

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование)

15.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Современные технологические процессы изготовления деталей

в машиностроении»

(направленность (профиль)/специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Технологический процесс и оборудование для восстановления  
прокатных валков диаметром 1000 мм

Студент

А.Н. Шибанов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д.И. Плахотный

(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 2022

## Аннотация

При прокатке стальных листовых полуфабрикатов используются прокатные валки, который изготавливают из чугуна или легированной стали. Более широкое распространение получили чугунные прокатные валки, что объясняется их относительной дешевизной.

В выпускной квалификационной работе была поставлена цель – повышение производительности и качества восстановления чугунных прокатных валков за счёт применения отечественных разработок и технологий.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были решены следующие задачи:

- обосновать выбор способа восстановительной наплавки прокатных валков;
- предусмотреть мероприятия по повышению эффективности выбранного способа восстановительной наплавки прокатных валков;
- составить проектную технологию восстановительной наплавки прокатных валков.

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

Рассчитан годовой экономический эффект с учетом капитальных вложений.

Полученные результаты выпускной квалификационной работы могут быть использованы для наплавки прокатных валков.

## Содержание

Введение .....	5
1 Современное состояние восстановления прокатных валков. ....	7
1.1 Сведения о конструкции и дефектов прокатных валков. ....	7
1.2 Сведения о материале для изготовления прокатных валков. ....	9
1.3 Сведения о базовой технологии восстановительной наплавки валков. ....	15
1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы .....	18
2 Составление проектной технологии восстановительной наплавки прокатных валков. ....	17
2.1 Обоснование выбора способа восстановительной наплавки чугунного прокатного вала. ....	17
2.2 Выбор наплавочного материала .....	24
2.3 Проектный технологический процесс наплавки прокатного вала. ....	27
3 Безопасность и экологичность технического объекта. ....	31
3.1 Технологическая характеристика объекта .....	31
3.2 Идентификация профессиональных рисков .....	32
3.3 Предлагаемые технологические и организационные мероприятия для снижения профессиональных рисков. ....	34
3.4 Обеспечение пожарной безопасности .....	36
3.5 Обеспечение экологической безопасности производства .....	38
4 Экономическое обоснование предлагаемых решений. ....	40
4.1 Исходные данные для проведения экономических расчётов. ....	40
4.2 Оценка фонда времени работы технологического оборудования. .	42
4.3 Расчет штучного времени .....	43
4.4 Расчёт заводской себестоимости вариантов технологии. ....	44
4.5 Оценка капитальных затрат по базовой и проектной технологиям. ....	49

4.6 Расчёт показателей экономической эффективности. . . . .	51
Заключение . . . . .	54
Список используемой литературы и используемых источников. . . . .	55

## Введение

При прокатке стальных листовых полуфабрикатов используются прокатные валки, который изготавливают из чугуна или легированной стали. Более широкое распространение получили чугунные прокатные валки, что объясняется их относительной дешевизной. По сравнению со стальными валками, чугунные валки более склонны к поломкам при нарушении параметров прокатки и имеют низкий ресурс работы [20]. Однако, кроме низкой стоимости, у чугунных валков есть ещё одно неоспоримое преимущество – они позволяют получать поверхность прокатанного металла большей чистоты, чем при использовании стальных прокатных валков.

Назначение прокатных валков в прокатном производстве – выполнение обжатия и вытяжки листовых заготовок из слитков. В зависимости от вида продукции прокатные валки отличаются друг от друга по размерам и форме. Прокатки для листовых станов имеют гладкую поверхность бочки, валки для сортовых станов имеют ручьи, профиль которых соответствует профилю прокатываемого металла.

Если для прокатки применяется валок малого размера, то его восстановление может оказаться экономически неэффективным. В случае же применения валка крупных размеров (длиной более 1000 мм) восстановление его поверхности более предпочтительно, чем приобретение нового валка [20].

Изготовление валков выполняется из сталей и чугунов. Более прочные и менее износостойкие валки из легированной стали нашли применение в мало нагруженных прокатных клетях. Если валок изготовлен из чугуна, то его прочность меньше, чем у стального валка, но износостойкость выше. Чугунные валки нашли применение в чистовых и предчистовых прокатных станах.

В процессе эксплуатации прокатные валки подвергаются разнообразному циклическому воздействию. Во-первых, происходит нагрев

валка от прокатываемого металла и охлаждение его водой. Во-вторых, валок подвергается ударным воздействиям, напряжениям изгиба и кручения. В третьих, происходит постоянное проскальзывание металла в валках. Под действием высокой температуры, давления и охлаждающей воды на поверхности валков происходят коррозионные процессы. Искажается форма рабочей поверхности валков, на его поверхности образуется сетка трещин, которая приводит в дальнейшем к выкрашиванию валка.

В России и за рубежом накоплен значительный опыт в области восстановительной наплавки стальных и чугунных прокатных валков [2], [3], [5], [17], [27]. При помощи наплавки возможно не только восстановление геометрии рабочей поверхности прокатного валка, но и значительное увеличение его ресурса, что положительно сказывается на себестоимости выпускаемой продукции и отвечает современным мировым трендам на ресурсосбережение и энергосбережение.

Однако, как показывает практика, отечественные разработки в этом вопросе отстают от мирового уровня на несколько десятков лет. Например, широко применяющиеся в мире с начала 70-х годов двуслойные валки с рабочим слоем из высокохромистого чугуна в России начали применяться всего несколько лет назад [23].

В настоящее время российская промышленность получила доступ к современным иностранным прокатным валкам, которые имеют значительно больший срок службы, чем российские. Однако увеличение стоимости иностранных комплектующих, усиление санкционного давления и финансовый голод заставляют российские предприятия искать способы и технологии восстановления прокатных валков вместо приобретения новых валков.

Таким образом, актуальной является цель выпускной квалификационной работы – повышение производительности и качества восстановления чугунных прокатных валков за счёт применения отечественных разработок и технологий.

## **1 Современное состояние восстановления прокатных валков**

### **1.1 Сведения о конструкции и дефектов прокатных валков**

Валок прокатного стана, представленный на рисунке 1, предназначен для выполнения прокатки листов толщиной 8...25 мм из конструкционных сталей. Номинальный диаметр рабочей поверхности валка составляет 1000 мм. При работе валок подвергается действию циклических нагрузок. Во-первых, на валок оказывается термическое воздействие от прокатываемого в горячем состоянии металла. Во-вторых, на валок действуют значительные давления, изгибающие усилия и усилия кручения. Кроме того, прокатываемый металл проскальзывает относительно валка. Кроме описанных усилий на поверхности валка происходят окислительные процессы.

При работе валка в условиях действия описанных воздействий происходит его интенсивный износ, который проявляется себя в виде уменьшения диаметра рабочей части, появления на ней сетки трещин с последующим выкрашиванием, искажением формы рабочей поверхности в виде бочки или калибра. Основной причиной разрушений валка являются контактно-усталостные разрушения в его рабочем слое.

При текущем ремонте прокатного валка выполняют его переточку. Количество возможных переточек зависит от диаметра валка, толщины удаляемого слоя, глубины рабочего слоя и допуска. При глубине рабочего слоя в диапазоне 22...43 мм прокатный валок может быть переточен до 47 раз за всё время эксплуатации. В этом случае рабочий диаметр валка уменьшается с 1000 мм до 952 мм. Дальнейшие переточки валков становятся невозможными, и валок подлежит утилизации. Характер износа валка представлен на рисунке 2.

Для того, чтобы увеличить ресурс работы валка, следует восстановить его рабочий слой при помощи наплавки.

125 (✓)

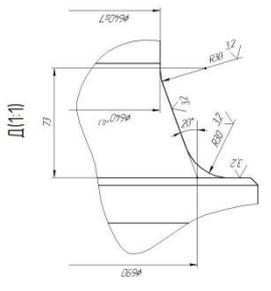
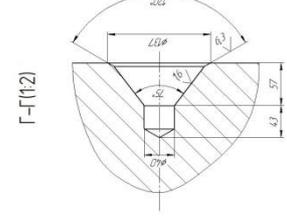
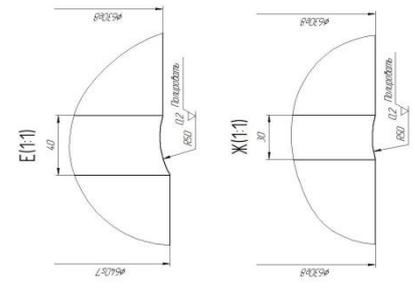
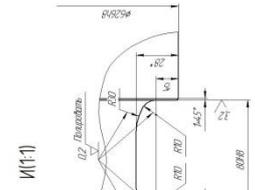
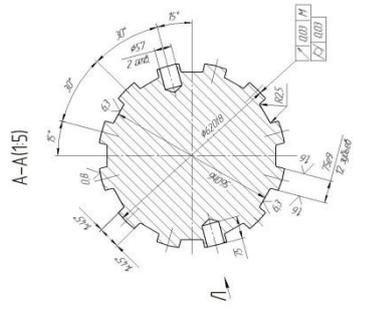
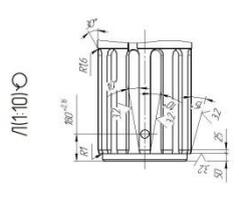
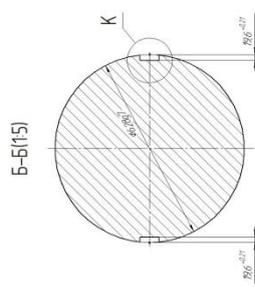
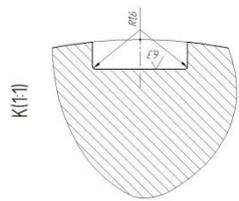
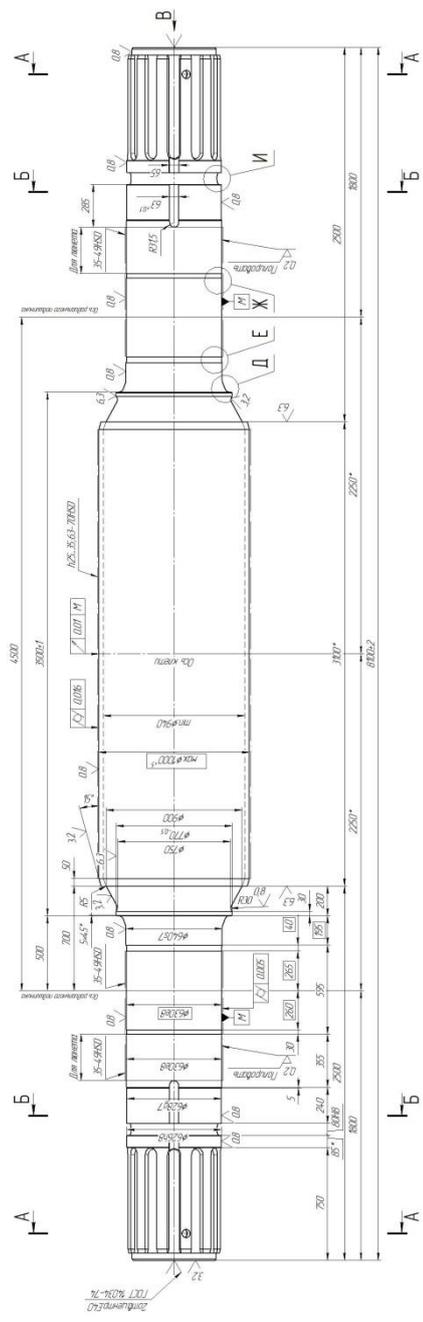
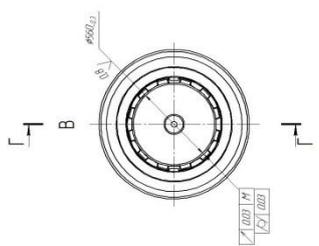


Рисунок 1 – Валок прокатный

## 1.2 Сведения о материале для изготовления прокатных валков

Для изготовления прокатного валка применяются валки из быстрорежущей стали и высокопрочных чугунов, свойства которых представлены в таблице 1.

