

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

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

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

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

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

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Электрошлаковая наплавка чугунных прокатных валков

Студент

Д.А. Ростовцев
(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент К.В. Моторин
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультанты

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

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

Тольятти 2020

Аннотация

Низкая стоимость чугунных валков, особенно небольших размеров, и большие затраты на наплавку делают восстановление таких валков не всегда экономически оправданным. Иная ситуация с крупными прокатными чугунными валками, стоимость которых составляет десятки тысяч долларов. Расчеты показывают, что их наплавка становится экономически выгодной.

Выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности восстановительной наплавки валков прокатных станов. В соответствии с базовой технологией восстановительная наплавка ведётся с применением автоматической наплавки под флюсом чугунной лентой.

На основании проведённого анализа возможных способов сварки принято решение о замене автоматической наплавки под флюсом на электрошлаковую наплавку.

В ходе выполнения исполнительского раздела выпускной квалификационной работы были решены следующие задачи: анализа состояния вопроса выполнена постановка задач на выпускную квалификационную работу: 1) выполнить анализ и обосновать выбор способа восстановительной наплавки прокатных валков; 2) повысить эффективность выбранного способа восстановительной наплавки; 3) составить проектную технологию восстановительной наплавки.

Выполнен анализ проектной технологии ремонтной сварки на предмет наличия опасных и вредных производственных факторов.

Рассчитанный годовой экономический эффект с учетом капитальных вложений составляет 0,85 млн. рублей.

Полученные результаты выпускной квалификационной работы рекомендуются к использованию в производстве при выполнении ремонтной наплавки чугунных валков.

Содержание

Введение	5
1 Анализ состояния вопроса восстановления и упрочнения прокатных валков	7
1.1 Описание изделия и условий его работы	7
1.2 Сведения о материале изделия	9
1.3 Базовая технология наплавки	11
1.4 Анализ источников научно-технической информации по вопросу восстановительной наплавки прокатных валков	16
1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы	18
2 Проектная технология наплавки чугунных валков	20
2.1 Обоснование выбора способа восстановительной наплавки	20
2.2 Выбор наплавочных материалов	28
2.3 Операции проектного технологического процесса наплавки	32
3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений	37
3.1 Технологическая характеристика объекта	37
3.2 Профессиональные риски при реализации предложенных технических решений	38
3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков	39
3.4 Обеспечение пожарной безопасности	40
3.5 Обеспечение экологической безопасности технологического объекта	42
3.6 Заключение по разделу	43
4 Экономическая эффективность предлагаемых технологических решений	44
4.1 Вводная информация для выполнения экономических расчётов ..	44

4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования	46
4.3 Расчет штучного времени	47
4.4 Расчет заводской себестоимости вариантов технологии сварки . . .	51
4.5 Размер капитальных затрат реализации операций по базовому и проектному вариантам	59
4.6 Расчётное определение показателей экономической эффективности предлагаемых решений	64
Заключение по экономическому разделу	67
Заключение	68
Список используемой литературы	69

Введение

На станах горячей прокатки используют как стальные, так и чугунные валки. Несмотря на то, что чугунные валки по сравнению со стальными, как правило, имеют более низкие технические свойства и склонны к поломкам при повышенных нагрузках или отклонениях от оптимальной технологии прокатки, их чаще применяют на прокатных станах, особенно в чистовых клетях [1]. Это объясняется меньшей стоимостью чугунных валков и тем, что они обеспечивают высокую чистоту поверхности проката. Валки являются основным рабочим инструментом в прокатном производстве, при помощи которого осуществляют деформацию металла, обжатие и вытяжку слитков и заготовок. Валки отличаются друг от друга по форме и размерами в зависимости от вида продукции, которую необходимо получить. У валков листовых станов бочка гладкая. На поверхности валков сортовых станов выточены ручьи, соответствующие профилю прокатываемого металла.

Именно низкая стоимость чугунных валков, особенно небольших размеров, и большие затраты на наплавку делают восстановление таких валков не всегда экономически оправданным. Иная ситуация с крупными прокатными чугунными валками, стоимость которых составляет десятки тысяч долларов. Расчеты показывают, что их наплавка становится экономически выгодной [1].

Для изготовления валков используют стали и чугуны различных марок. Стальные литые и кованные валки, обладающие высокой прочностью, но менее износостойкие применяют в менее нагруженных клетях. Чугунные литые валки менее прочные, чем стальные, но более износостойкие применяют в предчистовых и чистовых клетях листопрокатных, сортопрокатных и трубных станах. Валки горячей прокатки в работе подвержены разнообразным циклическим по характеру и величине воздействиям: они нагреваются от прокатываемого металла и охлаждаются водой, испытывают

большие удельные давления и напряжения от изгиба и кручения. В очаге деформации имеет место перемещение прокатываемого металла относительно поверхности валка. В результате действия охлаждающей среды, температуры и высокого удельного давления в рабочем поверхностном слое возникают окислительно-коррозионные процессы. Работа валков в таких условиях сопровождается их износом, который проявляется в искажении формы рабочей поверхности бочки или калибра, в уменьшении диаметра и образовании сетки трещин с последующим выкрашиванием.

В настоящее время, как в странах СНГ так и за рубежом накоплен большой опыт восстановления наплавкой рабочего слоя стальных и чугунных валков [2-6]. Наплавка позволяет компенсировать изношенный слой и существенно увеличить долговечность валков, сократить их расход, повысить производительность прокатных станов. Состояние производства и применения прокатных валков в России и странах СНГ вызывает тревогу. По некоторым типам валков отставание от мирового уровня составляет около 30 лет [17]. Самый яркий пример это двухслойные рабочие валки с рабочим слоем из высокохромистого чугуна для чистовых клетей непрерывных широкополосных станов горячей прокатки. В дальнем зарубежье валки такого типа начали применять еще в начале 70-х годов XX века, а в России и странах СНГ – только несколько лет назад.

В последние годы в России и СНГ на многих станах появились современные валки разных типов ведущих мировых фирм. Специалисты в данной области получили доступ к новейшей информации по валкам.

Цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности электрошлаковой наплавки при восстановлении и упрочнении чугунных прокатных валков за счёт применения современных достижений науки и техники.

1 Анализ состояния вопроса восстановления и упрочнения прокатных валков

1.1 Описание изделия и условий его работы

Валок прокатного стана (рис. 1.1) позволяет выполнять прокатку листов толщиной 8...25 мм из конструкционных малоперлитных сталей. Рабочий диаметр валка составляет 1000 мм. Валки горячей прокатки в работе подвержены разнообразным циклическим по характеру и величине воздействиям: они нагреваются от прокатываемого металла и охлаждаются водой, испытывают большие удельные давления и напряжения от изгиба и кручения.

В очаге деформации имеет место перемещение прокатываемого металла относительно поверхности валка. В результате действия охлаждающей среды, температуры и высокого удельного давления в рабочем поверхностном слое возникают окислительно-коррозионные процессы. Работа валков в таких условиях сопровождается их износом, который проявляется в искажении формы рабочей поверхности бочки или калибра, в уменьшении диаметра и образовании сетки трещин с последующим выкрашиванием. Разрушение и преждевременный выход из строя прокатных валков происходит в основном по причине контактно-усталостных разрушений в рабочем слое бочки.

Прокатные валки в процессе эксплуатации подвергаются переточкам, число которых определяется диаметром валка, глубиной рабочего слоя и допусками. Валки с глубиной рабочего слоя 22...43 мм при использовании на прокатном стане перетачивают до 47 раз за весь период эксплуатации. При этом диаметр валков уменьшается с 677 мм до 635 мм. Одним из способов повышения срока службы валков может быть восстановление их рабочего слоя наплавкой.

1.2 Сведения о материале изделия

В настоящее время высокохромистые чугуны (15...30 % Cr) являются наиболее распространенными высокоуглеродистыми износостойкими материалами, применяемыми в различных отраслях промышленности [7, 8, 9]. Это связано с особенностями их структуры. Главным признаком этой структуры является гетерогенность, т. е. одновременное присутствие в ней твердых включений (карбидов) и пластичной основы (матрицы), обладающей повышенными прочностными характеристиками. При оптимальном структурообразовании высокохромистые чугуны представляют собой естественные композиты, соответствующие по своей сопротивляемости абразивному изнашиванию принципу Шарпи [10].

Преимущество этих материалов, связанное с наличием в структуре большого количества (до 30 %) высокотвердых карбидов хрома ($HV = 14,5 \dots 16,0$ ГПа), является в то же время и серьезным недостатком. Последнее связано с тем, что при ремонте изделий из высокохромистых чугунов применять сварочно-наплавочные способы практически невозможно по причине появления в наплавленном металле дефектов (главным образом трещин). Более благоприятные условия для формирования наплавленного металла создаются при электрошлаковой наплавке (ЭШП). Как показала практика, наплавлять детали высокохромистым чугуном хотя и сложно, но все же возможно [11, 12, 13].

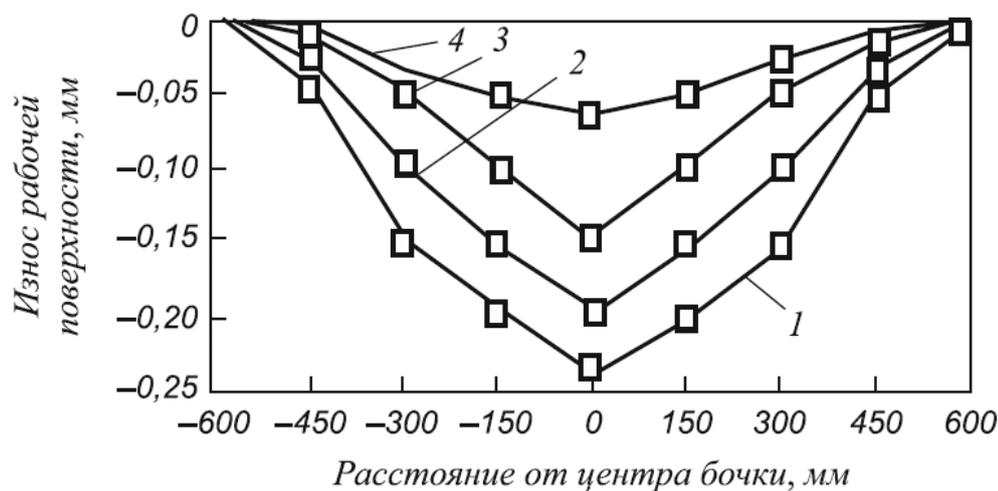
В настоящее время 2/3 всего парка прокатных валков составляют чугунные. Недостатком литых чугунных валков является малая конструкционная прочность, не позволяющая применять их в черновых клетях станов с большой степенью обжатия.

Как показывают результаты литературного исследования по вопросу повышения эксплуатационных свойств прокатных валков (таблица 1.1) [26, 27], чугунные валки обладают самыми низкими эксплуатационными

свойствами, в то же время бандажированные валки позволяют достигать наибольшей эффективности применения.

Таблица 1.1 – Физические и механические свойства конструкционных материалов, используемых для изготовления прокатных валков [26, 27]

Материал валка	Физические свойства				Механические свойства	
	Коэффициент Пуансона	Коэффициент теплопроводности	Модуль упругости	Коэффициент линейного расширения	Предел прочности	Фактор качества/износостойкость
	-	Вт/(м·К)	МПа	10 ⁻⁶ /К	МПа	-
Отбелённый чугун	0,32	27,0	19000	12,0	450	3623/1,0
Высокохромистый чугун	0,30	20,0	20000	13,5	620	3913/1,7
Высокохромистая сталь	0,28	26,8	20000	13,8	720	5033/1...2
Быстрорежущая сталь	0,27	25,5	23500	14,0	960	5567/3...7
Бандажированные валки с композиционным материалом на основе карбидов титана	0,23	28,6	25000	12,4	850	6038/4...8



1 – чугунные валки с отбелённым слоем; 2 – валки с поверхностью из высокохромистого чугуна; 3 – валки с рабочим слоем из быстрорежущей стали; 4 – бандажированные валки с рабочим слоем из карбидов титана

Рисунок 1.2 – Характер износа рабочей поверхности прокатного валка при его изготовлении из различных материалов

1.3 Базовая технология наплавки

Технологический процесс электродуговой наплавки включает в себя ряд операций, качественное выполнение которых значительно влияет на уровень обеспечения заданных параметров – твердости и сплошности наплавленного слоя, а следовательно, и износостойкости. Качество наплавленного металла на бочку валка обеспечивается выполнением комплекса подготовительных мероприятий, предшествующих самому процессу наплавки.



1 – установка для наплавки; 2 – электропечь для подогрева и термической обработки валков; 3 – термостат для замедленного охлаждения валков; 4 – емкость для хранения керамического флюса; 5 – печь для прокалики керамического флюса

Рисунок 1.3 – Участок для восстановительной наплавки валков

К наплавке допускают валки, прошедшие неразрушающий ультразвуковой и капиллярно-цветной метод контроля бочки, шеек и особенно галтелевых переходов шейка-бочка. Контроль необходим для выявления кольцевых и радиальных трещин усталостно-силового характера. Однородность наплавленного слоя зависит от качества наплавочных материалов.

Флюс перед применением подвергают высокотемпературной обработке (прокалке) при температуре 300...400 °С.

При эксплуатации рабочих горизонтальных валков обжимной клетки, работающих в реверсивном режиме, для исключения влияния анизотропии свойств и структуры применяется послойная дифференцированная наплавка по образующей бочки. Большое значение имеет более полное использование полученного слоя. Заданная толщина наплавки составляет не более 20...25 мм. Наплавленный слой может использоваться многократно, после восстановления износа проточкой. Возможно повторное использование в производстве ранее наплавленных валков после полного удаления отработанного наплавленного металла до основного и последующей повторной наплавки.

