный станок оснащен ЧПУ и позволяет выполнять обработку различных профилей колесных пар. Также измерительное оборудование, установленное на станке, позволяет выполнять оценку степени износа колесных пар и контролировать рабочие размеры при обточке. За одну смену (8 часов) станок способен выполнить обточку 16 изношенных пар под ремонтный размер или 24 новых (наплавленных пар). В процессе токарной обработки снимается наклепанный слой на поверхности катания и гребне. Также «токарная обработка позволяет выровнять поверхности обои колес, так как в процессе работы колесной пары происходит неравномерная выработка металла. При обточке необходимо получить разницу в размерах между вогнутостью и выпуклостью не более 2 мм» [4].

Рисунок 21 – Колесотокарный станок КС1836Ф3

После обточки колесная пара поступает на участок наплавки. Если до этого времени колесная пара находилась при температуре менее +5 °С, перед выполнением следующих операций необходимо выдержать колесную пару в помещении не менее 12 часов.

Далее с применением представленной на рисунке 22 установки индукционного нагрева УИН-305-100/РТ выполняют нагрев колесной пары до

температуры 180…190 °С. Мощность установки составляет 60…100 кВт, частота преобразования тока составляет 6…12 кГц. Охлаждение токоведущих частей установки осуществляется проточной водой.

Рисунок 22 – Установка индукционного нагрева колесной пары УИН-305-100/РТ

Далее разогретую колесную пару незамедлительно помещают в ложементы наплавочной установки, описание которой представлено в предыдущем разделе.

Наплавку ведут на токе 150 ампер при напряжении на дуге 180 вольт. Подача плазмообразующего газа выполняется с расходом 1,5…2,5 литра в минуту. Подача защитного газа «выполняется с расходом 16…20 литров в минуту. Подача охлаждающей токоведущие элементы установки воды осуществляется с расходом 5 литров в минуту» [4]. Расход порошка 8 кг в час.

В качестве защитного, транспортирующего и плазмообразующего газа применяется аргон. В качестве присадочного порошка применяется ПГ-ЮНХ15СР2. Наплавленный слой характеризуется высокой износостойкостью и коррозионной стойкостью. Фракция порошка принимается 40…100 мкм или 90…160 мкм.

После «выполнения наплавки колесную пару незамедлительно следует поместить с термостат РМ-131. Между окончанием наплавки и помещением в термостат должен быть временной промежуток, не превышающий 5 минут. На пути движения колесной пары с наплавочной установки в термостат на неё недопустимо воздействие сквозняков и ударных воздействий. Остывание колесной пары в течение не менее 6 часов» [4]. Температура колесной пары при выемке из термостата не должна превышать 50 °С.

При контроле качества наплавки проверяют геометрию профиля восстановленного гребня, толщина которого должна превышать номинальную на 1..2 мм. В базовой технологии превышение размера наплавленного гребня составляет 2…3 мм. Применение плазменной наплавки позволило уменьшить превышение размера, что снижает затраты на присадочный материал и уменьшает трудоемкость механической обточки гребня колесной пары после наплавки. Переход от валика к валику на наплавленном слое долен быть плавным. Для оценки геометрии наплавленного слоя применяют оценочные скобы.

После обмера выполняют обточку колесной пары на станке КС1836Ф3 в размер. Профиль после обточки должен соответствовать профилю новой колесной пары согласно ГОСТ 9036-88. После обточки колесная пара подвергается ультразвуковому контролю на установке комплексного контроля СНК КП-8, которая представлена на рисунке 23.

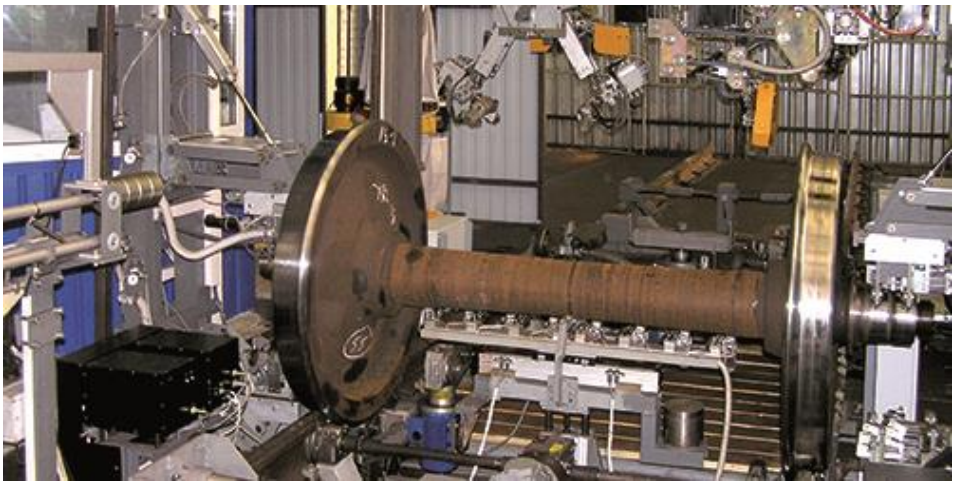


Рисунок 23 – Установка комплексного контроля колесных пар СНК КП-8

По результатам контроля качества на рабочих поверхностях колесной пары не допускается наличие пор с поперечным сечением более 3 мм. Если поры и включения имеют размер менее 3 мм, то их количество по всей окружности одного колеса не должно превышать 10 штук. «Также не допускается расположение пор и включений цепочкой по четыре и более штук, если расстояние между ними не превышает 20 мм. Поперечные трещины не допускаются. Допускаются продольные трещины длиной не более 10 мм и в количестве не более пяти штук на одно колесо. Также не допускаются цепочки трещин» [4] с расстоянием между ними менее 50 мм и количеством трещин в цепочке более пяти.

Введение колесной пары в эксплуатацию допускается не ранее, чем через 24 часа после восстановительной наплавки.

Выводы по второму разделу

В настоящем разделе представлено описание решения поставленных задач содержит описание решений поставленных задач. При решении первой задачи на основании экспертной оценки показателей рассматриваемых способов восстановительной наплавки для построения проектной технологии предлагается применить плазменную порошковую наплавку. При решении второй задачи для расширения технологических возможностей выбранного способа восстановительной наплавки предложено устройство для автоматизации процесса и меры по расширению его технологических возможностей. При решении третьей задачи составлена проектная технология восстановительной наплавки колесных пар.

Дальнейшие работы следует вести в направлении экологического [2], [7] и экономического обоснования [12], [19] предлагаемых решений при внедрении их на предприятиях Российской Федерации.