В качестве чугунов могут использоваться высокопрочные чугуны с содержанием хрома 15...30 %, которые получили значительное распространение в различных отраслях промышленности [7], [8], [28]. В случае, если обеспечить оптимальную структуру высокохромистого чугуна, он становится естественным композитом, который обладает необходимым сопротивлением изнашиванию [13].

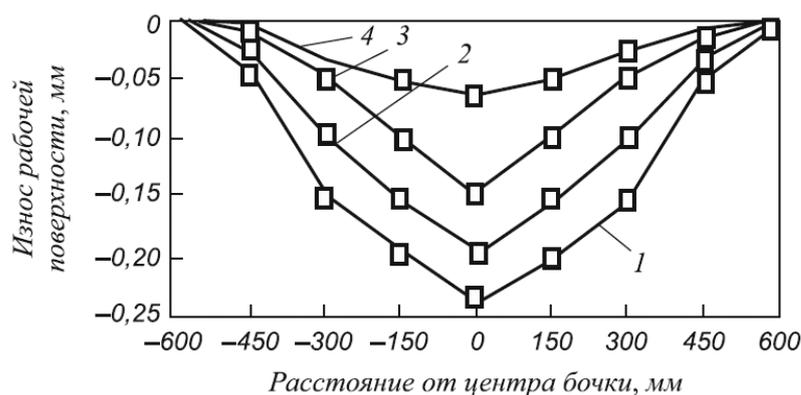
Преимущество высокопрочных чугунов объясняется наличием в них большого количества карбидов хрома, которые обладают высокой твёрдостью. Но из-за этого затрудняется и делается практически невозможным проведение ремонта деталей из высокопрочных чугунов. Главной причиной затруднений при сварке и наплавке является образование трещин. Самые благоприятные условия, при которых происходит формирование наплавленного металла без трещин, создаются при проведении электрошлаковой наплавки. Поэтому, как показывает практика, несмотря на сложность наплавки чугунов, это можно сделать [14], [15], [24].

Порядка 70 % прокатных валков в мире составляют чугунные валки. В качестве главного недостатка таких валков следует отметить низкую конструкционную прочность, что делает невозможным их применение в черновых клетях станов, в которых обработка заготовок происходит со значительной степенью обжатия.

Проведённые исследования в области стойкости валков из различных конструкционных материалов [1], [4] показали, что чугунные валки обладают самыми низкими эксплуатационными свойствами. Наибольшую эффективность применения позволяют получать бандажированные валки.

Таблица 1 – Физические и механические свойства конструкционных материалов, используемых для изготовления прокатных валков [15, 16]

Материал валка	Отбелённый чугун	Высокохромистый чугун	Высокохромистая сталь	Быстрорежущая сталь	Бандажированные валки
Коэффициент Пуансона	0,32	0,30	0,28	0,27	0,23
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	27,0	20,0	26,8	25,5	28,6
Модуль упругости, МПа	19000	20000	20000	23500	25000
Коэффициент линейного расширения, $10^{-6}/\text{К}$	12,0	13,5	13,8	14,0	12,4
Предел прочности, МПа	450	620	720	960	850
Фактор качества /износостойкость	3623/1,0	3913/1,7	5033/1...2	5567/3...7	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 2 – Характер износа рабочей поверхности прокатного валка при его изготовлении из различных материалов

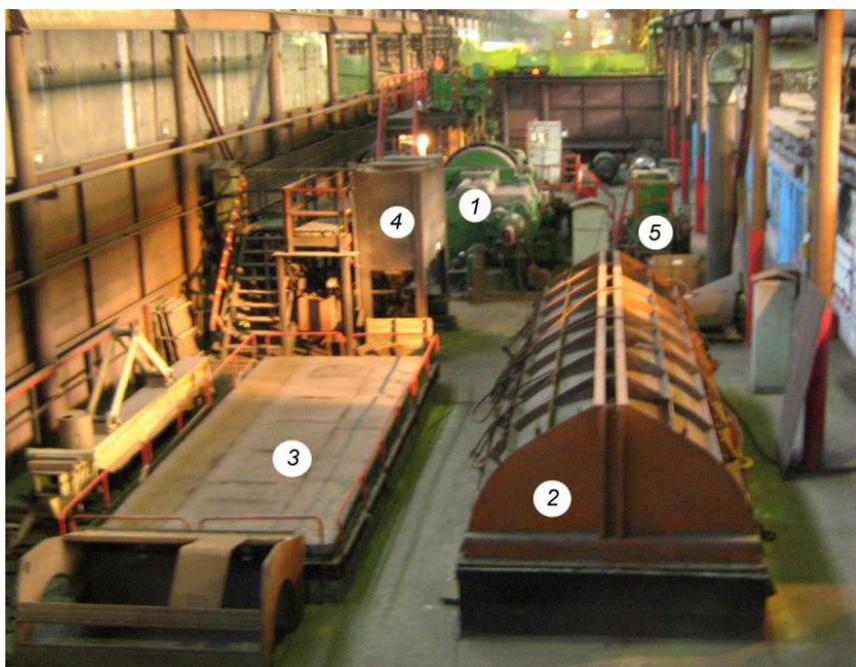
Таблица 2 – Содержание химических элементов в чугунных прокатных валках в зависимости от структуры рабочего (отбелённого) слоя

Структура рабочего слоя	C	Si	Mn	Cr	Ni
Перлитно-цементитная	2,8...3,8	0,2...0,8	0,3...0,9	<0,4	-
Перлитно-цементитная	3,0...3,6	0,5...0,9	0,4...0,8	0,2...0,4	-
Сорбидо-цементитная	2,8...3,8	0,2...0,9	0,4...1,0	0,5...1,0	1,6...2,0
Тростито-цементитная	2,8...3,8	0,2...0,8	0,4...1,0	0,4...1,0	2,0...3,0
Мартенситная	2,8...3,8	0,1...0,7	0,4...1,0	0,5...1,0	3,5...4,5

Содержание химических элементов в валках с отбелённым рабочим слоем представлено в таблице 2. Основным легирующим элементом чугуна является углерод, по содержанию которого чугуны разделяются на чугуны с пониженным содержанием углерода (2,8...3,2 % углерода), средним содержанием углерода (3,2...3,6 % углерода) и повышенным содержанием углерода (3,6...3,8 % углерода).

### **1.3 Сведения о базовой технологии восстановительной наплавки валков**

Базовая технология восстановительной наплавки прокатных валков предполагает применение автоматической наплавки под флюсом. Участок для проведения восстановительной наплавки по базовой технологии представлен на рисунке 3.



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 3 – Участок для осуществления базовой технологии восстановления прокатных валков**

Правильность выполнения технологических операций процесса восстановительной наплавки прокатных валков определяет возможность получения валков с заданными параметрами и технологическими свойствами. При этом на качество наплавленного слоя и его износостойкость кроме основной операции (наплавка) оказывают существенное влияние подготовительные операции.

Для проведения восстановительной наплавки валков необходимо предварительно выполнить неразрушающий ультразвуковой контроль и проверку капиллярно-цветным методом. Проверяют состояние шеек, бочки и галтельных переходов «бочка-шейка». Контроль предназначен для выявления кольцевых и радиальных трещин, которые могут возникнуть при эксплуатации валка под усталостно-силовым воздействием.

Следует добиваться полного износа наплавленного слоя валка, поэтому проводят его периодическую переточку, пока наплавленный слой не сточится. Толщина наплавленного слоя составляет 20...25 мм. После проточки, если наплавленный слой на рабочей поверхности остался, валок может быть снова использован до следующей переточки.

Перед проведением восстановительной наплавки следует провести токарную операцию, заключающуюся в обточке валка. Обточку валка выполняют до полного удаления дефектов поверхности. Обточку ведут на многофункциональном токарном станке GGTRONIC, который представлен на рисунке 4.



Рисунок 4 – Обточка поверхности прокатного валка

После обточка валка проводят его нагрев в печи до температуры 150...270 °С. Скорость нагрева должна быть не больше 25 °С /час. Если предполагается наплавка валков по поверхности бочки и шеек, то нагрев ведут всего валка в электрической печи. Если предполагается проведение наплавки только бочки, то нагрев осуществляют в газовой печи, направляя пламя на бочку.

После предварительного нагрева выполняют автоматическую наплавку под флюсом. В качестве флюса используется АН-27, позволяющий получать наплавленный слой отбелённого чугуна. Электродом служит чугунная лента, которая имеет ширину 20...70 мм и толщину 0,6...1,2 мм.

Содержание химических элементов в флюсе АН-27 представлено в таблице 3. Содержание химических элементов в наплавочной ленте представлено в таблице 4.

Параметры режима автоматической наплавки под флюсом представлены в таблице 5.

Таблица 3 – Состав флюса АН-27

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

Таблица 4 – Состав наплавочной ленты

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

Таблица 5 – Параметры режима автоматической наплавки под флюсом в зависимости от ширины присадочной ленты

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

При наплавке может быть использован как переменный ток, так и постоянный ток. Скорость наплавки составляет 9...16 м/ч, напряжение на дуге составляет 18...20 В. При наплавке электродной лентой достигается коэффициент наплавки 10...18 г/А·ч. Геометрическими параметрами наплавленного валика являются его толщина, ширина и степень перекрытия двух рядом лежащих валиков. В зависимости от требуемой геометрии наплавленных валиков корректируется скорость наплавки и шаг наплавки.

Для выполнения наплавки используется установка, представленная на рисунке 5. В состав установки входит автомат А-874Н. Самоходная тележка имеет возможность поступательного перемещения по рельсовому пути, который располагается в верхней части установки. Источником питания дуги служит сварочный выпрямитель ВДУ-506.