Первая операция – токарная. Перед выполнением восстановительной наплавки выполняют обточку поверхности вала. Обточку ведут до полного удаления повреждённого слоя на глубину, которая гарантированно обеспечивает отсутствие дефектов поверхности. Для обточки применяют многофункциональный тяжёлый токарный станок GGTRONIC (рис. 1.4).

Вторая операция – предварительный подогрев. Нагрев вальца ведут в электропечи до температуры 150...270 °С. Скорость нагрева вальца составляет не более 25 °С /час. Если наплавляется только бочка вала, то подогрев перед наплавкой производят на установке путем дифференцированной подачи газа, а подогрев валков, наплавляемых по бочке и шейкам, осуществляют в термической электропечи.



Рисунок 1.4 – Обточка поверхности прокатного вала

Третья операция – автоматическая наплавка под флюсом. В качестве флюса применяется флюс АН-27, который позволяет получать наплавленные слои отбелённого чугуна. В качестве электрода используется чугунная лента толщиной 0,6...1,2 мм и шириной 20...70 мм.

Таблица 1.2 – Состав флюса АН-27

SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	CaF ₂	Cr ₂ O ₃	K ₂ O+Na ₂ O
7...10 %	33...40 %	40...45 %	6...9 %	4...6 %	2...3 %

Таблица 1.3 – Состав наплавочной ленты

C	Mn	Si	S	P
3,0...3,6 %	0,6...1,5 %	1,5...2,0 %	<0,15 %	<0,10 %

Качественные показатели электродуговой наплавки зависят также от подбора энергосиловых параметров наплавки, которые приведены в табл. 1.4.

Наплавку можно вести как на переменном, так и на постоянном токе (табл. 3), скорость наплавки – 9...16 м/ч, коэффициент наплавки – 10...18 г/(А·ч), напряжение на дуге – 18...20 В. Скорость наплавки и шаг

наплавки практически одинаковы и могут меняться в узких пределах для обеспечения геометрических размеров сварочного валика (глубина проплавления основного металла, ширина, толщина, степень перекрытия двух сопряженных валиков).

Таблица 3 – Параметры режима автоматической наплавки

Ширина электродной ленты (при толщине 0,6...1,2 мм)	Постоянный ток обратной полярности	Переменный ток
20	200...250	300...350
40	450...550	500...600
50	550...650	600...700
70	750...850	800...900

Для манипуляций валка при наплавке используется установка (рис. 1.5), оснащённая автоматом А-874Н. Передвижение самоходной тележки происходит по рельсовому пути, который размещён вверху установки. В качестве источника питания применяется выпрямитель ВДУ-506.

При наплавке шеек рабочих и опорных валков минимизируется размер зоны термического влияния у галтелевого перехода между поверхностями бочки и шейки валка. Для этого наплавку производят на максимально возможном расстоянии от зоны галтелевого перехода. Проплавление зоны галтелевого перехода не допускается. Решение о производстве повторной наплавки шеек рабочих и опорных валков (особенно ОВ малых черновых клетей) принимают после проведения неразрушающего контроля с учетом суммарной наработки на данном валке. По данной технологии также производят тонкостенную наплавку применяющегося в цехе механического оборудования, имеющего форму цилиндра. Основными критериями качества наплавленного металла на шейках считаются: обеспечение уровня твердости рабочего слоя не менее чем на серийном валке; отсутствие поверхностных дефектов и концентраторов напряжения (пор, трещин, газовых пузырей,

шлаковых и неметаллических включений), приводящих к трещинам и выкрашиванию наплавленного металла.

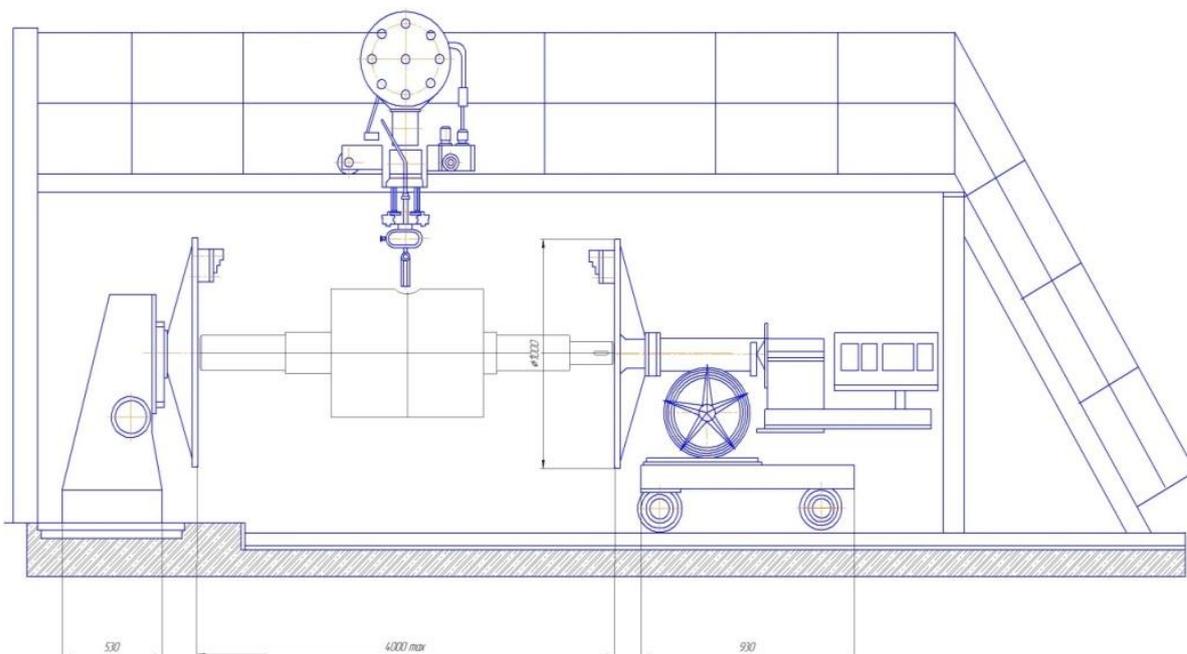


Рисунок 1.5 – Установка для автоматической наплавки под флюсом

Четвёртая операция – термическая обработка. Нагрев вальца ведут в электропечи до температуры 600...650 °С.

Основным условием для исключения сварочнотермических напряжений в материале валка является скорость охлаждения готового изделия, которая должна составлять не более 25 °С/ч. Фактически в условиях электропечи в теплое время года обеспечивается скорость охлаждения 3...4 °С/ч. Валки, прошедшие низкотемпературный отпуск, вылеживаются в условиях термостата от 3 до 5 суток.

После наплавки рабочие и опорные валки подвергаются термообработке в электрической термической печи по следующим режимам: нагрев со скоростью не более 25 °С/ч; температура нагрева до 600...650 °С; выдержка в течение 30-45 ч, из расчета 3,0-3,5 ч на 100 мм диаметра валка;

охлаждение валка в печи со скоростью не более 25 °С/ч; температура валка после извлечения из печи должна быть не выше 80°. После термообработки в электропечи валок укладывают в термостат на 3-5 суток для вылеживания. Температура остывания не должна превышать 25 °С.

1.4 Анализ источников научно-технической информации по вопросу восстановительной наплавки прокатных валков

Был выполнен поиск и анализ источников научно-технической информации по вопросу восстановительной наплавки прокатных валков. Поиск вёлся в сети ИНТЕРНЕТ с использованием поисковой системы GOOGLE по ключевым словам «электрошлаковая наплавка», «прокатный валок», «чугунный валок», «Автоматическая сварка», «Сварочное производство», «диссертация».

В первом источнике научно-технической информации [1] представлены результаты опытных работ по восстановительной наплавке чугунных валков чистовых клетей широкополосного стана горячей прокатки 2000 Новолипеццкого металлургического комбината.

Результаты этой работы доказывают возможность и эффективность восстановления чугунных прокатных валков методом электрошлаковой наплавки. Эта работа будет использована при обосновании выбора способа восстановления валков и составлении проектной технологии восстановительной наплавки.

Во втором источнике научно-технической информации [16] выполнено металлографическое исследование металла, наплавленного дробью из высокохромистого чугуна в токоподводящем кристаллизаторе. Установлено, что несмотря на особые в этом случае условия формирования металлической ванны структура периферийных зон наплавленного металла существенно не отличается от структуры, образующейся при ЭШП в обычном

водоохлаждаемом кристаллизаторе. Для получения однородной структуры наплавленного слоя без наличия в нем нерасплавившихся металлических включений необходимо выбирать электрические режимы наплавки с учетом массовой скорости подачи дроби и ее фракционного состава.

Результаты этой работы доказывают возможность и эффективность восстановления чугунных прокатных валков методом электрошлаковой наплавки. Эта работа будет использована при обосновании выбора способа восстановления валков и составлении проектной технологии восстановительной наплавки.

В третьем источнике научно-технической информации [23] исследованы структура и эксплуатационные свойства наплавленного металла, предназначенного для упрочнения и восстановления прокатных валков различного назначения. Наиболее высокую теплостойкость, горячую твердость и износостойкость при трении металла по металлу при высоких температурах имеет металл, наплавленный порошковой проволокой ПП-АН132, однако у него самая низкая термостойкость. Наилучшую термостойкость имеет металл, наплавленный порошковой проволокой ПП-АН130, хотя по ряду показателей он уступает другим материалам. Металл, наплавленный порошковой проволокой ПП-АН147, по всем показателям занимает промежуточное положение.

Результаты этой работы доказывают возможность и эффективность восстановления чугунных прокатных валков методом электрошлаковой наплавки. Эта работа будет использована при обосновании выбора способа восстановления валков и составлении проектной технологии восстановительной наплавки.

В четвёртом источнике научно-технической информации [24] разработана и внедрена технология электродуговой наплавки ленточным электродом с применением керамического легирующего флюса.

Износостойкость наплавленных валков значительно превышает уровень серийных.

Результаты этой работы доказывают возможность и эффективность восстановления прокатных валков методом наплавки порошковой лентой. Эта работа будет использована при обосновании выбора способа восстановления валков.

В пятом источнике научно-технической информации [25] показано, что наиболее перспективным присадочным материалом для электрошлаковой наплавки в токоподводящем кристаллизаторе является дискретная присадка. В качестве такой присадки могут использоваться частицы различной дисперсности: дробь, таблетки, стружка, порошки, сечка, гранулы и пр. При правильном выборе размера частиц и массовой скорости их подачи в шлаковую ванну можно формировать модифицированную мелкозернистую структуру наплавленного металла с повышенными механическими и другими эксплуатационными свойствами. Это подтверждено положительными результатами наплавки прокатных валков различных станов, в частности стана 2000. Наиболее распространенным дискретным наплавочным материалом является присадка в виде стальной и чугуновой дроби.

Результаты этой работы доказывают возможность и эффективность восстановления чугуновых прокатных валков методом электрошлаковой наплавки. Эта работа будет использована при обосновании выбора способа восстановления валков и составлении проектной технологии восстановительной наплавки.

1.5 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

В работе поставлена цель – повышение эффективности электрошлаковой наплавки при восстановлении и упрочнении чугуновых

прокатных валков за счёт применения современных достижений науки и техники.

Базовая технология восстановительной наплавки предполагает использование наплавки под флюсом ленточным электродом. Однако эта технология имеет существенные недостатки. Производство легированной является весьма трудоёмким процессом. Технология изготовления ленты включает в себя выплавка стали и получение литого слитка, прокатку, термообработку и порезка сляба-заготовки 145×1080 мм с применением толстолистого стана 4500, производство горячекатаных рулонов толщиной 3,2 мм, получение холоднокатанной полосы толщиной 1 мм за 2 переката и три отжига, порезку низкопластичного металла на ленту 1×30 мм [24]. Все эти операции делают данную технологию высокзатратной и малоэффективной.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) выполнить анализ и обосновать выбор способа восстановительной наплавки прокатных валков;
- 2) повысить эффективность выбранного способа восстановительной наплавки;
- 3) составить проектную технологию восстановительной наплавки.

2 Проектная технология наплавки чугунных валков

2.1 Обоснование выбора способа восстановительной наплавки

2.1.1 Автоматическая наплавка под флюсом

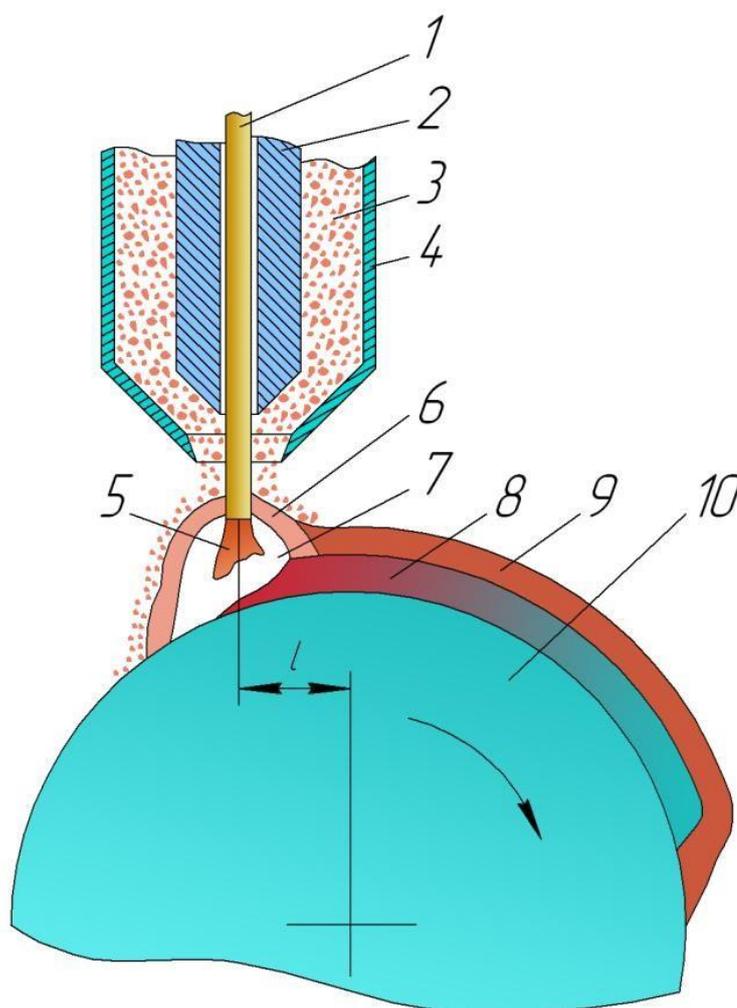
Автоматическая наплавка под флюсом позволяет эффективно восстанавливать поверхности прокатных валков [22]. Наплавка под слоем флюса по сравнению с ручной дуговой наплавкой позволяет увеличить допустимую плотность тока в 10 раз (до 150...200 А/мм²) и тем самым повысить мощность сварочной дуги без опасности перегрева электрода. Производительность наплавки при этом повышается до семи раз.

