

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование)

15.03.01 «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки / специальности)

«Современные технологические процессы изготовления деталей

в машиностроении»

(направленность (профиль) / специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Технология наплавки шестигранных валов двухвального шредера

Обучающийся

А.А. Ефимова

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент К.В. Моторин

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярдова

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

Аннотация

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был решён ряд вопросов по тематике совершенствования технологии восстановительной наплавки деталей машин на примере вала шредера.

Предложены изменения в базовый процесс ремонтной наплавки. Обоснована замена способа наплавки на наплавку в защитных газах проволокой сплошного сечения. На основании результатов исследования предложена проволока и защитная газовая смесь. Предложен способ импульсного управления переносом электродного металла.

При выполнении оценочного раздела проведена идентификация опасных и вредных производственных факторов, которые возникают при реализации предлагаемых решений. На основании действующей нормативной документации по вопросу обеспечения промышленной безопасности предложены мероприятия по устранению негативных производственных факторов.

Внедрение прогрессивных технологий позволяет более эффективно расходовать трудовые, материальные и энергетические ресурсы предприятия, при этом достигается снижение технологической себестоимости на величину до 40 % от технологической себестоимости базового варианта. Внедрение предлагаемых решений позволяет получить ожидаемую экономию в размере до 1,256 миллионов рублей. При учете капитальных вложений расчёт экономического эффекта позволил установить его годовой размер, составляющий 1,181 миллиона рублей.

Таким образом, внедрение предлагаемых в выпускной квалификационной работе решений позволяет получить положительный экономический и технологический эффекты, а результаты работы рекомендуются к промышленному использованию.

Содержание

Введение	5
1 Современное состояние ремонтной наплавки валов шредера.	7
1.1 Сведения об изделии, особенностях эксплуатации и возникающих дефектах.	7
1.2 Сведения о материале для изготовления вала.	11
1.3 Описание операций базового технологического процесса восстановительной наплавки.	14
1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы.	17
2 Построение проектной технологии ремонтной наплавки вала шредера. .	19
2.1 Обоснование выбора способа восстановительной наплавки.	19
2.2 Выбор наплавочной проволоки и защитного газа.	26
2.3 Наплавочное оборудование и планировка участка для восстановительной наплавки.	30
2.4 Повышение эффективности наплавки за счёт управления горением дуги	35
3 Экологическое обоснование выпускной квалификационной работы. . .	39
3.1 Описание рассматриваемого технического объекта.	39
3.2 Идентификация негативных производственных факторов.	41
3.3 Снижение профессиональных рисков.	43
3.4 Обеспечение пожарной безопасности.	44
3.5 Вопросы обеспечения экологической безопасности.	46
4 Экономическое обоснование предлагаемых решений.	48
4.1 Исходная информация для выполнения экономического обоснования.	48
4.2 Расчёт фонда времени.	50
4.3 Штучное время по базовому и проектному вариантам технологии.	51
4.4 Технологическая, цеховая и заводская себестоимости по	

вариантам технологии.	53
4.5 Расчёт капитальных затрат по проектной и базовой технологии. . .	57
4.6 Показатели эффективности предлагаемых решений.	59
Заключение	62
Список используемой литературы и используемых источников.	64

Введение

Особенности современного развития общества и всё более значительные экологические требования к современному производству заставляют совершенствовать технологии восстановления деталей машин. Внедрение технологий реновации позволяет существенно снизить материальные затраты производства. Восстановление работоспособности деталей машин требует значительно меньших затрат металла и электрической энергии, чем изготовление новой детали. Кроме того, следует учесть затраты финансов и топлива на доставку новой детали до места установки в агрегат. Необходимость оперативной замены изношенных деталей машин заставляет формировать заделы из запасных частей, которые требуют финансов не только на своё приобретение, но и на длительное хранение на складе. При возникновении трудностей с логистикой необходимая запасная часть может быть доставлена с опозданием, из-за чего агрегат будет простаивать. Также следует принимать во внимание, что использование технологий восстановления при условии повышения их эффективности позволяет многократно увеличить срок службы деталей машин.

Следование экологической повестке заставляет искать способы эффективной переработки отходов пластика [36]. Захоронение пластиковых отходов представляется бесперспективным, так как в настоящее время не известны микроорганизмы, способные эффективно разлагать пластик. Кроме того, отходы пластика становятся источником повышенной бактериальной опасности, так как на его поверхности начинают интенсивно развиваться болезнетворные микроорганизмы. В связи с этим перспективным признано повторное использование пластмасс, при этом затраты на утилизацию (повторное использование) не только не превышают затрат на захоронение, но и существенно их ниже, что открывает экономические перспективы для предприятий переработки пластика [23], [26]. При повторной переработке

пластиковых отходов не только устраняется опасность загрязнения, но и становится возможным получение новых полезных продуктов. С учётом того, что ежегодно в мире собирается не менее 200 млн. тонн отходов, вопрос повышения эффективности их переработки будет стоять все острее.

При переработке пластиковых отходов предварительным этапом является процесс измельчения. При этом отходы преобразуются во фракцию, способную к транспортировке и переработке, так как появляется возможность их дозированной подачи по технологической цепочке. Измельчение позволяет существенно повысить насыпную плотность материала. Таким образом, становится возможным хранение и дробление отходов выполнять на одном предприятии, а их переработку выполнять на другом предприятии. Типовыми операциями измельчения пластиковых отходов являются шредирование, дробление, уплотнение, компактирование, агломерация и пульверизация. При измельчении пластиковых отходов применяются различные сочетания этих операций [35].

Типовой деталью шредера, который используется для измельчения пластиковых отходов, является шестигранный вал, который в ходе интенсивной эксплуатации подвергается износу. Требования к повышению эффективности технологических процессов заставляют повсеместно внедрять новые технологии восстановления деталей машин и методики контроля качества работ [4], [6]. Мобилизационные требования, предъявляемые современной российской промышленностью, требуют внедрения современных технологий с учётом возможностей предприятия и имеющегося на внутреннем рынке парка оборудования [7].

С учётом приведённых выше сведений следует признать высокую актуальность цели выпускной квалификационной работы – повышение эффективности наплавочных работ при восстановлении вала шредера. При решении задач выпускной работы следует опираться на достижения отечественных учёных и возможности российской промышленности [9], [13].

1 Современное состояние ремонтной наплавки валов шредера

1.1 Сведения об изделии, особенностях эксплуатации и возникающих дефектах

Применяемый для измельчения шредер представлен на рисунке 1. Рассматриваемый в настоящей выпускной квалификационной работе шредер является двухвальным. Вращение роторов шредера происходит асинхронно разнонаправлено, роторы снабжены зубьями, которые позволяют захватывать измельчаемый материал. При вращении роторов в процессе пропускания между соседними дисками происходит измельчение, степень которого определяется количеством зубьев и толщиной дисков.



Рисунок 1 – Двухвальный шредер

Шредер может быть использован для измельчения любых типов пластмасс. Они одинаково эффективно измельчают слитки, трубы, пустотелые крупногабаритные отходы, пленку, мешки и мебель. Шредер позволяет переработать пластиковые отходы в крупногабаритную фракцию от 20 до 200 мм. Конструкция шредера позволяет выполнять работы в тяжёлых условиях, имеет массивные части с износостойкими элементами. Особенностью применения шредеров является возможность измельчения пластиковых отходов, в которых возможно содержание металлических элементов. При этом не происходит выхода из строя дробящих элементов шредера, а полученные металлические обломки отделяются при последующем просеивании.

На рисунке 2 представлен шестигранный вал шредера, на котором происходит крепление ножей, как показано на рисунке 3. Установку ножей на валу проводят с заданным углом друг к другу, выбор оптимального угла позволяет повысить эффективность измельчения. Вал выполнен из стали 45Х в виде шестигранного профиля. Твёрдость металла составляет 26...28 HRC. В первоначальном состоянии профиль вала является шестигранником, вписываемым в окружность с радиусом 100 мм, при этом угловые элементы сточены до радиуса 95 мм. В процессе работы шредера происходит интенсивный износ вала. В результате сминания его граней и стачивания поверхности вала происходит уменьшение габаритов вали, и его грани уменьшаются до диаметра вписанной окружности 178 мм. Износ вала представлен на рисунке 4.

Износ вала вызывает нарушение посадки на нем ножей, в результате ножи начинают качаться относительно друг, что вызывает уменьшение производительности измельчения, повышает скорость износа вала и ножей, а также может стать причиной аварийного разрушения, которое может потребовать существенных затрат на проведение ремонта и длительный простой оборудования.

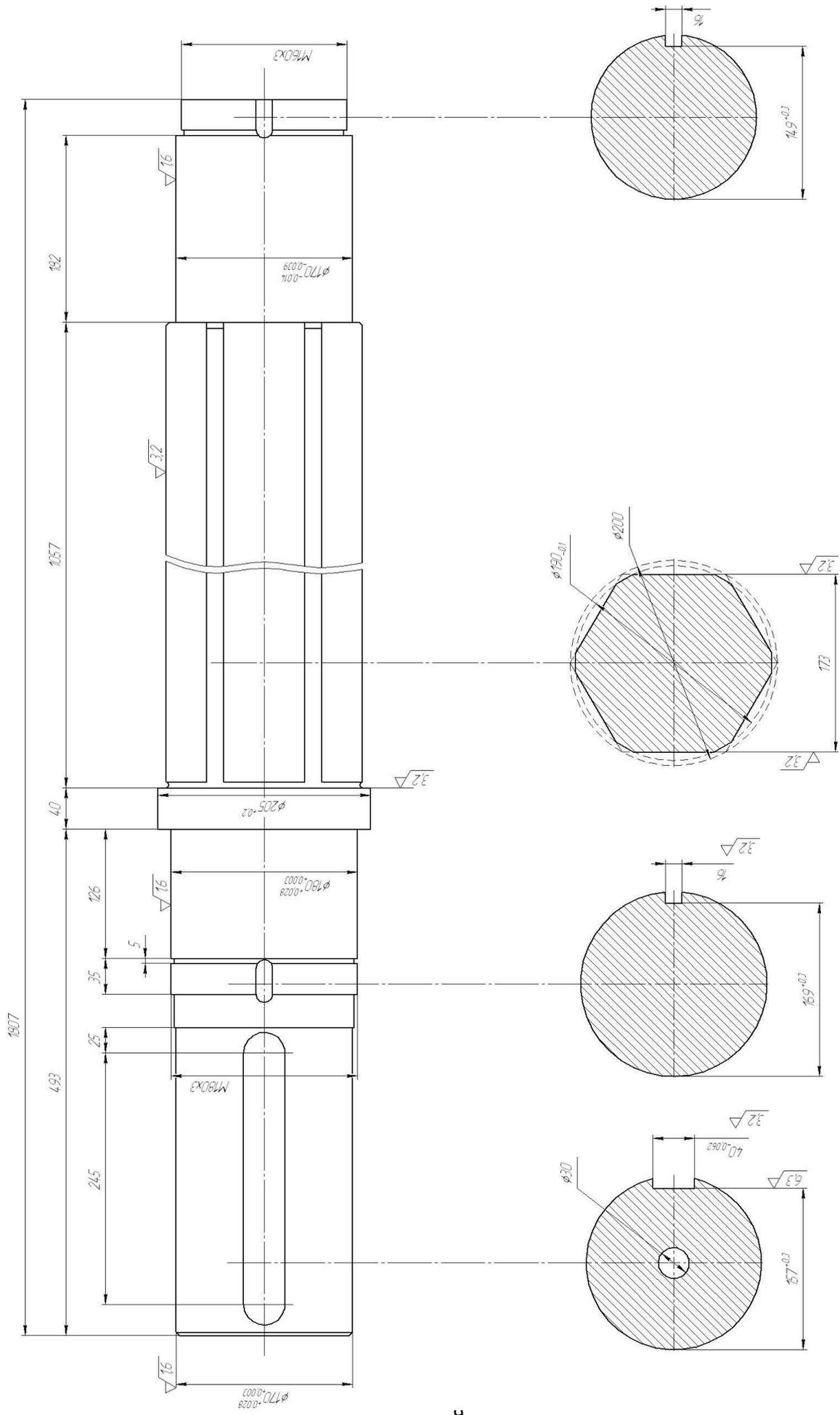


Рисунок 2 – Вал шестигранный



Рисунок 3 – Установка ножей на шестигранный вал шредера

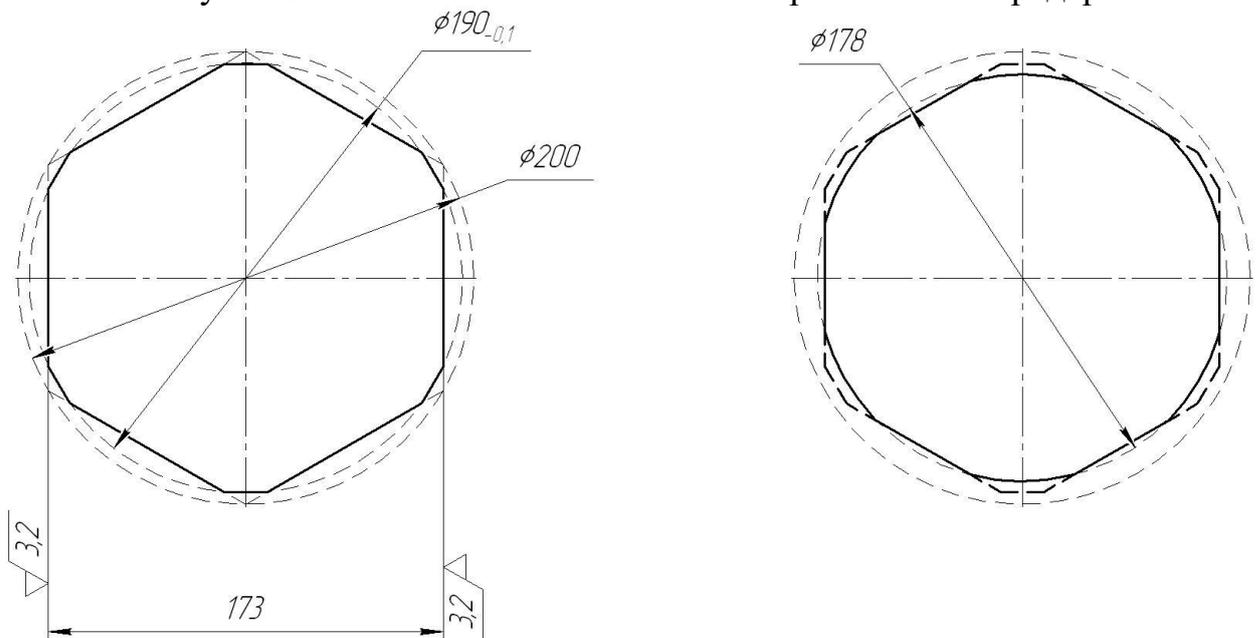


Рисунок 4 – Вал шредера новый и изношенный

Стоимость нового вала с учётом стоимости доставки из КНР составляет 10 тысяч евро. При этом возможные затруднения в поставках элементов оборудования из других государств могут привести к необходимости изыскания возможности альтернативных поставок. Потребность отрасли составляет 1200 валов в год, что делает целесообразным применение технологии реновации.