Далее в заключении следует показать достижение поставленной цели и сформулировать направления дальнейших исследований.

3 Промышленная безопасность производственного участка

3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи

Выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности операций восстановительной наплавки изношенных колесных пар. Применение предлагаемых решений позволяет увеличить производительность и качество работ, при этом возможность внедрения предлагаемых решений в современное производств должна рассматриваться на основании анализа возможности обеспечения безопасности труда и экологической безопасности рассматриваемого производственного участка. Укрупненная характеристика проектного технологического процесса ремонтной сварки представлена в таблице 1, которая позволяет получить необходимую информацию о перечне выполняемых операций, персонале, применяемом оборудовании и материалах, что является достаточным для идентификации опасных и вредных производственных факторов, которыми характеризуется рассматриваемый производственный участок.

Проектный процесс предусматривает выполнение укрупненно пяти операций, для выполнения которых привлекаются работники соответствующей квалификации. Операцию омывки и очистки выполняет слесарь-сборщик. Операции предварительного подогрева и охлаждения выполняет контролер по термообработке. Для выполнения операции наплавки привлекается электросварщик на автоматических и полуавтоматических машинах. Для выполнения предварительного контроля привлекается инженер-дефектоскопист. Применяемое при выполнении операций оборудование может стать причиной возникновения факторов, при этом, если фактор не ухудшает состояние персонала, то он признается нейтральным и в дальнейшем не учитывается. Поэтому следует идентифицировать только негативные факторы (опасные или вредные).

Таблица 1 – Укрупненная характеристика проектного технологического процесса восстановительной наплавки колесных пар

Операция	Персонал	Оборудование
1. «Омывка и очистка	Слесарь-сборщик	Машина моечная, станок обтачной
2. Проведение предварительного подогрева колеса	Контролёр по термообработке	Установка индукционного подогрева токами промышлен-ной 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
4. Охлаждение	Контролёр по термообработке	Термокамера
5. Проведение контроля качества» [8]	Инженер - дефектоскопист	Лупа, дефектоскоп УДС-2-52

«Дальнейшая идентификация негативных производственных факторов выполняется на основании представленной в таблице информации» [7].

3.2 Идентификация негативных производственных факторов

Реализация проектного технологического процесса, особенности выполнения операций которого представлена в таблице 1, неизбежно приводит к возникновению влияющих на персонал производственных факторов. При этом факторы могут как оказывать негативное действие на персонал, и тогда должны быть учтены в настоящем разделе, так и быть нейтральными по отношению к персоналу, тогда они не должны учитываться в настоящем разделе. Операции сварки и наплавки предусматривают наличие дуги, что приводит к повышенному уровню «опасных и вредных факторов, возникающих на рассматриваемом производственном участке по сравнению с другими производственными участками. На участке имеется оборудование с опасным» [7] уровнем напряжения и тока. В таблице 2 представлен перечень возникающих факторов.

Таблица 2 – Негативные производственные факторы при реализации операций проектного технологического процесса ремонтной наплавки колесных пар

Наименование операции	Опасный или вредный производственный фактор
1. Омывка и очистка	- острые кромки, заусенцы и шероховатости на поверхности заготовок - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения - химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии
2. Проведение предварительного подогрева колеса	- острые кромки, заусенцы и шероховатости на поверхности заготовок - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения - химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии - повышенная температура поверхностей
3. Осуществление восстановительной наплавки	- чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания - повышенный уровень шума - опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током - инфракрасное излучение - ультрафиолетовое излучение - химические вещества в аэрозольном состоянии - повышенная температура поверхностей
4. Охдаждение	- острые кромки, заусенцы и шероховатости на поверхности заготовок - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения - химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии - повышенная температура поверхностей
5. Проведение контроля качества	- повышенный уровень ультразвуковых колебаний - острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок

Представленные неблагоприятные производственные факторы могут быть отнесены к вредным производственным факторам и опасным производственным факторам. К первым следует отнести такие факторы, которые становятся причиной возникновения или развития заболеваний. При этом заболевания могут протекать как остро, так и хронически. Ко второй группе факторов следует отнести такие факторы, которые могут способствовать получению человеком травмы или смертельного случая.

3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов

Ранее выполненная идентификация негативных производственных факторов позволяет сформулировать их согласно ГОСТ 12.0.003-2015, на основании анализа представленного перечня факторов может быть составлен перечень технических средств и организационных мероприятий по предотвращению перечисленных производственных факторов, что показано в таблице 3, в которой рассматривается перечень негативных факторов, действие которых на персонал предприятия должно быть устранено. При этом возможно как применение стандартных защитных средств из резерва предприятия, так и дополнительная разработка специальных защитных средств и методик, предпочтение следует отдавать первому варианту. При выработке решений по защите персонала от негативного воздействия производственных факторов необходимо учитывать их кумулятивное действие , выраженное в накоплении негативного действия в течении времени и острого их проявления. Также следует принимать во внимание, что действующие совместно факторы могут усиливать друг друга, что повышает их опасность и вредоносность. В арсенале средств, призванных нейтрализовать действие негативных факторов, числятся средства технического характера, организационные мероприятия и средства личной защиты. Значительная роль отводится организационным мероприятиям, от своевременности и полноты проведения которых в значительной степени зависит безопасность труда. Как показывает практика, именно нарушение трудовой дисциплины становится причиной большинства несчастных случаев на производстве. Также следует принимать во внимание необходимость поддержания порядка на рабочем месте, что позволяет лучше организовать производственный процесс и обеспечить его безопасность по отношению к участникам. Также следует постоянно проверять комплектность и исправность средств индивидуальной защиты, состояние которых должно контролировать как руководство предприятия, так и сам персонал.

Таблица 3 – Средства и методики для устранения профессиональных рисков

Негативный фактор	Технические средства	Индивидуальные средства
«инфракрасное излучение	- ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений - защитные экраны	специальная одежда, перчатки, защитные маски
острые кромки, заусенцы и шероховатости на поверхности заготовок	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
движущиеся части машин и механизмов	устройства защитного отключения привода станков	Специальная одежда, перчатки
повышенная температура поверхностей	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	специальная одежда, перчатки, защитные маски
отсутствие или недостатков искусственного освещения	- контроль уровня освещенности рабочего места - дополнительная подсветка	индивидуальная подсветка
чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания	- устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	индивидуальные средства защиты дыхательных путей
опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током	- организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности - контроль изоляции и заземления - защитное заземление, защитное отключение	защитная одежда, диэлектрические коврики
отсутствие или недостатков естественного освещения	- контроль уровня освещенности рабочего места - дополнительная подсветка	индивидуальная подсветка
ультрафиолетовое излучение	- ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений - защитные экраны	специальная одежда, перчатки, защитные маски
химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
химические вещества в аэрозольном состоянии	- устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	защитные маски
повышенный уровень ультразвуковых колебаний» [7]	- ограничение проникновения персонала в опасную зону	защита расстоянием и уменьшением времени воздействия

Можно судить о высокой эффективности применяемых стандартных средств и методик. Разработки специальных средств не требуется.