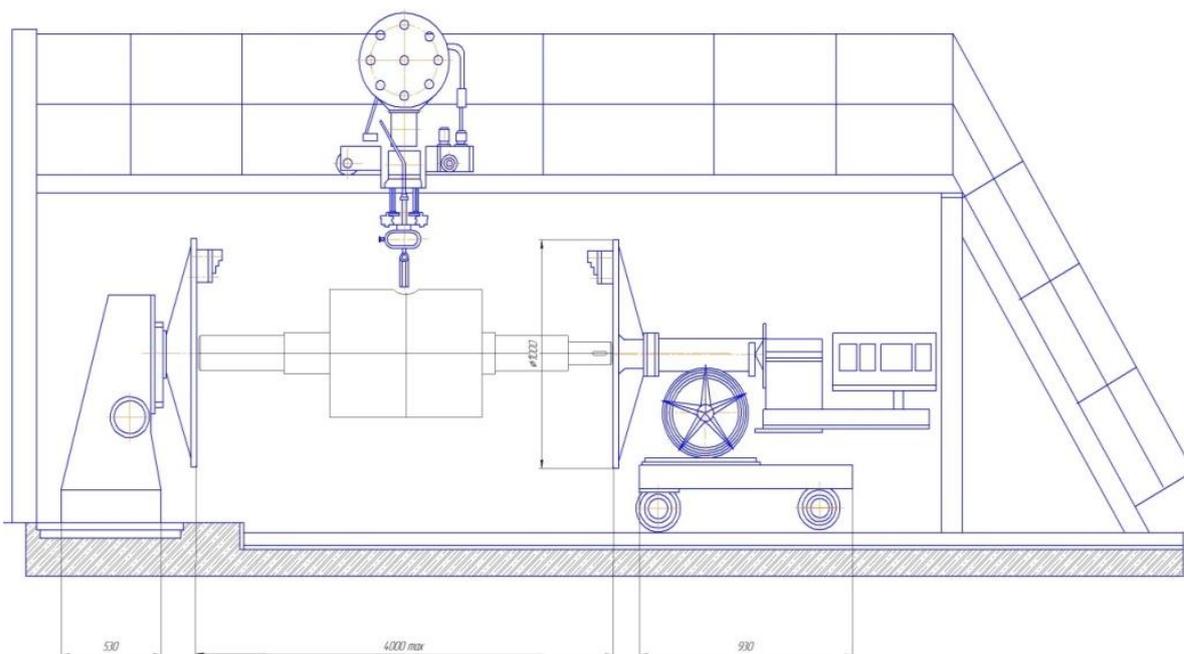


Рисунок 5 – Установка для автоматической наплавки под флюсом

При восстановлении шеек и опорных валков наплавку проводят на максимальном расстоянии от зоны галтельного перехода. Это позволяет уменьшить размеры зоны термического влияния. Не допускается подплавление в зоне галтельного перехода валика. Повторную наплавку шеек

валков допускается проводить только после выполнения неразрушающего контроля и учёта суммарной наработки вала.

Критериями качества восстановительной наплавки вала являются:

- отсутствие недопустимых поверхностных дефектов, к которым относят трещины, газовые пузыри, поры, шлаковые включения;
- твёрдость наплавленной поверхности на уровне твердости рабочего слоя нового вала.

После наплавки вала проводят его термическую обработку. Температура нагрева вала составляет 600...650 °С.

Для того, чтобы исключить образование остаточных напряжений в наплавленном слое, скорость охлаждения вала после нагрева должна быть не более 25 °С/ч. В тёплое время года скорость охлаждения в печи составляет порядка 3...4 °С/ч.

Выдержка вала в нагретой печи составляет 30...45 часов, при этом время выдержки определяется через коэффициент 3,0...3,5 на каждые 100 мм диаметра вала. После извлечения из печи температура вала должна быть не более 80 °С.

После выемки из термопечи валок помещают в термостат на 3...5 суток, где он вылёживается. После выемки вала из термостата его температура должна быть не более 25 °С.

#### **1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы**

В настоящей выпускной квалификационной работе поставлена цель – повышение производительности и качества восстановления чугунных прокатных валков за счёт применения отечественных разработок и технологий.

В процессе эксплуатации прокатные валки подвергаются разнообразному циклическому воздействию. Во-первых, происходит нагрев вала от прокатываемого металла и охлаждение его водой. Во-вторых, валок подвергается ударным воздействиям, напряжениям изгиба и кручения. В

третьих, происходит постоянное проскальзывание металла в валках. Под действием высокой температуры, давления и охлаждающей воды на поверхности валков происходят коррозионные процессы. Искажается форма рабочей поверхности валков, на его поверхности образуется сетка трещин, которая приводит в дальнейшем к выкрашиванию валка.

При осуществлении базовой технологии восстановления прокатного валка применяется автоматическая наплавка под флюсом с применением ленточного электрода, которая доказала свою эффективность в течении многолетнего применения.

Однако базовая технология имеет множество недостатков, которые начинают себя усиленно проявлять в свете происходящих общественно-политических и экономических процессов и сдвигов.

Главным недостатком является сложность производства легированной присадочной ленты. Это достаточно дорогостоящий и трудоёмкий процесс, поскольку для производства легированной ленты используется множество операций: выплавка стальной заготовки, прокатка заготовки в лист, термическая обработка полуфабриката, нарезка получившегося листа на заготовки размером  $145 \times 1080$  мм и толщиной 3,2 мм. Далее следует прокатка в полосу толщиной 1 мм за два переката и три отжига [22].

Описанные выше операции делают базовый технологический процесс восстановительной наплавки валков крайне неэффективным.

Исходя из результатов анализа состояния вопроса, который выполнен в аналитическом разделе, следует сформулировать задачи выпускной квалификационной работы:

- обосновать выбор способа восстановительной наплавки прокатных валков;
- предусмотреть мероприятия по повышению эффективности выбранного способа восстановительной наплавки прокатных валков;
- составить проектную технологию восстановительной наплавки прокатных валков.

## **2 Составление проектной технологии восстановительной наплавки прокатных валков**

### **2.1 Обоснование выбора способа восстановительной наплавки чугунного прокатного валка**

Самым распространенным способом восстановительной наплавки крупногабаритных деталей машин является автоматическая наплавка под флюсом. Этот способ доказал свою эффективность при восстановлении чугунных прокатных валков [26].

По сравнению с ручной дуговой наплавкой штучными электродами наплавка под слоем флюса позволяет повысить плотность тока в 10 раз, т.е. достигается значение плотности тока 150...200 А/мм<sup>2</sup>. В результате делается возможным повышение мощности сварочной дуги, при этом не происходит перегрева электрода. Наблюдаемое повышение производительности наплавки в этом случае составляет 500...700 %.

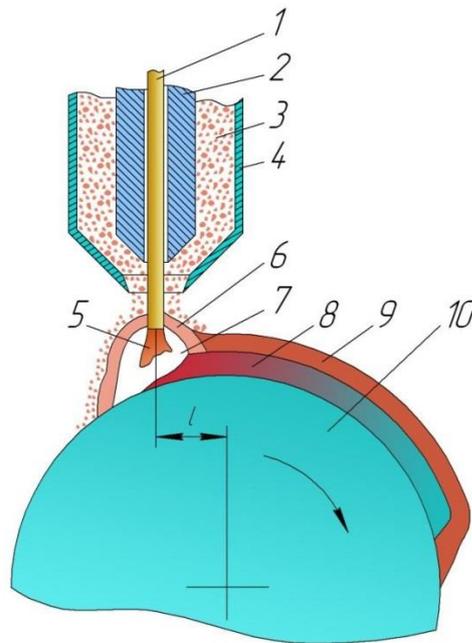
При горении дуги в процессе автоматической наплавки под флюсом значительно уменьшается теплообмен с внешней средой, что повышает коэффициент расплавления присадочного материала и снижает расход электрической энергии с 6...8 кВт·ч/кг, как при ручной дуговой наплавке, до 3...5 кВт·ч/кг. Улучшенная защита сварочной ванны от действия азота и кислорода окружающего воздуха улучшает качество формирования наплавленного слоя. При автоматической наплавке под флюсом содержание азота в наплавленном слое по сравнению с ручной дуговой наплавкой меньше в 3 раза, а кислорода – в 20 раз.

Кроме того, следует отметить значительное уменьшение разбрызгивания электродного металла. С учётом отсутствия потерь на огарки расход электродного металла при автоматической наплавке под флюсом по сравнению с ручной дуговой наплавкой снижается в 10 раз.

Схема проведения автоматической наплавки под флюсом представлена на рисунке 6. «Сварочная дуга 5 возбуждается между деталью 10 и концом электродной проволоки 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» [25].

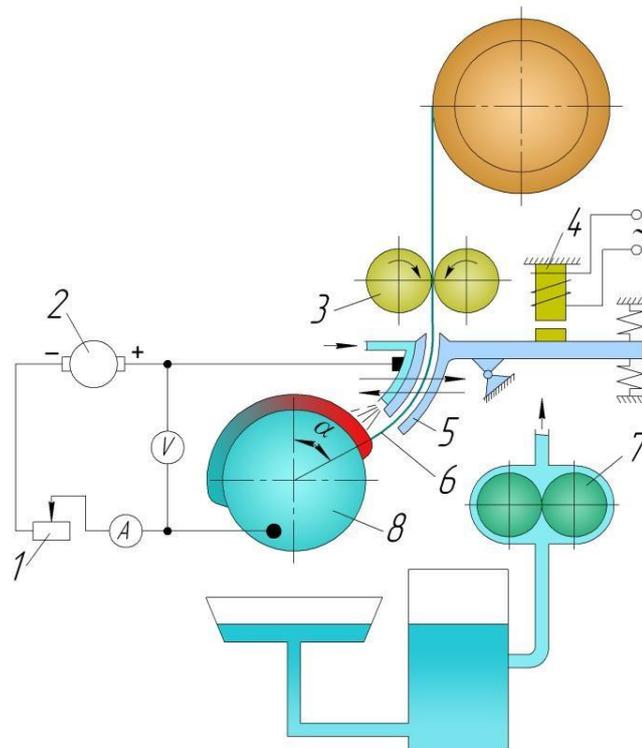
Более устойчивое горение дуги при автоматической наплавке под флюсом обеспечивается при использовании постоянного тока, хотя, можно выполнять наплавку и на переменном токе. При применении постоянного тока обратной полярности (на восстанавливаемой детали – отрицательный потенциал, на присадочной проволоке - положительный) наблюдается высокая стабильность формирования наплавленного слоя и снижение нагрева основного металла восстанавливаемой детали.

Для восстановления массивных деталей машин широко применяется вибродуговая наплавка, схема выполнения которой представлена на рисунке 7. Для выполнения наплавки применяют постоянный ток обратной полярности, напряжение на дуге – 12...20 В, плотность тока – 50...70 А/мм<sup>2</sup>.



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 6 – Схема автоматической наплавки под слоем флюса



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 7 - Принципиальная схема установки для вибродуговой наплавки

В качестве источника питания при вибродуговой наплавке применяется сварочный выпрямитель 2, который имеет жёсткую внешнюю характеристику. При помощи дросселя 1 повышают индуктивность сварочной цепи и стабилизируют величину тока наплавки.

Схема вибродуговой наплавки, представленная на рисунке 7, включает в себя механизм подачи 3, который предназначен для подачи с заданной скоростью электродной проволоки. Мундштук 5 под действием электромеханического вибратора 4 совершает возвратно-поступательные движения, колебания мундштука происходят с частотой 100...120 Гц.

Следует отметить преимущества вибродуговой наплавки, которые позволяют эффективно использовать этот процесс при восстановлении крупногабаритных деталей машин.

Во-первых, наплавленный слой характеризуется неоднородностью по структуре металла и твёрдости. Это приводит к тому, что ответственные детали машин, которые работают в условиях знакопеременных нагрузок, восстанавливают с применением вибродуговой наплавки более ограничено, чем это могло бы быть с учётом производительности и эффективности этого способа восстановления.