1.2 Сведения о материале для изготовления вала

Настоящая работа посвящена наплавке деталей машин на примере вала шредера, который изготовлен из стали 45X. По составу и свойствам сталь 45X может быть отнесена к качественным инструментальным сталям [32]. Процентное содержание основных элементов в стали представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Содержание химических элементов в стали

C	Cr	Mn	Si	Ni	Cu	Вредные примеси		
						S	P	As
0,41...0,49	0,8...1,1	0,5...0,8	0,17...0,37	<0,3	<0,3	<0,035	<0,035	<0,08

В качестве положительных особенностей применения стали 45X для изготовления деталей машин следует отметить, во-первых, высокую механическую прочность конструкции, которая существенно превосходит прочность деталей из сталей с меньшим содержанием углерода. Во-вторых, сталь 45X обладает более высокой коррозионной стойкостью, чем низкоуглеродистые стали. В-третьих, рассматриваемая сталь существенно лучше противостоит перепадам температур, что позволяет использовать её для изготовления высоконагруженных деталей машин. Кроме того, сталь 45X обладает улучшенными эстетическими и декоративными свойствами по сравнению с низкоуглеродистыми сталями.

Следует указать ряд затруднений, которые приходится преодолевать при сварке и наплавке деталей машин из стали 45X. Первой трудностью

является высокая вероятность возникновения горячих трещин – локального разрушения основного и наплавленного металла между его кристаллитами, которое возможно в процессе кристаллизации. Образование горячих трещин происходит при высоких температурах, под действием растягивающих напряжений, величина которых превышает деформационную способность металла в нагретом состоянии. Горячие трещины по внешнему виду отличаются следы окисления по краям трещины и извилистая форма.

Второй трудностью при сварке и наплавке деталей машин из стали 45Х является высокая склонность этой стали к образованию холодных трещин. Причиной образования холодных трещин становится возникновение значительных остаточных растягивающих напряжений, которые возникают в процессе структурных превращений в металле. Температура зарождения холодных трещин обычно лежит ниже 200 °С, их появление происходит через несколько часов после выполнения сварочных и наплавочных работ или даже в течение нескольких суток после сварки и наплавки. По внешнему виду холодные трещины отличаются по ломанной траектории, поверхность трещин не имеет ярко выраженных следов окисления, так как эти трещины образуются при относительно низкой температуре.

Третьей трудностью, которая возникает при сварке и наплавке деталей машин из стали 45Х, является снижение механических свойств металла после термического воздействия. В результате происходит разупрочнение – существенное уменьшение длительной прочности, которое может проявиться в процессе эксплуатации детали, когда разрушение происходит по разупрочнённой мягкой прослойке металла. Степень разупрочнения зависит от термического вложения в основной металл и увеличивается при повышении погонной энергии наплавки.

Чтобы уменьшить склонность к образованию горячих трещин, применяют специальную технику сварки и наплавки. Стараются получить минимальную длину дуги, не использовать поперечные колебания электрода, количество проходов и величина сварочного тока должны быть

минимальным. «При обрыве сварочной дуги следует тщательно заплавлять кратеры, выводить которые на основной металл запрещено» [13]. Также при обрыве дуги следует проверить заплавленный кратер на отсутствие кратерной трещины. Значительные успехи в плане борьбы с горячими трещинами достигнуты за счёт применения при сварке и наплавке порошковых проволок.

Чтобы устранить или уменьшить опасность возникновения холодных трещин необходимо применение техники сварки и наплавки и выбор параметров режима, которые позволяют получить минимальное время нахождения металла в перегретом состоянии. Это достигается применением предварительного или сопутствующего подогрева. Сварка с минимальной погонной энергией и предварительный подогрев до температуры 200...300 °С позволяют эффективно бороться с возникновением холодных трещин. Одним из способов борьбы с холодными трещинами при сварке и наплавке является легирование металла сварного шва. Также в возникновении холодных трещин существенную роль играет растворенный в металле водород, поэтому для сварки и наплавки следует применять материалы с пониженным содержанием водорода. Выполнение тщательной зачистки места сварки или наплавки от загрязнений и влаги также способствует снижению уровня растворённого водорода и уменьшает вероятность образования холодных трещин.

Для того, чтобы уменьшить эффект разупрочнения металла при сварке и наплавке, следует особое внимание уделить выбору правильных параметров режима, а также обоснованно назначать параметры термической обработки. Отпуск с нормализацией позволяет существенно снизить вероятность образования и объем разупрочнённой прослойки. Также уменьшению эффекта разупрочнения способствует снижение содержания углерода в направленном металле.

1.3 Описание операций базового технологического процесса восстановительной наплавки

Необходимость восстановления значительного количества валов заставляет вести поиск соответствующих технологий. В качестве исходной технологии следует рассмотреть восстановительную наплавку с применением штучных электродов. В качестве источника сварочного тока применяется выпрямитель ВД-301, который представлен на рисунке 5-а, и обладает необходимыми параметрами технической характеристики. Получение круто падающей внешней вольтамперной характеристики обеспечивается применением балластного реостата РБ. Для выполнения требований о технике безопасности наплавочное место снабжено устройством местной вытяжной вентиляции и светонепроницаемыми экранами. Для формирования шестигранного профиля после наплавки вала применяется универсальный фрезерный станок СФ676, который представлен на рисунке 5-б.



а)



б)

Рисунок 5 – Основное технологическое оборудование для восстановления шестигранного профиля вала: сварочный выпрямитель ВД-301 (а) и универсальный фрезерный станок СФ676 (б)

Для наплавки применяются «электроды ОЗН-300 диаметром 4 мм. Перед наплавкой следует прокалить электроды, температура прокалики составляет 300...350 °С, длительность прокалики составляет 1 час. После того, как была проведена прокалика электродов, они должны использоваться в течение одной рабочей смены» [13], в противном случае оставшиеся после рабочей смены электроды подлежат повторной прокалике. Количество повторных прокалок электродов должно быть не более трёх.

Перед выполнением восстановительной наплавки следует провести очистку поверхности, удаляя загрязнения и влагу. С использованием механического метода обработки следует удалить с вала наклёпанный слой и другие поверхностные дефекты. В случае, если поверхность вала имеет неравномерную выработку, её следует выровнять механическим способом. При зачистке ширина зачищаемого участка должна быть на 10 мм больше ширины наплавки.

После проведения зачистки поверхности вала выполняют его предварительный подогрев до 200...300 °С с использованием газового пламени. Температуру предварительного подогрева контролируют при помощи контактной термопары не менее чем в четырех отстоящих далеко друг от друга точках. При проведении предварительного подогрева не допускается локальный перегрев вала до температуры красного каления. Особенно недопустимы локальные подплавления металла на поверхности вала.

После предварительного подогрева следует выполнить восстановительную наплавку поверхности вала. Наплавку ведут в нижнем положении, для этого периодически меняют положение вала в пространстве, поворачивая его. Наплавку валиков ведут по образующим, которые должны отстоять далеко друг от друга, что позволяет существенно снизить перегрев вала и избежать его коробления. Наплавку ведут на постоянном токе обратной полярности, ток наплавки составляет 170...200 А, напряжение на дуге составляет 18...24 В. «Длина дуги должна поддерживаться не более

одного диаметра электрода. Наплавка короткой дугой позволяет уменьшить выгорание легирующих элементов и тепловое вложение в основной металл. Ведение электрода следует выполнять наклонно, сохраняя угол 15...20 ° по направлению движения. Ширина наплавляемого слоя составляет порядка 2,5...3 диаметров электродов» [13], для чего ведение электрода следует выполнять с небольшими поперечными колебаниями. При выполнении очередного наплавочного валика он должен приблизительно на 30...50 % перекрывать предыдущий валик по ширине. Припуск на механическую обработку составляет 2,5...4 мм.

В таблице 2 представлено содержание химических элементов в наплавленном металле при применении электродов ОЗН-300.

Таблица 2 – Содержание химических элементов в наплавленном металле при наплавке электродами ОЗН-300

С	Si	Mn	S	P
0,09...0,14 %	менее 0,15%	3,6...4,5 %	менее 0,03 %	менее 0,040

Так как при наплавке применяются электроды ОЗН-300, нет необходимости применять термическую обработку для смягчения наплавленного металла, поэтому механическую обработку можно выполнять сразу после наплавки.

При наплавке следует выполнять тщательную очистку каждого валика от шлака. Перед наплавкой следующего слоя необходимо проводить зачистку предыдущего слоя до чистого металла.

«После окончания наплавки удаляют шлак и проводят механическую обработку, формируя шестигранный профиль с использованием станка СФ676» [13].

Недостатками описанной выше базовой технологии восстановительной наплавки является низкая производительность и стабильность качества, что связано с применением ручной дуговой наплавки и необходимостью мириться со всеми вытекающими недостатками.

1.4 Формулировка задач выпускной квалификационной работы

Представляемая к защите выпускная работа рассматривает вопросы повышения эффективности восстановительной наплавки деталей машин на примере шестигранного вала двухвального шредера. Базовая технология предусматривает применение ручной дуговой наплавки электродами ОЗН-300 и сварочного выпрямителя ВД-301. Следует указать недостатки базовой технологии. Во-первых, при ручной дуговой наплавке не удаётся получить высокую стабильность механических свойств и химического состава наплавленного металла, происходит частичное перемешивание наплавленного металла с основным металлом. Во-вторых, высокая погонная энергия при наплавке по базовому варианту может стать причиной нарушения геометрии детали и её бракование. Ручная дуговая наплавка характеризуется тяжелыми условиями труда сварщика. Также следует отметить низкую производительность процесса и низкое качество наплавки, которое также существенно зависит от квалификации и кондиции сварщика.

В предыдущих пунктах выпускной работы были представлены результаты анализа состояния вопроса, на основании которых следует выполнить постановку задач на выполнение выпускной квалификационной работы.

В качестве первой задачи следует назвать обоснование выбора способа ремонтной наплавки. Для её решения предстоит выполнить анализ источников научно-технической информации, которые отбираются по тематике восстановительной наплавки аналогичных деталей. Далее следует выделить приемлемые способы наплавки, и на основании преимуществ и недостатков альтернативных способов наплавки принять решение о выборе способа восстановительной наплавки. Выбранный способ наплавки предполагается применить в проектной технологии восстановления детали.

Второй задачей является расширение технологических возможностей выбранного способа восстановительной наплавки с применением

современных достижений отечественной и зарубежной сварочной науки. При этом следует отдавать предпочтение разработкам отечественных авторов, что позволит поддержать вектор развития отечественной сварочной науки и производственных сил.

Третьей задачей является построение проектного технологического процесса восстановительной наплавки. «Следует дать перечень операций проектного технологического процесса и для каждой операции задать параметры режима и требования её выполнения» [13]. Кроме того, следует выбрать оборудование для осуществления операций проектного технологического процесса, который должен быть основан на современных возможностях и составе отечественного рынка сварочного оборудования и материалов.

При выполнении оценочных разделов будет необходимо предложить решение ещё двух задач. Во-первых, следует провести идентификацию опасных и вредных производственных факторов, которые возникают в ходе выполнения проектного технологического процесса и могут оказать негативное воздействие на персонал. На основании этого необходимо предложить организационные мероприятия и технические средства для устранения негативных производственных факторов. Кроме того, необходимо рассмотреть проектный технологический процесс с точки зрения обеспечения пожарной и экологической безопасности [2], [8]. Во-вторых, предстоит выполнить оценку экономической эффективности предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений. Для этого следует выполнить расчёт экономических показателей проектной и базовой технологий. После сравнения этих показателей следует сделать вывод о целесообразности внедрения предлагаемых решений в производство [14], [17]. На основании проведённых работ следует сделать вывод о достижении поставленной цели и дать рекомендации по проведению дальнейших исследований в рассматриваемом направлении.

2 Построение проектной технологии ремонтной наплавки вала шредера

2.1 Обоснование выбора способа восстановительной наплавки

При построении проектной технологии восстановительной наплавки деталей машин первоочередной задачей является правильный выбор способа наплавки, который определяет перечень операций процесса и необходимое технологическое оборудование [10], [25], [34].

Самым распространенным способом восстановления деталей машин следует признать ручную дуговую наплавку, схема выполнения которой представлена на рисунке 6. При этом способе наплавки горение электрической дуги происходит между восстанавливаемой деталью и электродом, за счёт плавления которого в основном и формируется наплавленный слой. В отличие от ручной дуговой сварки, при ручной дуговой наплавке доля основного металла в наплавленном слое минимальна. Защита перегретого наплавленного металла обеспечивается слоем шлака, а защита сварочной ванны и расплавленного электродного металла – газовой атмосферой, получаемой при испарении обмазки электрода.

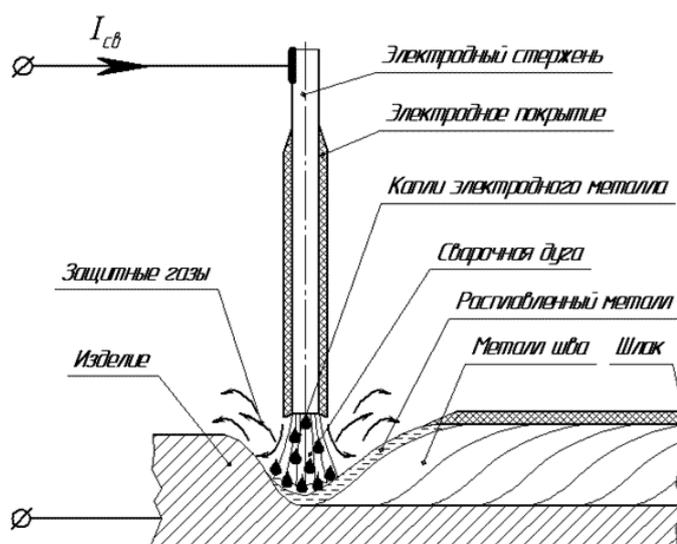


Рисунок 6 – Схема выполнения ручной дуговой наплавки штучными электродами

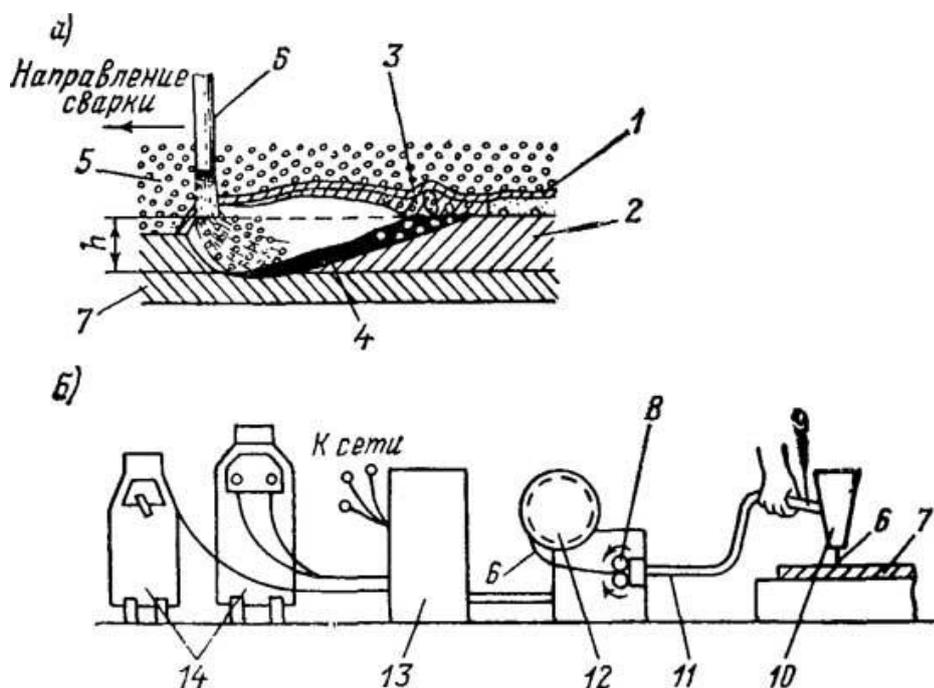
При ручной дуговой наплавке обычно применяются электроды диаметром 4 мм и более, что позволяет повысить производительность наплавки и уменьшить выгорание легирующих элементов [21], [25].