3.4 Пожарная безопасность производственного участка

«При выполнении операций технологического процесса, связанных с наплавкой и термической обработкой следует считаться с высокой опасностью возникновения пожара. Это происходит по причине наличия самой дуги, горение которой характеризуется высокими температурами и интенсивностью теплового излучения; брызг расплавленного металла, которые могут попасть на горючие предметы; самих нагретых поверхностей. Для того, чтобы обеспечить горение дуги, применяются источники тока, подвод электрической мощности к которым также может стать причиной возгорания. Также наличие на участке электрического оборудования усложняет протекание пожара и его тушение» [7]. В таблице 4 выполнена идентификация пожара, возникновение которого следует предотвратить на рассматриваемом производственном участке.

Таблица 4 – Идентификация пожара на производственном участке

«Наименование участка	Участок восстановительной наплавки колесных пар
Наименование оборудования	Оборудование для механической обработки, сварочное оборудование, термическое оборудование, дефектоскоп
Классификация по виду горящего вещества	Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)
Наименование основных опасных факторов пожара	Пламя, повышенная температура воздуха, токсические продукты горения, уменьшение концентрации кислорода в воздухе, снижение видимости из-за задымления, искры
Наименование вторичных опасных факторов пожара	Поражение персонала электрическим током, падение на персонал элементов конструкции здания и оборудования» [7]

При возникновении и тушении пожара персонал предприятия и сотрудники МЧС подвергаются действию опасных факторов. К таким факторам следует отнести разлетающиеся при горении искры, застилающее обзор и мешающее ориентироваться в пространстве задымление, отравляющие людей токсические продукты горения, приводящее к удушению уменьшение содержания в воздухе кислорода, волны горячего воздуха и само

пламя. Также при пожаре возможно падение на людей элементов оборудования и строительной конструкции при её разрушении. На основании результатов проведенного анализа возникающий на «рассматриваемом производственном участке пожар может быть отнесен к категории Е, так как ещё одним поражающим фактором является электрический ток, поражение которым может произойти при тушении пожара. В таблице 5 представлены средства, обеспечивающие устранение опасных факторов такого пожара, которые следует быть готовым применить на рассматриваемом производственном участке» [7].

Таблица 5 – Средства устранения факторов пожара

«Первичные средства пожаротушения	Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.
Мобильные средства пожаротушения	Специализированные расчеты (вызываются)
Стационарные установки системы пожаротушения	Нет необходимости
Средства пожарной автоматики	Установки пожарной сигнализации, пожарного оповещения
Пожарное оборудование	Пожарный кран
Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	План эвакуации
Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Ведро конусное, лом, лопата штыковая
Пожарные сигнализация, связь и оповещение» [7]	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели

При составлении перечня противопожарных мероприятий необходимо, чтобы предупредительные мероприятия имели приоритет перед мероприятиями по тушению, так как любой пожар легче и дешевле предупредить, чем потушить. Особое внимание следует уделить средствам и мероприятиям, обеспечивающим предотвращение появления возгорания. Запрещается сваливание на участке мусора (ветошь, картон, бумага, элементы упаковки, куски пенопласта). Также запрещается хранение на производственном участке значительных количеств возгорающихся жидкостей. Также следует проводит инструктаж персонала предприятия.

3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка

Планирование и функционирование современного производства не только должно обеспечивать требуемый уровень безопасности труда и пожарной безопасности, но и соответствовать мировой повестке энергосбережения. Настоящая выпускная квалификационная работа включает описание решений по расширению технологических возможностей восстановительной наплавки колесных пар, реализация которых может сопровождаться антропогенным действием на элементы окружающей среды – гидросферы, литосферы и атмосферы. В таблице 6 представлены мероприятия и средства, обеспечивающие защиту природных компонентов от негативных экологических факторов рассматриваемого производства. Особое внимание следует уделить селективному сбору промышленных отходов и недопустимости несанкционированного их выбрасывания, что может привести с загрязнению гидросферы и литосферы.

Таблица 6 – Описание применяемых для защиты окружающей среды средств

Участок	Участок восстановительной наплавки колесных пар
Защита атмосферы	Вентиляционная система, обслуживающая производственный участок, должна быть оснащена системой фильтров, обеспечивающей сбор и утилизацию выделяющихся вредных компонентов. Запрещается сжигание промышленного мусора, полученного в ходе функционирования рассматриваемого производственного участка. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм.
Защита гидросферы	Запрещается сливать в канализационную систему цеха машинное масло и другие отходы производства. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Очистка и повторное использование технической воды, позволяющие уменьшить расход водных ресурсов. Запрещается использование для технических нужд питьевой воды.
Защита литосферы	Обеспечить раздельный сбор и утилизацию промышленного мусора, возникающего в ходе функционирования рассматриваемого производственного участка. Запрещается закапывание и несанкционированное выбрасывание промышленного мусора. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Рециклинг промышленных отходов, позволяющий значительно уменьшить негативную нагрузку со стороны предприятия на литосферу.

Выводы по экологическому разделу

При выполнении экологического раздела рассматривались вопросы обеспечения безопасности труда, пожарной безопасности и экологической безопасности предлагаемых технических решений, направленных на повышение эффективности наплавочных работ при восстановлении колесных пар. По результатам анализа операций проектного технологического процесса составлен перечень производственных факторов, как опасных, так и вредных, защита от действия которых реализуется путем применения стандартных средств и организационных мероприятий. Необходимый уровень безопасности обеспечивается, и проведение специальной разработки не требуется. При рассмотрении вопросов пожарной безопасности рассматриваемого производственного участка были спланированы средства и мероприятия по обеспечению пожарной безопасности и предотвращению возникновения пожара на производственном участке. Показано, что основной упор следует сделать на предотвращение возникновения ситуаций, в которых возможно возникновение пожара. При обеспечении экологической безопасности рассматриваемого производственного участка составлен перечень организационных мероприятий по защите составляющих окружающей среды – атмосферы, литосферы и гидросферы от негативного воздействия со стороны производственного участка. Показана роль селективного сбора промышленных отходов и недопустимость несанкционированного их выбрасывания, что позволяет уменьшить негативную нагрузку со стороны предприятия на гидросферу и литосферу. Сделано заключение, что предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе технические решения не представляют существенной угрозы работникам предприятия и окружающей среде. Все возникающие при реализации проектной технологии негативные воздействия могут быть нейтрализованы с применением стандартных средств и мероприятий.