Вторым недостатком является снижение ударной прочности восстановленных деталей до 60 % от новых деталей.

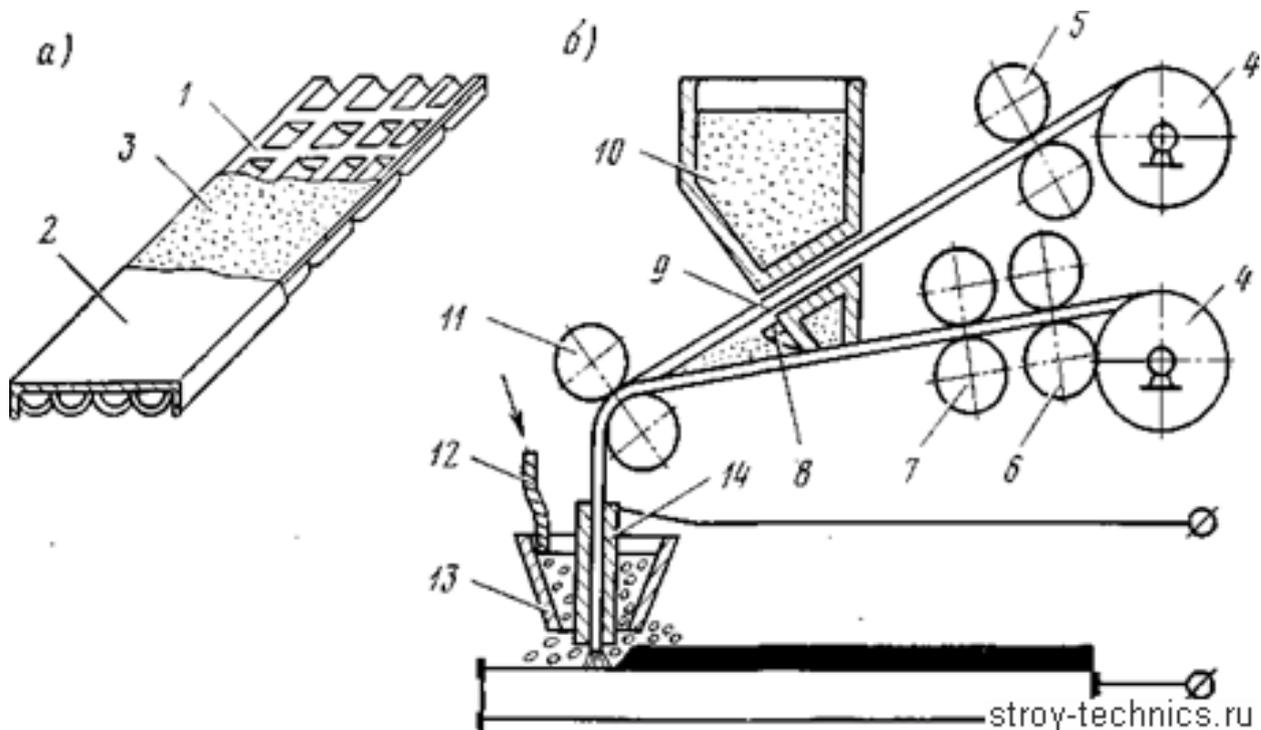
В третьих, следует отметить, что производительность вибродуговой наплавки существенно ниже, чем производительность автоматической наплавки под флюсом.

Четвертым недостатком вибродуговой наплавки следует признать существенные потери на угар и разбрызгивание, которые достигают 6...8 %.

Ещё одним производительным способом восстановления крупногабаритных деталей машин является наплавка порошковой проволокой и порошковой лентой, схема выполнения которой представлена на рисунке 8.

Ведущие европейские производители сварочных материалов «Castolin» (Швейцария), «Buller», «Durum» (Германия), «Welding Alloys»

(Великобритания) предлагают потребителю порошок проволоки для восстановления деталей машин, предназначенных для работы в условиях интенсивного изнашивания. Эти проволоки позволяют получать на поверхности восстанавливаемых деталей структуру высокохромистых чугунов со степенью легирования до 40 % и даже выше.



- 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 8 – Схема наплавки порошковой лентой

Производство порошковых проволок крайне затруднительно, для производительной наплавки предлагается применять порошковые ленты, в которых коэффициент заполнения составляет 60...70 %, в то время, как у порошковой проволоки коэффициент заполнения составляет не более 40 % [6].

Типоразмер порошковой ленты определяется габаритами восстанавливаемой детали и применяемой схемой наплавки. Наплавку можно выполнять в одни, два или большее количество слоёв. Также наплавка может выполняться одиночными валиками или быть широкослойной. Возможно

регулирование величины колебаний в диапазоне 50...400 мм. Величина тока наплавки варьируется в диапазоне от 300 до 1200 А, напряжение на дуге составляет 25...38 В, скорость перемещения электрода при наплавке составляет 5...100 м/ч.

Увеличение производительности возможно при проведении двухдуговой наплавки и многодуговой наплавки, которая выполняется с применением специализированного оборудования. При использовании однодуговой наплавки за один проход возможна наплавка металла толщиной 2...8 мм, при этом производительность наплавки составляет 25...30 кг/час.

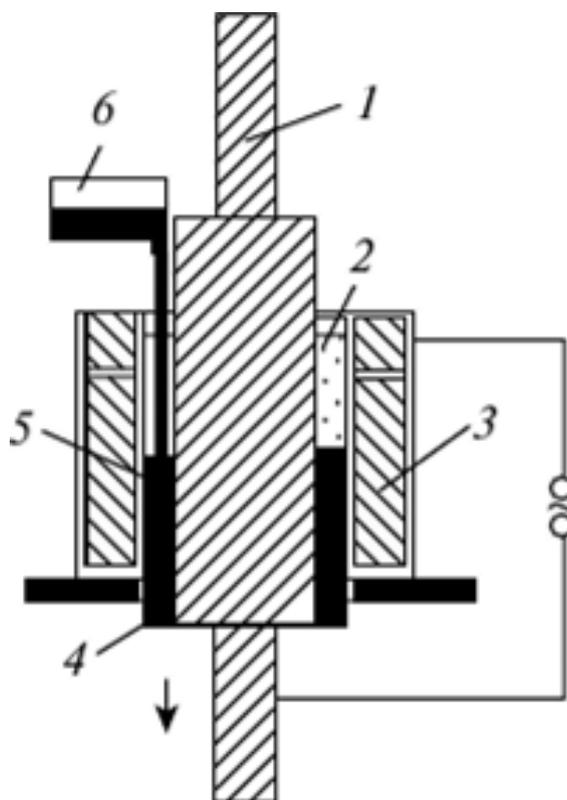
При массе наплавленного металла 1 кг расходуется 1,1...1,2 кг порошковой ленты, если в порошке-наполнителе присутствуют легкоиспаряющиеся компоненты, и 1,2...1,35 кг – при присутствии в порошке-наполнителе минеральных компонентов [12].

Наплавку порошковыми лентами можно вести с применением серийно выпускаемой аппаратуры, которую необходимо доукомплектовать подающими роликами и специальными мундштуками, которые должны обеспечить подачу в зону сварки электродного материала. В качестве примера можно привести аппарат АД-231, применение которого описано в работе [11].

Одним из самых эффективных способов восстановления массивных деталей машин является электрошлаковая наплавка, схема выполнения которой представлена на рисунке 9.

При электрошлаковом процессе источником нагрева является ток, который проходит через электропроводный флюс. Под действием проходящего через него тока флюс расплавляется и нагревается до значительных температур, превращаясь в шлаковую ванну. При наплавке присадочный металл подается в шлаковую ванну, плавится и очищается от примесей. Эффективность процесса электрошлаковой наплавки определяется составом шлака. Под действием конвективных потоков шлаковая ванна находится в непрерывном движении со значительной скоростью. Благодаря тому, что расплавленный шлак обладает высокой рафинирующей

способностью, происходит уменьшение содержания в металле вредных примесей, значительно повышается качество наплавленного слоя.



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

Рисунок 9 – Схема процесса электрошлаковой наплавки валка

Использование токоподводящего кристаллизатора позволяет улучшить условия проведения электрошлаковой наплавки, использовать дискретную присадку в виде чугуной дроби и чугуной стружки [20], [21].

На основании анализа преимуществ и недостатков рассмотренных способов восстановления крупногабаритных деталей машин принимаем решение о построении проектной технологии на базе электрошлаковой наплавки.

Далее следует выбрать присадочный материал, назначить параметры режима наплавки и составить карту технологического процесса.

## 2.2 Выбор наплавочного материала

Одним из расходных материалов, которые применяются при восстановительной электрошлаковой наплавке, является флюс, который имеет определяющее влияние на качество наплавленного слоя.

Как показывает практика восстановительной наплавки прокатных валков, сцепление рабочего слоя с основной обеспечивается при использовании промежуточного слоя. Промежуточный слой выполняется с использованием флюса АЕ-348А и присадочных проволок Св-08, Св-19ХГСА или проволоки НП-30ХГСА. При наплавке валков с содержанием углерода более 0,6 % применение подслоя обязательно, в противном случае не удаётся обеспечить качественного сцепления рабочего слоя с основным материалом валка [22], [25].

Основным компонентом флюса является фтористый кальций, который в расплавленном состоянии позволяет выполнять стабильную наплавку. Для увеличения электрического сопротивления флюса в него вводят такие элементы, как Са, Al, Mg, которые также служат для удаления серы из расплавленного металла.

Рабочий слой из хромистого чугуна или хромоникелевого чугуна наплавляется с применением флюсов АНФ-14, АН-75, АНФ-29, АНФ-28Н [21]. Содержание химических веществ в различных флюсах приведено в таблице 6.

Флюс АНФ-14 относится к оксидно-фторидным флюсам, его применение возможно при использовании в качестве присадочного материала при электрошлаковой наплавке чугуновой дроби. Однако, из-за частого получения шлаковых включений на границе основного и наплавленного металла этот флюс не нашёл широкого применения [18].

Флюса АН-75 является модифицированной версией флюса АНФ-14, полученной за счёт дополнительного введения MnO в количестве 5...7 %. При электрошлаковой наплавке с применением в качестве присадки чугуновой дроби этот флюс обеспечивает хорошее сплавление наплавленного слоя с

основным металлом. Однако наплавка с применением стальной дроби приводит к существенным дефектам в виде нерасплавленных частиц флюса наплавленном слое.

Таблица 6 – Химический состав флюсов для электрошлаковой наплавки прокатных валков [21]

«Марка флюса	Содержание химических веществ, %					
	CaF <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	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» [21]

При использовании флюсов АН-29 и АНФ-32 обеспечивается высокое качество наплавленного слоя в широком диапазоне параметров наплавки. Эти флюсы нашли самое широкое применение в промышленности.

Для наплавки быстрорежущих сталей может быть использован флюс АНФ-94. Но в промышленности он широкого применения не нашёл [18].

При электрошлаковой наплавке возможно применение различных присадочных материалов: проволоки и ленты различного сечения, дискретные материалы (гранулы, стружка, дробь, порошок и т.д.), жидкая присадка.