Из-за недостатков ручной дуговой наплавки этот способ восстановления деталей машин повсеместно заменяется более производительными и перспективными способами, что отмечается рядом аналитиков по результатам обзора мирового рынка сварочных материалов и оборудования [20], [22]. Первым недостатком является малая производительность наплавочных работ. Также следует принимать во внимание, что стабильность процесса наплавки снижается вследствие изменения условий наплавки по мере плавления электрода и необходимости прерывать процесс для его замены. Вторым недостатком следует указать вредные условия труда сварщика и зависимость качества наплавочных работ от квалификации и кондиций сварщика.

Существенная производительность достигается при наплавке под слоем флюса, схема выполнения которой представлена на рисунке 7. Этот способ наплавки позволяет успешно бороться с разбрызгиванием и вредным излучением дуги, так как горение дуги происходит под слоем флюса. Сам флюс при наплавке расплавляется, образуя шлак, в оболочке которого и горит дуга, защищенная от воздействия воздуха. Также слой шлака обеспечивает снижение потерь тепла и позволяет уменьшать расход электрической энергии на проведение процесса наплавки. При выполнении наплавки под слоем флюса возможно легирование наплавленного слоя по одному из нескольких направлений. Первое направление предусматривает легирование через сварочную проволоку, когда флюс выполняет функцию защиты горячей дуги и расплавленного электродного металла, а легирующие элементы в наплавленный металл переходят из проволоки сплошного сечения. Вторым способом легирования является применение порошковой проволоки, что при наплавке под флюсом позволяет изменять состав наплавленного металла в широком диапазоне легирующих элементов.

Третьим способом легирования является легирование через флюс, когда большая часть легирующих элементов содержится в самом флюсе. Четвёртым способом легирования является укладка легирующей присадки, которая расплавляется при наплавке под флюсом.

Недостатком способа может считаться необходимость применения специализированного оборудования и малая универсальность. Но при условии восстановления большого количества однотипных деталей этот способ может оказать экономически эффективным.



1 – «твердый шлак; 2 – затвердевший наплавленный металл; 3 – жидкий шлак; 4 – жидкий металл; 5 – флюс; 6 – электрод (проволока); 7 – основной металл (деталь); 8 – подающие ролики; 9 – держатель; 10 – воронка для флюса; 11– гибкий шланг; 12 – катушка с электродной проволокой; 13 – распределительная панель; 14 – трансформаторы» [15]

Рисунок 7 – Сварка и наплавка под слоем флюса: а) схема сварки под слоем флюса; б) схема сварочного полуавтомата

На рисунке 8 представлена схема выполнения механизированной наплавки в защитном газе проволокой сплошного сечения. Этот способ наплавки характеризуется низкой текучестью расплавленного металла, в результате чего способ может быть применён для наплавки в любом пространственном положении. По сравнению с ручной дуговой наплавкой способ позволяет повысить производительность процесса. Также следует

порошковой проволоки при сварке и наплавке позволяет получить ряд существенных преимуществ по сравнению со сваркой и наплавкой проволокой сплошного сечения и штучными электродами. Процесс сварки и наплавки характеризуется высокой стабильностью формирования наплавленных валиков и горения дуги. За счёт состава шихты проволоки существует возможность изменять состав наплавленного металла в широком диапазоне содержания легирующих элементов. Кроме того, существенно снижается разбрызгивание по сравнению со сваркой проволокой сплошного сечения [12], [28], [29], [37].

Следует отметить ряд затруднений, наличие которых до настоящего времени ограничивает широкое применение сварки и наплавки порошковыми проволоками [19]. В качестве первого затруднения следует отметить высокую стоимость импортной порошковой проволоки, поставки которой из-за логистических трудностей могут быть ограничены. Вторым недостатком является сложность процесса производства порошковой проволоки по сравнению с производством проволоки сплошного сечения, что ограничивает внедрение производство этого сварочного материала в России. Третьим недостатком следует признать неравномерное плавление проволоки по сечению, из-за чего оболочка проволоки плавится раньше, чем сердечник проволоки, это приводит к осыпанию шихты проволоки в нерасплавленном виде в сварочную ванну и образованию пор и шлаковых включений. Четвертым недостатком следует признать высокую текучесть металла, что затрудняет сварку и наплавку в положениях, отличенных от нижнего. Пятым недостатком является излишняя мягкость проволоки, что приводит к образованию заломов и застреванию проволоки в подающем механизме.

На рисунке 10 представлена схема плазменной наплавки, которую можно признать одним из эффективных способов восстановления деталей машин. Для питания сжатых дуг применяются источники постоянного тока для питания дуги прямого действия и для питания дуги косвенного действия. Регулировку тока выполняют с применением балластных сопротивлений.

Для стабильного зажигания дуги служит осциллятор. Плазмообразующий газ поступает через сопло. Подача присадочного порошка от питателя 8 проходит через трубку, через которую поступает транспортирующий газ. В корпус горелки помимо присадочного порошка с транспортирующим газом вводится защитный газ. Таким образом, в процессе плазменной наплавки принимают участие плазмообразующий газ, транспортирующий газ и защитный газ.



Рисунок 9 – Схема наплавки порошковой проволокой

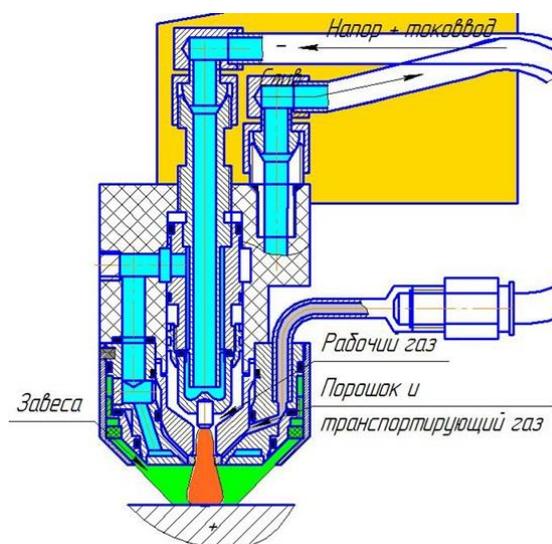


Рисунок 10 – Схема плазменной наплавки

В числе преимуществ плазменной наплавки следует отметить высокую производительность, которая может достигать 6 килограммов в час по расходу наплавочного порошка. Плазменная наплавка позволяет получить наплавленный слой с высокой долговечностью, кроме того, экономические показатели плазменной наплавки выше, чем показатели выше рассмотренных

способов восстановительной наплавки [5], [16], [31]. В числе недостатков плазменной наплавки следует указать высокую стоимость и сложность оборудования. Кроме того, выпуск оборудования для плазменной наплавки на территории Российской Федерации затруднён, а обслуживание иностранного оборудования сопряжено с определёнными сложностями.

Таким образом, в качестве альтернативных способов наплавки приняты: «ручная дуговая наплавка, наплавка в защитных газах проволокой сплошного сечения, наплавка под флюсом, наплавка самозащитной порошковой проволокой и плазменная наплавка» [10].

Международные аналитики отмечают системную деградацию производства материалов для сварки и наплавки в Российской Федерации, тенденция к уменьшению их производства наблюдается в течение десятилетий. Так, в 2007 году в Российской Федерации изготавливалось 320 тыс. тонн сварочных материалов. В 2013 году это количество сократилось до 120 тыс. тонн. При этом следует отметить, что более 80 % сварочных производимых сварочных материалов приходится на штучные электроды. На порошковую проволоку приходится порядка 3 % от общего объема сварочных материалов. Это свидетельствует о неспособности России самостоятельно обеспечить себя современными сварочными материалами. Потребность в современных сварочных материалах Россия пытается компенсировать при помощи импорта, который замещает отечественное производство. Так, в 2001 году в Россию поставлялось 7,3 тонн сварочных материалов, а к 2014 году эта цифра выросла до 37 тонн. Основными поставщиками сварочных материалов в Россию являются Китай, Южная Корея и Голландия [30].

На основании анализа преимуществ и недостатков всех рассмотренных способов восстановительной наплавки для построения проектной технологии предложим применить наплавку в защитных газах проволокой сплошного сечения.

2.2 Выбор наплавочной проволоки и защитного газа

Расширение технологических возможностей и повышение эффективности восстановительной наплавки вала должно предусматривать не только восстановление его геометрии работоспособности, но и увеличение ресурса. Для достижения этого необходимо правильно выбирать наплавочный материал из широкого спектра материалов, представленных на отечественном рынке.

Деформационное упрочнение наплавленного слоя в значительной степени определяется составом и структурой наплавленного металла. Повышение содержания в наплавленном металле углерода приводит к увеличению исходной твердости, однако прирост твердости при деформационном упрочении существенно снижается. Значительные положительные результаты получены при наплавке с использованием проволоки Св-08Х13, которая позволяет получить наплавленный слой ферритно-мартенситной структуры и включением карбидов малой дисперсности. Такие сплавы, имеющие малое содержание углерода, обладают способностью значительного упрочнения, что выражается в повышении износостойкости, прочности и твердости в результате наклепа [3].

В ходе экспериментальной наплавки рассматривались образцы с наплавкой проволоками ПП-Нп-80Х20Р3Т, У7 и Св-08Х13. Установлено, что переходные зоны на таких образцах, представленные на рисунке 11, имеют минимальные размеры и не превышают 5...10 мкм. На рисунке 11-а представлена микроструктура наплавленного слоя при использовании проволоки ПП-Нп-80Х20Р3Т. На рисунке 11-б представлена микроструктура при использовании проволоки Св-08Х13. На рисунке 11-в представлена микроструктура при использовании проволоки У7. Применение проволоки Св-08Х13 позволяет существенно повысить усталостную прочность и получить малые значения микротвердости переходной зоны. При этом

предел выносливости повышается на 40...50% [3]. В таблице 3 представлено содержание химических элементов в проволоке Св-08Х13.

На рисунке 12 представлена фрактографическая картина поверхности усталостного излома при наплавке проволокой Св-08Х13. Установлено, что всем образцам присуща неоднородность структуры на изломе, которая выражается в наличии участков переменной пластичности и прочности.

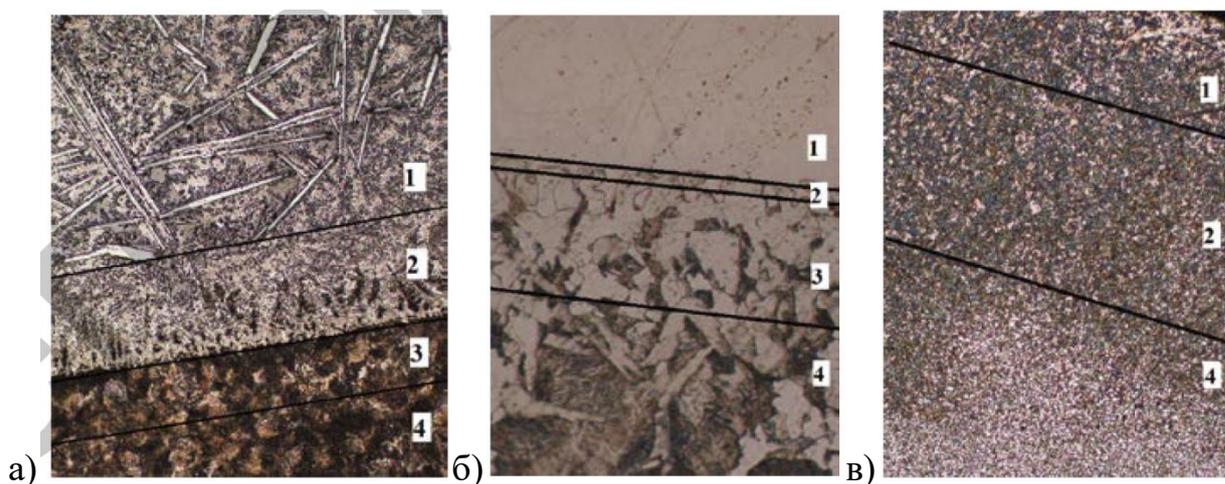


Рисунок 11 – Микроструктура наплавленного слоя при использовании проволоки ПП-Нп-80Х20Р3Т (а), Св-08Х13 (б) и У7 (в)

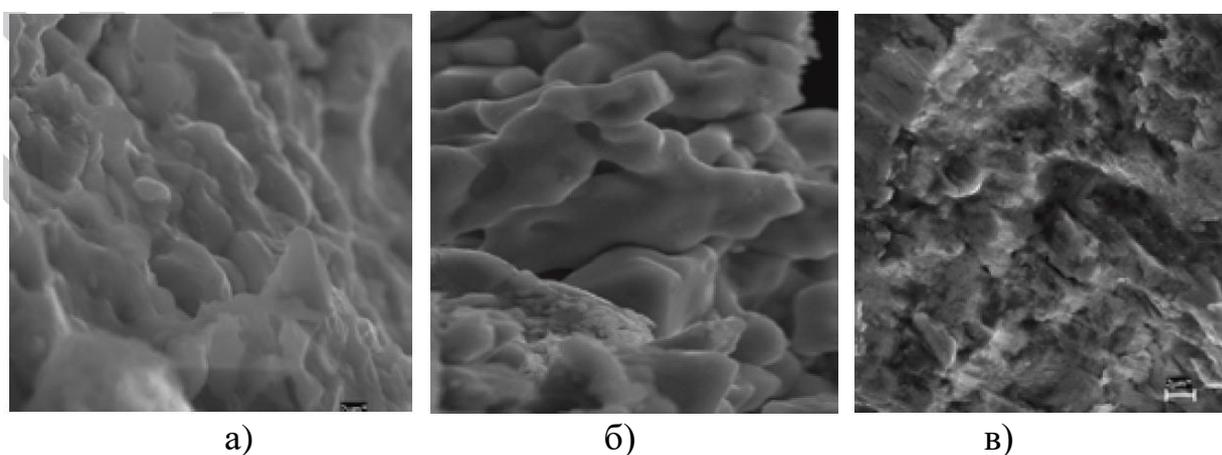


Рисунок 12 – Микрорельефы поверхности усталостного излома при наплавке проволокой Св-08Х13 в районе наплавленного слоя (а), переходной зоны (б) и основного металла (в)

Таблица 3 – Содержание химических элементов в проволоке Св-08Х13

С, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	Ni, %	S, %	P, %
0,07...0,09	0,3...0,7	0,3...0,7	12...14	<0,6	<0,025	<0,03

«В зависимости от амплитуды напряжения можно выделить несколько характерных зон разрушения. На рисунке 12-а представлена первая зона, которая характерна для усталостного разрушения в области наплавленного металла. На рисунке 12-б представлена вторая зона, характеризующаяся наличием смешанного перехода и ямочного разрушения. На рисунке 12-в представлена зона долома, рельеф которой более гладкий и волнообразный» [3], эта зона характерна для разрушения в области основного металла.

Для восстановительной наплавки в качестве защитных газов могут применяться различные варианты защитных газовых смесей. Для выбора оптимального защитного газа проводили исследования. Выполняли наплавку проволокой Св-08Х13 на образцы из стали Ст3 размером 200х50х10 мм. В качестве защитного газа были использованы следующие составы: 100 % азот, 80 % азот + 20 % углекислый газ, 80 % азот + 20 % аргон, 80 % аргон + 20 % углекислый газ.