4 Экономическая эффективность предлагаемых технических решений

4.1. Исходные данные для экономического расчёта

В исполнительском разделе настоящей выпускной квалификационной работы рассматриваются вопросы, связанные с повышением эффективности восстановительной наплавке при ремонте колесных пар. Если в базовом варианте технологии применялась автоматическая наплавка под флюсом, то проектный вариант технологического процесса предусматривает применение плазменной наплавки. На основании достижений в области управления сварочными процессами предложены меры по повышению эффективности выбранного способа наплавки. Далее составлена проектная технология, реализованная применительно к рассматриваемому изделию. Применение предлагаемых решений при реализации проектного технологического процесса по сравнению с базовой технологией позволяет получить комплексный положительный технологический эффект, выражающийся в одновременном повышении производительности выполняемых работ и их качества. За счёт повышения производительности ожидается снижение размеров фонда заработной платы, а повышение качества позволяет экономить на сварочных материалах, электрической энергии и фонде заработной платы, так как существенно снижается количество брака и работ по его исправлению. Исходные данные, которые будут применены для расчёта экономических показателей, представлены в таблице 7. Эти данные послужат для задания временных и экономических показателей базового и проектного вариантов технологии сварки при восстановительной наплавке колесных пар. Дальнейшие экономические расчёты будут основаны на представленных в таблице исходных данных. С учётом особенностей рассматриваемого технологического процесса технология будет реализована при работе в одну смену.

Таблица 7 – Данные для расчета экономических показателей производства

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Принимаемое значение по варианту технологии	
			базовый	проектный
«Число рабочих смен в сутках	$К_{см}$	-	1	1
Разряд работников	$Р_р$	-	V	V
Часовая тарифная ставка	Сч	Р/час	250	250
Коэффициент доплат	Кдоп	%	12	12
Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП	$К_д$	-	1,88	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	Ксн	%	34	34
Коэффициент выполнения нормы	$К_{ВН}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования	Цоб	руб.	240 тыс.	1500 тыс.
Норма амортизации оборудования	$К_а$	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$М_{уст}$	кВт	25	80
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	Кт -з	%	5	5
Стоимость электрической энергии	Цэ-э	Р/ кВт	3,4	3,4
Коэффициент полезного действия	КПД	-	0,7	0,85
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$К_{мон}$ $К_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	S	$м^2$	80	80
Стоимость эксплуатации площадей	Сэксп	$(Р/м^2)$/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	$Р/м^2$	30000	30000
Норма амортизации площади	На.пл.	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	$К_{пл}$	-	3	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	Ен	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	Кцех	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [12]	Кзав	-	1,15	1,15

«Дальнейшие экономические показатели рассчитываются на основании представленных в настоящей таблице исходных данных. Алгоритм оценки эффективности предусматривает раздельное определение временных показателей рассматриваемого производства, раздельный расчёт составляющих технологической себестоимости, цеховых и заводских расходов, капитальных вложений» [12].

4.2 Фонд времени работы оборудования

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

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

$$F_н = (Д_р \cdot Т_{см} - Д_п \cdot Т_п) \cdot К_{см} = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209 \text{ часов.} \quad (1)$$

Эффективный фонд времени работы оборудования позволяет учесть потери рабочего времени» [12] через коэффициент В, значение которого для рассматриваемого случая построения технологического процесса принимается В=0,07. На основании вышеизложенного

$$F_э = F_н(1\text{-}В) = 2209 \cdot (1 - 0{,}07) = 2054 \text{ часов.} \quad (2)$$

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

4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства

Расчёт капитальных вложений и экономической эффективности внедрения в производство предлагаемых решений требует для своего «проведения задания годовой программы производства $П_г$. Для его определения предварительно следует задаться значением штучного времени $t_{шт}$ для базового и проектного вариантов технологии, которые могут упрощенно рассчитывать» [12] по составляющим: «машинное время $t_{маш}$, значение которого задается по результатам анализа особенностей базового и проектного вариантов технологического процесса; вспомогательное время $t_{всп}$, которое задается через машинное время и составляет 10 % от него; время на обслуживание рабочего места $t_{обсл}$, которое задается через машинное время и составляет 5 % от него; времени на личный отдых $t_{отд}$, которое задается через машинное время и составляет 5 % от него; подготовительно-заключительное время $t_{пз}$, которое задается через машинное время и составляет 1 % от него. Таким образом, расчёт штучного времени по упрощенной схеме» [12] выполняется как

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

Расчёт по формуле (3) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы: $t_{шт} = 1,4 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 1,7$ часа. Расчёт по формуле (3) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы: $t_{шт} = 0,4 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 0,5$ часа.

Далее рассчитывается годовая программа как отношение эффективного фонда времени оборудования $F_э$ и штучного времени $t_{шт}$ как

$$П_г = F_э / t_{шт}. \quad (4)$$

Расчёт по формуле (4) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы $П_{г.}$ = 2054/1,7 = 1208 колесных пар за год. Расчёт по формуле (4) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы $П_г$ = 2054/0,5 = 4108 колесных пар за год. С учётом потребностей рассматриваемого производства для значения годовой программы принимается $П_г$ = 1000 наплавляемых колесных пар за один год. Далее следует выполнить расчёт количества оборудования $n_{расч}$ для проектного и базового вариантов технологического процесса, для чего «следует применить ранее рассчитанное значение эффективного фонда времени $F_э$, годовой программы $П_г$ и штучного времени $t_{шт}$ с учётом коэффициента выполнения нормы $К_{вн}$, значение которого в рассматриваемом варианте производства принимается $К_{вн}$ = 1,03» [12]:

$$n_{расч} = t_{шт} \cdot П_г / (F_э \cdot К_{вн}). \quad (5)$$

Расчёт по формуле (5) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования $n_{расч.}$ = 1,7·1000/(2054·1,03) = 0,8. Расчёт по формуле (5) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования $n_{расч.}$ = 0,5·1000/(2054·1,03) = 0,3. Следует принять ближайшее большее натуральное значение, которое для проектного и базового вариантов составляет 1 и 1 соответственно. Коэффициент загрузки оборудования $К_з$, который рассчитывается как отношение расчётного и принимаемого количества оборудования по вариантам технологии:

$$К_э = n_{расч} / n. \quad (6)$$

Расчёт по формуле (6) для базового и проектного вариантов позволяет получить $К_з$ = 0,8/1 = 0,8 и $К_з$ = 0,3/1 = 0,3 соответственно, что объясняется повышением производительности труда при реализации проектного варианта технологического процесса.