Горение дуги осуществляется под слоем флюса, который резко снижает теплообмен с внешней средой и в итоге удельный расход электроэнергии при наплавке металла уменьшается с 6...8 до 3...5 кВт·ч/кг. Кроме того, обеспечивается защита сварочной ванны от азота и кислорода воздуха. Содержание кислорода в наплавленном слое более чем в 20 раз, а азота втрое ниже, чем при наплавке штучным электродом.

При наплавке под слоем флюса, по сравнению с ручной дуговой сваркой, потери электродного материала на разбрызгивание и огарки сокращаются с 20...30 до 2...4 %.

Сварочная дуга 5 возбуждается между деталью 10 и концом электродной проволоки 1 (рис. 2.1). Под воздействием высокой температуры сварочной дуги проволока, поступающая из механизма подачи через мундштук 2, основной металл и флюс, поступающий из флюсопровода 4, плавятся. Расплавленная проволока, флюс и основной металл образуют сварочную ванну. Флюс в виде жидкой пленки покрывает зону сварки, то есть дуга горит в газовом пузыре 7 под расплавленной флюсовой оболочкой 6. Флюсовая оболочка сохраняет тепло дуги, сокращает потери наносимого

металла на угар, защищает расплавленный металл от окисления и соединения с азотом. Кроме того, флюс (жидкий и сыпучий) оказывает давление на жидкий металл, вследствие чего шов хорошо формируется. Толщина флюса на основном металле колеблется в пределах 20...80 мм, при этом неиспользованный флюс поступает обратно в бункер для флюса. С перемещением сварочной ванны наплавленный металл 8 остывает, а поверх него образуется шлаковая корка 9, которая затем отделяется при легких ударах. Шлак после дробления повторно используют в смеси со свежим флюсом.



1 – электрод; 2 – мундштук; 3 – флюс; 4 – флюсопровод; 5 – электрическая дуга;
 6 – расплавленный флюс; 7 – газовая (газошлаковая) оболочка; 8 – наплавленный металл;
 9 – шлаковая корка; 10 – деталь; l – смещение электрода с зенита

Рисунок 2.1 – Схема автоматической наплавки под слоем флюса

Наплавку осуществляют на постоянном токе, так как при этом обеспечиваются более устойчивое горение дуги и соответственно высокая стабильность и качество процесса. Полярность обратная, т. е. на деталь подается отрицательный потенциал, а на электрод – положительный, что уменьшает ее нагрев и позволяет более рационально использовать теплоту.

2.1.2 Вибродуговая наплавка

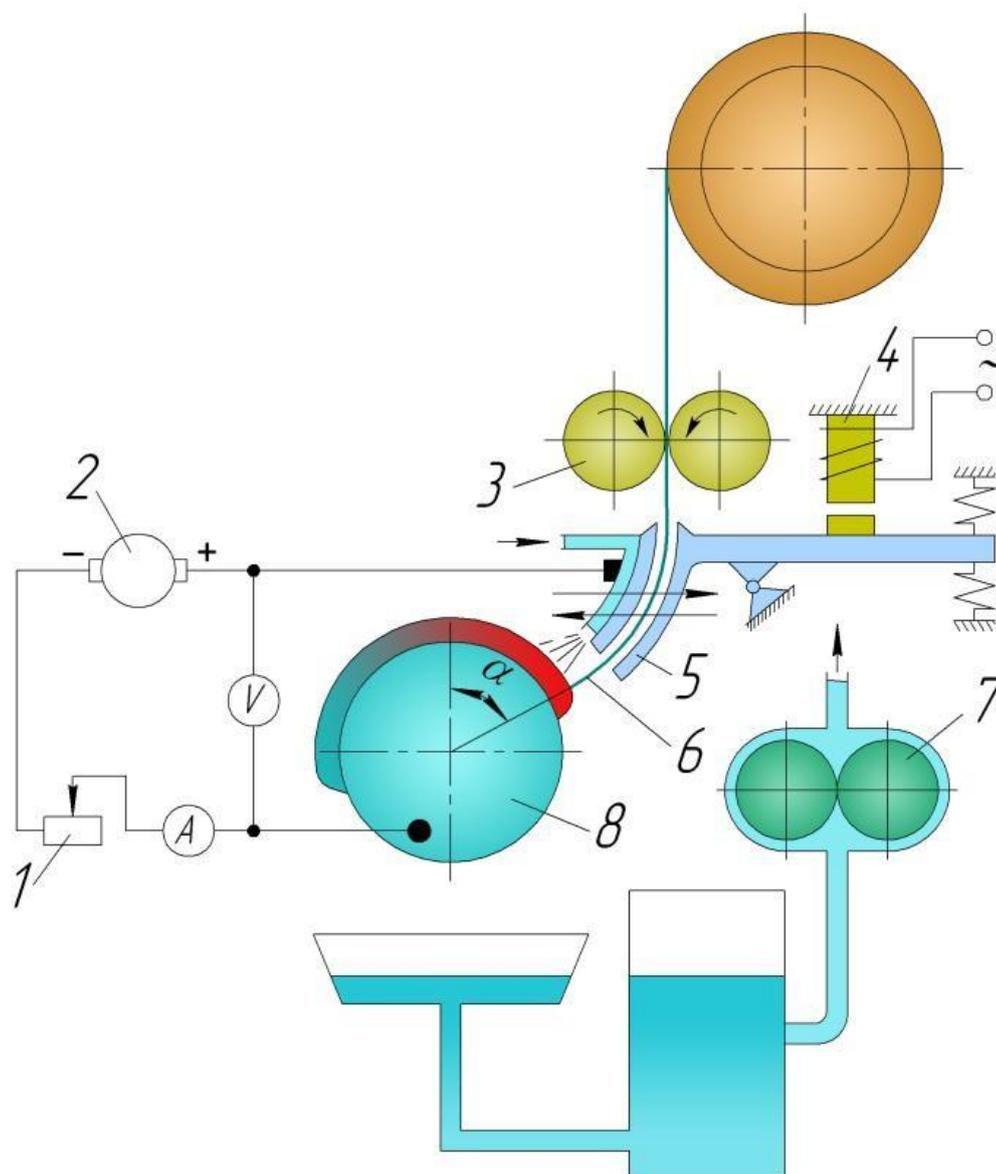
Вибродуговая наплавка представляет собой разновидность автоматической наплавки под слоем флюса и в защитных газах. Наплавку проводят на постоянном токе обратной полярности при напряжении 12...20 В и плотности тока 50...70 А/мм². В качестве источников питания используют сварочный преобразователь 2 и выпрямитель с жесткой внешней характеристикой (рис. 2.2). В качестве дополнительной индуктивности служит дроссель низкой частоты 1, который стабилизирует силу сварочного тока.

В состав наплавочной головки входит механизм подачи 3, обеспечивающий подачу электродной проволоки в зону горения дуги с заданной скоростью. Электромеханический вибратор 4 придает мундштуку 5 возвратнопоступательное движение (вибрации) с частотой колебаний 100...120 Гц.

Преимущества вибродуговой наплавки: незначительные нагрев и деформации детали в процессе наплавки, получение твердой поверхности без термической обработки, несложное оборудование, достаточно высокая производительность процесса, получение равномерных тонких слоев наплавленного металла.

Вибродуговая наплавка имеет ряд существенных недостатков. Наплавленный слой неоднороден по твердости и структуре металла. По этой причине усталостная прочность деталей снижается до 60 %. Поэтому

вибродуговую наплавку для восстановления ответственных деталей, подвергающихся большим знакопеременным и циклическим нагрузкам (цапфы, коленчатые валы и др.), применяют весьма ограниченно. Производительность вибродуговой наплавки ниже обычной автоматической, а потери на разбрызгивание и угар выше и достигают 6...8 %.



1 – дросель; 2 – сварочный преобразователь; 3 – механизм подачи электродной проволоки; 4 – вибратор; 5 – мундштук; 6 – электродная проволока; 7 – насос для подачи охлаждающей жидкости; 8 – наплавляемая деталь

Рисунок 2.2 - Принципиальная схема установки для вибродуговой наплавки

2.1.3 Наплавка порошковой проволокой и порошковой лентой

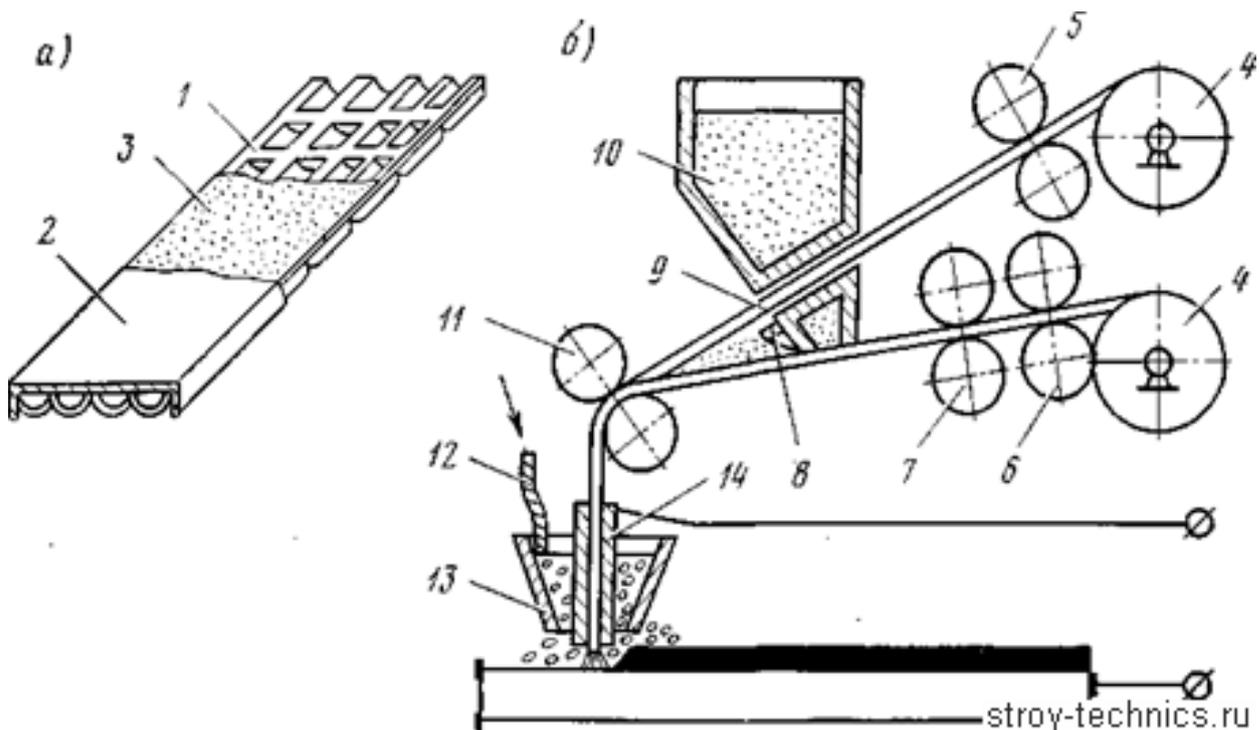
Для упрочнения различных деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного и газоабразивного изнашивания, широкое распространение получили сплавы типа высокохромистых чугунов с высокой степенью легирования — до 40 % и выше. Для этих целей ведущие европейские фирмы, такие как «Castolin» (Швейцария), «Buller», «Durum» (Германия), «Welding Alloys» (Великобритания) и другие предлагают порошковые проволоки, которые изготавливают методом прокатки на специализированных станах. Производство порошковых проволок с коэффициентом заполнения свыше 40 % методом волочения, который широко распространен в России и странах СНГ, весьма затруднительно. Поэтому решить эту проблему было гораздо проще за счет разработки аналогичных составов порошковых лент. Этот наплавочный материал легко позволяет получать коэффициенты заполнения до 60...70 %, а технология его производства исключает процесс волочения [18].

В зависимости от типоразмера упрочняемой детали выбирают типоразмер порошковой ленты, режимы наплавки и ее схему. При этом наплавка может выполняться в один, два и больше слоев; одиночными валиками и широкослойная, с размахом колебаний от 50 до 400 мм. Токи наплавки при этом могут варьироваться от 300 до 1200 А, напряжение на дуге от 25 до 38 В, скорость перемещения электрода от 5 до 100 м/ч. Для увеличения производительности применяется двухдуговая и многодуговая наплавка, что обеспечивается специально разработанным оборудованием. За один проход одной дугой можно наплавить износостойкий слой толщиной от 2 до 8 мм, а производительность наплавки достигает 25...30 кг наплавленного металла в час.