При наплавке применяли проволоку диаметром 1,6 мм, наплавку вели на токе 190...210 А, напряжение дуги составляло 20...22 В, подачу проволоки вели со скоростью 140 м/ч, подачу защитного газа поддерживали 8 л/мин, скорость наплавки составляла 27 м/ч.

Для металлографических исследований применялся оптический микроскоп Carl Zeiss AxioObserver Alm, для анализа фрагментов микроструктур применялось программное обеспечение Siams 700. Для выявления микроструктуры проводили химическое травление образцов с применением реактива, в состав которого входит 4 % раствор азотной кислоты, в который добавили 4 г CuSO_4 , 20 мл HCl и 20 мл H_2O . В ходе исследований установлено, что наибольшее значение твёрдости наплавленного металла удаётся достигнуть при использовании в качестве защитного газа чистого азота или смеси 80 % азота + 20 % аргона. Установлено также, что применение азотсодержащих сред позволяет получить самую высокую стабильность твердости наплавленного металла при однослойной и многослойной наплавке. Применение смеси аргона и

углекислого газа при наплавке характеризуется значительным разбросом твердости наплавленного металла. Наплавка в защитных смесях с высоким содержанием азота характеризуется образованием азотированного высокохромистого мартенсита, которая отличается высокой прочностью и твердостью. Применение такой газовой защиты позволяет повысить твердость наплавленного металла по сравнению с использованием аргона и смеси аргона с углекислым газом в 1,3 раза. На рисунке 13 представлена структура наплавленного металла при использовании смеси «аргон + углекислый газ» (рисунок 13-а), чистого азота (рисунок 13-б), смеси «азот + аргон» (рисунок 13-в) и смеси «азот + углекислый газ» (рисунок 13-г).

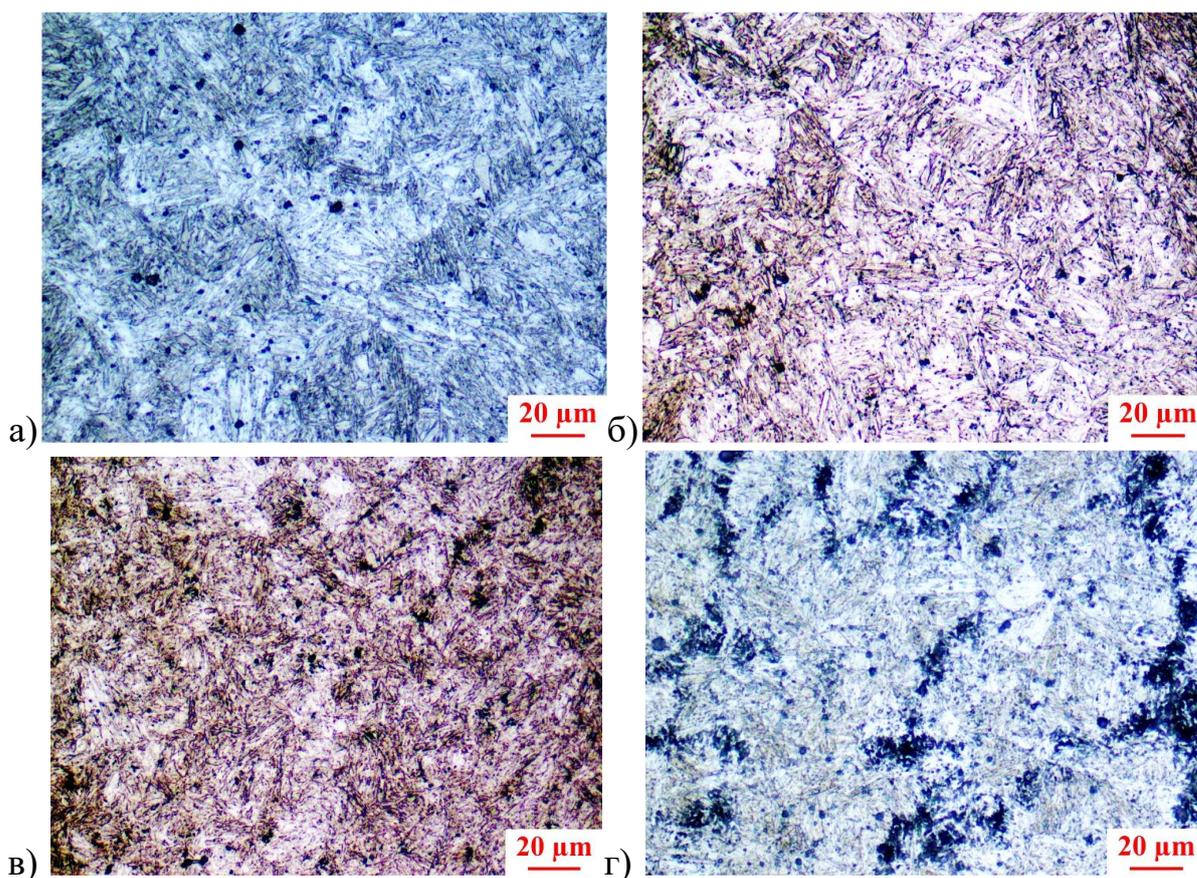


Рисунок 13 – Структура наплавленного металла при использовании проволоки Св-08Х13 и различных газовых смесей: «аргон + углекислый газ» (а), чистого азота (б), «азот + аргон» (в) и «азот + углекислый газ» (г).

По результатам проведенных исследований можно в качестве защитной смеси рекомендовать «80 % азот + 20 % аргон».

2.3 Наплавочное оборудование и планировка участка для восстановительной наплавки

На рисунке 14 представлена планировка участка для выполнения ремонтной наплавки деталей машин. Планировка участка выполнена исходя из габаритов 12x12 метров. Участок для проведения восстановительной наплавки включает в себя пост дефектации (обозначен на схеме позицией 1), на котором происходит первичная приемка деталей машин и оценка их исходного состояния.

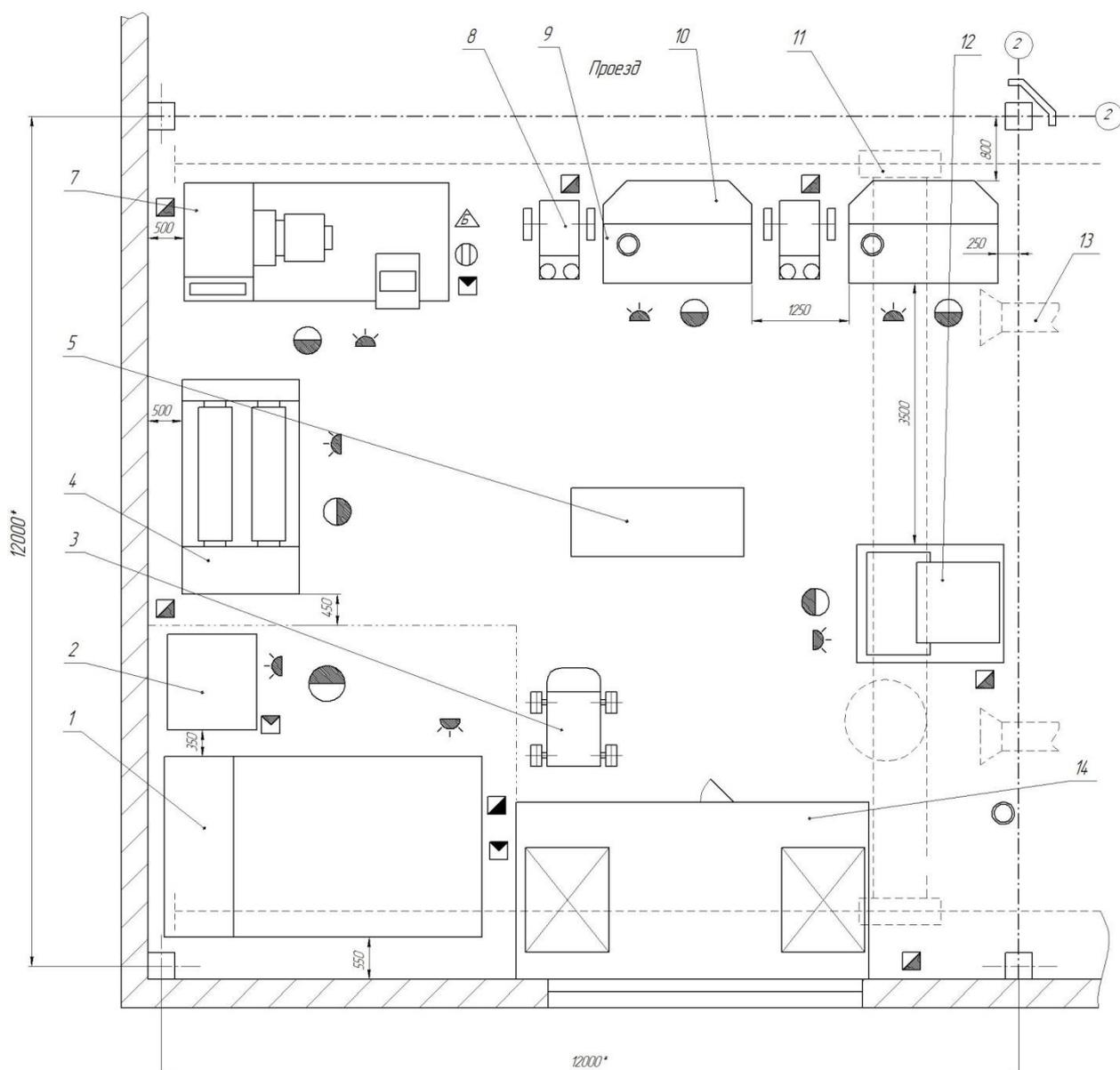


Рисунок 14 – Планировка участка для проведения восстановительной наплавки

Хранение приспособлений, оснастки и измерительного инструмента выполняется в шкафу для оборудования, который обозначен на схеме позицией 2. Для перемещения восстанавливаемых деталей и приспособлений по площади производственного участка предусмотрена инвентарная тележка, которая обозначена на схеме позицией 3. Удаление загрязнений с поверхности восстанавливаемых деталей выполняется на после зачистки, который обозначен на схеме позицией 4. Тушение возникающих пожаров и засыпка пролитого масла выполняется песком из ящика, который обозначен на схеме позицией 5. Расходные материалы и вспомогательный инструмент хранятся на складе, который обозначен на схеме позицией 6. Формирование шестигранного профиля вала и выполнение других работ по металлообработке выполняется с применением фрезерного станка СФ676, который обозначен на схеме позицией 7. Питание сварочной дуги выполняется от источника тока, который обозначен на схеме позицией 8. Восстановление деталей машин выполняется на стационарном участке 9, который оснащён вытяжкой 10. Перемещение габаритных грузов по производственному участку происходит с применением крана, который обозначен на схеме позицией 11. Контроль качества проведенных работ выполняется на poste, обозначенном на схеме позицией 12. Приточная вентиляция обозначена на схеме позицией 13.

Для механизации основных и вспомогательных операций при восстановительной наплавке шестигранного вала предлагается приспособление, компоновка которого представлена на рисунке 15. В качестве функциональных узлов такой установки можно выделить плиту (обозначена на схеме позицией 1), узел линейного перемещения горелки (обозначен на схеме позицией 2), бегунок (обозначен на схеме позицией 3), наплавочную головку (обозначена на схеме позицией 4), стойку (обозначена на схеме позицией 5), консоль (обозначена на схеме позицией 6), кассету с проволокой (обозначена на схеме позицией 7) и следящие электродвигатели (обозначены на схеме позицией 8).

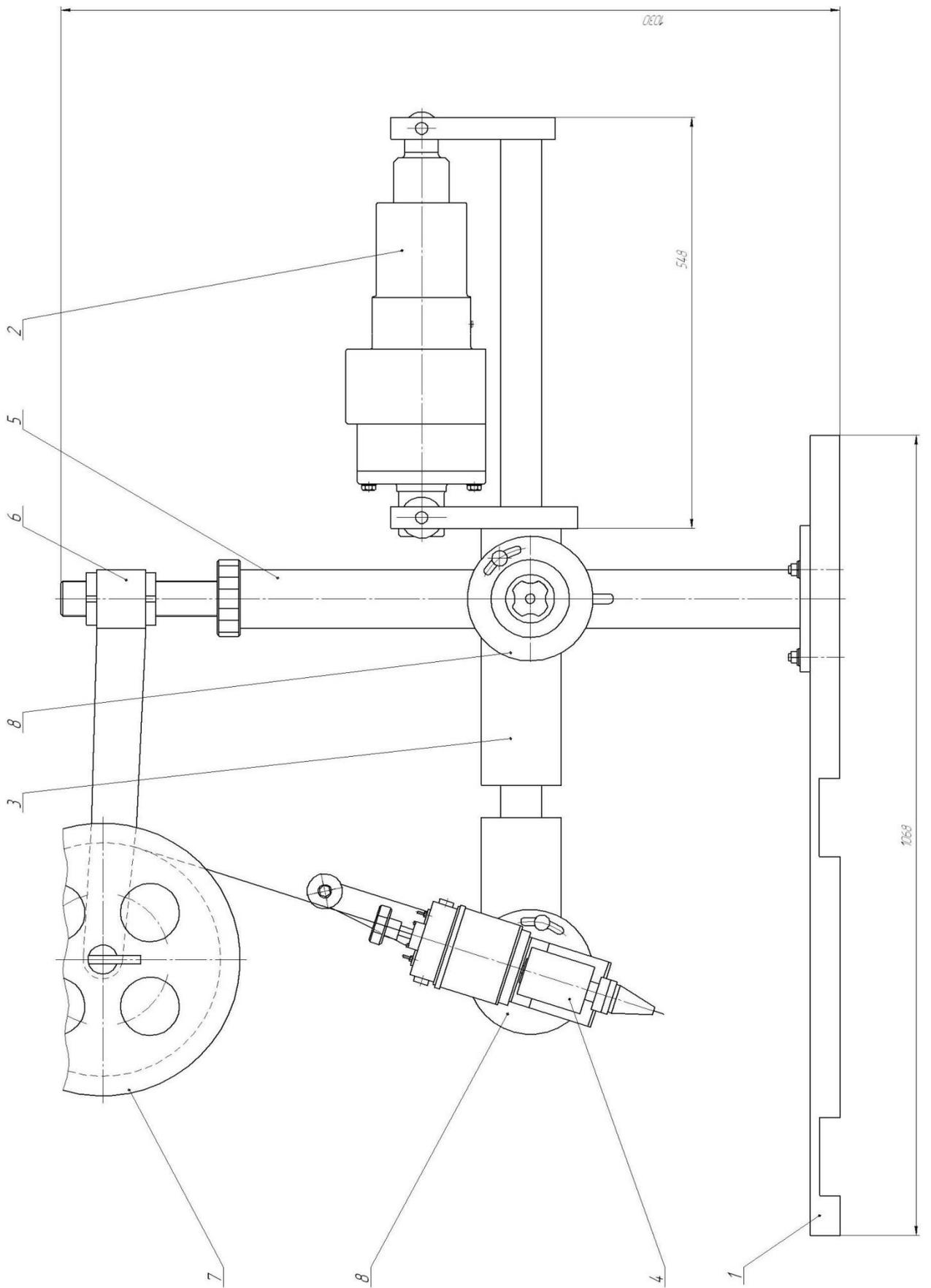


Рисунок 15 – Компонировочная схема приспособления для восстановительной наплавки вала

Стойка предназначена для настройки положения сварочной головки 4 относительно наплавляемой грани вала и автоматического перемещения сварочной головки при наплавке по образующей. В процессе наплавки валика головка расположена неподвижно на стойке 5. После наплавки валика головка перемещается на заданную величину за счёт модуля линейного перемещения 2 и бегунка 3. На консоли 6 крепится кассета 7 со сварочной проволокой. Ориентацию сварочной головки в пространстве задают следящие электродвигатели 8.