4.4 Заводская себестоимость

Для определения размеров технологической себестоимости $С_{тех}$ проведения работ согласно рассматриваемым вариантам технологического процесса необходимо выполнить раздельный расчёт составляющих: «затрат на материалы М, фонда заработной платы ФЗП, отчислений на социальные нужды $О_{сс}$, затрат на оборудование $З_{об}$ и затрат на площади $З_{пл}$. Расчёт расходов на сварочные материалы проводится с учётом их цены $Ц_м$, нормы расхода $Н_р$ и коэффициента транспортно-заготовительных расходов $К_{тз}$, значение которого для рассматриваемого производства согласно таблице исходных данных составляет $К_{тз} = 1,05$» [12]:

$$М = Ц_м \cdot Н_р \cdot К_{т-з} . \quad (7)$$

«Расчёт по формуле (7) для базового варианта технологии позволяет получить М=345 р/кг · 3,0 кг ·1,5·1,05 = 1630 руб. Расчёт по формуле (7) для проектного варианта позволяет получить $М_{баз.}$= 150 р/кг · 3,0 кг ·1,2·1,05 + 39 р/кг·3,0 кг ·0,5·1,05 = 628 руб.

Фонд заработной платы ФЗП предприятия характеризует расходы на основную заработную плату $З_{осн}$ и дополнительную заработную плату $З_{доп}$, которые рассчитываются с учетом часовой тарифной ставки $С_ч$, коэффициента доплат $К_д$ и коэффициента дополнительных затрат $К_{доп}$. Для рассматриваемого производства по таблице исходных данных принимается $С_ч$=250 руб., $К_д$=1,88 и $К_{доп}$=0,12. Расчёт величины $З_{осн}$:

$$З_{осн} = t_{шт} \cdot С_ч \cdot К_д. \quad (8)$$

Применение (8) для базового варианта позволяет получить величину $З_{осн}$ = 1,7·250·1,88 = 800 руб.» [12] . Применение (8) для проектного варианта позволяет получить величину $З_{осн.}$ = 0,5·250·1,88 = 235 руб.

Расчёт величины $З_{доп}$ предусматривает применение следующей математической зависимости:

$$З_{доп} = З_{осн} \cdot К_{доп}. \quad (9)$$

Применение (9) для базового варианта позволяет получить величину $З_{доп}$= 800·0,12 = 96 руб. Применение (9) для проектного варианта позволяет получить величину $З_{доп}$ = 235·0,12 = 28 руб.

Расчёт величины ФЗП:

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

Применение (10) для базового варианта позволяет получить величину ФЗП = 800 + 96 = 896 руб. Применение (10) для проектного варианта позволяет получить величину ФЗП = 235 + 28 = 263 руб.

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

«Размер отчислений на социальные нужды $О_{сс}$ определяется с учетом ранее определенных значений ФЗП для рассматриваемых вариантов и коэффициента отчислений на социальные нужды $К_{сн}$, значение которого для рассматриваемого» [12] производства из таблицы исходных значений принимается $К_{сн}$=0,34. Расчёт величины $О_{сс}$:

$$О_{сн} = ФЗП \cdot К_{сн}. \quad (11)$$

Применение (11) для базового варианта позволяет получить величину $О_{сн.}$ = 896·34/100 = 305 руб. Применение (11) для проектного варианта позволяет получить величину $О_{сн.}$ = 263·34/100 = 90 руб. Для того, чтобы рассчитать размер «затрат на оборудование $З_{об}$, необходимо предварительно определить составляющие: амортизационные отчисления $А_{об}$ и затраты на электрическую энергию $Р_{ээ}$» [12]. При расчете величины $А_{об}$ применяются ранее определенные значения $F_э$ и $t_{маш}$, а также принятые для

рассматриваемого производства норма амортизации $Н_а$ и стоимость оборудования $Ц_{об}$, значения которых берутся из таблицы исходных данных. Расчёт величины $А_{об}$:

$$А_{об} = \frac{Ц_{об} \cdot Н_а \cdot t_{маш}}{F_э \cdot 100}. \quad (12)$$

Применение (12) «для базового варианта позволяет получить величину $А_{об}$ = 240000 · 21,5 · 1,7 / 2054 / 100 = 42 руб. Применение (12) для проектного варианта даёт $А_{об}$ = 1500000 · 21,5 · 0,5 / 2054 / 100 = 78 руб.» [12]. Увеличение амортизационных отчислений в проектном варианте технологии по сравнению с базовым вариантом технологии объясняется применением более сложного технологического оборудования больше стоимости.

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

$$Р_{ээ} = М_{уст} \cdot t_{маш} \cdot Ц_{ээ} / КПД. \quad (13)$$

Применение (13) для базового варианта позволяет получить величину $Р_{ээ}$ = 25 · 1,7 · 3,4 / 0,7 = 206 руб. Применение (13) для проектного варианта позволяет получить величину $Р_{ээ}$ = 80 · 0,5 · 3,4 / 0,85 = 160 руб.

Величина затрат на оборудование $З_{об}$ определяется как сумма $А_{об}$ и $Р_{ээ}$:

$$З_{об} = А_{об} + Р_{ээ}. \quad (14)$$

Применение (14) для базового варианта позволяет получить величину затрат на оборудование $З_{об.}$= 42 + 206 = 248 руб. Применение (14) для проектного варианта позволяет получить величину $З_{об}$=78 + 160 = 238 руб.

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

на материалы М, фонда заработной платы ФЗП, отчислений на социальные нужды $О_{сс}$, затрат на оборудование $З_{об}$, затрат на площади $З_{пл}$:

$$С_{тех} = М + ФЗП + О_{сс} + З_{об} + З_{пл}. \quad (15)$$

Применение (15) для базового варианта позволяет получить величину $С_{тех} = 1630 + 896 + 305 + 248 + 157 = 3236$ руб. Применение (15) для проектного варианта позволяет получить $С_{тех} = 628 + 263 + 90 + 238 + 130 = 1349$ руб..