Наиболее перспективным следует считать применение дискретной присадки [19]. Подаваемые в шлак частицы дискретной присадки, расплавляются, очищаются от содержащихся в них вредных примесей, поступают в металлическую ванну в расплавленном или оплавленном виде. Далее частицы дискретной присадки кристаллизуются на поверхности восстанавливаемой детали. Правильный выбор размеров частиц дискретной присадки позволяет получить в кристаллизующемся жидком металле большое число центров кристаллизации, что позволяет обеспечить получение мелкозернистой и равноосной структуры наплавленного слоя.

Самым распространённым видом дискретной присадки является чугунная дробь, в основном применяется дробь из хромоникелевого или высокохромистого чугуна, представленная на рисунке 10.

Также дискретный присадочный материал при электрошлаковой наплавке может быть представлен в виде стружки, как показано на рисунке 11, которая может быть получена при сверлении и токарной обработке. Однако, применение стружки в качестве присадочного материала затруднено наличием на её поверхности большого количества смазочно-охлаждающей жидкости. Также следует принимать во внимание трудности организации сборки на предприятии стружки одного определённого химического состава.

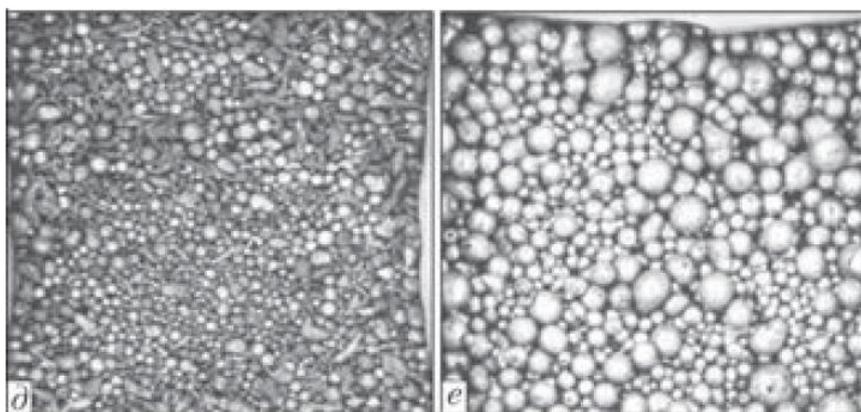


Рисунок 10 – Дробь, применяемая в качестве дискретной присадки при электрошлаковой наплавке: хромистого (а) и хромоникелевого (б) чугуна

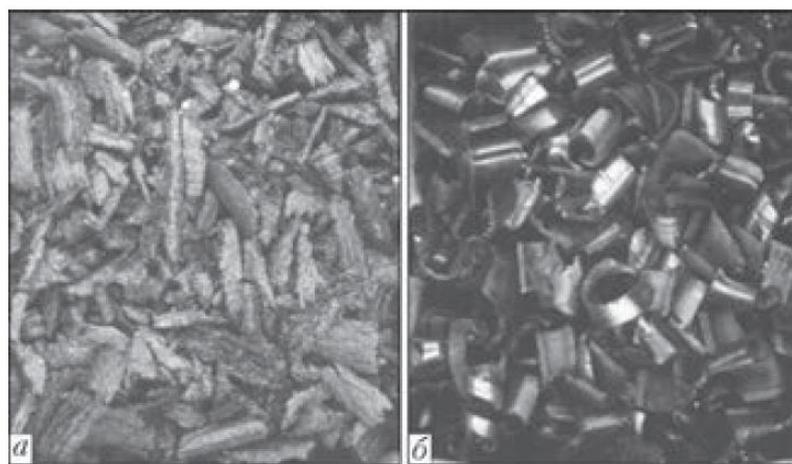


Рисунок 11 – Стружка, применяемая в качестве дискретной присадки при электрошлаковой наплавке: стружка серого чугуна (а) и стружка стали Р6М5 (б)

## **2.3 Проектный технологический процесс наплавки прокатного вала**

Перед выполнением наплавки поверхность прокатного вала следует механически обработать. В процессе токарной обработки следует полностью удалить дефекты рабочего слоя.

Далее выполняют предварительный подогрев прокатного вала. Параметры нагрева зависят от размеров и типа вала. Предварительный подогрев необходим для предотвращения образования остаточных напряжений в наплавленном слое и трещин. Также при подогреве улучшается сцепляемость наплавленного слоя с основой, обеспечивается оптимальная структура переходного слоя.

После выполнения наплавки вала следует термически обработать.

Технологический процесс электрошлаковой наплавки чугунных прокатных валков с применением дискретной присадки в виде дроби включает:

- визуальный «осмотр изношенных валков и их механическая обработка до необходимого диаметра;
- подогрев вала под наплавку в шахтной печи до температуры 500...600 °С;
- установка нагретого вала на поддоне соосно с кристаллизатором;
- наведение шлакового процесса и непосредственно наплавка вала;
- замедленное охлаждение наплавленного вала в печи;
- визуальный контроль наплавленного вала, механическая обработка и ультразвуковой контроль» [19].

Восстановительную наплавку можно выполнять только тех валков, которые прошли неразрушающий ультразвуковой контроль и проверку капиллярно-цветным методом. Проверяют состояние шеек, бочки и галтельных переходов «бочка-шейка». Контроль предназначен для выявления

кольцевых и радиальных трещин, которые могут возникнуть при эксплуатации валка под усталостно-силовым воздействием.

Перед проведением восстановительной наплавки следует провести токарную операцию, заключающуюся в обточке валка. Обточку валка выполняют до полного удаления дефектов поверхности. Обточку ведут на многофункциональном токарном станке GGTRONIC, который представлен на рисунке 4. Обточку бочки ведут до 0,9...0,95 от номинального диаметра валка, что позволяет получить наплавленный слой толщиной не менее 30 мм. При толщине наплавляемого слоя менее 30 мм стабильность электрошлаковой наплавки снижается.

После обточки валка проводят его нагрев в печи до температуры 150...270 °С. Скорость нагрева должна быть не больше 25 °С /час. Если предполагается наплавка валков по поверхности бочки и шеек, то нагрев ведут всего валка в электрической печи. Если предполагается проведение наплавки только бочки, то нагрев осуществляют в газовой печи, направляя пламя на бочку.

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» [27].



Рисунок 12 – Электрошлаковая наплавка валков с применением одновременно четырёх дозаторов

После того, как выполнена наплавка, прокатный валок следует выдержать в кристаллизаторе в течение 20...30 минут. Далее следует поднять валок за верхнюю шейку и перенести его на участок термической обработки.

После наплавки валка проводят его термическую обработку. Температура нагрева валка составляет 600...650 °С.

Для того, чтобы исключить образование остаточных напряжений в наплавленном слое, скорость охлаждения валка после нагрева должна быть не

более 25 °С/ч. В тёплое время года скорость охлаждения в печи составляет порядка 3...4 °С/ч.

Выдержка валка в нагретой печи составляет 30...45 часов, при этом время выдержки определяется через коэффициент 3,0...3,5 на каждые 100 мм диаметра валка. После извлечения из печи температура валка должна быть не более 80 °С.

После выемки из термопечи валок помещают в термостат на 3...5 суток, где он вылёживается. После выемки валка из термостата его температура должна быть не более 25 °С.

#### Выводы по второму разделу

В работе поставлена цель – повышение производительности и качества восстановления чугуновых прокатных валков за счёт применения отечественных разработок и технологий.

В ходе выполнения исполнительского раздела выпускной квалификационной работы были решены следующие задачи:

- обосновать выбор способа восстановительной наплавки прокатных валков;
- предусмотреть мероприятия по повышению эффективности выбранного способа восстановительной наплавки прокатных валков;
- составить проектную технологию восстановительной наплавки прокатных валков.

Для достижения поставленной цели необходимо идентифицировать опасные и вредные производственные факторы, предложить меры по их устранению [9].

Также необходимо провести экономические расчёты, доказывающие эффективность внедрения результатов выпускной квалификационной работы в массовое производство [10], [16].

### **3 Безопасность и экологичность технического объекта**

#### **3.1 Технологическая характеристика объекта**

В настоящей выпускной квалификационной работе составлена проектная технология ремонтной наплавки поверхности прокатных валков.

Наплавка валков по базовой технологии выполняется ленточным электродом под флюсом. Проектная технология предусматривает применение электрошлаковой наплавки дискретной присадкой.

Проектный технологический процесс существенно отличается от базового процесса восстановления рабочей поверхности вала. Во-первых, изменились операции согласно карте технологического процесса. Во-вторых, используется оборудование, отличное от оборудования для осуществления базового процесса. В-третьих, изменены параметры режима наплавки. Изменение технологического процесса по сравнению с базовым процессом сварки может привести к возникновению новых опасных и вредных производственных факторов, которые скажутся негативно на здоровье персонала и состоянии окружающей среды.

В связи с этим необходимо провести исследования особенностей осуществления проектного технологического процесса, направленные на идентификацию опасных и вредных производственных факторов. Идентификация опасных и вредных производственных факторов, в свою очередь, позволит предложить технологические и организационные мероприятия для устранения негативного влияния этих факторов или уменьшения их влияния до допустимого уровня.

Кроме того, повышение экологической ответственности производственных предприятий делает необходимым проведение дополнительных технологических и организационных мероприятий, направленных на снижение негативного воздействия производств на окружающую среду (атмосферу, гидросферу и литосферу).

Таблица 7 – Технологически паспорт объекта

Наименование операции технологического процесса	Наименование должности работника, выполняющего данную операцию	Технологическое оборудование, применяемое для выполнения операции	Вспомогательные материалы и вещества, применяемые на операции
- «токарная обработка	Токарь-фрезеровщик	Токарный станок	Охлаждающая эмульсия, вода техническая
- предварительный подогрев	Электросварщик	Установка подогрева и термической обработки валков, кран	-
- наплавка	Электросварщик	Установка наплавки валков, вибродозаторы	Флюс, дробь чугунная
- термическая обработка	Электросварщик	Установка подогрева и термической обработки валков, кран	
- контроль качества» [3], [25]	Дефектоскопист	Дефектоскоп	Кисть, масло

Анализ данных в таблице 7 позволяет в дальнейшем провести идентификацию опасных и вредных производственных факторов, которые возникают при реализации проектной технологии.

### 3.2 Идентификация профессиональных рисков

Проведение идентификации профессиональных рисков при реализации проектной технологии делает необходимым выявление и анализ опасных и вредных производственных факторов. Эксплуатация технологического оборудования приводит к возникновению опасных и вредных производственных факторов, которые для удобства сведены в таблицу 8. Эти факторы приводят к возникновению производственных травм и развитию у работников профессиональных заболеваний.