Закрепление вала и смена его положения в пространстве при выполнении восстановительной наплавки происходит посредством приспособления, компоновочная схема которого представлена на рисунке 16. Вращение происходит от электрического двигателя, который обозначен на схеме позицией 1. Для изменения скорости вращения служит клиноременной вариатор, который обозначен на схеме позицией 2. Снижение частоты вращения обеспечивается редуктором, в состав которого входит цилиндрическая и червячная передачи, которые обозначены на схеме позицией 3 и позицией 4. Крепление вала выполняется в шпинделях, которые обозначены на схеме позицией 5. На основании (позиция 7) неподвижно закреплена стойка (позиция 6).

Приспособление позволяет с высокой точностью изменять положение вала в пространстве при выполнении восстановительной наплавки. При этом наплавочный валик формируется в оптимальном положении.

Совместная работа стойки и приспособления, которые представлены на рисунке 15 и рисунке 16, обеспечивается посредством блока микропроцессорного управления, синхронизирующего работу приводов. При этом операция наплавки практически полностью автоматизирована. Применение ручного труда требуется только при выполнении операции загрузки детали, подготовки комплекса к работе и выгрузки детали после проведения восстановительной наплавки.

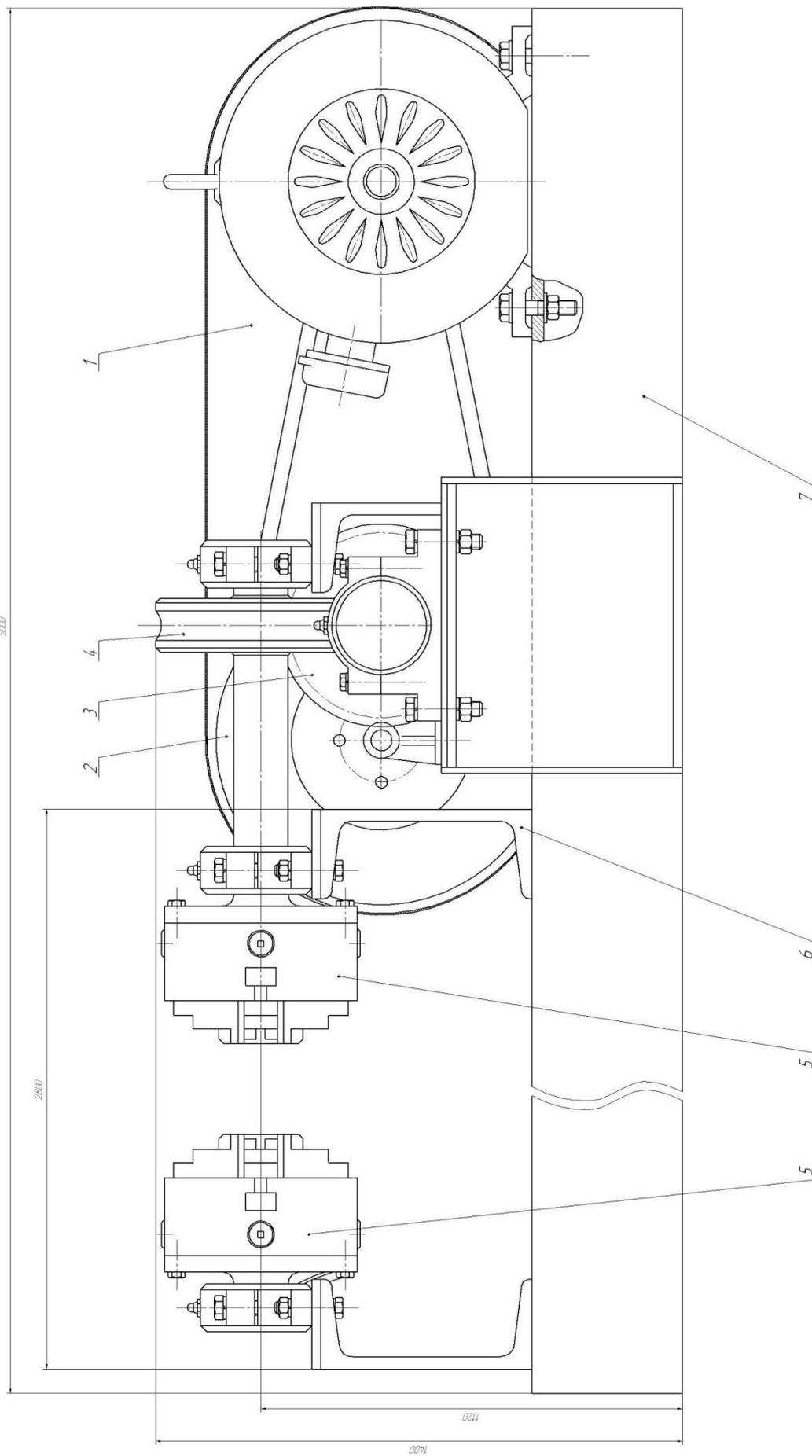


Рисунок 16 – Компоновочная схема кантующего приспособления

Дальнейшие работы в рамках настоящей выпускной квалификационной работы следует направить на расширение технологических возможностей операции наплавки в защитных газах с применением современных достижений в области управления горением дуги.

2.4 Повышение эффективности наплавки за счёт управления горением дуги

В настоящее время в мире наработана обширная база решений, призванных повысить «эффективность сварки в защитных газах проволокой сплошного сечения за счёт импульсного управления горением дуги. Работы в области управления переносом электродного металла велись в нашей стране с начал 70-х годов прошлого столетия, над проблемой работали Дудк Д.А., Патон Б.Е., Чернышов Г.Г., Потапьевский А. Г. и множество ученых» [15]. Внедрение инверторных источников сварочного тока позволил реализовать новые алгоритмы управления горением дуги и переносом электродного металла, были существенно расширены технологические возможности сварки в защитных газах [11]. На рисунке 17 представлены вид переноса электродного металла, которые реализованы с применением алгоритмов управления, разработанных и внедренных современными фирмами-производителями сварочного оборудования.

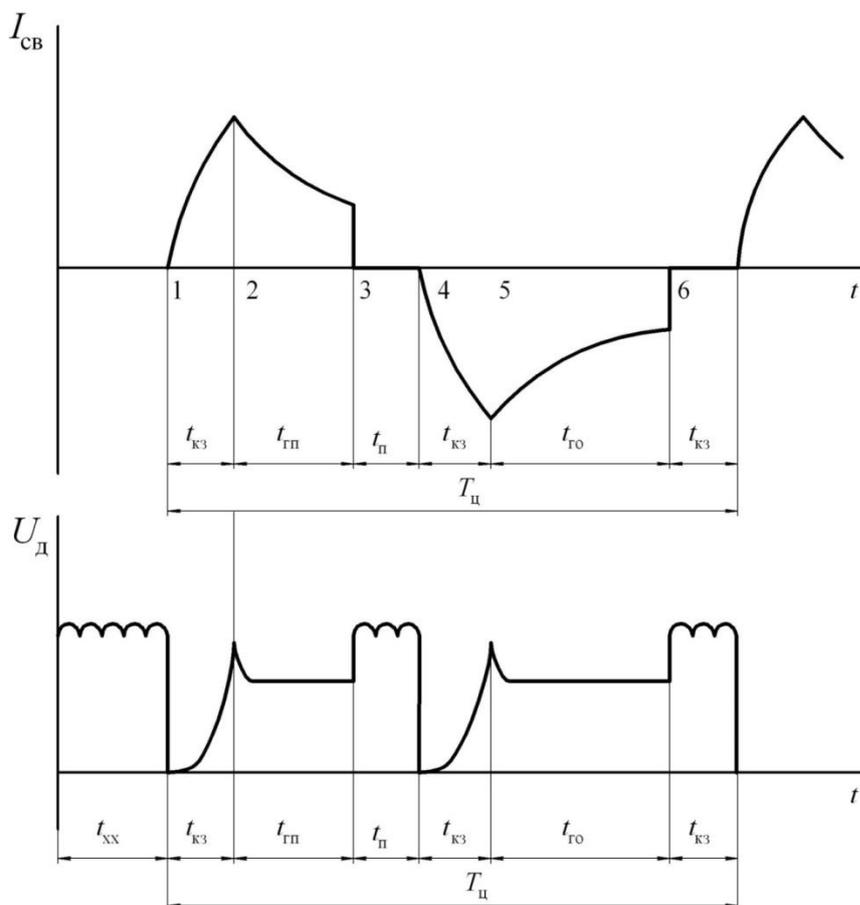


Рисунок 17 – Предлагаемые современным производителем алгоритмы управления переносом электродного металла при сварке в защитных газах

Применение импульсного управления переносом электродного металла при сварке в защитных газах позволяет получить ряд преимуществ перед классической сваркой со стационарно горящей дугой. Первым преимуществом является существенное снижение разбрызгивания и угара, что позволяет снизить расход электродного материала, улучшить условия труда сварщика и внешний вид сварного соединения. Вторым преимуществом является улучшение протекания металлургических процессов, что позволяет повысить качество сварки и улучшить эксплуатационные свойства сварной конструкции. Третьим преимуществом является высокая стабильность горения сварочной дуги, что позволяет улучшить формирование наплавленного металла и снизить припуск на механическую обработку.

Управление переносом электродного металла предлагается проводить с использованием предлагаемого отечественными исследователями способа [1]. На рисунке 18 представлены осциллограммы тока и напряжения, которые получаются при реализации предлагаемого метода управления. Сварочный цикл $T_{ц}$ разделяется на шесть составляющих отрезков. На первом отрезке, который обозначается «1-2» в течение времени $t_{кз}$ проходит работа источника питания в режиме короткого замыкания. По истечении этого промежутка времени в момент времени 2 происходит возбуждение дуги на прямой полярности. Дуга прямой полярности горит на отрезке времени «2-3» в течение $t_{гп}$. На этом промежутке времени дозируется количество энергии, которое идет на формирование капли расплавленного металла. В момент времени 3 сварочная дуга обрывается, и на отрезке времени «3-4» сварочная дуга не горит, этот диапазон времени обозначается на схеме $t_{п}$. В течение этого времени на каплю расплавленного металла перестают действовать электромагнитные силы, и она принимает соосное с электродом положение. В момент времени 4 происходит короткое замыкание на обратной полярности, на отрезке «4-5» в течение времени $t_{кз}$ происходит работа источника тока в режиме короткого замыкания. На отрезке «5-6» в течение

времени $t_{го}$ происходит горение дуги на токе обратной полярности. Обрыв дуги происходит в момент времени 6. Начиная от момента времени 6 сварочная дуга не горит.



$t_{кз}$ – «интервал короткого замыкания дугового промежутка; $t_{хх}$ – интервал холостого хода источника питания; $t_{гп}$ – длительность горения дуги на прямой полярности; $t_{го}$ – длительность горения дуги на обратной полярности; $t_{п}$ – длительность паузы тока перед коротким замыканием; $T_{ц}$ – длительность цикла плавления и переноса электродного металла» [42]

Рисунок 18 – Осциллограммы тока и напряжения при сварке по предлагаемому способу

На рисунке 19 представлена функциональная схема устройства, реализующего предлагаемый способ сварки. Схема включает в себя источник питания постоянного тока 1, силовые тиристоры анодной группы 2 и 3, сглаживающий дроссель 4, силовые тиристоры катодной группы 5 и 6, коммутирующий дроссель 7, шунтирующие диоды 8 и 9, конденсатор 10, блокирующий диод 11, коммутирующий конденсатор 12, зарядные дроссели 13 и 14, вспомогательный тиристор 15 и блок управления тиристорами 16.

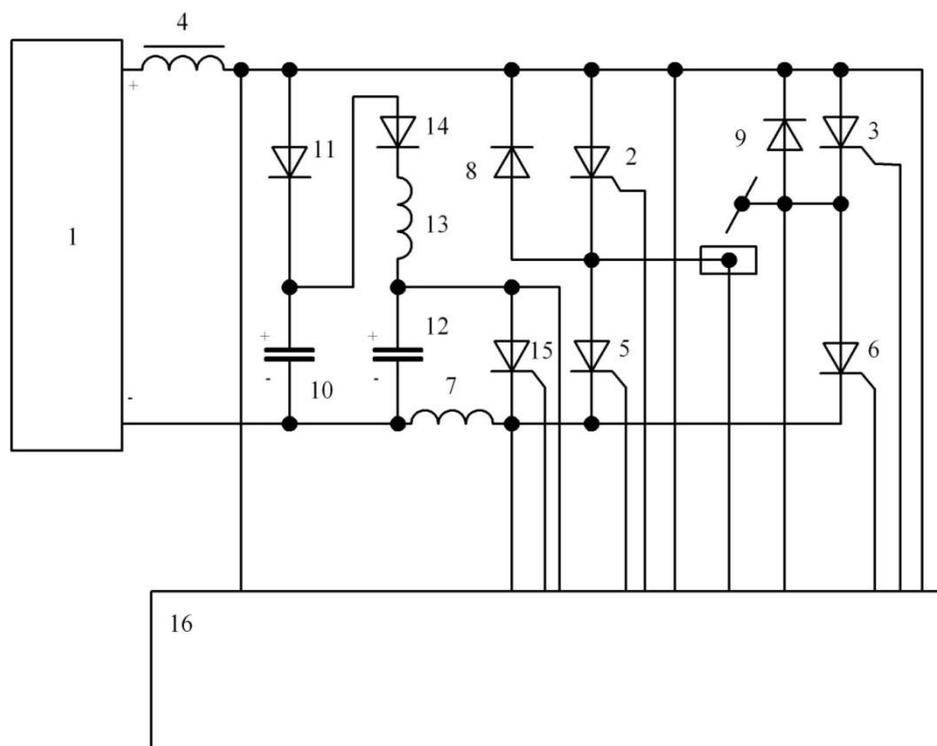


Рисунок 19 – Функциональная схема реализации способа импульсного управления дугой

Предлагаемая схема управления позволяет проводить независимое управление формой и величиной импульса сварочного тока в каждом полупериоде. Рекомендуется время горения дуги на обратной полярности $t_{го}$ делать в 1,3...1,5 раза больше времени горения дуги на прямой полярности $t_{гп}$.

Выводы по второму разделу

В настоящем разделе выпускной квалификационной работ были решены задачи, поставленные в конце аналитического раздела. Предложены изменения в базовый процесс ремонтной наплавки. Обоснована замена способа наплавки на наплавку в защитных газах проволокой сплошного сечения. На основании результатов исследования предложена проволока и защитная газовая смесь. Предложен способ импульсного управления переносом электродного металла. Дальнейшие работы предусматривают обеспечение промышленной и экологической безопасности [2], [12], а также экономическое обоснование предлагаемых решений [14], [17].

3 Экологическое обоснование выпускной квалификационной работы

3.1 Описание рассматриваемого технического объекта

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности наплавочных процессов при восстановлении валов шредера. Проведенные в исполнительском разделе работы позволили обосновать выбор способа восстановительной наплавки, назначить параметры режима наплавки, составить карту технологического процесса, выбрать технологическое оборудование и предложить мероприятия по расширению технологических возможностей способа наплавки. В качестве способа наплавки принята автоматическая наплавка проволокой сплошного сечения в защитных газах, для осуществления которой предложено и разработано соответствующее оборудование.