Снижение технологической себестоимости» [12] в проектном варианте технологии обеспечивается за счёт уменьшения размеров фонда заработной платы, затрат на материалы и затрат на оборудование, что объясняется применением более производительного оборудования с расширенными технологическими возможностями.

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

$$С_{цех} = С_{тех} + З_{осн} \cdot К_{цех}. \quad (16)$$

Применение (16) для базового варианта позволяет получить величину $С_{цех}=3236 + 1,5 \cdot 800 = 3236 + 1200 = 4436$ руб. Применение (16) для проектного варианта позволяет получить $С_{цех}=1349 + 1,5 \cdot 235 = 1349 + 353 = 1702$ руб.

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

$$С_{зав} = С_{цех} + З_{осн} \cdot К_{зав}. \quad (17)$$

Применение (17) для базового варианта позволяет получить значение $С_{зав}$ = 4436 + 1,15·800 = 4436 + 920 = 5356 руб. Применение (17) для проектного варианта дает $С_{зав}$ = 1702 + 1,15·235 = 1702 + 270 = 1972 руб.

Для анализа которых на рисунке 24 представлена диаграмма, демонстрирующая состав заводской себестоимости по базовому и проектному вариантам технологического процесса» [12]. Калькуляция представлена в таблице 8.

Таблица 8 – Калькуляция заводской себестоимости

Показатель	Обозначение	Базовый	Проектный
1. «Затраты на материалы	М	1630	628
2. Фонд заработной платы	ФЗП	896	263
3. Отчисления на соц. нужды	ОСН	305	90
4. Затраты на оборудование	Зоб	248	238
5. Расходы на площади	Зпл	157	130
5. Технологическая себестоимость	Стех	3236	1349
6. Цеховые расходы	Рцех	1200	353
7. Цеховая себестоимость	Сцех	4436	1702
8. Заводские расходы	Рзав	920	270
9. Заводская себестоимость» [12]	Сзав	5356	1972

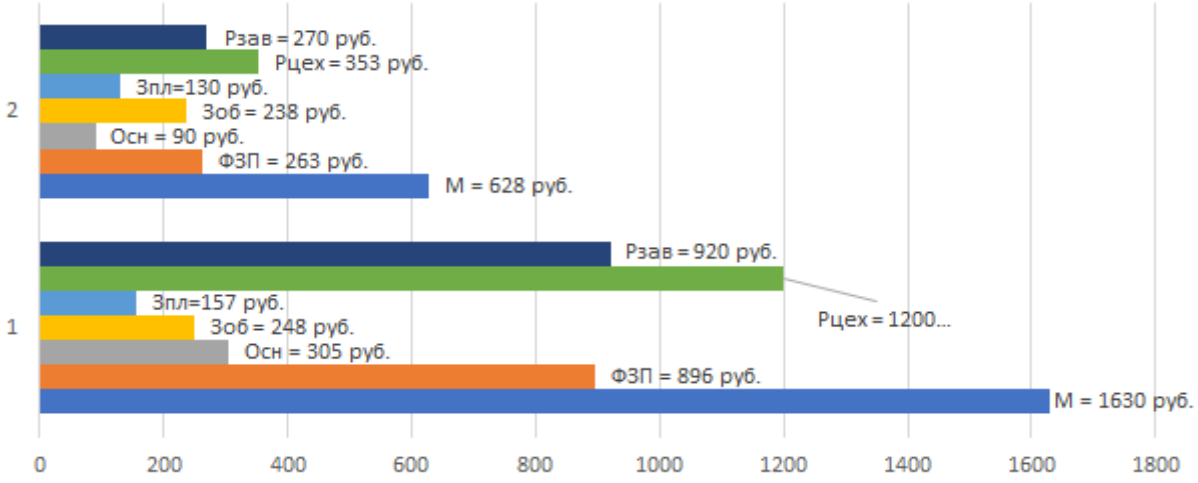


Рисунок 24 – Состав заводской себестоимости

«Высокая эффективность предлагаемых решений доказывается уменьшением величины заводской себестоимости в проектном варианте по сравнению с базовым вариантом» [12]. Для определения показателей экономической эффективности требуется рассчитать капитальные затраты.

4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам

Первоначально следует определиться с «величиной остаточной стоимости оборудования $Ц_{об.б}$, использование которого выполнялось при реализации базовой технологии. При продолжительности эксплуатации $Т_с$=2 года и цене оборудования $Ц_{перв}$= 240 тыс. руб. с учетом нормы амортизационных отчислений $Н_а$=21,5 %:

$$Ц_{об.б.} = Ц_{перв.} – (Ц_{перв} \cdot Т_{сл} \cdot Н_а/100). \quad (18)$$

Применение (18) для базового варианта позволяет получить величину $Ц_{об.б.}$ = 240000 – (240000 ·2·21,5/100) = 136800 руб.

Величина общих капитальных затрат $К_{общ.б}$ в базовом варианте технологии. рассчитывается по ранее полученному коэффициенту загрузки $К_з$ и остаточной стоимости $Ц_{об.б}$:

$$К_{общ.\ б.} = Ц_{об.б} \cdot К_{з.б} = 136800 \cdot 0,8 = 109440 \text{ рублей}. \quad (19)$$

Капитальные затраты на оборудование при реализации проектного технологического процесса $К_{об.\ пр.}$ рассчитываются с учётом цены оборудования по проектному варианту $Ц_{об.пр.}$, коэффициента транспортно-заготовительных расходов $К_{тз}$ и коэффициента загрузки оборудования $К_з$, расчётное значение которого составляет $К_з$=0,3. Из таблицы исходных данных принимается $Ц_{обюпр.}$=1500 тыс. рублей, $К_{тз}$=1,05. Капитальные затраты по на оборудование по проектному варианту составят

$$К_{об.пр.} = Ц_{об.\ пр.} \cdot К_{тз} \cdot К_{зп} = 1500000 \cdot 1,05 \cdot 0,3 = 472500 \text{ руб}. \quad (20)$$

Далее рассчитывают расходы на демонтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на демонтаж $К_{дем}$=0,05 и цены оборудования $Ц_{об.б.}$= 240 тыс. рублей определяют как

$$Р_{дем} = Ц_{об.\ б.\ .} \cdot К_д = 1 \cdot 240000 \cdot 0,05 = 12000 \text{ руб}. \quad (21)$$

Далее рассчитывают расходы на монтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на монтаж $К_{мон}$=0,05 и цены оборудования $Ц_{об.пр.}$= 1500 тыс. рублей определяют как

$$Р_{монт} = Ц_{об.\ пр.} \cdot К_{м} = 1500000 \cdot 0{,}05 = 75000 \text{ рублей.} \quad (22)$$