Расход порошковой ленты в расчете на 1 кг наплавленного металла составляет 1,1...1,2 кг при наличии в порошке-наполнителе

легкоиспаряющихся компонентов и 1,2...1,35 кг — минеральных компонентов [19].

Для наплавки порошковыми лентами используется серийно выпускаемая сварочная аппаратура, дополнительно комплектуемая специальными мундштуками и подающими роликами, обеспечивающими надежную подачу электродного материала. Чаще всего используют аппарат АД 231 [20].



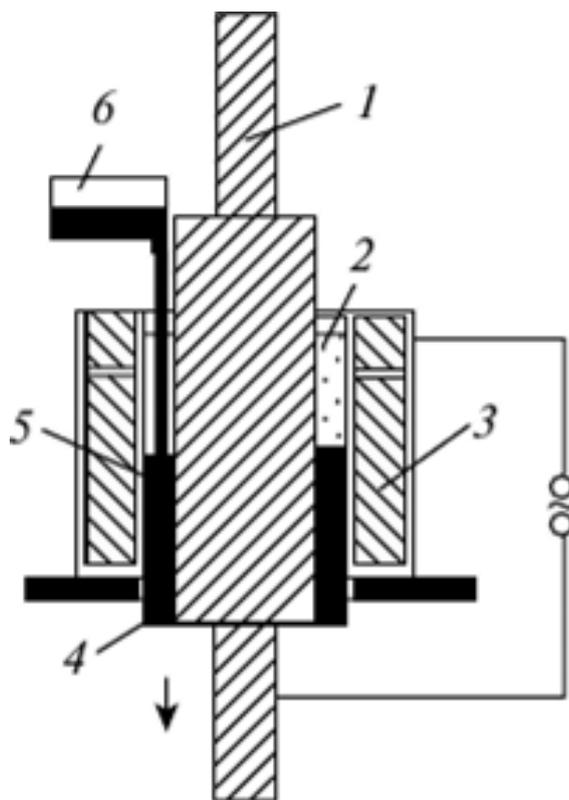
- 1, 2 - ленты; 3 - порошковая шихта; 4 - бухты с лентой; 5, 6 - формирующие ролики;
 7 - подающие ролики; 8 - дозатор шихты; 9 - щелевой паз;
 10 - бункер с порошком; 11 - обжимные ролики; 12 - шланг для флюса;
 13 - бункер для флюса; 14 – токоподвод

Рисунок 2.3 – Схема наплавки порошковой лентой

2.1.4 Электрошлаковая наплавка

Сущность электрошлакового процесса заключается в использовании тепла, выделяющегося при прохождении электрического тока через электропроводный флюс. В результате этого флюс расплавляется и

перегревается, превращаясь в источник тепла в виде шлаковой ванны, нагретой до более высоких температур, чем металл. При ЭШН металл поступает в жидкую шлаковую ванну, которая является не только источником тепла, но и рафинирующей средой. Эффективность процесса зависит, в основном, от состава и свойств используемых шлаков. Рафинирующее действие шлаковой ванны определяется равномерностью тепловыделения и теплораспределения по всему объему. Шлаковая ванна находится в непрерывном движении относительно металла благодаря конвективным потокам, вследствие чего нагрев металла происходит с высокой скоростью. Благодаря высокой рафинирующей способности шлака снижается содержание вредных примесей, неметаллических включений и газов, что обеспечивает получение высококачественного металла.



1 – валок; 2 – шлаковая ванна; 3 – кристаллизатор; 4 – наплавленный слой;
5 – жидкий металл; 6 – заливочное устройство

Рисунок 2.4 – Схема процесса электрошлаковой наплавки вала

Лучшие условия для выполнения качественной электрошлаковой наплавки появились в результате использования токоподводящего кристаллизатора (ТПК) и дискретной наплавочной присадки, в частности, дроби из высокохромистого чугуна [1, 14]. Основным отличием секционного токоподводящего кристаллизатора от обычного является наличие минимум двух секций, расположенных одна над другой и электрически изолированных. Верхняя – это токоведущая секция, через которую в шлаковую ванну подводится электрический ток, а нижняя – формирующая, в которой кристаллизуется в процессе охлаждения наплавленный металл.

По сути формирующая секция ТПК является аналогом обычного кристаллизатора с отводом тепла от расплавленного металла через водоохлаждаемые стенки. Поэтому можно предположить, что никаких особых отличий от обычного структурообразования, характерного для слитка ЭШП, происходить не должно. Однако в данном случае следует учитывать влияние на процесс кристаллизации токоведущей секции, вследствие чего имеет место специфическое распределение тока в шлаковой ванне. Если при электрошлаковом процессе в обычном кристаллизаторе тепловой центр шлаковой ванны располагается по оси электрода под оплавливаемым его торцом, то при плавке в ТПК основная доля тока протекает в пристенной области его внутренней поверхности. Вследствие этого именно в этой зоне в шлаке выделяется наибольшее количество теплоты. Это подтверждается как данными, полученными на расчетных моделях [15], так и результатами реальных наплавки. Поэтому в пристенной области формируется более глубокая часть металлической ванны по сравнению с ее центральной частью и форма ванны напоминает сомбреро (рис. 2.4) [16].

Иными словами, в пристенной области формирующей секции в металлической ванне происходят два противоположных процесса. С одной стороны, наблюдается наибольшее выделение теплоты и соответственно это снижает скорость кристаллизации расплавленного металла, а с другой,

сохраняется обычное воздействие водоохлаждаемых стенок формирующей секции.



Рисунок 2.5 – Форма металлической ванны при ЭШН дробью высокохромистого чугуна в ТПК

2.2 Выбор наплавочных материалов

Правильный выбор флюса имеет первостепенное значение для нормального протекания восстановительной электрошлаковой наплавки [28].

Одним из наиболее сложных вопросов при восстановлении валков является получение качественного восстановленного рабочего слоя и обеспечение необходимого его сцепления с бочкой. Имеющийся опыт показывает, что для обеспечения качественного сцепления восстановленного слоя с отличающимся материалом сердцевины после механической обработки на валки необходимо наносить подслой. Для наплавки подслоя (промежуточного – между основным металлом и рабочим) применяют проволоки Св-08, Св-19ХГСА или НП-30ХГСА и флюс АН-348А. Практика показывает, что при наплавке валков в процессе их ремонта, изготовленных из сплавов содержащих 0,6% С и выше, нанесение подслоя является обязательным [23, 24].

Основным компонентом флюса является фтористый кальций (CaF_2), физические свойства которого в расплавленном состоянии позволяют вести

стабильную наплавку. Во флюс вводят элементы Ca, Al, Mg, которые увеличивают электрическое сопротивление флюса, позволяют выполнять удаление из расплавленного металла серы.

Для наплавки рабочих слоёв из хромистого чугуна, хромоникелевого чугуна, быстрорежущих сталей применяются флюсы АНФ-14, АН-75, АНФ-29, АНФ-28Н [14].

Флюс АНФ-14 является оксидно-фторидным флюсом. Он может применяться при наплавке чугуновой дробью. Как показывает практика, при использовании такого флюса часты ситуации, когда по границе основного и наплавленного металла обнаруживаются шлаковые включения. В промышленности флюс АНФ-14 не нашёл широкого применения [28].

Таблица 2.1 – Химический состав флюсов для электрошлаковой наплавки прокатных валков

Марка флюса	Содержание химических веществ, %					
	CaF ₂	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	MgO	MnO
АНФ-14	60...65	10...12	≤8	14...16	4...8	-
АН-75	56...59	9...12	6...8	18...21	6...8	5...7
АНФ-29	37...45	13...17	24...30	11...15	2...6	-
АНФ-32	34...42	24...30	20...27	5...9	2...6	-
АНФ-94	34...40	17...21	11...22	14...20	7...11	≤2

Флюс АН-75 является модификацией флюса АНФ-14, в который дополнительно ввели 5...7 % MnO. В процессе электрошлаковой наплавки чугуновой дробью этот флюс позволяет получить хорошее сплавление с основным металлом. При наплавке стальной дробью качество значительно ухудшается – появляется большое количество нерасплавленных частиц в наплавленном слое. В промышленности флюс АН-75 нашёл широкого применения [28].

Флюсы АНФ-29 и АНФ-32 позволяют формировать качественный наплаваемый слой при изменении значений параметров режима в широких пределах. При использовании этих флюсов толщина образующегося

гарнисажа (нетокопроводного слоя) незначительна и на качество сварки не влияет. Эти флюсы нашли широкое применение в промышленности.

Флюс АНФ-94 может быть использован для наплавки быстрорежущих сталей на поверхности чугунных и стальных прокатных валков. В промышленности флюс АНФ-94 не нашёл широкого применения [28].

Таким образом, для осуществления проектной технологии электрошлаковой наплавки чугунных валков выбираем флюс АНФ-29.

Электрошлаковая наплавка позволяет использовать электроды и присадочные материалы (заготовки различного сечения, ленты, дискретные частицы — порошки, сечка, гранулы, дробь, стружка и пр.), а также жидкую присадку.

Наиболее перспективны дискретные присадки [25]. Частицы присадки, расплавляясь в шлаковой ванне и очищаясь в ней от вредных примесей, поступают в оплавленном или расплавленном виде в металлическую ванну, которая затем кристаллизуется в наплавленный металл. При правильном выборе размера частиц и массовой скорости их подачи в шлаковую ванну можно обеспечить формирование в кристаллизующемся жидком металле большого количества центров кристаллизации. Эти центры позволяют модифицировать наплавленный металл, в результате чего структура получается равноосной и мелкозернистой.

Наиболее распространенным видом дискретного наплавочного материала является присадка в виде стальной или чугунной дроби. В связи с тем, что в большинстве случаев речь идет об износостойкой наплавке, то наиболее часто присадкой служит дробь из высокохромистого и хромоникелевого чугуна (металл типа «Нихард»).

Учитывая, что в наплавленном металле не обнаружено повышенного количества оксидных включений, можно считать, что имеющиеся на поверхности дробинок оксидные пленки ассимилируются шлаком при прохождении присадкой шлакового слоя [25].

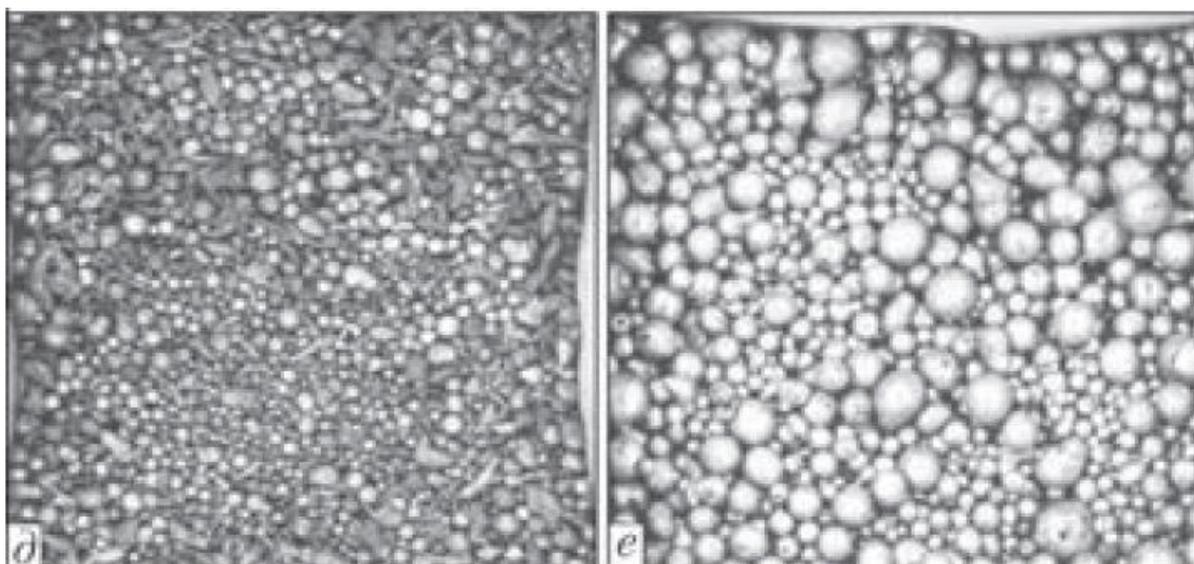


Рисунок 2.6 – Дробь, применяемая в качестве дискретной присадки при электрошлаковой наплавке: хромистого (а) и хромоникелевого (б) чугуна

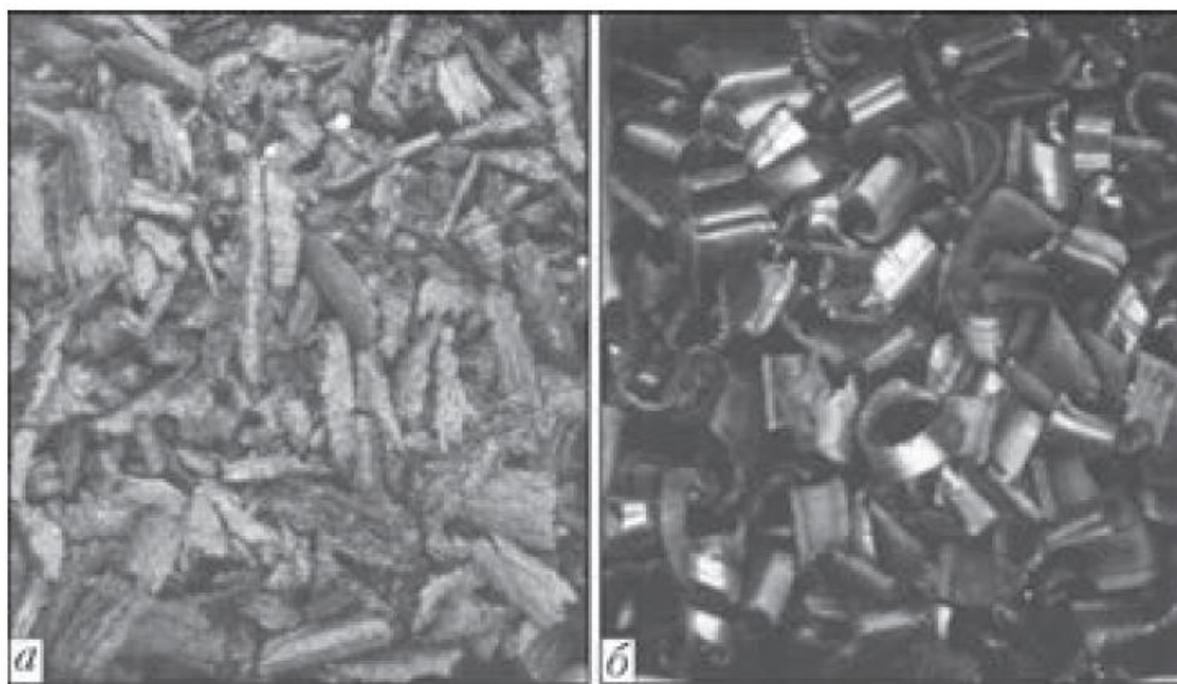


Рисунок 2.7 – Стружка, применяемая в качестве дискретной присадки при электрошлаковой наплавке: стружка серого чугуна (а) и стружка стали Р6М5 (б)

Применение при наплавке стружки легированных сталей и различных типов чугунов позволяет значительно сократить расходы на наплавочные

работы. Это связано с тем, что в себестоимости наплавки основной составляющей расходов является стоимость наплавочных материалов [25].