При выполнении операций проектного технологического процесса возможно возникновение негативных производственных факторов, становящихся причиной возникновения рисков для персонала и окружающей среды. В настоящем разделе следует провести идентификацию опасных и вредных производственных и экологических факторов, на основании которой предложить технические средства и организационные мероприятия, позволяющие устранить их или снизить до приемлемого уровня.

В таблице 4 представлены особенности проектной технологии ремонтной наплавки, которая разбита на конкретные операции. Первой операцией является проведение подготовительных работ, для выполнения которой предлагается задействовать фрезерный станок и зачистное оборудование (угловая шлифовальная машина). «Второй операцией является предварительный подогрев, для выполнения которой применяется газовое оборудование. Третьей операцией является восстановительная наплавка, для выполнения которой предлагается задействовать установку для наплавки

(источник питания» [13], формирователь наплавочных импульсов, вращатель детали, газовое оборудование, полуавтомат). Четвертой операцией является охлаждение, которое происходит с использованием ящика с песком. Пятой операцией является контроль качества, который происходит с использованием дефектоскопа, комплекта для визуального и измерительного контроля.

Таблица 4 – Особенности выполнения операций проектного технологического процесса

Операция	Работник	Оборудование	Материалы
Подготовительная операция	Слесарь-сборщик	фрезерный станок, угловая шлифовальная машина, металлическая щетка	ацетон, моющий раствор, СОЖ, техническая вода
Предварительный нагрев	Электросварщик	газовое оборудование	ацетилен, кислород
Восстановительная наплавка	Электросварщик	источник питания, вращатель детали, газовое оборудование, наплавочная головка	наплавочная проволока, защитный газ, техническая вода
Замедленное охлаждение	Электросварщик	ящик для песка, контактная теромпара	песок
Контроль качества	Дефектоскопист	набор для визуального и измерительного контроля, дефектоскоп, твердомер	масло

Данные таблицы 4 позволяют в дальнейшем выполнить идентификацию опасных и вредных производственных факторов, которые возникают при реализации проектной технологии восстановительной наплавки. Также предстоит предложить мероприятия по обеспечению пожарной и экологической безопасности рассматриваемого технологического объекта – участок для проведения восстановительной наплавки деталей машин типа валов.

3.2 Идентификация негативных производственных факторов

При выполнении операция проектного технологического процесса используется оборудование и материалы, действия кс которыми могут стать причиной возникновения опасных и вредных производственных факторов. Результаты идентификации негативных производственных факторов представлены в таблице 5. Эти факторы могут возникнуть в ходе реализации проектного технологического процесса и стать причинами травм и профессиональных заболеваний работников предприятия.

При выполнении первой операции проектного технологического процесса, которой является подготовительная операция, следует отметить наличие четырёх негативных факторов: острые кромки и заусенцы на деталях, движущиеся части механизмов и машин, загрязнение воздуха и возможность поражения электрическим током. При выполнении второй операции проектного технологического процесса, в ходе которой проходит предварительный подогрев деталей перед проведение восстановительной наплавки, следует отметить наличие двух негативных производственных факторов: опасность поражения электрическим током и опасность получения термических травм от нагретых деталей. При выполнении третьей операции проектного технологического процесса негативными факторами являются поражение электрическим током, получение термических травм, инфракрасное и ультрафиолетовое излучение и загрязнение воздуха рабочей зоны. При выполнении четвёртой операции проектного технологического процесса негативными факторами являются опасность поражения электрическим током и опасность получения ожогов. При выполнении пятой операции проектного технологического процесса в качестве негативных производственных факторов следует указать вредное ультразвуковое излучение, которое возникает при проведении неразрушающего контроля качества выполненной восстановительной наплавки детали.

Таблица 5 – Идентификация негативных производственных факторов

Операция	Возникающий в ходе выполнения операции негативный фактор	Источник возникновения негативного фактора
Подготовительная операция	<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 	<ul style="list-style-type: none"> - машина угловая шлифовальная, - станок фрезерный, - щетка металлическая
Предварительный нагрев	<ul style="list-style-type: none"> - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; - повышенная температура поверхностей оборудования, материалов 	<ul style="list-style-type: none"> - газовая горелка
Восстановительная наплавка	<ul style="list-style-type: none"> - повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека - повышенная температура поверхностей оборудования, материалов; - ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений; - инфракрасное излучение в рабочей зоне сверх безопасных значений уровня инфракрасной радиации 	<ul style="list-style-type: none"> - источник питания сварочной дуги, - установка для наплавки
Замедленное охлаждение	<ul style="list-style-type: none"> - опасные и вредные производственные факторы, связанные с чрезмерно высокой или низкой температурой материальных объектов производственной среды, могущих вызвать ожоги 	<ul style="list-style-type: none"> - ящик для песка, - песок
Контроль качества	<ul style="list-style-type: none"> - ультразвуковое излучение; - повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны 	<ul style="list-style-type: none"> - дефектоскоп, - штангенциркуль, - твердомер

На основании проведённой идентификации негативных производственных факторов, сопровождающих проектную технологию восстановительной наплавки рассматриваемой детали, предстоит предложить мероприятия по их устранению.

3.3 Снижение профессиональных рисков

По результатам проведенной ранее идентификации негативных производственных факторов, возникновение которых ожидается при реализации предлагаемой технологии, могут быть предложены необходимые компенсирующие технические средства и организационные мероприятия. В таблице 6 представлены стандартные технические средства и организационные мероприятия, применение которых позволит снизить профессиональные риски до приемлемого уровня.

Таблица 6 – Средства и методики снижения профессиональных рисков

Негативный производственный фактор	Оборудование и мероприятия	Средства индивидуальной защиты
острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования	инструктаж персонала перед допуском к работе; предупреждающая окраска, таблички; ограждение; информационные плакаты	специальная одежда, перчатки, защитные очки
«движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования» [8]	защитное отключение оборудования, ограждение, концевые выключатели на оборудовании, информационные плакаты, инструктаж персонала	специальная одежда, перчатки, защитные очки
повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	«устройства местного удаления загрязненного воздуха, общеобменная вентиляция» [8]	респиратор
повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	«организация и периодический контроль защитного заземления, контроль изоляции, установка устройств защитного отключения, инструктаж персонала, информационные плакаты» [8]	специальная одежда, резиновые коврики
«повышенная температура поверхностей оборудования, материалов» [8]	инструктаж персонала, таблички, ограждение, информационные плакаты	специальная одежда, перчатки
инфракрасное излучение в рабочей зоне	защитные экраны, ограждение	специальная одежда, перчатки, защитная маска
«ультрафиолетовое излучение в рабочей зоне	защитные экраны, ограждение	специальная одежда, перчатки, защитная маска»
ультразвуковое излучение в рабочей зоне» [8]	защитные экраны, ограждение, ограничение времени работы	специальная одежда

На основании анализа данных таблицы 6 следует ожидать эффективного снижения негативного действия выявленных опасных и вредных производственных факторов. Предлагаемые технические средства и организационные мероприятия представляют стандартный набор, проведение которых современным предприятием не представляет трудностей и может быть выполнено с применением стандартных методик обеспечения безопасности производственных процессов.

3.4 Обеспечение пожарной безопасности

Выполнение «операций проектного технологического процесса кроме возникновения негативных производственных факторов, сопровождается риском возникновения пожара, так как выполнение операций предполагает работу с открытыми источниками огня. Также пожар может возникнуть в результате короткого замыкания в электрических сетях и в результате теплового излучения сварочной дуги. Для того, чтобы устранить опасность возникновения пожара и уменьшить его негативные последствия, следует провести идентификацию опасных факторов при возникновении пожара на рассматриваемом технологическом объекте» [8], результаты которой представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Класс и опасные факторы пожара на рассматриваемом техническом объекте

Назначение технологического участка	Проведение восстановительной наплавки деталей машин
Наименование оборудования	«Источник питания, вращатель, фрезерный станок, газовое и термическое оборудование
Классификация по виду горящего вещества	пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)
Основные опасных факторы пожара	Повышенная температура; токсичные продукты и угарный газ; снижающие видимость аэрозоли; снижение концентрации кислорода в воздухе» [8]
Вторичные опасные факторы пожара	Поражение электрическим током; продукты разложения составов, используемых для тушения пожара

Как показывают результаты анализа возможного пожара по основным факторам, возможный пожар на рассматриваемом технологическом участке может быть отнесён к классу «Е». В ходе такого пожара происходит горение материалов в условиях действия высокого напряжения. В числе основных негативных факторов пожара следует указать тепловой поток, снижение концентрации кислорода в воздухе, выделение токсичных веществ при горении и термическом разложении материалов, задымление пространства и ухудшение видимости. В числе вторичных негативных факторов пожара следует указать опасность поражения электрическим током, опасность отравления продуктами разложения составов, которые были использованы при тушении пожара.

Технические средства, направленные на устранение негативных факторов пожаров, представлены в таблице 8. Организационные мероприятия, направленные на устранение негативных факторов пожаров, представлены в таблице 9. «Предполагается проведение инструктажа по обеспечению пожарной безопасности, проведение деловых игр по тематике противопожарных работ, соблюдение производственной дисциплины, запрет курения в неположенных местах, организация общественного контроля» [8].

Таблица 8 – Технические средства и организационные мероприятия по устранению негативных факторов пожара

«Первичные средства пожаротушения	Емкость с песком, переносные углекислотные огнетушители.
Мобильные средства пожаротушения	Специализированные расчеты (вызываются)
Стационарные установки системы пожаротушения	Нет необходимости
Средства пожарной автоматики	Установки пожарной сигнализации, пожарного оповещения
Пожарное оборудование	Пожарный кран
Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	План эвакуации
Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Ведро конусное, лом, лопата штыковая
Пожарные сигнализация, связь и оповещение» [8]	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели

Таблица 9 – Организационные мероприятия по устранению негативных факторов пожара

Наименование производственного участка	Участок ремонтной наплавки деталей машин типа валов
Организационные мероприятия	Проведение инструктажа по обеспечению пожарной безопасности, проведение деловых и ролевых игр с сотрудниками предприятия по тематике противопожарных работ, соблюдение производственной дисциплины, запрет курения в неположенных местах, организация общественного контроля за противопожарной обстановкой
Требования к производственному участку	Наличие информационных, мотивирующих и предупреждающих плакатов, установка экранов от пролёта брызг и искр, наличие на участке первичных средств пожаротушения

Пожарная безопасность рассматриваемого в настоящей выпускной квалификационной работе производственного участка обеспечивается наличием первичных средств тушения пожаров, среди которых огнетушители, ящик с песком и кошма. Также в качестве пожарного инструмента могут быть использованы багор, топор и лопата. Необходимо предусмотреть наличие речевых, световых и звуковых оповещателей, которые обеспечат своевременное информирование персонала в случае возникновения внештатных ситуаций.

3.5 Вопросы обеспечения экологической безопасности

В настоящее время в мировую повестку включены вопросы обеспечения экологической безопасности промышленных предприятий, следование этой повестке заставляет предъявлять все более жёсткие требования по снижению отрицательного антропогенного воздействия. При реализации проектной технологии наблюдается отрицательное влияние на такие элементы ареала обитания, как атмосфера, гидросфера и литосфера, особенности такого отрицательного воздействия представлены в таблице 10. На основании анализа данных таблицы 10 предлагается ряд организационных

мероприятий и технические средства, применение которых позволяет снизить отрицательное воздействие производственного участка на окружающую среду. Предлагаемые решения представлены в таблице 11.

Таблица 10 – Негативные антропогенные факторы на окружающую среду при реализации проектной технологии восстановительной наплавки

Наименование анализируемого технологического процесса	Ремонтная наплавка деталей машин типа валов
Наименование операций технологического процесса, в ходе которых возникает негативное антропогенное воздействие	Подготовка дефектного места, предварительный подогрев, восстановительная наплавка, замедленное охлаждение, контроль качества
Факторы негативного воздействия на атмосферу	Сварочные аэрозоли, частицы сажи
Факторы негативного воздействия на гидросферу	Пролитое машинное масло, попадающее в грунтовые воды
Факторы негативного воздействия на литосферу	Пролитое на землю машинное масло, загрязнение площадей упаковочным материалом, бытовым и производственным мусором

Таблица 11 – Организационные мероприятия и технические средства для снижения отрицательного воздействия на окружающую среду

Наименование технического объекта	Участок ремонтной наплавки деталей машин типа валов
«Мероприятия по исключению негативного действия на воздушную среду.»	Оснащение вентиляционной системы фильтрами, позволяющими выполнить сбор и утилизацию выделяющихся при горении дуги вредных продуктов
Мероприятия по исключению негативного действия на водную среду.	Контроль утечек в гидросистеме приспособления или кантователя и незамедлительное их устранение.
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу» [2]	«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» [8]

Предлагаемые мероприятия и технические решения позволяют снизить отрицательное воздействие технологического процесса на окружающую среду до приемлемого уровня, что позволяет рекомендовать рассматриваемые решения для внедрения в реальное производство.

4 Экономическое обоснование предлагаемых решений

4.1 Исходная информация для выполнения экономического обоснования

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности наплавочных работ при выполнении восстановительной наплавки деталей типа валов. В работе рассматривается вопрос восстановления шестигранного вала двухвального шредера. В исполнительском разделе работы выполнено обоснование выбора способа восстановительной наплавки и составлена технология наплавки детали. По сравнению с базовым вариантом технологии выполнены изменения, которые должны повысить экономическую эффективность предприятия, которая должна быть доказана в настоящем разделе выпускной квалификационной работы.

Базовый вариант технологии предусматривает применение ручной дуговой наплавки, которая имеет ряд недостатков. Во-первых, при ручной дуговой наплавке не удаётся получить высокую стабильность механических свойств и химического состава наплавленного металла, происходит частичное перемешивание наплавленного металла с основным металлом. Во-вторых, высокая погонная энергия при наплавке по базовому варианту может стать причиной нарушения геометрии детали и её бракование. Ручная дуговая наплавка характеризуется тяжелыми условиями труда сварщика. Также следует отметить низкую производительность процесса и низкое качество наплавки, которое также существенно зависит от квалификации и кондиции сварщика. Автоматическая «наплавка в защитных газах проволокой сплошного сечения, которая предлагается в проектной технологии, позволяет повысить производительность и качество выполняемых работ по восстановлению деталей машин» [13]. Исходные данные по вариантам приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Исходные данные для экономического обоснования

«Экономический показатель	Принятое в расчётной формуле буквенное обозначение показателя	Единица измерения экономического показателя	Значение экономического показателя применительно к базовой и проектной технологиям	
			Базовая технология	Проектная технология
Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	1	1
Разряд работников	P_p	-	IV	IV
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	$K_{вн}$	-	1,03	1,03
Стоимость оборудования	$C_{об}$	руб.	200 тыс.	600 тыс.
Норма амортизации оборудования	K_a	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	15	20
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
Стоимость электрической энергии	$C_{э-э}$	Р/ кВт	3,4	3,4
Коэффициент полезного действия	$K_{пд}$	-	0,7	0,85
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж оборудования	$K_{мон}$ $K_{дем}$	%	3	5
Площадь под оборудование	S	m^2	50	50
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эсп}$	(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» [14]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

Экономическое обоснование предлагаемых решений предусматривает выполнение расчётов основных экономических показателей проектной и базовой технологий с учётом технологической, цеховой и заводской себестоимости.