Далее рассчитываем величину сопутствующих расходов как сумму расходов на демонтаж $Р_{дем}$ и расходов на монтаж $Р_{мон}$:

$$К_{соп} = Р_{дем} + Р_{монт} = 12000 + 75000 = 87000 \text{ рублей.} \quad (23)$$

Величину капитальных затрат по проектной технологии $К_{общ.пр.}$ рассчитывается как сумма сопутствующих расходов $К_{соп}$ и капитальных затрат на оборудование $К_{об.пр.}$:

$$К_{общ.\ пр.} = К_{об.\ пр.} + К_{соп.} = 472500 + 87000 = 559500 \text{ рублей.} \quad (24)$$

Размер дополнительных капитальных затрат $К_{доп}$ вычисляется с учётом ранее определенных капитальных затрат по базовой технологии $К_{общ.\ б.}$ и капитальных затрат по проектной технологии $К_{общ.\ пр.}$:

$$К_{доп} = К_{общпр} – К_{общб} = 559500 – 109440 = 450000 \text{ рублей.} \quad (25)$$

Размер удельных капитальных затрат $К_{уд}$ рассчитывается по капитальным вложениям $К_{доп}$ с учётом годовой программы $П_{г}$:

$$К_{уд} = К_{общ} / П_{г}\ . \quad (26)$$

Для базового варианта технологического процесса величина удельных капитальных затрат составляет $К_{уд}$ = 109440/1000 = 109 рублей» [12] за одну колесную пару. Для проектного варианта технологического процесса величина удельных капитальных затрат составляет $К_{уд}$ = 559500/1000 = 559 рублей за одну колесную пару.

4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей

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

$$\Delta t_{шт} = (t_{шт\ б} - t_{шт\ пр}) \cdot 100\ \% / t_{шт\ б} = (1{,}7 - 0{,}5) \cdot 100\ \% / 1{,}7 = 70\ \%. \quad (27)$$

Расчёт повышения производительности труда $П_т$:

$$П_т = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}) = 100 \cdot 70 / (100 - 70) = 230\ \%. \quad (28)$$

Расчёт снижения технологической себестоимости:

$$\Delta C_{тех} = (C_{тех.б.} - C_{тех.пр.}) \cdot 100\% / C_{тех.б.} = (3236 - 1349) \cdot 100\% / 3236 = 58\ \% \quad (29)$$

Условно-годовая экономия» [12] $Э_{уг}$ позволяет оценить величину экономического эффекта без учета капитальных вложений и рассчитывается с учётом разности заводской себестоимости $C_{зав}$ по вариантам технологии и годовой программы $П_г$:

$$Э_{уг} = (C_{зав.б} - C_{зав.пр}) \cdot П_г = (5356 - 1972) \cdot 1000 = 3384000 \text{ рублей}. \quad (30)$$

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

$$Т_{ок} = К_{доп} / Э_{уг} = 450000 / 3384000 = 0{,}2 \text{ года}. \quad (31)$$

Расчёт годового экономического эффекта $Э_г$ с учетом коэффициента окупаемости затрат $Е_н$=0,33:

$$Э_г = Э_{уг} - Е_н \cdot К_{доп} = 3384000 - 0{,}33 \cdot 450000 = 3240000 \text{ рублей}. \quad (32)$$

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

Выводы по экономическому разделу

В настоящем экономическом разделе выпускной квалификационной работы на основании исходных данных, характеризующих базовую и проектную технологии восстановительной наплавки колесных пар выполнен анализ экономических показателей производства. На основании анализа особенностей протекания базового и проектного вариантов технологического процесса рассчитаны временные показатели. С учетом исходных данных и рассчитанных временных параметров процесса в базовом и проектном вариантах технологии выполнен расчёт составляющих технологической себестоимости проведения работ по восстановительной наплавке. При расчётах установлено, что внедрение предлагаемых технологических решений позволяет уменьшить размер фонда заработной платы и отчислений на социальные нужды за счёт повышения производительности труда. Также это привело к значительному уменьшению цеховых и заводских расходов, что положительно сказалось на уменьшении заводской себестоимости проведения сварочных работ. Применение в проектной технологии более прогрессивного оборудования при внедрении предлагаемых решений в производство удается уменьшить трудоемкость выполнения работ на 70 %, повысить производительность процесса на 230 %. За счёт уменьшения размера основных составляющих технологической себестоимости её величина уменьшается на 58 %. При капитальных вложениях 450 тыс. рублей срок окупаемости составляет 0,2 года, а экономический эффект составляет 3,24 млн. рублей. Ожидаемый экономический эффект может быть многократно повышен при расширении области применения предлагаемых решений на другие производства и предприятия, выполняющие ремонт наплавочные работы при восстановлении деталей железнодорожной техники. На основании вышеизложенного следует признать эффективность внедрения предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технологических решений.

Заключение

На основании краткого анализа состояния вопроса, который представлен во введении, обоснована актуальность выбранной темы выпускной квалификационной работы и сформулирована её цель.

В процессе выполнения аналитического раздела рассмотрена конструкция изделия и условий работы, а также возникающие дефекты, требующие исправления. Далее рассмотрены особенности состава и наплавки стали, из которой выполнена колесная пара. В ходе анализа источников научно-технической литературы рассмотрены способы восстановительной наплавки, применение которых может быть целесообразным для построения проектной технологии. На основании проведенных работ могут быть сформулированы задачи выпускной квалификационной работы, решение которых обеспечит достижение поставленной цели.

При решении первой задачи на основании экспертной оценки показателей рассматриваемых способов восстановительной наплавки для построения проектной технологии предлагается применить плазменную порошковую наплавку. При решении второй задачи для расширения технологических возможностей выбранного способа восстановительной наплавки предложено устройство для автоматизации процесса и меры по расширению его технологических возможностей. При решении третьей задачи составлена проектная технология восстановительной наплавки колесных пар.