Для наплавки используется стружка невитая, с небольшими размерами ($\leq [0,5 \times 5 \times 5 \text{ мм}]$), которую получают при фрезерной и строгальной обработке металла. Для ряда материалов (в основном твердых и хрупких) можно получить стружку необходимых размеров при токарной обработке и сверлении (рис. 2.7).

Использование этого вида наплавочного материала затруднительно по двум причинам. Это наличие в ней смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) и сложность в организации сбора стружки по размерам и химическому составу.

Наличие в стружке СОЖ нарушает стабильность процесса наплавки, ухудшает экологические условия в связи с повышенным газовыделением, изменяет химический состав наплавленного металла (в основном по углероду), может влиять на качество металла (главным образом из-за образования пор).

Таким образом, для осуществления проектной технологии электрошлаковой наплавки чугунных валков выбираем дробь хромистого чугуна с 16 % содержанием хрома.

2.3 Операции проектного технологического процесса наплавки

Технология наплавки валков предусматривает их специальную подготовку. Перед наплавкой поверхность валка, изношенную в процессе эксплуатации, протачивают для полного удаления трещин и других дефектов. К необходимому элементу технологии наплавки следует отнести предварительный подогрев валка, который зависит от его размера и типа наплавляемого металла. Эта операция необходима для предотвращения возникновения трещин, снижения внутренних напряжений, улучшения

сцепляемости слоев и получения оптимальной его структуры. После наплавки валки подвергаются термической и механической обработке. Режимы обработки выбирают с учетом типа наплавленного металла и требований, предъявляемым к валкам.

Технологический процесс ЭШН чугуновых прокатных валков дробью включает:

- визуальный осмотр изношенных валков и их механическая обработка до необходимого диаметра;
- подогрев валка под наплавку в шахтной печи до температуры 500...600 °С;
- установка нагретого валка на поддоне соосно с кристаллизатором;
- наведение шлакового процесса и непосредственно наплавка валка;
- замедленное охлаждение наплавленного валка в печи;
- визуальный контроль наплавленного валка, механическая обработка и ультразвуковой контроль.

К наплавке допускают валки, прошедшие неразрушающий ультразвуковой и капиллярно-цветной метод контроля бочки, шеек и особенно галтелевых переходов шейка-бочка. Контроль необходим для выявления кольцевых и радиальных трещин усталостно-силового характера.

Перед выполнением восстановительной наплавки выполняют обточку поверхности валка. Обточку ведут до полного удаления повреждённого слоя на глубину, которая гарантированно обеспечивает отсутствие дефектов поверхности. Для обточки применяют многофункциональный тяжёлый токарный станок GGTRONIC. Бочка валка должна быть обточена до 0,9...0,95 от номинального диаметра. Такая величина обточки нужна для того, чтобы получить износостойкий слой толщиной наплавленного чугуна не менее 30 мм. Если толщина наплаваемого слоя будет меньше 30 мм, нарушится стабильность процесса электрошлаковой наплавки. Следует учитывать, что излишне глубокая обточка валка приведёт к потерям энергии и материалов.

После обточки валок помещают в печь, где выполняют его предварительный нагрев до температуры 500...600 °С. Скорость нагрева вальца составляет не более 25 °С /час. Если наплавляется только бочка валка, то подогрев перед наплавкой производят на установке путем дифференцированной подачи газа, а подогрев валков, наплавляемых по бочке и шейкам, осуществляют в термической электропечи. Транспортировка и погружение в печь осуществляется порталным краном. Установку валка в печи выполняют с использованием специальной подставки.

После нагрева валок извлекают из печи и в горячем состоянии переправляют на установку для электрошлаковой наплавки. При извлечении валка из печи и его транспортировки следует убедиться, что его температура не упала ниже 350 °С.

Наплавка производится следующим образом. Валок устанавливается в вертикальном положении в кристаллизатор на нижнюю опору, зажимается сверху. После установки валка в кристаллизатор заливается расплавленный шлак и включается источник питания. Примерно через 20...30 минут после включения источника питания начинается оплавление поверхности валка. После того, как шлак разогрелся, и началось оплавление поверхности бочки валка, в кристаллизатор подают чугунную дробь диаметром 2...3 мм. Для подачи дроби при электрошлаковой наплавке валков применяют вибродозаторы (рис. 2.8). Чугунная дробь расплавляется в шлаковой ванне, опускается на её дно и кристаллизуется.

Наплавка проводится при перемещении кристаллизатора вдоль неподвижного валка. В процессе наплавки контролируется величина тока наплавки. Если его величина снижается более чем на 10 % от заданного значения, в шлаковую ванну доливают расплавленный шлак в объёме 0,1 от первоначального. Если величина ток повышается более чем на 10 % от заданного значения, увеличивают скорость вертикального перемещения

кристаллизатора. Параметры режима наплавки: сила тока – 1800...2000 А, напряжение – 28...30 В, скорость наплавки – 0,5...0,7 м/ч

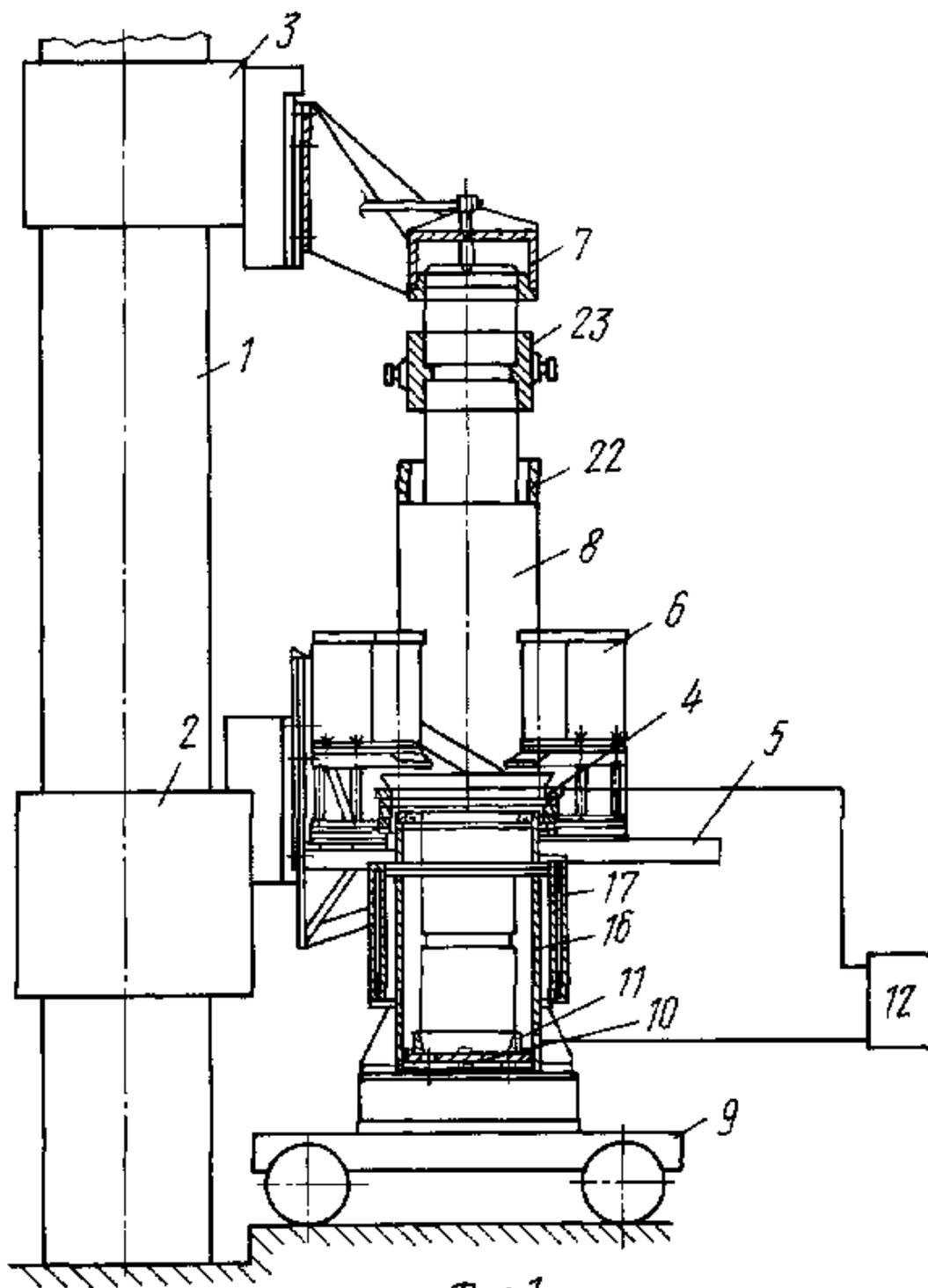
Толщина наплавляемого слоя равна расстоянию от поверхности бочки валка до внутренней поверхности кристаллизатора. Бочка валка наплавляется до диаметра 1,01...1,015 от номинального. Это обусловлено тем, что после наплавки необходима механическая обработка для получения нужной чистоты поверхности, после которой размер бочки желательно иметь с положительным допуском. В качестве источника питания применяется трансформатор ТШС-3000-3.

После окончания наплавки валок выдерживается в кристаллизаторе ещё 20...30 минут. После этого валок поднимают за верхнюю шейку и транспортируют на участок термической обработки.



Рисунок 2.8 – Электрошлаковая наплавка валков с применением одновременно четырёх дозаторов

После наплавки валки подвергаются термообработке в электрической термической печи, которая необходима для снятия внутренних напряжений. Термическая обработка проходит по следующим режимам: нагрев со скоростью не более 25 °С/ч; температура нагрева до 600...650 °С; выдержка в течение 30...45 ч, из расчета 3,0-3,5 ч на 100 мм диаметра валка; охлаждение валка в печи со скоростью не более 25 °С/ч; температура валка после извлечения из печи должна быть не выше 80°. После термообработки в электропечи валок укладывают в термостат на 3-5 суток для вылеживания. Температура остывания не должна превышать 25 °С.



Фиг.1

1 - несущая колонна; 2 - каретка для перемещения кристаллизатора; 3 - каретка для перемещения верхнего центратора; 4 - кристаллизатор; 5 - платформа каретки для перемещения кристаллизатора; 6 - дозатор некомпактного наплавочного материала; 7 - верхний центратор; 8 - наплавляемый валок; 9 - тележка-поддон; 10 - центратор; 11- токоподводящий поддон; 12 - источник питания; 16 - опора; 17 - телескопический экран; 22 - выводная втулка; 23 - захват

Рисунок 2.9 – Установка для электрошлаковой наплавки валков

3 Безопасность и экологичность предлагаемых технических решений

3.1 Технологическая характеристика объекта

Выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности восстановительной наплавки валков прокатных станов. В соответствии с базовой технологией восстановительная наплавка ведётся с применением автоматической наплавки под флюсом чугунной лентой.

На основании проведённого анализа возможных способов сварки принято решение о замене автоматической наплавки под флюсом на электрошлаковую наплавку.

В связи с этим следует выполнить анализ проектной технологии, выявляя опасные и вредные производственные факторы, что позволит оценить безопасность проектной технологии и сделать вывод о возможности внедрения предлагаемых технических решений в производство.