Таблица 8 – Идентификация профессиональных рисков при реализации проектной технологии

Наименование операции технологического процесса	Опасный или вредный производственный фактор, являющийся причиной возникновения профессионального риска	Оборудование или иные объекты, становящиеся причиной возникновения опасного или вредного производственного фактора
- токарная обработка	- наличие на инструментах и деталях острых кромок и режущих заусенцев; - опасность прохождения через человека повышенных значений электрического тока; - механические взаимодействие с массивными движущимися частями технологического оборудования	Токарный станок
- предварительный подогрев	- наличие на инструментах и деталях острых кромок и режущих заусенцев; - опасность прохождения через человека повышенных значений электрического тока; - механические взаимодействие с массивными движущимися частями технологического оборудования; - нагрев поверхности деталей до высоких температур; - инфракрасное излучение	Установка подогрева и термической обработки валков, кран
- наплавка	- наличие на инструментах и деталях острых кромок и режущих заусенцев; - опасность прохождения через человека повышенных значений электрического тока; - механические взаимодействие с массивными движущимися частями технологического оборудования; - нагрев поверхности деталей до высоких температур; - инфракрасное излучение; - превышение уровня загрязнения воздуха рабочей зоны по пыли и газам	Установка наплавки валков, вибродозаторы
- термическая обработка	- наличие на инструментах и деталях острых кромок и режущих заусенцев; - опасность прохождения через человека повышенных значений электрического тока; - механические взаимодействие с массивными движущимися частями технологического оборудования; - нагрев поверхности деталей до высоких температур; - инфракрасное излучение	Установка подогрева и термической обработки валков, кран
- контроль качества	- наличие на инструментах и деталях острых кромок и режущих заусенцев; - превышение уровня загрязнения воздуха рабочей зоны по пыли и газам; - опасность прохождения через человека повышенных значений электрического тока - ультразвуковое излучение	Дефектоскоп

### 3.3 Предлагаемые технологические и организационные мероприятия для снижения профессиональных рисков

Таблица 9 – Технологические и организационные мероприятия по снижению профессиональных рисков

Опасный или вредный производственный фактор, являющийся причиной возникновения профессионального риска	Наименование технологического или организационного мероприятия по снижению профессиональных рисков	Применяемые средства индивидуальной защиты
- наличие на инструментах и деталях острых кромок и режущих заусенцев	- оснащение оборудования, ограждения и конструкций соответствующими предупреждающими табличками и плакатами; - периодический инструктаж работников о необходимости соблюдения производственной безопасности	спецодежда
- механические взаимодействия с массивными движущимися частями технологического оборудования	- монтаж ограждений для ограничения попаданий работников в опасную зону, где они могут столкнуться с движущимися частями оборудования; - оснащение оборудования, ограждения и конструкций соответствующими предупреждающими табличками и плакатами	спецодежда
- превышение уровня загрязнения воздуха рабочей зоны по пыли и газам	- организация местного удаления загрязнённого воздуха рабочей зоны; - устройство общеобменной вентиляции для поступления чистого воздуха в рабочую зону	средства индивидуальной защиты дыхательных путей
- опасность прохождения через человека повышенных значений электрического тока	- оснащение технологического оборудования защитным заземлением и устройствами защитного отключения; - периодический инструктаж работников о необходимости соблюдения производственной безопасности; - проведение периодических замеров сопротивления изоляции и заземления	спецодежда
- нагрев поверхности деталей до высоких температур	- периодический инструктаж работников о необходимости соблюдения производственной безопасности; - повышение уровня автоматизации основных и вспомогательных операций	спецодежда
- ультразвуковое излучение	- оснащение оборудования, ограждения и конструкций соответствующими предупреждающими табличками и плакатами; - ограничение длительности воздействия вредного фактора на персонал	спецодежда

Ранее была выполнена идентификация опасных и вредных производственных факторов, совокупное или раздельное действие которых приводит к возникновению профессиональных рисков.

Анализ этих факторов позволяет предложить для каждого из них стандартные технологические и организационные мероприятия, позволяющие устранить действие этих факторов или уменьшить их действие до приемлемого уровня.

Внедряемые на предприятии технологические и организационные мероприятия представлены в таблице 9. Как видно из этой таблицы, предлагаемые мероприятия имеют стандартное исполнение, разработка специализированных средств защиты не требуется.

Предлагаемые в работе меры позволяют значительно снизить травматизм персонала при выполнении проектной технологии. Также значительно уменьшается вероятность появления у персонала профессиональных заболеваний.

Следует учитывать, что после внедрения в производство предлагаемых в выпускной квалификационной работе технических решений не только возникнут опасные и вредные производственные факторы.

Производственное предприятие постоянно подвергается риску возникновения пожаров, которые могут причинить вред работникам и имуществу предприятия. Кроме того, работа предприятия сопровождается отрицательным воздействием на окружающую среду, загрязнением атмосферы, гидросферы и литосферы.

Поэтому в следующей части экологического раздела следует рассмотреть мероприятия по обеспечению пожарной безопасности и экологической безопасности разрабатываемого технологического объекта.

### 3.4 Обеспечение пожарной безопасности

При реализации проектной технологии существует риск подвергания персонала и имущества предприятия опасным факторам пожара. Для того, чтобы предложить меры защиты от пожара, следует, во-первых, разработать мероприятия против возникновения пожара, во-вторых, предусмотреть средства для устранения пожара.

Идентификация опасных факторов при возникновении на предприятии пожара представлена в таблице 10. На основании анализа этих опасных факторов предложены технологические решения по обеспечению пожарной безопасности, представленные в таблице 11.

Таблица 10 – Определение класса пожара и идентификация опасных факторов

Обозначение производственного участка	Перечень имеющегося на участке оборудования	Классификация пожара по виду горящего вещества	Перечень опасных факторов, возникающих при пожаре	Перечень вторичных опасных факторов, возникающих при пожаре
Участок наплавки валков	Многоэлектродная сварочная машина, вспомогательное оборудование, масляная станция, компрессорная станция	«пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)» [9]	«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» [9].	«Короткие замыкания на оборудовании, запитанным высоким электрическим напряжением; действие на людей, находящихся в районе возгорания продуктов разложения составов, используемых для пожаротушения» [9].

Таблица 11 – Перечень технических средств, обеспечивающих пожарную безопасность

«Первичные средства пожаротушения	Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.	Мобильные средства пожаротушения	Специализированные расчеты (вызываются)	Стационарные установки системы пожаротушения	Нет необходимости	Средства пожарной автоматики	Нет необходимости	Пожарное оборудование	Пожарный кран	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	План эвакуации	Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Ведро конусное, лом, лопата штыковая	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.
														Кнопка оповещения» [9]

Таблица 12 – Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Наименование участка	Перечень мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Участок наплавки валков	«Инструктаж сотрудников производственного участка правилам предупреждения возгораний и действиям в случае возгорания, деловые игры с сотрудниками по тематике борьбы с пожарами» [9].	«На участке необходимо иметь первичные средства пожаротушения в достаточном количестве, должны быть защитные экраны, ограничивающие разлет искр» [9].

Для того, чтобы обеспечить защиту персонала и имущества предприятия от возможного пожара, предусмотрены мероприятия, перечисленные в таблице 12.

### 3.5 Обеспечение экологической безопасности производства

Таблица 13 – Негативные факторы, влияющие на окружающую среду, возникающие при реализации проектного технологического процесса

Наименование технологического процесса	Перечень операций технологического процесса	Негативные факторы, влияющие		
		на атмосферу	на гидросферу	на литосферу
Электрошлаковая наплавка валков	- подготовка - сборка - сварка - контроль качества	выделение в атмосферу частиц и газов при работе технологического оборудования	попадание в воду машинного масла	загрязнение литосферы бытовым мусором, частицами упаковки, отходами производства

Таблица 14 – Технологические и организационные мероприятия по защите окружающей среды от выявленных вредных экологических факторов

Наименование технического объекта	Электрошлаковая наплавка валков
Мероприятия по устранению вредных экологических факторов на атмосферу	Применение специальных фильтров, устанавливаемых в вентиляционную систему цеха, которые позволяют собирать и утилизировать выделяющиеся при работе технологического оборудования вредные вещества
Мероприятия по устранению вредных экологических факторов на гидросферу	Контролировать утечки машинного масла из гидравлической системы технологического оборудования, в случае возникновения таких утечек их следует незамедлительно устранять
Мероприятия по устранению вредных экологических факторов на литосферу	На участке выполнения сварки необходимо выполнить установку ёмкостей, которые позволяют провести селективный сбор получаемых при выполнении технологического процесса отходов. Проведение инструктажа персонала о необходимости соблюдения мер по сбору мусора.

Осуществление проектного технологического процесса приводит к возникновению не только опасных и вредных производственных факторов, но и значительно ухудшает экологическую обстановку из-за отрицательного воздействия на окружающую среду (атмосферу, гидросферу и литосферу). В ходе выполнения настоящего раздела необходимо провести идентификацию вредных экологических факторов, которые возникают при реализации проектной технологии согласно таблице 13. По результатам идентификации вредных экологических факторов, действующих на атмосферу, гидросферу и литосферу, необходимо предложить мероприятия по защите от них, представленные в таблице 14.

## Выводы по экологическому разделу

Настоящий раздел выпускной квалификационной работы предусматривает проведение поиска и анализа опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих осуществление проектной технологии электрошлаковой наплавки рабочей поверхности прокатных валков с применением дискретной присадки.

В проектной технологии применяется электрошлаковая наплавка, внедрение которой в производство изменило технологический процесс. Анализ этого процесса позволил идентифицировать опасные и вредные факторы, выделить особенности их влияния на персонал и окружающую среду. По результатам проведённых работ предложены технологические и организационные мероприятия, позволяющие устранить негативное действие выявленных опасных и вредных производственных факторов.

Также в разделе предложены мероприятия по защите рабочего персонала и предприятия от возникающих пожаров, что выполнено путём идентификации опасных факторов пожара и назначения способов устранения этих факторов. Предложены стандартные средства и мероприятия по устранению опасности возникновения пожара и тушению пожара, если он произошёл.

При оценке экологичности проектного технологического процесса рассмотрены отрицательные воздействия результатов проведения процесса на окружающую среду – атмосферу, гидросферу и литосферу. Предложенные в разделе мероприятия позволяют выполнить экологические требования, предъявляемые предприятию со стороны природоохранных организаций.

Установлено, что устранение опасных и вредных производственных факторов, сопровождающих осуществление проектного технологического процесса, может быть осуществлено с применением стандартных средств и методик защиты.

## **4 Экономическое обоснование предлагаемых решений**

### **4.1 Исходные данные для проведения экономических расчётов**

Выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности наплавки изношенной рабочей поверхности прокатных валков.

Базовая технология ремонтной наплавки предусматривает применение автоматической наплавки под флюсом ленточным электродом, которая имеет ряд недостатков. Первым недостатком является сложность изготовления присадки, что приводит к удорожанию процесса. Кроме того, производительность наплавки по базовому варианту меньше, чем при наплавке по проектному варианту.

Проектный вариант технологии предусматривает применение электрошлаковой наплавки дискретной присадкой.

Были назначены параметры режима ремонтной наплавки и выбраны материалы для выполнения сварки.

Составлена проектная технология ремонтной сварки.

В таблицу 15 сведены данные по базовому и проектному вариантам технологии, которые позволят провести экономические расчёты и обосновать применение предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений.

В ходе расчётов следует провести оценку фонда времени работы оборудования, заводской себестоимости по базовому и проектному вариантам, рассчитать капитальные затраты и экономические показатели.

В ходе расчётов следует провести оценку фонда времени работы оборудования, заводской себестоимости по базовому и проектному вариантам, рассчитать капитальные затраты и экономические показатели.