4.2 Расчёт фонда времени

Выполнение операций технологического процесса, как в проектном, так и в базовом варианте, предусматривает работу оборудования, которая происходит в течение заданного промежутка времени. Дальнейшие экономические расчёты по определению себестоимости производства и других экономических показателей предприятия основаны на величине годовой программы и количества единиц оборудования, которые, в свою очередь, вычисляются в зависимости от общего фонда времени работы оборудования. Объём общего фонда времени работы оборудования зависит от количества рабочих дней в календарном году, которое принимается $D_p=277$. Еще одной компонентой для расчётов является продолжительность рабочей смены, которая принимается $T_{см}=8$ часов. Количество рабочих смен на предприятии принимается равным $K_{см}=1$. В предпраздничные дни происходит уменьшение продолжительности рабочей смены на величину $T_p=1$ час. Количество предпраздничных дней принимается равным $D_p=7$ дней. С использованием исходных параметров производит расчёт годового фонда времени работу оборудования по формуле:

$$F_H = (D_p \cdot T_{см} - D_p \cdot T_p) \cdot K_{см} . \quad (1)$$

После подстановки в формулу (1) исходных значений годовой фонд времени работы оборудования будет равен: $F_H = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209$ часов. Для определения эффективного фонда времени работы оборудования следует необходимо учесть возможные потери в размере $B=7\%$ по формуле:

$$F_э = F_H(1-B/100). \quad (2)$$

После подстановки в формулу (2) исходных значений эффективный фонд времени работы оборудования составляет : $F_э = 2209 \cdot (1 - 7/100) = 2054$ часов. Эта величина будет в дальнейшем использована для проведения дальнейших экономических расчётов.

4.3 Штучное время по базовому и проектному вариантам технологии

Расчёт годовой программы и себестоимости производства требует определения штучного времени, которое требуется на выполнение технологических операций согласно базового и проектного вариантов технологии. «В состав штучного времени $t_{шт}$ входят пять слагаемых. Первым слагаемым является машинное время $t_{маш}$, которое затрачивается на выполнение основных операций технологического процесса. Вторым слагаемым является вспомогательное время $t_{всп}$, которое затрачивается на выполнение вспомогательных и подготовительных операций» [17]. Третьим слагаемым является время отдыха $t_{отд}$. Четвертым слагаемым является подготовительно-заключительное время $t_{п-з}$. Пятым слагаемым является время обслуживания $t_{обсл}$, которое расходуется на проведение мелкого ремонта и обслуживание технологического оборудования. Таким образом, штучное время вычисляется как:

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

После подстановки в формулу (3) исходных значений по базовому и проектному вариантам технологии, взятых и аналитического и исполнительского разделов выпускной работы, получены следующие значения штучного времени: $t_{шт.баз} = 1,65 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 2$ часа и $t_{шт.проектн.} = 0,83 \cdot (100\% + 50\% + 10\% + 10\% + 5\%) = 1$ час. Объём годовой программы Π_r зависит от объёма эффективного годового фонда времени работы оборудования F_3 и штучного времени $t_{шт}$ по базовому и проектному вариантам технологии:

$$\Pi_r = F_3 / t_{шт} . \quad (4)$$

После подстановки в (4) исходных значений для рассматриваемых вариантов $\Pi_{r.баз.} = 2054/2 = 1027$ и $\Pi_{r.пр.} = 2054/1 = 2054$. С учётом потребности отрасли принимаем $\Pi_r = 800$ для обоих вариантов технологии.

Расчёт количества технологического оборудования, применяемого для выполнения операций проектного и базового вариантов технологии, выполняется с учётом годовой программы, штучного времени $t_{шт}$, эффективного фонда времени $F_э$ и коэффициента выполнения нормы, значение которого принимается равным $K_{вн} = 1,03$:

$$n_{расч} = t_{шт} \cdot \Pi_{г} / (F_э \cdot K_{вн}). \quad (5)$$

После подстановки в формулу (5) исходных значений, получаем для базового и проектного вариантов технологии соответственно количество оборудования $n_{расч} = 2 \cdot 800 / (2054 \cdot 1,03) = 0,76$ и $n_{расч} = 1 \cdot 800 / (2054 \cdot 1,03) = 0,38$.

При выполнении операций технологического процесса для дальнейших расчётов примем ближайшее большее целое значение $n=1$ для базового варианта технологии и $n=1$ для проектного варианта технологии.

Далее проведем расчёт коэффициента загрузки технологического оборудования $K_з$ для обоих вариантов технологии:

$$K_з = n_{расч} / n. \quad (6)$$

При подстановке в формулу (6) исходных значений для базового варианта технологии получено $K_з = 0,76/1 = 0,76$; для проектного варианта технологии получено $K_з = 0,38/1 = 0,38$.

Таким образом, для последующего экономического расчёта по обоснованию предлагаемых технических и организационных решений получены исходные значения эффективного годового фонда времени работы оборудования, штучного времени, количества оборудования, годовой программы и коэффициента загрузки оборудования.

Расчёт изменяющихся экономических показателей выполним по технологической, цеховой и заводской себестоимости проведения работ с учётом капитальных затрат на проведение технологического процесса по базовому варианту и проектному варианту.

4.4 Технологическая, цеховая и заводская себестоимости по вариантам технологии

При выполнении операций технологического процесса по проектному варианту и по базовому варианту происходит расходование материалов. При выполнении технологического процесса по базовом варианту в качестве расходуемых материалов выступают штучные электроды. При выполнении технологического процесс по проектному варианту в качестве расходуемых материалов выступает защитный газ и наплавочная проволока. «Расчёт затрат на материалы M выполняется по рыночной цене материалов C_m , с учётом коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{ТЗ}$ и нормы расходов материалов H_p » [14]:

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

На основании данных аналитического и исполнительского разделов настоящей выпускной квалификационной работы с использованием формулы (7) получены значения расхода на материалы по базовому варианту технологии $M=270 \cdot 0,48 \cdot 1,05=130$ рублей; расход на материалы по проектному варианту технологии $M=310 \cdot 0,448 + 90 \cdot 0,213 = 158$ рублей.

Для вычисления объема фонда заработной платы потребуется величина штучного времени $t_{шт}$, коэффициента доплат K_d и часовой тарифной ставки $C_ч$. Для рассматриваемого варианта технологического процесса величина коэффициента доплат принимается равной $K_d = 1,88$. Для расчёта основной заработной платы применим формулу:

$$Z_{осн} = t_{шт} \cdot C_ч \cdot K_d. \quad (8)$$

После подстановки в (8) исходных значений расчётная величина фонда основной заработной платы составляет для базового варианта технологического процесса $Z_{осн} = 2 \cdot 200 \cdot 1,88 = 752$ рублей и для проектного варианта технологического процесса $Z_{осн} = 1 \cdot 200 \cdot 1,88 = 376$ рублей.

«Объем фонда дополнительной заработной платы определяется исходя из объемов основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$ и коэффициента доплат» [14], величин которого принимается равной $K_{\text{доп}} = 12\%$. Таким образом, расчёт дополнительной заработной платы проводится по формуле:

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

После того, как в формулу (9) были подставлены необходимые значения, дополнительная заработная плата по базовому варианту технологии составила $Z_{\text{доп}} = 752 \cdot 12 / 100 = 90$ рублей и по проектному варианту технологии $Z_{\text{доп}} = 376 \cdot 12 / 100 = 45$ рублей.

«Размер фонда заработной платы ФЗП рассчитывается по результатам сложения дополнительной $Z_{\text{доп}}$ и основной $Z_{\text{осн}}$ заработной платы. В случае подстановки данных для базового варианта технологии размер фонда заработной платы составляет $\text{ФЗП} = 752 + 90 = 842$ рублей. В случае подстановки данных для проектного варианта технологии размер фонда заработной платы составляет $\text{ФЗП} = 376 + 45 = 421$ рублей» [14].

«Размер отчислений на социальные нужды $O_{\text{сн}}$, определяется исходя из значения коэффициента отчислений $K_{\text{сн}} = 34\%$. Величина отчислений на социальные составляет по формуле» [14]:

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

После подстановки данных в (10) для базового варианта технологического процесса отчисления на социальные нужды составили значение $O_{\text{сн}} = 842 \cdot 34 / 100 = 286$ рублей. Отчисления на социальные нужды для проектного варианта технологи составили $O_{\text{сн}} = 421 \cdot 34 / 100 = 143$ рублей.

Затраты на оборудование $Z_{\text{об}}$ по базовому и проектному вариантам технологического процесса определяются как сумма амортизационных отчислений $A_{\text{об}}$ и затрат на электрическую энергию $P_{\text{э}}$ по формуле:

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

«Размер амортизационных отчислений $A_{об}$ определяется согласно цене оборудования $C_{об}$ и нормы амортизации $H_a = 21,5 \%$, также необходимо учесть в расчётах величину машинного времени $t_{маш}$ и размер эффективного фонда времени $F_э$. Для этого применима формула» [14]:

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

После подстановки в формулу (12) исходных значений по базовому и проектному вариантам технологии расчётная величина $A_{об}$ составила для базовой технологии $A_{об.} = 200000 \cdot 21,5 \cdot 2 / 2054 / 100 = 42$ рубля и для проектной технологии $A_{об.} = 600000 \cdot 21,5 \cdot 1 / 2054 / 100 = 63$ рубля.

«Затраты на электрическую энергию, расходуемую на выполнение операций проектного и базового технологического процесса, определяются исходя из машинного времени $t_{маш}$, мощности оборудования $M_{уст}$, стоимости электрической энергии $C_{ээ}$ и коэффициента полезного действия КПД» [14]:

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

По результатам использование данных в расчётах согласно (13) полученные расходы на электрическую энергию составляют $P_{ээ} = 15 \cdot 2 \cdot 3,4 / 0,7 = 129$ рублей для базового варианта технологии. Выполнение операций по проектному варианту технологии потребует расходования электрической энергии на сумму $P_{ээ} = 20 \cdot 1 \cdot 3,4 / 0,85 = 71$ рублей. Учёт в формуле (11) полученных значений позволяет оценить затраты на оборудование, которые составили $Z_{об} = 42 + 129 = 171$ рублей для базового варианта технологии. Для проектного варианте технологии затраты на оборудование составили $Z_{об} = 63 + 71 = 134$ рублей. «Технологическая себестоимость $C_{тех}$ рассчитывается по величине затрат на материалы M , фонда заработной платы ФЗП, отчислений на социальные нужды $O_{сн}$ и затрат на оборудование $Z_{об}$. Величина $C_{тех}$ определяется по формуле» [14]:

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

После применения рассчитанных выше значений в формуле (14) может быть рассчитан размер технологической себестоимости, который составляет $C_{\text{тех}} = 130 + 842 + 286 + 171 = 1429$ рублей для базового варианта технологии. Подстановка данных в формулу (14) позволяет также получить технологическую себестоимость для проектного варианта технологии, которая составила $C_{\text{тех}} = 158 + 421 + 143 + 134 = 856$ рублей. Далее рассчитываем цеховую себестоимость $C_{\text{цех}}$:

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

При подстановке значений в формулу (15) для базового варианта технологии размер цеховой себестоимости с учётом ранее определённых значений составляет $C_{\text{цех}} = 1429 + 1,5 \cdot 752 = 1429 + 1128 = 2557$ рублей. Для проектного варианта технологии $C_{\text{цех}} = 856 + 1,5 \cdot 376 = 856 + 564 = 1420$ рублей. Далее рассчитываем заводскую себестоимость $C_{\text{зав}}$:

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

При подстановке значений в формулу (16) для базового варианта технологии размер цеховой себестоимости с учётом ранее определённых значений составляет $C_{\text{зав}} = 2557 + 1,15 \cdot 752 = 2557 + 865 = 3422$ рублей. Для проектного варианта технологии $C_{\text{зав}} = 1420 + 1,15 \cdot 376 = 1420 + 432 = 1852$ рублей. В ходе проведённых экономических расчётов установлено, что величина заводской себестоимости при выполнении работ по проектной технологии с применением предлагаемых технических решений, значительно меньше заводской себестоимости при проведении работ по базовой технологии. Снижение заводской себестоимости происходит по причине повышения производительности труда и повышения эффективности расходования материалов и энергии. Это позволяет предположить наличие положительного экономического эффекта, для определения которого необходимо выполнить расчёт капитальных затрат по проектному и базовому вариантам технологии.

4.5 Расчёт капитальных затрат по проектной и базовой технологии

Первоначально проведем расчёт «капитальных затрат по базовому варианту технологического процесса. Остаточная стоимость оборудования $\text{Ц}_{\text{об.б.}}$ может быть рассчитана по рыночной стоимости нового оборудования $\text{Ц}_{\text{перв.}}$, нормы амортизационных отчислений Н_a и срока эксплуатации оборудования $\text{T}_{\text{сл}}$ по формуле» [14]:

$$\text{Ц}_{\text{об.б.}} = \text{Ц}_{\text{перв.}} - (\text{Ц}_{\text{перв.}} \cdot \text{T}_{\text{сл}} \cdot \text{Н}_a / 100). \quad (17)$$

После подстановки в формулу (17) известных значений может быть рассчитана остаточной стоимости оборудования, которое было задействовано для реализации операций базового технологического процесса $\text{Ц}_{\text{об.б.}} = 200000 - (200000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 71000$ рублей.

Размер капитальных затрат по «базовому варианту технологии рассчитывается с учётом остаточной стоимости оборудования $\text{Ц}_{\text{об.б.}}$ и коэффициента загрузки оборудования K_z по базовому варианту технологии» [14]:

$$\text{K}_{\text{общ. б.}} = \text{Ц}_{\text{об.б.}} \cdot \text{K}_{z.б.} \quad (18)$$

После подстановки в формулу (18) известных значений величина капитальных затрат по базовому варианту $\text{K}_{\text{общ. б.}} = 1 \cdot 71000 \cdot 0,76 = 53960$ рублей.

Для расчёта «капитальных затрат по проектному варианту технологии $\text{K}_{\text{общ. пр.}}$ необходимо задаться капитальными затратами на оборудование $\text{K}_{\text{об. пр.}}$, капитальными затратами на площади $\text{K}_{\text{пл. пр.}}$ и сопутствующими расходами $\text{P}_{\text{соп.}}$. Таким образом, расчёт капитальных затрат происходит по формуле» [14]:

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

Капитальные затраты на оборудование будут рассчитаны с учётом цены оборудования для выполнения операций проектного технологического процесса $\text{Ц}_{\text{об. пр.}}$, коэффициента загрузки оборудования K_3 и коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{\text{ТЗ}}=1,05$:

$$K_{\text{об. пр.}} = \text{Ц}_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{ТЗ}} \cdot K_{\text{зп.}} \quad (20)$$

После подстановки в формулу (20) значений расчётная величина капитальных затрат на оборудование по проектному варианту составила $K_{\text{об. пр.}} = 600000 \cdot 1,05 \cdot 0,38 = 239400$ рублей.

Сопутствующие затраты $K_{\text{соп}}$ при внедрении проектной технологии в производство определяются как сумма затрат на демонтаж старого оборудования $P_{\text{дем}}$ и затрат на монтаж нового оборудования $P_{\text{монт}}$. Затраты на демонтаж старого оборудования определяются по его остаточной стоимости $\text{Ц}_{\text{об. б.}}$ через коэффициент расходов на демонтаж $K_{\text{дем}} = 0,05$:

$$P_{\text{дем}} = \text{Ц}_{\text{об. б.}} \cdot K_{\text{д.}} \quad (21)$$

После подстановки в формулу (21) значений величина расходов на демонтаж составила $P_{\text{дем}} = 1 \cdot 200000 \cdot 0,05 = 10000$ рублей.