Таблица 3.1 - Технологический паспорт объекта

Наименование выполняемых работ и операций проектного процесса	Должность производственного персонала, требуемого для осуществления техпроцесса	Технические устройства, требуемые для осуществления техпроцесса	Вспомогательные материалы
1) Токарная обработка	Токарь-фрезеровщик	Токарный станок	Охлаждающая эмульсия, вода техническая
2) Предварительный подогрев	Электросварщик	Установка подогрева и термической обработки валков, кран	-
3) Наплавка	Электросварщик	Установка наплавки валков, вибродозаторы	Флюс, дробь чугунная
4) Термическая обработка	Электросварщик	Установка подогрева и термической обработки валков, кран	
5) Контроль качества	Дефектоскопист	Дефектоскоп	Кисть, масло

3.2 Профессиональные риски при реализации предложенных технических решений

Таблица 3.2 – Идентификация профессиональных рисков

Выполняемые в соответствии с проектной технологией работы	Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Источник представляющего угрозу негативного фактора
1	2	3
1) Токарная обработка	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека 	Токарный станок
2) Предварительный подогрев	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - повышенная температура поверхностей оборудования, материалов; - инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации 	Установка подогрева и термической обработки валков, кран
3) Наплавка	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - повышенная температура поверхностей оборудования, материалов; - инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации; - ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений 	Установка наплавки валков, вибродозаторы

Продолжение таблицы 3.2

4) Термическая обработка	<ul style="list-style-type: none"> - острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - повышенная температура поверхностей оборудования, материалов; - инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации 	Установка подогрева и термической обработки валков, кран
5) Контроль качества	<ul style="list-style-type: none"> - ультразвуковое излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья; - острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования; - движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны; - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека 	Дефектоскоп

3.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Таблица 3.3 – Методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов

Негативный фактор, представляющий угрозу здоровью и жизни	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного или вредного производственного фактора	Индивидуальные средства защиты от действия негативных факторов
1	2	3
1) острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;	Информирующие об опасности плакаты и надписи, проведение инструктажа персонала	Спецодежда.
2) движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования;	Ограждения от проникновения в опасную зону работников. Информационные плакаты и надписи.	Спецодежда

Продолжение таблицы 3.3

1	2	3
3) повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны;	Устройства, обеспечивающие удаление загрязненного воздуха и поступление чистого воздуха извне	Средства защиты дыхательных путей
4) повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	Заземление оборудования находящегося под напряжением. Периодический контроль состояния изоляции.	Спецодежда
5) повышенная температура поверхностей оборудования, материалов	Устройства, обеспечивающие удаление нагретого воздуха и поступление воздуха извне	Спецодежда
6) инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации	Экранирование места сварки щитами,	Спецодежда.
7) ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений	Экранирование места сварки щитами,	Спецодежда.
8) ультразвуковое излучение в рабочей зоне сверх значений безопасных для здоровья	Предупреждающие плакаты, обеспечение безопасного расстояния от источника излучения до оператора и безопасного времени пребывания в оператора в зоне излучения	-

3.4 Обеспечение пожарной безопасности

Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности производственного участка призваны обеспечить защиту от пожара работников предприятия, а также имущество предприятия. Согласно классификации пожаров по виду горючего материала и учетом производственной ситуации следует классифицировать возможный пожар как пожар класса Е: горение веществ и материалов под напряжением электрического тока. В таблице 4.3 выполним анализ основных и вторичных опасных факторов возможного пожара.

Участок, на котором планируются к внедрению разработанные технические предложения, с учетом класса возможного пожара (Е)

необходимо укомплектовать техническими средствами, обеспечивающими защиту от возможного пожара работников и имущества предприятия. Перечень средств для комплектования производственного участка отразим в таблице 3.5.

Таблица 3.4 – Анализ опасных факторов возможного пожара участка сварки

Наименование участка	Наименование оборудования	Классификация по виду горящего вещества	Наименование основных опасных факторов пожара	Наименование вторичных опасных факторов пожара
Участок, на котором осуществляется наплавка изделия	Установка наплавки валков, вибродозаторы	пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)	Резкое повышение температуры на участке и вокруг него; выделение при горении токсичных продуктов и угарного газа; выделение аэрозолей, снижающих видимость на участке и вокруг него.	Короткие замыкания на оборудовании, запитанном высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения.

Таблица 3.5 – Ведомость технических средств

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

Также для полноценной защиты работников и имущества предприятия необходимы организационные мероприятия. Перечень мероприятий для обеспечения защиты производственного участка отразим в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Мероприятия организационного характера.

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

3.5 Оценка безопасности для природной среды предлагаемых технических решений

Таблица 3.7 – Анализ негативно влияющих на природную среду факторов предлагаемых технических решений

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

Таблица 3.8 – Предлагаемые организационно-технические мероприятия, по уменьшению негативно влияющих на природную среду факторов предлагаемых технических решений

Наименование технического объекта	Сварка
Мероприятия по исключению негативного действия на воздушную среду.	Оборудование вентиляционной системы фильтрами, улавливающими продукты, выделяемые при горении дуги.
Мероприятия по исключению негативного действия на водную среду.	Контроль утечек в гидросистеме центратора и незамедлительное их устранение.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	Установка на участке сварки соответствующих емкостей для сбора отходов производственного цикла и при проведении повторных инструктажей подробное разъяснение необходимости складирования отходов производственного цикла в установленные емкости.

3.6 Заключение по разделу

В рамках выполнения данного раздела выпускной квалификационной работы выполнялась выявление негативных факторов, сопровождающих предлагаемые технологические решения, и их оценка на предмет отрицательного влияния на рабочий персонал и окружающую среду.

Произведён поиск путей устранения или уменьшения опасных и вредных производственных факторов, установлено, что стандартные средства защиты позволяют достигнуть требуемого уровня безопасности и санитарии производства в условиях осуществления проектного технологического процесса.

В ходе анализа экологичности предложенных технических решений установлено, что проведение процесса сварки сопровождается ущербом окружающей среде. При этом негативное воздействие оказывается на воздушную среду (атмосферу), водную среду (гидросферу), так и на литосферу.

4 Экономическая эффективность предлагаемых технологических решений

4.1 Вводная информация для выполнения экономических расчётов

Выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности восстановительной наплавки валков прокатных станов. В соответствии с базовой технологией восстановительная наплавка ведётся с применением автоматической наплавки под флюсом чугунной лентой.

На основании проведённого анализа возможных способов сварки принято решение о замене автоматической наплавки под флюсом на электрошлаковую наплавку. За счёт замены способа восстановительной наплавки предполагается получить снижение трудоемкости и повышение качества выполнения наплавочных работ.

Таблица 4.1 – Исходные данные для оценки экономической эффективности предлагаемых изменений операций технологического процесса

Наименование экономического показателя	Принятое в экономических формулах условное обозначение показателя	Единицы измерения показателя при подстановке в формулы для экономических расчётов	Количественная характеристика экономического показателя в рассматриваемой технологии	
			Базовая технология	Проектная технология
1	2	3	4	5
Количество рабочих смен в день, в течение которых выполняется рассматриваемая работа	$K_{см}$	-	2	2
Разряд исполнителя основных или вспомогательных операций	P_p		V	V
Утверждённая часовая тарифная ставка работника	$Cч$	Р/час	200	200
Принятое значение коэффициента, определяющего временные затраты на выполнение нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5
Принятое значение коэффициента, определяющего процент на формирование дополнительной заработной платы	Кдоп	%	12	12
Принятое значение коэффициента, определяющего процент на формирование доплат к основной заработной плате	Кд	-	1,88	1,88
Принятое значение коэффициента, определяющего процент от заработной платы на социальные нужды	Ксн	%	34	34
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости технологического оборудования на его амортизацию	На	%	21,5	21,5
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости производственных площадей на их амортизацию	На.пл.	%	5	5
Общая площадь под оборудование, выполняющее операции рассматриваемого технологического процесса	S	м ²	100	100
Принятое значение цены на производственные площади для выполнения операций технологического процесса	Цпл	Р/м ²	30000	30000
Принятое значение стоимости эксплуатации площадей, занимаемых оборудованием для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Сзксп	(Р/м ²)/год	2000	2000
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на транспортно-заготовительные расходы	Кт -з	%	5	5
Принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на его монтаж и демонтаж	Кмонт Кдем	%	3	5
Рыночная стоимость оборудования, которое необходимо для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Цоб	Руб.	10 млн.	10 млн.
Принятое значение коэффициента, задающего долю затрат на дополнительную производственную площадь	Кпл	-	3	3

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5
Принятое значение установленной мощности оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Муст	кВт	100	130
Принятое значение стоимость электрической энергии при работе оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	Цэ-э	Р/ кВт	3,02	3,02
Принятое значение коэффициента полезного действия оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса	КПД	-	0,85	0,9
Принятое значение коэффициента, определяющего эффективность капитальных вложений	Ен	-	0,33	0,33
Принятое значение коэффициента, определяющего долю цеховых расходов	Кцех	-	1,5	1,5
Принятое значение коэффициента, определяющего долю заводских расходов	Кзав	-	1,15	1,15

4.2 Расчёт фонда времени работы оборудования

Объём фонда времени, в течение которого происходит работа наплавочного оборудования, задействованного в технологическом процессе по базовому и проектному вариантам, может быть определён с использованием формулы:

$$F_H = (D_p \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см}, \quad (4.1)$$

где $T_{см}$ – продолжительность рабочей смены в часах;

D_p – общее число рабочих дней в календарном году;

$D_{п}$ – планируемое количество предпраздничных дней в календарном году;

$T_{п}$ – планируемое сокращение длительности рабочей смены в часах в

предпраздничный день;

$K_{см}$ – количество рабочих смен.

После подстановки в формулу (4.1) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$F_H = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 2 = 4418 \text{ ч.}$$

Расчёт эффективного фонда времени работы наплавочного оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам может быть определён с использованием формулы:

$$F_3 = F_H \cdot \left(1 - \frac{B}{100}\right), \quad (4.2)$$

где B – процент планируемых потерь рабочего времени.

После подстановки в формулу (4.2) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$F_3 = 4418 \cdot \left(1 - \frac{7}{100}\right) = 4108 \text{ ч.}$$

4.3 Расчет штучного времени

Оценку штучного времени для выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам выполним с использованием формулы:

$$t_{шт} = t_{маш} + t_{всп} + t_{обсл} + t_{отл} + t_{п-з}, \quad (4.3)$$

где $t_{шт}$ – штучное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение всех операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$t_{маш}$ – машинное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение основной операции технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$t_{всп}$ – вспомогательное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение подготовительных операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, задаётся в процентах от машинного времени: $t_{всп} = 10\%$ от $t_{маш}$;

$t_{обсл}$ – время обслуживания – объём времени в часах, которое будет затрачено работником на обслуживание, текущий и мелкий ремонт технологического оборудования задействованного в выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, задаётся в процентах от машинного времени: $t_{обсл} = 5\%$ от $t_{маш}$;

$t_{отл}$ – время личного отдыха – объём времени в часах, которое будет затрачено на работником на обеспечение личных потребностей в отдыхе при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, задаётся в процентах от машинного времени: $t_{отл} = 5\%$ от $t_{маш}$;

$t_{п-з}$ – время подготовительно-заключительное – объём времени в часах, которое будет затрачено работником на выполнение подготовительно-заключительных операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, задаётся в процентах от машинного времени: $t_{п-з} = 1\%$ от $t_{маш}$.

После подстановки в формулу (4.3) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$t_{шт.баз} = 9,9 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 12 \text{ ч.}$$

$$t_{\text{шт.проектн.}} = 5,8 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 7 \text{ ч.}$$

Расчёт годовой программы проведения сварочных работ согласно рассматриваемого технологического процесса по базовому и проектному вариантам выполним по формуле:

$$П_{\Gamma} = \frac{F_{\text{э}}}{t_{\text{шт}}}, \quad (4.4)$$

где $F_{\text{э}}$ – объём в часах эффективного фонда времени работы оборудования, задействованного выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$t_{\text{шт}}$ – штучное время в часах, которое затрачивает работник на одно изделие по базовому и проектному вариантам технологии;

После подстановки в формулу (4.4) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$П_{\Gamma.\text{баз.}} = 4108/12 = 342 \text{ наплавов за год};$$

$$П_{\Gamma.\text{проектн.}} = 4108/7 = 586 \text{ наплавов за год.}$$

Дальнейшие расчёты по определению экономической эффективности предлагаемых решений будем проводить исходя из годовой программы $П_{\Gamma}=100$ валков в год.

Требуемое в этом случае количество наплавочного оборудования, которое будет задействовано при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, вычисляем согласно формуле:

$$n_{РАСЧ} = \frac{t_{шт} \cdot Пг}{F_{\text{Э}} \cdot K_{ВН}}, \quad (4.5)$$

где $Пг$ – годовая программа – принятое ранее количество изделий, которые необходимо наплавить за один календарный год при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$t_{шт}$ – штучное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение всех операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$F_{\text{Э}}$ – объём в часах эффективного фонда времени работы оборудования, задействованного выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$K_{ВН}$ – принятое значение коэффициента, определяющего временные затраты на выполнение нормы.

После подстановки в формулу (4.5) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$n_{РАСЧ.Б} = \frac{12 \cdot 100}{4108 \cdot 1,03} = 0,28$$

$$n_{РАСЧ.ПР} = \frac{7 \cdot 100}{4108 \cdot 1,03} = 0,17$$

На основании выполненных расчётов по определению эффективного фонда времени работы оборудования штучного времени, которое будет затрачено работниками на выполнение всех операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, можно сделать вывод о необходимом количестве сварочного оборудования. Для реализации базовой технологии необходимо применить одну единицу технологического

оборудования. Для реализации проектной технологии необходимо применить одну единицу технологического оборудования.

Расчёт коэффициента загрузки оборудования выполним согласно формуле:

$$K_z = n_{\text{расч}}/n_{\text{пр}} \quad (4.6)$$

где $n_{\text{расч}}$ – полученное согласно (4.5) количество технологического оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$n_{\text{пр}}$ – принятое количество технологического оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам.