Таблица 15 – Данные по базовой и проектной технологиям для выполнения экономических расчётов

Наименование параметра экономической характеристики	Условное обозначение в расчётах	Единица измерения	Значение параметра экономической характеристики	
			Базовая технология	Проектная технология
«Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	2	2
Разряд работников	$P_p$	-	V	V
Часовая тарифная ставка	$C_ч$	Р/час	200	200
Коэффициент доплат	$K_{доп}$	%	12	12
Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП	$K_d$	-	1,88	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
Коэффициент выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования	$C_{об}$	руб.	10000 тыс.	10000 тыс.
Норма амортизации оборудования	$K_a$	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	100	130
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
Стоимость электрической энергии	$C_{э-э}$	Р/ кВт	3,02	3,02
Коэффициент полезного действия	$K_{пд}$	-	0,85	0,9
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	$S$	$m^2$	100	100
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эсп}$	(Р/ $m^2$ )/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$C_{пл}$	Р/ $m^2$	30000	30000
Норма амортизации площади	$На.пл.$	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	$K_{пл}$	-	3	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	$E_n$	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех}$	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [15]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

На основании данных в таблице 15 рассчитаем экономические показатели для базового и проектного варианта технологического процесса.

## 4.2 Оценка фонда времени работы технологического оборудования

При осуществлении проектного и базового варианта технологического процесса затрачивается время, в течение которого эксплуатируется технологическое оборудование и выполняет свои функции рабочий персонал, получающий заработную плату. Также фонд времени работы оборудования будет влиять на величину расходов на производственные площади и амортизацию оборудования.

Базовый и проектный вариант технологии предусматривает расходование одинакового фонда времени, который и рассчитаем в настоящем разделе. Суммарное количество в календарном году рабочих дней задаётся как  $D_p = 277$  дней. В рабочие дни продолжительность смены составляет  $T_{см} = 8$  часов. В предпраздничные дни продолжительность рабочей смены уменьшается на один час. В настоящей выпускной квалификационной работе количество рабочих смен по базовому и проектному вариантам технологии составляет  $K_{см} = 1$ . С учётом вышеперечисленных данных выполним расчёт фонда времени по формуле:

$$F_n = (D_p \cdot T_{см} - D_n \cdot T_n) \cdot K_{см} . \quad (1)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:  $F_n = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 2 = 4418$  ч.

При расчётах следует запланировать потери рабочего времени, которые составляют  $B = 7$  %, таким образом, эффективный фонд рабочего времени уменьшится на 7%:

$$F_э = F_n(1 - B/100). \quad (2)$$

После подстановки получаем:  $F_э = 4418 \cdot (1 - 7/100) = 4108$  ч.

### 4.3 Расчёт штучного времени

Штучное время по проектному и базовому вариантам технологии определяет расходование фонда времени работы оборудования на одно изделие. Значение штучного времени для вариантов технологии задаём с использованием нормирования труда и данных технологических карт.

Штучное время включает в себя затраты времени на выполнение основных технологических операций (машинное время  $t_{\text{маш}}$ ), выполнение вспомогательных операций технологического процесса (вспомогательное время  $t_{\text{всп}}$ ), обслуживание рабочего места и оборудования (время обслуживания  $t_{\text{обсл}}$ ), личный отдых работников (время отдыха  $t_{\text{отд}}$ ), подготовку и окончание работы (подготовительно-заключительное время  $t_{\text{п-з}}$ ):

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{МАШ}} + t_{\text{ВСП}} + t_{\text{ОБСЛ}} + t_{\text{ОТД}} + t_{\text{П-З}}. \quad (3)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

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

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

Расчёт годовой программы выпуска изделий проводим в соответствии с рассчитанными ранее фондом времени работы оборудования и штучного времени для проектного и базового вариантов технологического процесса:

$$P_z = F_z / t_{\text{шт}}. \quad (4)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$P_{г.баз.} = 4108/12 = 342 \text{ за год};$$

$$P_{г.проектн.} = 4108/7 = 586 \text{ за год.}$$

Дальнейшие экономические расчёты проводим исходя из годовой программы для базового и проектного вариантов технологии  $P_{г} = 100$  деталей за год.

Расчёт необходимого количества технологического оборудования выполним с учётом коэффициента выполнения нормы  $K_{вн} = 1,03$ :

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

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$n_{расч. б.} = 12 \cdot 100 / (4108 \cdot 1,03) = 0,28;$$

$$n_{расч. пр.} = 7 \cdot 100 / (4108 \cdot 1,03) = 0,17.$$

Для выполнения операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам технологии принимаем количество оборудования  $n=1$ . Далее выполним расчёт коэффициента загрузки оборудования:

$$Kз = n_{расч}/n_{пр}. \quad (6)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$Kзб = 0,28/1 = 0,28;$$

$$Kзп = 0,17/1 = 0,17.$$

#### **4.4 Расчёт заводской себестоимости вариантов технологии**

Выполнение сварки предполагает расходование материалов, к которым следует отнести в базовом варианте технологии – флюс, ленточный электрод, а в проектном варианте технологии – флюс и чугунная дробь. Затраты на сварочные материалы вычисляем с учётом нормы расходов  $N_p$ , цены материалов  $C_m$  и коэффициента  $K_{тз}$  транспортно-заготовительных расходов по формуле:

$$M = C_m \cdot H_p \cdot K_{m-z}, \quad (7)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:  $M_{\text{баз.}} = 7800$  руб.;  $M_{\text{баз.}} = 5400$  руб.

Основная заработная плата  $Z_{\text{осн}}$  рассчитывается с учётом ранее определённого штучного времени  $t_{\text{шт}}$  и часовой тарифной ставки  $C_{\text{ч}}$  с учётом коэффициента  $K_{\text{д}}$  доплат к заработной плате:

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

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

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

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

Дополнительная заработная плата  $Z_{\text{доп}}$  рассчитывается с учётом коэффициента дополнительных доплат  $K_{\text{доп}}$  по ранее определённому значению основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$ :

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{доп}} / 100. \quad (9)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$Z_{\text{доп.базов.}} = 4512 \cdot 12 / 100 = 541 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{доп.проектн.}} = 2632 \cdot 12 / 100 = 316 \text{ руб.}$$

Размер фонда заработной платы ФЗП рассчитывается как сумма основной заработной платы  $Z_{\text{осн}}$  и дополнительной заработной платы  $Z_{\text{доп}}$ :

$$\text{ФЗП}_{\text{базов.}} = 4512 + 541 = 5053 \text{ руб.};$$

$$\text{ФЗП}_{\text{проектн.}} = 2632 + 316 = 2947 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды  $O_{\text{сн}}$  рассчитываются исходя из ранее определённого объёма фонда заработной платы по проектному и базовому вариантам технологии с учётом коэффициента  $K_{\text{сн}}$  отчислений на социальные нужды по формуле:

$$O_{сн} = \Phi ЗП \cdot K_{сн} / 100. \quad (10)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$O_{сн\text{ баз.}} = 5035 \cdot 34 / 100 = 1712 \text{ руб.}$$

$$O_{сн\text{ проектн.}} = 2947 \cdot 34 / 100 = 1002 \text{ руб.}$$

Для вычисления затрат на оборудование  $Z_{об}$  необходимо определить амортизационные отчисления  $A_{об}$  и затраты на электрическую энергию  $P_{ээ}$ :

$$Z_{об} = A_{об} + P_{ээ}. \quad (11)$$

Амортизационные отчисления рассчитываются исходя из нормы амортизации  $H_a$ , эффективного фонда времени  $F_э$ , цены оборудования  $C_{об}$  и машинного времени  $t_{маш}$  с использованием формулы:

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

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$A_{об. \text{ баз.}} = 10000000 \cdot 21,5 \cdot 12 / 4108 / 100 = 6280 \text{ руб.},$$

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

Расчётное определение затрат на электрическую энергию, необходимую для операций технологического процесса по базовому и проектному вариантам проводим с учётом цены электрической энергии  $C_{ээ}$ , установленной мощности оборудования  $M_{уст}$  и коэффициента полезного действия КПД оборудования с использованием формулы:

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

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$P_{\text{ээ баз}} = 100 \cdot 12 \cdot 3,02 / 0,85 = 4264 \text{ руб.},$$

$$P_{\text{ээ пр}} = 130 \cdot 7 \cdot 3,02 / 0,9 = 3054 \text{ руб.}$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$З_{\text{об баз}} = 6280 + 4264 = 10544 \text{ руб.};$$

$$З_{\text{об проектн.}} = 3664 + 3054 = 6718 \text{ руб.}$$

Вычисление технологической себестоимости  $C_{\text{тех}}$  проводим по ранее определённым затратам на фонд заработной платы ФЗП, материалы  $M$ , оборудование  $З_{\text{об}}$  и отчислений на социальные нужды  $O_{\text{сс}}$ :

$$C_{\text{ТЕХ}} = M + \text{ФЗП} + O_{\text{сс}} + З_{\text{ОБ}} + З_{\text{пл}}. \quad (14)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

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

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

Размер цеховой себестоимости  $C_{\text{цех}}$  вычислим с учётом ранее определённого значения технологической себестоимости  $C_{\text{тех}}$ , основной заработной платы  $З_{\text{осн}}$  и принятого из таблицы исходных данных коэффициента цеховых расходов  $K_{\text{цех}}$ :

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

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

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

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

Расчёт заводской себестоимости  $C_{\text{зав}}$  проводим с учётом ранее определённого значения цеховой себестоимости  $C_{\text{цех}}$ , основной заработной платы  $З_{\text{осн}}$  и принятого из таблицы исходных данных коэффициента заводских расходов  $K_{\text{цех}}$ :

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

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

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

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

Сводные данные, которые используются для расчёта заводской себестоимости по проектному и базовому вариантам технологии, представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Исходные данные и расчёт заводской себестоимости

ПОКАЗАТЕЛИ	Услов. Обозн.	Калькуляция., руб	
		Базовый	Проектн.
«1. Затраты на материалы	М	7800	5400
2. Фонд заработной платы	ФЗП	5053	2947
3. Отчисления на соц. Нужды	Осн	1721	1002
4. Затраты на оборудование	Зоб	10544	6718
5. Затраты на площади	Зпл	1022	597
5. Технологическая себестоимость	Стех	26140	16664
6. Цеховые расходы	Рцех	6768	3948
7. Цеховая себестоимость	Сцех	32908	20612
8. Заводские расходы	Рзав	5189	3027
9. Заводская себестоимость» [16]	Сзав	38097	23639

На основании данных в таблице 16 можно выполнить предварительную оценку эффективности предлагаемых технологических решений. Проектная технология характеризуется меньшими по сравнению с базовым вариантом технологической себестоимостью, цеховой себестоимостью и заводской себестоимостью.