Величина расходов на монтаж нового оборудования определяется по его рыночной стоимости $\text{Ц}_{\text{об. пр.}}$ и коэффициента расходов на монтаж $K_{\text{монт}} = 0,05$:

$$P_{\text{монт}} = \text{Ц}_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{м.}} \quad (22)$$

После подстановки в формулу (22) значений величина расходов на монтаж составила $P_{\text{монт}} = 600000 \cdot 0,05 = 30000$ рублей.

Размер сопутствующих расходов определяется как сумма расходов на демонтаж $P_{\text{дем}}$ и расходов на монтаж $P_{\text{монт}}$ по формуле:

$$P_{\text{соп}} = P_{\text{дем}} + P_{\text{монт.}} \quad (23)$$

После подстановки значений в формулу (23) размер сопутствующих расходов составил $P_{\text{соп}} = 10000 + 30000 = 40000$ рублей.

Общие капитальные затраты $K_{\text{общ. пр.}}$, рассчитываемые по формуле (19), составили $K_{\text{общ. пр.}} = 239400 + 40000 = 279400$ рублей.

«Расчёт дополнительных капитальных вложений $K_{\text{доп}}$ выполняется как разность капитальных затрат по проектному $K_{\text{общ.пр}}$ и базовому $K_{\text{общ.б}}$ вариантам технологии» [14]:

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общпр}} - K_{\text{общб}} \quad (24)$$

При подстановке в формулу (24) известных значений дополнительные капитальные вложения составили $K_{\text{доп}} = 279400 - 53960 = 225440$ рублей.

Удельные капитальные вложения вычисляем с учётом годовой программы Π_{Γ} по формуле:

$$K_{\text{уд}} = K_{\text{общ}} / \Pi_{\Gamma} \quad (25)$$

При подстановке в формулу (25) известных значений размер удельных капитальных вложений при построении технологического процесса по базовому варианту составил $K_{\text{уд}} = 53960/800 = 67$ рублей. Размер удельных капитальных вложений при построении технологического процесса по проектному варианту составил $K_{\text{уд}} = 279400/800 = 349$ рублей.

Таким образом, были рассчитаны все необходимые исходные данные для определения основных показателей эффективности проектной технологии.

4.6 Показатели эффективности предлагаемых решений

Основными показателями, определяющими эффективность предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решения, являются «снижение трудоемкости $\Delta t_{\text{шт}}$, повышение производительности труда Π_{Γ} , снижение технологической себестоимости $\Delta C_{\text{тех}}$, условная годовая экономия $\mathcal{E}_{\text{уг}}$, срок окупаемости капитальных вложений $T_{\text{ок}}$ и годовой экономический эффект \mathcal{E}_{Γ} » [14].

Величину снижения трудоемкости $\Delta t_{шт}$ определим по штучному времени проектной $t_{шт пр}$ и базовой $t_{шт.б}$ технологии по формуле:

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

При подстановке значений в формулу (26) рассчитываем величину снижения трудоемкости $\Delta t_{шт} = (2-1) \cdot 100 \% / 2 = 50 \%$.

«Повышение производительности труда Π_T рассчитывается исходя из ранее определённого значения снижения трудоёмкости $\Delta t_{шт}$ по формуле» [14]:

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

При подстановке значений в формулу (27) рассчитываемая величина повышения производительности труда составляет $\Pi_T = 100 \cdot 50 / (100 - 50) = 100 \%$.

Размер снижения технологической себестоимости $\Delta C_{тех}$ рассчитывается по ранее определённым значениям технологической себестоимости в проектном $C_{тех.пр.}$ и базовом $C_{тех.б.}$ вариантах технологии по формуле:

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

При подстановке значений в формулу (28) снижение технологической себестоимости составляет $\Delta C_{тех} = (1429 - 856) \cdot 100\% / 1429 = 40 \%$.

Величина условно-годовой экономии рассчитывается исходя из заводской себестоимости по проектному $C_{зав.пр}$ и базовому $C_{зав.б}$ вариантам технологии по формуле:

$$\mathcal{E}_{уг} = (C_{зав.б} - C_{зав.пр}) \cdot \Pi_T . \quad (29)$$

При подстановке в формулу (29) ранее определённых значений величина условно-годовой экономии $\mathcal{E}_{уг} = (3422 - 1852) \cdot 800 = 1256000$ рублей.

Расчёт срока окупаемости предлагаемый в настоящей выпускной квалификационной работе решений выполняется по формуле:

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

При подстановке в формулу (30) значений расчётная величина срока окупаемости составляет $T_{ок} = 225440 / 1256000 = 0,2$ года.

«Годовой экономический эффект $\mathcal{E}_г$ рассчитывается с учётом условно-годовой экономии $\mathcal{E}_{уг}$, дополнительных капитальных вложений $K_{доп}$ и коэффициента окупаемости E_n по формуле» [14]:

$$\mathcal{E}_г = \mathcal{E}_{уг} - E_n \cdot K_{доп}. \quad (31)$$

При подстановке в формулу (31) известных значений величина годового экономического эффекта $\mathcal{E}_г = 1256000 - 0,33 \cdot 225440 = 1181600$ рублей.

Выводы по экономическому разделу

В настоящем разделе выпускной квалификационной работе выполнен расчёт основных экономических показателей производства при осуществлении базового варианта технологического процесса и проектного варианта технологического процесса. Установлено, что внедрение в производство предлагаемых решений позволяет снизить трудоемкость на величину $\Delta t_{шт} = 50\%$ и повысить производительность труда на $P_г = 100\%$. Внедрение прогрессивных технологий позволяет более эффективно расходовать трудовые, материальные и энергетические ресурсы предприятия, что позволяет снизить технологическую себестоимость на величину $\Delta C_{тех} = 40\%$. При этом условно-годовая экономия составляет $\mathcal{E}_{уг} = 1,256$ млн. рублей. С учётом капитальных вложений окупаемость предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений составляет $T_{ок} = 0,2$ года. Годовой экономический эффект с учётом капитальных вложений составляет $\mathcal{E}_г = 1,181$ млн. рублей. На основании проведенных экономических расчётов следует сделать вывод о высокой экономической эффективности предлагаемых решений.

Таким образом, разработанная технология рекомендуется к внедрению на современном промышленном производстве.

Заключение

Настоящая выпускная квалификационная работа посвящена решению вопроса повышения эффективности наплавочных процессов при восстановлении валов шредера.

При анализе базовой технологии сформулированы её недостатки. Во-первых, при ручной дуговой наплавке не удаётся получить высокую стабильность механических свойств и химического состава наплавленного металла, происходит частичное перемешивание наплавленного металла с основным металлом. Во-вторых, высокая погонная энергия при наплавке по базовому варианту может стать причиной нарушения геометрии детали и её бракование. Ручная дуговая наплавка характеризуется тяжелыми условиями труда сварщика. Также следует отметить низкую производительность процесса и низкое качество наплавки, которое также существенно зависит от квалификации и кондиции сварщика.

Проведён анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности восстановительной наплавки деталей машин. Выделены приемлемые способы наплавки, на основании преимуществ и недостатков альтернативных способов наплавки принято решение о выборе способа восстановительной наплавки – автоматическая наплавка в защитных газах проволокой сплошного сечения.

Расширены технологические возможности выбранного способа восстановительной наплавки с применением современных достижений отечественной и зарубежной сварочной науки. С использованием разработок отечественных исследователей в области импульсного управления сварочной дугой предложен способ сварки.

Построен проектный технологический процесс восстановительной наплавки. Составлен перечень операций проектного технологического процесса и для каждой операции заданы параметры режима и требования её выполнения.

«Выполнена идентификация негативных производственных факторов, сопровождающих реализацию проектной технологии восстановительной наплавки. Предложены технические средства и мероприятия, позволяющие нейтрализовать опасные и вредные производственные факторы. Также в работе рассмотрен вопрос обеспечения безопасности персонала при возникновении пожара» [8].

Выполнена оценка проектной технологии на предмет обеспечения экологической безопасности. Предложены организационные мероприятия по защите окружающей среды от возникающих при реализации проектной технологии негативных антропогенных факторов.

Предлагаемые мероприятия и технические решения позволяют снизить отрицательное воздействие технологического процесса на окружающую среду до приемлемого уровня, что позволяет рекомендовать рассматриваемые решения для внедрения в реальное производство.

Установлено, что внедрение в производство предлагаемых решений позволяет снизить трудоемкость на 50% и повысить производительность труда на 100 %. Внедрение прогрессивных технологий позволяет более эффективно расходовать трудовые, материальные и энергетические ресурсы предприятия, что позволяет снизить технологическую себестоимость на величину 40 %. При этом условно-годовая экономия составляет 1,256 млн. рублей. С учётом капитальных вложений окупаемость предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе решений составляет 0,2 года. Годовой экономический эффект с учётом капитальных вложений составляет 1,181 млн. рублей.

На основании проведенных экономических расчётов следует сделать вывод о высокой экономической эффективности предлагаемых решений.

Поставленная цель может считаться достигнутой.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Авторское свидетельство № 1292959 СССР. Способ дуговой сварки плавящимся электродом с короткими замыканиями дугового промежутка и устройство для его осуществления / Князьков А. Ф., Гребенников А. А., Сараев Ю. Н.; Заявл. 29.04.1985; Опубл. 28.02.1987, Бюл. № 8. 9 с.
2. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.
3. Вигерина Т. В. Технологии восстановления коленчатых валов двигателей из высокопрочного чугуна и конструкционной стали напылением, наплавкой и поверхностным пластическим деформированием: Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Минск: Белорусский национальный технический университет. 2013.
4. Воронов М. В., Леонова Н. Г., Стамов И. Г. Креативность общественной практики и стратегия современной России // Россия: тенденции и перспективы развития. Ежегодник. / РАН. ИНИОН. – М., 2019. Вып. 14. С. 70–74.
5. Гладкий П. В., Переплётчиков Е. Ф., Рябцев И. А. Плазменная наплавка. К. : Екотехнологія, 2007. 202 с.
6. Глазьев С. Ю. Россия: главные аспекты мобилизационного проекта // Изборский клуб. 2018. № 3. С. 4–22.
7. Глазьев С. Ю. Условия и стратегия экономической мобилизации в системе воспроизводства российской государственности // Менеджмент и бизнес-планирование. 2018. № 2. С. 40-78.
8. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
9. Гульятеева М. А., Белорусова И. А., Ожигов В. О. Мобилизационная экономика / Economy and Business: Theory and Practice. 2022. № 12. С. 106–114.

10. Ельцов В. В. Восстановление и упрочнение деталей машин: электр. учеб. пособие. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2015. 335 с.
11. Жерносеков А. М., Андреев В. В. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом (Обзор) // Автоматическая сварка. 2007. № 10. С. 48–52.
12. Кондратьев И. А., Рябцев И. А. Порошковые проволоки для наплавки стальных валков горячей прокатки // Автоматическая сварка. 2014. № 6/7. С. 99–100.
13. Крампит А. Г., Крампит Н. Ю., Габитов Э. К. Модернизация сварочного оборудования – как решение приоритетной задачи по импортозамещению // Технологии и материалы: технический научно-производственный журнал. 2016. № 6. С. 18–23.
14. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
15. Крюков А. В. Повышение эффективности механизированной сварки в углекислом газе за счет применения импульсной подачи электродной проволоки: Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. 2008.
16. Кудинов В. В., Иванов В. М. Нанесение плазмой тугоплавких покрытий. М. : Машиностроение. 1981. 192 с.
17. Кудинова Г. Э. Организация производства и менеджмент : метод. указания к выполнению курсовой работы. Тольятти : ТГУ, 2005. 35 с.
18. Лебедев В. А., Лендел И. В., Яровицын А. В. Особенности формирования структуры сварных соединений при дуговой наплавке с импульсной подачей электродной проволоки // Автоматическая сварка. 2006. № 3. С. 25–30.
19. Мазур А. А., Маковецкая О. К., Пустовойт С. В. Порошковые проволоки на мировом и региональном рынках сварочных материалов // Автоматическая сварка. 2015. № 5/6. С. 68–74.

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

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

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

23. Михасенок О. Я. Тенденции индустрии пластмасс // Полимерные материалы. 2003. №1. С. 6–9.

24. Молодык, Н.В. Восстановление деталей машин: Справочник / Н.В. Молодык, А.С. Зенкин. – М.: Машиностроение, 1989. – 480 с.

25. Пантелеенко Ф. И., Лалакин В. П., Иванов В. П. Восстановление деталей машин: справочник. М. : Машиностроение, 2003. 672 с.

26. Пономарёва В. Т., Лихачёва Н. Л., Ткачик З. А. Использование пластмассовых отходов за рубежом // Пластические массы. 2002. № 5. С. 44–48.

27. Потапьевский, А.Г. Сварка сталей в защитных газах плавящимся электродом. Техника и технология будущего: монография / А.Г. Потапьевский, Ю.Н. Сараев, Д.А. Чинахов. Юргинский технологический институт. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 208 с.

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

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

30. Сидлин З. А. Состояние производства сварочных материалов в России // Автоматическая сварка. 2009. № 2. С. 31–34.
31. Сидоров А. И. Восстановление деталей машины напылением и наплавкой. М. : Машиностроение, 1987. 192 с.
32. Смирнов И.В. Сварка специальных сталей и сплавов : учебное пособие. Тольятти : ТГУ, 2007. 301 с.
33. Федько В. Т., Крюков А. В., Солодский С. А. Импульсная подача сварочной проволоки с управляемым переносом электродного металла // Наука – Образование – производство: материалы научно технической конференции. Нижний Тагил, 2004. Т.2. С. 100–103.
34. Чеботарев М. И., Кадыров М. Р. Выбор оптимального восстановления изношенной поверхности деталей: учеб. пособие. Краснодар: КубГАУ, 2016. 91 с.
35. Шайерс Дж. Рециклинг пластмасс: наука, технологии, практика. / Пер. с англ.-СПб.: Научные основы и технологии, 2012. 640 с.
36. Шварев Е. П., Ключин Е. С., Гузеев В. В. Состояние рынка поливинилхлорида в России и странах СНГ //Международные новости мира пластмасс. 2004. № 5/6. С. 36–37.
37. Шлепаков В. Н., Гаврилюк Ю. А., Котельчук А. С. Современное состояние разработки и применения порошковых проволок для сварки углеродистых и низколегированных сталей // Автоматическая сварка. 2010. № 3. С. 46–51.
38. Goecke S. F. Low Energy Arc Joining Process for Materials Sensitive to Heat, EWM HIGHTEC WELDING GmbH 2005.
39. DeRuntz, B. D. Surface Tension Transfer welding in manufacturing. Selected Paper presented at the National Association of Industrial Technology Conference, Detroit Michigan, 2001. P. 20–26.
40. Jaeschke B. Speedpulseeine produktivitaetsund effizienzsteigernde Weiterentwicklung des MSGImpulsschweiens / Jaeschke B., Vollrath K. // Schweien und Schneiden. 2009. № 9. P. 548–553.

41. Jyri Uusitalo FastROOT Process // Kemppi Pro News 2006. № 2. P. 4-8.

42. Lebedev V. A., Maksimov Y. S. Application of mechanical oscillations with controllable parameters for improvement of arc mechanized and automatic arc welding and surfacing using consumable electrode // Doc.XII-2082-12, Draft Agenda Commission XII «Arc Welding Processes and Production Systems» July 9-11, 2012, Denver, USA.