После подстановки в формулу (4.5) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$K_{зб} = 0,28/1 = 0,28,$$

$$K_{зп} = 0,17/1 = 0,17.$$

4.4 Расчет заводской себестоимости базового и проектного вариантов технологии сварки

При наплавке используются сварочные материалы. Базовая технология сварки предусматривает автоматическую наплавку под флюсом, для которой расходным материалом являются электродная лента и сварочный флюс. Проектная технология сварки предусматривает применение электрошлаковой наплавки, для которой расходными материалами будут чугунная дробь и сварочный флюс. Затраты на сварочные материалы, которые будут использованы при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, вычисляем согласно формуле:

$$M = C_M \cdot H_p \cdot K_{Т-з}, \quad (4.7)$$

где C_M – цена, определённая для сварочного материала по каталогам предприятий, которые представлены в сети ИНТЕРНЕТ;

$K_{Т-з}$ – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на транспортно-заготовительные расходы.

После подстановки в формулу (4.7) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$M_{\text{баз.}} = 7800 \text{ руб.}; M_{\text{проектн.}} = 5400 \text{ руб.}$$

Объём фонда заработной платы (ФЗП) определяется суммой основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$ и дополнительной заработной платы $Z_{\text{доп.}}$

Объём $Z_{\text{осн}}$ основной заработной платы определим расчётным путём с использованием формулы:

$$Z_{\text{осн}} = t_{\text{шт}} \cdot C_{\text{ч}} \cdot K_{\text{д}} \quad (4.8)$$

где $C_{\text{ч}}$ – утверждённая часовая тарифная ставка работника;

$K_{\text{д}}$ – принятое значение коэффициента, определяющего процент на формирование доплат к основной заработной плате.

После подстановки в формулу (4.8) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$Z_{\text{осн.баз.}} = 12 \cdot 200 \cdot 1,88 = 4512 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн.проектн.}} = 7 \cdot 200 \cdot 1,88 = 2632 \text{ руб.}$$

Объём $Z_{\text{доп}}$ дополнительной заработной платы определим расчётным путём с использованием формулы:

$$Z_{\text{доп}} = \frac{K_{\text{доп}}}{100} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (4.9)$$

где $K_{\text{доп}}$ – принятое значение коэффициента, определяющего процент на формирование дополнительной заработной платы

После подстановки в формулу (4.9) численных значений соответствующих переменных, получим:

$$\begin{aligned} Z_{\text{доп.базов.}} &= 4512 \cdot 12 / 100 = 541 \text{ рублей;} \\ Z_{\text{доп.проектн.}} &= 2632 \cdot 12 / 100 = 316 \text{ рублей;} \\ \text{ФЗП}_{\text{базов.}} &= 4512 + 541 = 5053 \text{ рублей;} \\ \text{ФЗП}_{\text{проектн.}} &= 2632 + 316 = 2947 \text{ рублей.} \end{aligned}$$

Объём $O_{\text{сн}}$ отчислений на социальные нужды определим расчётным путём с использованием формулы:

$$O_{\text{сн}} = \text{ФЗП} \cdot K_{\text{сн}} / 100, \quad (4.10)$$

где $K_{\text{сн}}$ – принятое значение коэффициента, определяющего процент от заработной платы на социальные нужды.

После подстановки в формулу (4.10) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\begin{aligned} O_{\text{сб.баз.}} &= 5035 \cdot 34 / 100 = 1712 \text{ руб.}, \\ O_{\text{сб.проектн.}} &= 2947 \cdot 34 / 100 = 1002 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Объём $Z_{\text{об}}$ финансовых затрат на содержание и эксплуатацию технологического оборудования определим расчётным путём с использованием формулы:

$$Z_{об} = A_{об} + P_{э-э}, \quad (4.11)$$

где $A_{об}$ – финансовые потери от амортизации технологического оборудования, задействованного при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$P_{э-э}$ – финансовые затраты на электрическую энергию при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

Финансовые потери на амортизацию оборудования, задействованного при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам:

$$A_{об} = \frac{Ц_{об} \cdot N_a \cdot t_{МАШ}}{F_э \cdot 100} \quad (2.12)$$

где $Ц_{об}$ – цена оборудования, задействованного при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам, определённая по каталогам предприятий в сети ИНТЕРНЕТ;

N_a – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости технологического оборудования на его амортизацию;

$t_{МАШ}$ – машинное время – объём времени в часах, которое будет затрачено работниками на выполнение основной операции технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$F_э$ – объём в часах эффективного фонда времени работы оборудования, задействованного выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам.

После подстановки в формулу (4.12) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$A_{об.б} = \frac{10000000 \cdot 21,5 \cdot 12}{4108 \cdot 100} = 6280 \text{ рублей}$$

$$A_{об.пр} = \frac{10000000 \cdot 21,5 \cdot 7}{4108 \cdot 100} = 3664 \text{ рублей}$$

Затраты на электрическую энергию при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам определим расчётным путём с использованием формулы:

$$P_{э-э} = \frac{M_{уст} \cdot t_{маш} \cdot Ц_{э-э}}{КПД} \quad (4.13)$$

где $M_{уст}$ – установленная мощность оборудования, задействованного при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам;

$Ц_{э-э}$ – принятое значение стоимости электрической энергии при работе оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса;

КПД – принятое значение коэффициента полезного действия оборудования для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса

После подстановки в формулу (4.13) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$P_{э-эб} = \frac{100 \cdot 12 \cdot 3,02}{0,85} = 4264 \text{ рублей}$$

$$P_{э-эпр} = \frac{130 \cdot 7 \cdot 3,02}{0,9} = 3054 \text{ рублей}$$

$$Зоб_{баз.} = 6280 + 4264 = 10544 \text{ рублей}$$

$$Зоб_{проектн.} = 3664 + 3054 = 6718 \text{ рублей}$$

Финансовые потери на амортизацию площадей, задействованных при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам:

$$A_{пл} = \frac{Ц_{пл} \cdot На_{пл} \cdot S \cdot t_{шт}}{F_э \cdot 100}, \quad (4.14)$$

где $На_{пл}$ – принятое значение нормы амортизации площади;

$Ц_{пл}$ – цена приобретения площадей.

После подстановки в формулу (4.14) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$A_{ПЛБ} = \frac{30000 \cdot 100 \cdot 5 \cdot 12}{4108 \cdot 100} = 438$$

$$A_{ПЛПР} = \frac{30000 \cdot 100 \cdot 5 \cdot 7}{4108 \cdot 100} = 256$$

Финансовые потери на эксплуатацию площадей, задействованных при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам:

$$P_{пл} = \frac{C_{экспл} \cdot S \cdot t_{шт}}{F_э}, \quad (4.15)$$

где $C_{экспл}$ – расходы на содержание площадей

S – площадь, занятая под оборудование.

После подстановки в формулу (4.15) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$P_{ПЛБ} = \frac{2000 \cdot 100 \cdot 12}{4108} = 584,$$

$$P_{\text{ПЛ ПР}} = \frac{2000 \cdot 100 \cdot 7}{4108} = 341$$

Финансовые потери на эксплуатацию и содержание площадей, задействованных при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам:

$$Z_{\text{ПЛ}} = P_{\text{ПЛ}} + A_{\text{ПЛ}}, \quad (4.16)$$

После подстановки в формулу (4.16) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$Z_{\text{ПЛБаз.}} = 438 + 584 = 1022 \text{ руб.},$$

$$Z_{\text{ПЛПроектн.}} = 25 + 4 = 597 \text{ руб.}$$

Значение $C_{\text{тех}}$ показателя технологической себестоимости определим расчётным путём с использованием формулы:

$$C_{\text{ТЕХ}} = M + \PhiЗП + O_{\text{сс}} + Z_{\text{об}} + Z_{\text{ПЛ}} \quad (4.17)$$

После подстановки в формулу (4.14) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$C_{\text{ТЕХБаз.}} = 7800 + 5053 + 1721 + 10544 + 1022 = 26140 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{ТЕХПроектн.}} = 5400 + 2947 + 1002 + 6718 + 597 = 16664 \text{ руб.}$$

Значение $C_{\text{цех}}$ показателя цеховой себестоимости определим расчётным путём с использованием формулы:

$$C_{\text{ЦЕХ}} = C_{\text{ТЕХ}} + Z_{\text{ОСН}} \cdot K_{\text{ЦЕХ}} \quad (4.18)$$

где $K_{\text{ЦЕХ}}$ – принятое значение коэффициента, определяющего долю цеховых расходов при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам.

После подстановки в формулу (4.18) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$C_{\text{ЦЕХБаз.}} = 26140 + 1,5 \cdot 4512 = 26140 + 6768 = 32908 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{ЦЕХПроектн.}} = 16664 + 1,5 \cdot 2632 = 16664 + 3948 = 20612 \text{ руб.}$$

Значение $C_{\text{зав}}$ показателя заводской себестоимости определим расчётным путём с использованием формулы:

$$C_{\text{зав}} = C_{\text{ЦЕХ}} + Z_{\text{ОСН}} \cdot K_{\text{зав}} \quad (4.19)$$

где $K_{\text{зав}}$ – принятое значение коэффициента, определяющего долю заводских расходов при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам.

После подстановки в формулу (4.19) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$C_{\text{завБаз.}} = 32908 + 1,15 \cdot 4512 = 32908 + 5189 = 38097 \text{ руб.},$$

$$C_{\text{завПроектн.}} = 20612 + 1,15 \cdot 2632 = 20612 + 3027 = 23639 \text{ руб.}$$

Калькуляцию технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки при выполнении операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам сведём в таблицу (табл. 4.3).

Таблица 4.3 – Калькуляция технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки

ПОКАЗАТЕЛИ	Услов. обозн.	Калькуляция., руб	
		Базовый	Проектн.
1. Затраты на материалы	М	7800	5400
2. Объём фонда заработной платы	ФЗП	5053	2947
3. Отчисления на соц. нужды	О _{СН}	1721	1002
4. Объём финансовых затрат на технологическое оборудование	Зоб	10544	6718
5. Объём финансовых затрат на технологические площади	З _{пл}	1022	597
6. Величина технологической себестоимости	С _{тех}	26140	16664
7. Объём цеховых расходов	Р _{цех}	6768	3948
8. Величина цеховой себестоимости	С _{цех}	32908	20612
9. Объём заводских расходов	Р _{зав}	5189	3027
10. Величина заводской себестоимости	С _{зав}	38097	23639

4.5 Размер капитальных затрат реализации операций по базовому и проектному вариантам

Значение $K_{\text{общ}}$ капитальных затрат, которые потребуются для выполнения операций технологии по базовому и проектному вариантам, определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{ОБЩБ}} = K_{\text{ОББ}} = n \cdot Ц_{\text{ОБ.Б}} \cdot K_{\text{З.Б.}}, \quad (4.20)$$

где $K_{\text{З}}$ – ранее полученное расчётное значения коэффициента загрузки оборудования ;

$Ц_{\text{ОБ.Б}}$ –остаточная стоимость в рублях технологического оборудования на момент внедрения предлагаемых решений в производство, который определяется по сроку службы этого оборудования;

n – ранее полученное количество единиц технологического оборудования, для выполнения операций технологии по базовому и проектному вариантам.

Величину $\text{Ц}_{\text{ОБ.Б.}}$ остаточной стоимости технологического оборудования на момент внедрения предлагаемых решений в производство определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\text{Ц}_{\text{ОБ.Б.}} = \text{Ц}_{\text{ПЕРВ.}} - (\text{Ц}_{\text{ПЕРВ.}} \cdot \text{Т}_{\text{СЛ}} \cdot \text{Н}_{\text{А}} / 100), \quad (4.21)$$

где $\text{Ц}_{\text{ПЕРВ.}}$ – рыночная стоимость оборудования, которое необходимо для выполнения операций рассматриваемого технологического процесса;

$\text{Т}_{\text{СЛ}}$ – количество лет, в течение которых рассматриваемое оборудование было использовано в технологическом процессе по базовому варианту;

$\text{Н}_{\text{А}}$ – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости технологического оборудования на его амортизацию.

После подстановки в формулу (4.20) и (4.21) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\text{Ц}_{\text{ОБ.Баз.}} = 10000000 - (10000000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 3550000 \text{ рублей,}$$

$$\text{К}_{\text{ОБЩБаз.}} = 1 \cdot 3550000 \cdot 0,28 = 994000 \text{ рублей}$$

Величину $\text{К}_{\text{ОБЩ.ПР}}$ общих капитальных затрат для выполнения операций технологического процесса по проектной технологии определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\text{К}_{\text{ОБЩ.ПР}} = \text{К}_{\text{ОБ.ПР}} + \text{К}_{\text{ПЛ.ПР}} + \text{К}_{\text{СОП.ПР}}, \quad (4.22)$$

где $\text{К}_{\text{ОБ.ПР}}$ – расчётный объём капитальных вложений в оборудование, задействованное для выполнения операций технологического процесса по проектной технологии;

$K_{ПЛ.ПР}$ – расчётный объём капитальных вложений в производственные площади, задействованные для выполнения операций технологического процесса по проектной технологии;

$K_{СОП.ПР}$ – расчётный объём сопутствующих капитальных вложений при выполнении операций технологического процесса по проектной технологии.

Объём $K_{ОБ.ПР}$ капитальных вложений в оборудование, задействованное для выполнения операций технологического процесса по проектной технологии определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{ОБ.ПР} = Ц_{ОБПР} \cdot K_{Т-З} \cdot K_{ЗБ}. \quad (4.23)$$

После подстановки в формулу (2.23) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{ОБ.ПР} = 10000000 \cdot 1,05 \cdot 0,17 = 1785000 \text{ руб.}$$

Объём $K_{СОП}$ сопутствующих капитальных вложений при выполнении операций технологического процесса по проектной технологии определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{СОП} = K_{ДЕМ} + K_{МОНТ}, \quad (4.24)$$

где $K_{ДЕМ}$ – размер затрат на демонтаж оборудования для реализации базовой технологии;

$K_{МОНТ}$ – величина коэффициента, определяющего долю расходов на монтаж оборудования.