Проведена оценка возможности обеспечения безопасности труда, пожарной безопасности и экологической безопасности производственного участка, предназначенного для выполнения рассматриваемых в выпускной квалификационной работе мероприятий. На основании анализа особенностей выполнения операций проектного технологического процесса удалось идентифицировать производственные факторы, негативное влияние которых на персонал не позволяет отнести их к нейтральным факторам и заставляет рассматривать вопрос их нейтрализации с применением как стандартных

решений по обеспечению безопасности труда, так и специально разрабатываемых методик и средств. Оценка эффективности применяемых на предприятии средств по обеспечению безопасности труда позволила обосновать отсутствие необходимости проведения работ по генерированию специальных решений. В настоящей выпускной квалификационной работе предложены мероприятия по защите составляющих природы – атмосферы, литосферы и гидросферы от негативного воздействия со стороны производственного участка. Особое внимание следует уделить селективному сбору промышленных отходов и недопустимости несанкционированного их выбрасывания, что может привести к загрязнению гидросферы и литосферы.

Далее с использованием исходных данных проведен расчёт составляющих технологической себестоимости проведения работ, в ходе которого установлено, что внедрение предлагаемых технологических решений позволяет уменьшить размер фонда заработной платы и отчислений на социальные нужды за счёт повышения производительности труда. Также это привело к значительному уменьшению цеховых и заводских расходов, что положительно сказалось на уменьшении заводской себестоимости проведения сварочных работ. За счёт применения более прогрессивного оборудования и технологий при внедрении предлагаемых решений в производство удается уменьшить трудоемкость выполнения работ на 70 %, повысить производительность процесса на 230 %. За счёт уменьшения размера основных составляющих технологической себестоимости её величина уменьшается на 58 %. При капитальных вложениях 450 тыс. рублей срок окупаемости составляет 0,2 года, а экономический эффект составляет 3,24 млн. рублей. Выполнение оценочного экономического раздела позволило заключить, что внедрение в производство предлагаемых решений позволяет повысить экономические показатели предприятия. Таким образом, поставленная цель может считаться достигнутой.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Авторское свидетельство № 16311849 СССР, МКИ В23К9/04. Способ плазменной наплавки порошкообразным присадочным материалом / Ожегов Н. М., Пазынп В. А., Кряжков В. М., Семириков Н. Е. –№ 4259881/27, завл. 11.06.87; опубл. 20.09.96, Бюл. № 26. 3 с.

2. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.

3. Белик А. Г., Ефременко Б. В., Чейлях Я. А. Способы широкослойной наплавки износостойких сплавов // Вестник Приазовскго государственного университета. 2016. № 33. С. 63-67.

4. Буйносов А. П., Пышный И. М. Увеличение ресурса бандажей колесных пар промышленных электровозов с помощью наплавки // Известия Транссиба. 20212. №2. С. 7-16.

5. Богданов А. Ф., Чурсин В. Г. Эксплуатация и ремонт колесных пар вагонов. М.: Транспорт, 1985. 270 с.

6. Власов С.А. Восстановление гребней колесных пар подвижного состава электродуговой наплавкой // Universum: технические науки. 2023. № 6. С. 29-36.

7. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.

8. Гридюшко В. И.: Бугаев В. П., Криворучко Н. З. Вагонное хозяйство. М.: Транспорт, 1988. 295 с.

9. Ельцов В.В. Восстановление и упрочнение деталей машин. Тольятти: изд-во ТГУ, 2015. 335 с.

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

11. Ильичев М. В.. Гетманова М. Е., Тюфтяев А. С. Актуальные вопросы повышения эксплуатационной стойкости железнодорожных колес // Проблематика транспортных систем. 2018. № 1. С. 42-46.

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

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

14. Лукин В. В., Анисимов П. С., Федосеев Ю. П. Вагоны. Общий курс: Учебник для вузов ж.-д. трансп. М.: Маршрут, 2004. 424 с.

15. Макаренко К. В., Забелин А. Л., Савинов Д. Н. Рациональный выбор способа восстановления деталей методом ручной дуговой наплавки износостойкого слоя // Вестник Брянского государственного технического университета. 2019. № 2, С. 12-15.

16. Матафонов А. А., Бычинский В. А., Руш Е. А. Получение наплавочных электродов для восстановления узлов и деталей железнодорожного транспорта на основе минерального сырья Восточной Сибири // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2024. № 4. С. 238-243.

17. Моторин, К.В. Методическое указание по курсовому проектированию бакалавров очного и заочного обучения / К.В. Моторин. – Тольятти: ТГУ, 2019. – 7 с.

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

19. Павлова И. А., Павлов А. С. Технико-экономический анализ при внедрении инновации на производственном предприятии // Экономический анализ: теория и практика. 2014. № 40. С. 14–21.

20. Патент № 2211256 РФ МПК C23C4/12 Способ нанесения покрытия / Д.И. Станчев, А.М. Кадырметов, А.В. Винокуров. Заявл. 04.06.2001, Опубл. 27.08.2003.

21. Патент № 2479392 РФ, МПК B23K9/04. Способ плазменной наплавки / Ожегов Н. М., Пазына В. П., Капошко Д. А., Бармашов А. В. – № 2011114188/02, заявл. 11.04.2011; опубл. 20.04.2013, Бюл. № 11. 9 с.

22. Патент № 4097711 США, МПК B23K9/04. Roller shell hard coating / Banerjee B.R., Skillman N. J. – US72378676, заявл. 16.09.76; опубл. 27.06.78, US4097711. 5 с.

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

24. Райков С. В., Ващук Е. С., Кобзарева Т. Ю. Структура и микротвердость износостойких покрытий, наплавленных электродуговым методом на сталь с мартенситной структурой // Обработка металлов. 2013. № 3. С. 80-83.

25. Розерт Р. Применение порошковых проволок для сварки в промышленных условиях // Автоматическая сварка. 2014. № 6–7. С. 60–64.

26. Сакеев А. И. Итоги работы вагонного хозяйства за первое полугодие // Вагоны и вагонное хозяйство. 2010. № 3. С. 2-5.

27. Сидоров А. И. Восстановление деталей машины напылением и наплавкой // М. : Машиностроение, 1987. 192 с.

28. Файзибаев Ш. С., Набиев Э. С., Самборская Н. А. Технологии наплавки вагонного колеса // Наука и инновационное развитие. 2020. № 6. С. 89-93.

29. Файзибаев Ш. С., Набиев Э. С., Соболева И. Ю. Многослойная наплавка обода колеса грузового вагона // Известия Транссиба. 2021. № 3. С. 98-106

30. Чеботарев М. И., Кадыров М. Р. Выбор оптимального способа восстановления изношенных деталей: учебное пособие. Краснодар: КубГАУ. 2016. 91 с.

31. 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.

32. Якушин Б. Ф., Сударев А. В., Прудников С. В. О преимуществах хромомарганцевых наплавочных материалов при восстановлении деталей рельсового транспорта // Ремонт, восстановление, модернизация. 2011. № 1. С. 2-7.