#### **4.5 Оценка капитальных затрат по базовой и проектной технологиям**

Вычисление капитальных затрат  $K_{общ.б.}$  при реализации базового варианта технологии выполняем с использованием ранее рассчитанного

коэффициента загрузки оборудования  $K_{з.б.}$  и стоимости оборудования  $\Pi_{об.б.}$ , которые были определены для базового варианта технологии:

$$K_{общ. б.} = \Pi_{ОБ.Б} \cdot K_{з.б.} \quad (17)$$

Расчёт остаточной стоимости оборудования, которое применялось для выполнения операций технологического процесса по базовому варианту, проводим с учётом срока его службы  $T_c$ , рыночной стоимости оборудования  $\Pi_{перв}$  и нормы амортизации  $H_a$ :

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

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

$$\Pi_{ОБ.Баз.} = 10000000 - (10000000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 3550000 \text{ руб.};$$

$$K_{ОБЩ.Баз.} = 3550000 \cdot 0,28 = 994000 \text{ руб.}$$

Величина капитальных затрат  $K_{общ. пр.}$  на осуществление технологии по проектному варианту определяется с учётом затрат на производственные площади  $K_{пл. пр.}$ , сопутствующих затрат  $K_{соп}$  и затрат на оборудование  $K_{об. пр.}$ :

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

Величина капитальных вложений в оборудование  $K_{об. пр.}$  рассчитывается по цене оборудования  $\Pi_{об. пр.}$  с учётом коэффициента загрузки оборудования  $K_{зп}$  и коэффициента транспортно-заготовительных расходов  $K_{тз}$ :

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

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

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

Величина сопутствующих капитальных затрат  $K_{соп}$  при реализации проектной технологии может быть рассчитана с учётом расходов  $K_{монт}$  на

монтаж оборудования для выполнения операций по проектной технологии и расходов  $K_{дем}$  на демонтаж оборудования для выполнения операций по базовой технологии:

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

Величина затрат на демонтаж  $K_{дем}$  и монтаж  $K_{монт}$  оборудования вычисляется с учётом стоимости оборудования по базовому и проектному вариантам технологии из таблицы исходных значений:

$$K_{дем} = Ц_{об. б.} \cdot K_{д}, \quad (22)$$

$$K_{монт} = Ц_{об. пр.} \cdot K_{м}. \quad (23)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

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

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

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

$$K_{общ.пр.} = 1785000 + 100000 = 2785000 \text{ руб.}$$

Объём дополнительных капитальных затрат для организации производства по осуществлению проектного варианта технологии вычисляем как:

$$K_{доп} = K_{общ.пр} - K_{общ.б.} \quad (24)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

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

Удельные капитальные вложения  $K_{уд}$  для базового и проектного вариантов технологического процесса рассчитываем с учётом величины годовой программы  $П_{г}$  как:

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

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:

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

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

#### 4.6 Расчёт показателей экономической эффективности

Снижение трудоёмкости  $\Delta t_{шт.}$ , которое получается при реализации проектного технологического процесса вычисляется по штучному времени по базовому варианту технологии  $t_{шт.б.}$  и штучному времени по проектному варианту технологии  $t_{шт.пр.}$ :

$$\Delta t_{ум} = (t_{ум б} - t_{ум пр}) \cdot 100 \% / t_{ум б} . \quad (26)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:  $\Delta t_{шт} = (12 - 7) \cdot 100 \% / 12 = 42 \% .$

Повышение производительности труда  $P_T$ , которое получается при реализации проектного технологического процесса, вычисляется по рассчитанному ранее снижению трудоёмкости  $\Delta t_{шт.}$ :

$$P_m = 100 \cdot \Delta t_{ум} / (100 - \Delta t_{ум}) . \quad (27)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:  $P_T = (100 \cdot 42) / (100 - 42) = 72 \% .$

Снижение технологической себестоимости  $\Delta C_{тех.}$ , которое получается при реализации проектного технологического процесса, вычисляется по ранее определённым технологической себестоимости базового и проектного вариантов:

$$\Delta C_{mex} = (C_{mex.б.} - C_{mex.пр.}) \cdot 100 \% / C_{mex.б.} , \quad (28)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:  $\Delta C_{\text{тех}} = (26140 - 16664) \cdot 100\% / 26140 = 36\%$ .

Условно-годовая экономия (ожидаемая прибыль) рассчитывается согласно:

$$Pr_{ож} = \mathcal{E}_{yg} = (C_{зав. баз} - C_{зав. пр}) \cdot П_2. \quad (29)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:  $\mathcal{E}_{y.g.} = (38097 - 23639) \cdot 100 = 1445800$  руб.

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений вычисляем как:

$$T_{ок} = K_{дон} / \mathcal{E}_{yg}. \quad (30)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:  $T_{ок} = 1791000 / 1445800 = 1,2$  года

Годовой экономический эффект  $\mathcal{E}_g$ , который получается при реализации проектного технологического процесса, вычисляется как

$$\mathcal{E}_g = \mathcal{E}_{yg} - E_n \cdot K_{дон} \quad (31)$$

После подстановки значений параметров из таблицы исходных данных получаем:  $\mathcal{E}_g = 1445800 - 0,33 \cdot 1791000 = 854770$  руб.

### Выводы по экономическому разделу

Базовая технология ремонтной наплавки предусматривает применение автоматической наплавки под флюсом ленточным электродом, которая имеет ряд недостатков. Первым недостатком является сложность изготовления присадки, что приводит к удорожанию процесса. Кроме того, производительность наплавки по базовому варианту меньше, чем при наплавке по проектному варианту.

Проектный вариант технологии предусматривает применение электрошлаковой наплавки дискретной присадкой.

Были назначены параметры режима ремонтной наплавки и выбраны материалы для выполнения сварки.

Составлена проектная технология ремонтной сварки.

В ходе проведения экономических расчётов установлено, что трудоёмкость выполнения операций технологического процесса уменьшилась на 42 %, а производительность труда увеличилась 72 %. За счёт снижения сопутствующих расходов и расходов на заработную плату технологическая себестоимость уменьшается на 36 %. Условно-годовая экономия при реализации проектного варианта технологии составляет 1,44 млн. рублей.

Годовой экономический эффект с учётом капитальных вложений составляет 0,85 млн. рублей. Затраты на внедрение проектной технологии окупятся за 1,2 года.

## Заключение

В работе поставлена цель – повышение производительности и качества восстановления чугунных прокатных валков за счёт применения отечественных разработок и технологий.

Базовая технология ремонтной наплавки предусматривает применение автоматической наплавки под флюсом ленточным электродом, которая имеет ряд недостатков. Первым недостатком является сложность изготовления присадки, что приводит к удорожанию процесса. Кроме того, производительность наплавки по базовому варианту меньше, чем при наплавке по проектному варианту.

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: обосновать выбор способа восстановительной наплавки прокатных валков; предусмотреть мероприятия по повышению эффективности выбранного способа восстановительной наплавки прокатных валков; составить проектную технологию восстановительной наплавки прокатных валков.

Анализ проектной технологии позволил идентифицировать опасные и вредные факторы, выделить особенности их влияния на персонал и окружающую среду. По результатам проведённых работ предложены технологические и организационные мероприятия, позволяющие устранить негативное действие выявленных опасных и вредных производственных факторов.

Годовой экономический эффект с учётом капитальных вложений составляет 0,85 млн. рублей. Затраты на внедрение проектной технологии окупятся за 1,2 года.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Будагьянц Н. А., Карсский В. Е. Литые прокатные валки. М.: Металлургия, 1983. 540 с.
2. Бендрик В. Г., Зерницкий Д. И. Опыт работы Ждановского металлургического комбината им. Ильича по восстановлению прокатных валков методом электродуговой наплавки // Черная металлургия. 1986. №11. С. 49–50.
3. Бендрик В. Г., Степанов К. К. Совершенствование технологии наплавки стальных валков станов горячей прокатки // Металлург. 1987. № 9. С. 30–31
4. Быстров В. А., Дьяков П. К., Уманец А. Г. Условия эксплуатации и износ валков прокатного стана горячего металла // Известия высших учебных заведений. Чёрная металлургия. 2014. № 5. С. 24–29.
5. Бэгшоу Т., Летчер П., Крофтс Р. Применение ЭШП для улучшения качества валков // 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.
6. Ворончук А. П. Порошковые ленты для износостойкой наплавки // Автоматическая сварка. 2014. № 6–7. С. 75–78.
7. Гаврилюк В. П., Тихонович В. И., Шалевская И. А. Абразивостойкие высокохромистые чугуны. Луганск: Ноулидж. 2010.
8. Гарбер М. Е. Отливки из износостойких белых чугунов. Москва: Машиностроение. 1972.
9. Горина, Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
10. Грачева К. А. Экономика, организация и планирование сварочного производства: учебное пособие для студентов вызов, обучающихся по специальности "Оборудование и технология сварочного производства". М. : Машиностроение, 1984. 386 с.

11. Жудра А. П., Ворончук А. П. Износостойкая наплавка порошковыми лентами // Сварщик. 2010. № 6. С. 6–10.
12. Жудра А. П., Ворончук А. П. Наплавочные порошковые ленты // Автоматическая сварка. 2012. № 6. С. 39–44.
13. Жуков А. А., Сильман Г. И., Фрольцов М.С. Износостойкие отливки из комплексно-легированных белых чугунов. Москва: Машиностроение. 1984.
14. Иванан М. П., Мельников А. И. Электрошлаковая наплавка бил молотковых дробилок // Сварочное производство. 1974. № 7. С. 48.
15. Киселева И. В., Дорохов В. В., Шварцер А. Я. Использование электрошлакового обогрева при упрочнительно-восстановительной наплавке зубьев ковшей экскаваторов // Проблемы специальной электрометаллургии. 1989. № 3. С. 28–30.
16. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
17. Ксендзы Г. В., Фруммин И. И., Аксенов И. Н. Электрошлаковая наплавка валков горячей прокатки // Автоматическая сварка. 1969. № 11. С. 60–63.
18. Кусков, Ю.М. Влияние состава флюса на процесс торцевой электрошлаковой наплавки с отдельной подачей присадочного материала // Автоматическая сварка. 2017. № 12. С. 44–49
19. Кусков, Ю.М. Дискретные присадочные материалы для наплавки в токоподводящем кристаллизаторе / Ю.М. Кусков // Автоматическая сварка. – 2014. – № 6–7. – С. 101–106.
20. Кусков Ю. М., Рабцев И. А., Сарычев И. С. Восстановление чугунных валков стана 2000 в токоподводящем кристаллизаторе // Сварщик России. 2012. № 1. С. 38–39.
21. 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.

22. Матвиенков С. А., Шебаниц Э. Н. Наплавка рабочих и опорных валков с применением керамического флюса И-КФ-45...65 на ММК им. Ильича // Металл и литьё Украины. 2012. № 2–3. С. 45–49.

23. Медовар Л. Б. О прокатных валках будущего и электрошлаковых технологиях их изготовления // Современная электрометаллургия. 2003. № 3. С. 9–11.

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

25. Рябцев. И. А., Кондратьев И. А. Исследование структуры и эксплуатационных свойств наплавленного металла для восстановления и упрочнения прокатных валков // Автоматическая сварка. 2010. № 7. С. 14–18.

26. Титаренко В. И., Лантух В. Н., Кашинский А. С. Установки на базе токарных станков для наплавки прокатных валков // Автоматическая сварка. 2013. № 4. С. 50–55.

27. Фрумин И. И., Ксендзык Г. В., Кондратьев И. А. Повышение стойкости и срока службы прокатных валков методом наплавки // Черная металлургия. 1986. №7. С.11–19.

28. Цыпин И. И. Белые износостойкие чугуны. Структура и свойства. Москва: Металлургия. 1983.