Затраты $K_{\text{ДЕМ}}$ на демонтаж оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по базовому варианту, определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{ДЕМ}} = Ц_{\text{Б}} \cdot K_{\text{ДЕМ}}, \quad (4.25)$$

где $K_{\text{ДЕМ}}$ – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на его демонтаж.

После подстановки в формулу (4.25) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{ДЕМ}} = 1 \cdot 10000000 \cdot 0,05 = 500000 \text{ руб.}$$

Затраты $K_{\text{МОН}}$ на монтаж оборудования, задействованного для выполнения операций технологического процесса по проектному варианту, определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{МОНТ}} = Ц_{\text{ПР}} \cdot K_{\text{МОНТ}}, \quad (4.26)$$

где $K_{\text{МОНТ}}$ – принятое значение коэффициента, задающего процент от стоимости оборудования на его монтаж.

После подстановки в формулу (4.26) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{МОНТ}} = 10000000 \cdot 0,05 = 500000 \text{ руб.}$$

После подстановки в формулу (4.24) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{СОП}} = 500000 + 500000 = 1000000 \text{ руб.}$$

После подстановки в формулу (4.22) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{ОБЩ.ПР}} = 1785000 + 100000 = 2785000 \text{ руб.}$$

Размер $K_{\text{ДОП}}$ дополнительных капитальных вложений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{ДОП}} = K_{\text{ОБЩ.ПР}} - K_{\text{ОБЩ.Б.}} \quad (4.27)$$

После подстановки в формулу (4.24) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{ДОП}} = 2785000 - 994000 = 1791000 \text{ руб.}$$

Размер $K_{\text{УД}}$ удельных капитальных вложений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$K_{\text{УД}} = \frac{K_{\text{общ.}}}{P_{\Gamma}}, \quad (4.28)$$

где P_{Γ} – принятое значение годовой программы.

После подстановки в формулу (4.28) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$K_{\text{УДБаз.}} = 994000/100 = 9940 \text{ руб./ед.}$$

$$K_{\text{УДПроектн.}} = 2785000 /100 = 27850 \text{ руб./ед.}$$

4.6 Расчётное определение показателей экономической и эффективности предлагаемых решений

Снижение Δt трудоёмкости при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{t_{\text{штБ}} - t_{\text{штПР}}}{t_{\text{штБ}}} \cdot 100\% . \quad (4.29)$$

После подстановки в формулу (4.29) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{12 - 7}{12} \cdot 100\% = 42\%$$

Повышение Π_T производительности труда при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\Pi_T = \frac{100 \cdot \Delta t_{\text{шт}}}{100 - \Delta t_{\text{шт}}} . \quad (4.30)$$

После подстановки в формулу (4.30) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\Pi_T = \frac{100 \cdot 42}{100 - 42} = 72\%$$

Снижение $\Delta C_{\text{ТЕХ}}$ технологической себестоимости труда при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{C_{\text{ТЕХБ}} - C_{\text{ТЕХПР}}}{C_{\text{ТЕХБ}}} \cdot 100\% \quad (4.31)$$

После подстановки в формулу (4.31) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\Delta C_{\text{ТЕХ}} = \frac{26140 - 16664}{26140} \cdot 100\% = 36\%$$

Условно-годовую экономию $\text{Пр}_{\text{ож}}$ (ожидаемую прибыль) при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\text{Пр}_{\text{ож.}} = \text{Э}_{\text{у.г.}} = \left(C_{\text{зав}}^{\text{б}} - C_{\text{зав}}^{\text{пр}} \right) \cdot \text{П}_{\Gamma} \quad (4.32)$$

После подстановки в формулу (4.32) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\text{Э}_{\text{у.г.}} = (38097 - 23639) \cdot 100 = 1445800 \text{ руб.}$$

Срок $T_{\text{ок}}$ окупаемости дополнительных капитальных вложений при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{доп}}}{\text{Э}_{\text{уг}}} \quad (4.33)$$

После подстановки в формулу (4.33) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$T_{OK} = \frac{1791000}{1445800} = 1,2$$

Годовой экономический эффект \mathcal{E}_r в сфере при внедрении в производство предлагаемых решений определим расчётным путём с использованием формулы:

$$\mathcal{E}_r = \mathcal{E}_{уг} - E_n \cdot K_{доп} \quad (4.34)$$

После подстановки в формулу (4.34) численных значений соответствующих переменных, имеем:

$$\mathcal{E}_r = 1445800 - 0,33 \cdot 1791000 = 854770 \text{ руб.}$$

Заключение по экономическому разделу

Базовый вариант технологии ремонтной наплавки с применением автоматической наплавки под флюсом обладает меньшей производительностью. В проектном варианте технологии предложено использовать электрошлаковую наплавку. В результате предлагаемых мероприятий проектная технология позволит получать сварные соединения без дефектов и меньшими затратами труда.

Проведённые экономические расчёты подтвердили эффективность предлагаемых решений: уменьшается трудоемкость на 42 %, увеличивается производительность труда на 72 %, уменьшается технологическая себестоимость на 36 %.

Внедрение предлагаемых решений в производство позволяет получить условно-годовую экономию в размере 1,44 млн. рублей.

Рассчитанный годовой экономический эффект с учетом капитальных вложений составляет 0,85 млн. рублей. Затраты на капитальные вложения, которые необходимо будет сделать для приобретения нового технологического оборудования, будут окуплены за 1,2 года.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о высокой эффективности предложенных решений, которые должны быть внедрены в производство.

Заключение

В работе поставлена цель – повышение эффективности электрошлаковой наплавки при восстановлении и упрочнении чугунных прокатных валков за счёт применения современных достижений науки и техники.

Базовая технология восстановительной наплавки предполагает использование наплавки под флюсом ленточным электродом. Однако эта технология имеет существенные недостатки. Производство легированной является весьма трудоёмким процессом.

На основании выполненного анализа возможных способов восстановительной наплавки обоснована эффективность применения электрошлаковой наплавки.

В ходе выполнения исполнительского раздела выпускной квалификационной работы были решены следующие задачи: анализа состояния вопроса выполнена постановка задач на выпускную квалификационную работу: 1) выполнить анализ и обосновать выбор способа восстановительной наплавки прокатных валков; 2) повысить эффективность выбранного способа восстановительной наплавки; 3) составить проектную технологию восстановительной наплавки.

Выполнен анализ проектной технологии ремонтной сварки на предмет наличия опасных и вредных производственных факторов.

Рассчитанный годовой экономический эффект с учетом капитальных вложений составляет 0,85 млн. рублей.

С учётом вышеизложенного можно сделать вывод о том, что поставленная цель выпускной квалификационной работы достигнута.

Полученные результаты выпускной квалификационной работы рекомендуются к использованию в производстве при выполнении ремонтной наплавки чугунных валков.

Список используемой литературы

1. Кусков, Ю.М. Восстановление чугуновых валков стана 2000 в токоподводящем кристаллизаторе / Ю.М. Кусков, И.А. Рябцев, И.С. Сарычев // Сварщик России. – 2012. – № 1. – С. 38–39.
2. Фрумин, И.И. Повышение стойкости и срока службы прокатных валков методом наплавки / И.И. Фрумин, Г.В. Ксендзык, И.А. Кондратьев, Л.В. Гладкий // Черная металлургия. – 1986. – №7. – С.11–19.
3. Бендрик, В.Г. Опыт работы Ждановского металлургического комбината им. Ильича по восстановлению прокатных валков методом электродуговой наплавки / В.Г. Бендрик, Д.И. Зерницкий // Черная металлургия. – 1986. – №11. – С. 49–50.
4. Бендрик, В.Г. Совершенствование технологии наплавки стальных валков станов горячей прокатки / В.Г. Бендрик, К.К. Степанов// Металлург. – 1987. – №9. – С. 30–31
5. Ксендзы, Г.В. Электрошлаковая наплавка валков горячей прокатки / Ксендзы Г.В., Фрумин И.И., Аксенов И.Н. [и др.] // Автоматическая сварка. – 1969. – № 11. – С.60–63.
6. Бэгшоу, Т. Применение ЭШП для улучшения качества валков / Т. Бэгшоу, П. Летчер, Р. Крофтс // Электрошлаковый переплав (Материалы Международной конференции по технологии электрошлакового переплава, г. Шеффилд, Англия, 10-11 января 1973 г.) Вып.2. Киев: Наукова думка. – 1974. – С. 131–148.
7. Гарбер, М. Е. Отливки из износостойких белых чугунов / М.Е. Гарбер. – Москва: Машиностроение. – 1972.
8. Цыпин, И.И. Белые износостойкие чугуны. Структура и свойства / И.И. Цыпин. – Москва: Металлургия. – 1983.

9. Гаврилюк, В.П. Абразивостойкие высокохромистые чугуны / В.П. Гаврилюк, В.И. Тихонович, И.А. Шалевская, Ю.И. Гутько. – Луганск: Ноулидж. – 2010.

10. Жуков, А.А. Износостойкие отливки из комплексно-легированных белых чугунов / А.А. Жуков, Г.И. Сильман, М.С. Фрольцов. – Москва: Машиностроение. – 1984.

11. Иванан, М.П. Электрошлаковая наплавка бил молотковых дробилок / М.П. Иванан, А.И. Мельников [и др.] // Сварочное производство. – 1974. – № 7. – С. 48.

12. Киселева, И.В. Использование электрошлакового обогрева при упрочнительно-восстановительной наплавке зубьев ковшей экскаваторов / И.В. Киселева, В.В. Дорохов, А.Я. Шварцер, Е.А. Герасимов // Проблемы специальной электрометаллургии. – 1989. – № 3. – С. 28–30.

13. Пономаренко, В.П. Прочность и износостойкость наплавленного высокохромистого чугуна, легированного титаном и марганцем. / В.П. Пономаренко, С.Ю. Пасечник, В.П. Стойко, А.Я. Шварцер // Оборудование и материалы для наплавки. Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1990. – С. 86–89.

14. Кусков, Ю.М. Электрошлаковая наплавка дискретным материалом различного способа изготовления / Ю.М. Кусков, Г.Н. Гордань, И.Л. Богайчук, Т.В. Кайда // Автоматическая сварка. – 2015. – № 5–6. – С. 34–37.

15. Томиленко, С.В. Энергетические особенности электрошлакового процесса в токоподводящем кристаллизаторе / С.В. Томиленко, Ю.М. Кусков // Автоматическая сварка. – 1999. – № 2. – С. 51–53.

16. Кусков, Ю.М. Формирование структуры высокохромистого чугуна, наплавленного дробью в токоподводящем кристаллизаторе / Ю.М. Кусков, Ф.К. Биктагиров, Т.И. Грищенко, А.И. Евдокимов // Современная электрометаллургия. – 2018. – № 2. – С. 52–55.

17. Медовар, Л.Б. О прокатных валках будущего и электрошлаковых технологиях их изготовления / Л.Б. Медовар // Современная электрометаллургия. – 2003. – № 3. – С. 9–11.
18. Ворончук, А.П. Порошковые ленты для износостойкой наплавки / А.П. Ворончук // Автоматическая сварка. – 2014. – № 6–7. – С. 75–78.
19. Жудра, А.П. Наплавочные порошковые ленты / А.П. Жудра, А.П. Ворончук // Автоматическая сварка. – 2012. – № 6. – С. 39–44.
20. Жудра, А.П. Износостойкая наплавка порошковыми лентами / / А.П. Жудра, А.П. Ворончук // Сварщик. – 2010. – № 6. – С. 6–10.
21. Ельцов, В.В. Восстановление и упрочнение деталей машин: электронное учебное пособие / В.В. Ельцов. – Тольятти: ТГУ, 2015
22. Титаренко, В.И. Установки на базе токарных станков для наплавки прокатных валков / В.И. Титаренко, В.Н. Лантух, А.С. Кашинский // Автоматическая сварка. – 2013. – № 4. – С. 50–55.
23. Рябцев, И.А. Исследование структуры и эксплуатационных свойств наплавленного металла для восстановления и упрочнения прокатных валков / И.А. Рябцев, И.А. Кондратьев [и др.] // Автоматическая сварка. – 2010. – № 7. – С. 14–18.
24. Матвиенков, С.А. Наплавка рабочих и опорных валков с применением керамического флюса И-КФ-45...65 на ММК им. Ильича / С.А. Матвиенков, Э.Н. Шибаниц [и др.] // Металл и литьё Украины. – 2012. – № 2–3. – С. 45–49.
25. Кусков, Ю.М. Дискретные присадочные материалы для наплавки в токоподводящем кристаллизаторе / Ю.М. Кусков // Автоматическая сварка. – 2014. – № 6–7. – С. 101–106.
26. Будагьянц, Н.А. Литые прокатные валки / Н.А. Будагьянц, В.Е. Карсский. – М.: Metallurgy, 1983. – 540 с.

27. Быстров, В.А. Условия эксплуатации и износ валков прокатного стана горячего металла / В.А. Быстров, П.К. Дьяков, А.Г. Уманец // Известия высших учебных заведений. Чёрная металлургия. – 2014. – № 5. – С. 24–29.

28. Кусков, Ю.М. Влияние состава флюса на процесс торцевой электрошлаковой наплавки с отдельной подачей присадочного материала / Ю.М. Кусков // Автоматическая сварка. – 2017. – № 12. – С. 44–49

29. Кусков, Ю.М. Электрошлаковая наплавка дискретным материалом различного способа изготовления / Ю.М. Кусков, Г.Н. Гордань, И.Л. Богайчук, Т.В. Кайда // Автоматическая сварка. – 2015. – № 5–6. С. 34–37.