

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 штампов для изготовления кузовных
деталей автомобиля

Обучающийся

К.Ю. Рязанов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент А.Ю. Краснопевцев

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

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярова

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

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

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

Тольятти 2025

Аннотация

Пояснительная записка выпускной квалификационной работы составлена в соответствии с нормативной документацией вуза и включает в себя все необходимые компоненты. Во введении на основании краткого обзора выполнено обоснование выбранного направления исследования и сформулирована цель, актуальность которой также доказывается исходя из проведенного краткого литературного обзора. Далее следует аналитический раздел, в котором представлена исходная информация по рассматриваемому производству и особенностях эксплуатации штамповой оснастки прессов для изготовления кузовных деталей автомобиля, для исправления возникающих при этом дефектов проводится с применением ручной дуговой сварки, особенности выполнения операций которой применительно к рассматриваемому изделию также рассматриваются в первом разделе, после чего следует перечисление недостатков базовой технологии и постановка задач на исполнительский раздел. Второй раздел является исполнительским, он содержит описание решения поставленных задач: обоснование выбора способа для восстановления штампа, меры по повышению эффективности выбранного способа и расширения его технологических возможностей, особенности выполнения операций проектного технологического процесса. Третий раздел является оценочным и содержит информацию по идентификации возникающих на рассматриваемом производственном участке негативных производственных факторов, выбор методик и средств защиты персонала от них, мероприятия по повышению пожарной безопасности производства и экологической ответственности производителя сварочных работ. Четвертый раздел содержит сравнительный анализ результатов расчёта экономических показателей производства, реализующего базовый и проектный технологические процессы. На основании проведенных работ сформулировано заключение, позволяющее судить о достижении поставленной цели выпускной квалификационной работы.

Содержание

Введение	5
1 Анализ исходных данных и известных решений по тематике выпускной квалификационной работы.	6
1.1 Сведения об условиях работы штампов и возникающих дефектах	6
1.2 Сведения о материале для изготовления штампов	8
1.3 Особенности базовой технологии ремонта штампов.	11
1.4 Анализ научной литературы по рассматриваемой тематике.	15
1.5 Формулировка задач на выполнение выпускной квалификационной работы	18
2 Построение проектной технологии ремонтной сварки.	19
2.1 Обоснование выбора способа сварки для построения проектной технологии.	19
2.2 Повышение эффективности и расширение технологических возможностей плазменной наплавки при восстановлении штампового инструмента	26
2.3 Выбор схемы плазменной наплавки.	31
2.4 Проектная технология восстановительной наплавки штампа	34
3 Промышленная безопасность производственного участка.	39
3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи	39
3.2 Идентификация негативных производственных факторов.	40
3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов.	42
3.4 Пожарная безопасность производственного участка	44
3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка.	46
4 Экономическая эффективность предлагаемых технических	

решений.	48
4.1 Исходные данные для экономического расчёта.	48
4.2 Фонд времени работы оборудования.	50
4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства. .	51
4.4 Заводская себестоимость.	53
4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам.	58
4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей.	60
Заключение	62
Список используемой литературы и используемых источников.	64

.

Введение

В изготовлении кузовных деталей автомобиля значительная роль отводится процессам штамповки, которая позволяет с высокой производительностью и точностью формировать детали различной степени сложности. Показатели штампового производства определяются состоянием штамповой оснастки, которая в результате работы в неблагоприятных условиях подвергается интенсивному износу. Восстановление поверхности штампа выполняется с применением наплавочных операций [6], [13]. Своевременность выполнения и качество проведения ремонта штампов является главным фактором, определяющим эффективность всего штампового производства, так как согласно собранным экономическим данным [26] порядка 20 % всех затрат штампового производства приходится как раз на технологические операции по сохранению и восстановлению работоспособности штампов. При работе штамповой оснастки стремятся обеспечить оптимальные условия, снижающие абразивное и истирающее воздействие на поверхность штампа, применять высокоэффективные смазки и охлаждающую жидкость, правильно назначать параметры режима штамповки. Но, несмотря на это, штампы приходится постоянно восстанавливать с применением наплавочных технологий [15], [19], [21].

Значительную роль в восстановлении штампов играет ручная луговая наплавка с применением электродов со специальным покрытием, которая позволяет оперативно восстанавливать штампы. Однако этот вид наплавки имеет ряд недостатков и уступает по показателям более перспективным способам, которые необходимо рассмотреть при выполнении выпускной квалификационной работы. Таким образом, становится очевидной актуальность выбранного направления исследования и поставленная цель выпускной квалификационной работы – повышение эффективности восстановления рабочей поверхности штампов для изготовления кузовных деталей автомобиля.

1 Анализ исходных данных и известных решений по тематике выпускной квалификационной работы

1.1 Сведения об условиях работы штампов и возникающих дефектах

Для изготовления кузовных деталей автомобиля применяется рулонный прокат из сталей различного состава, толщина листа в прокате обычно составляет 0,8...2,5 мм. Такой рулон поступает в штамповый цех и подается на специальную рулоницу, с которой разматывается и поступает на валки валки правильной машины после предварительной промывки соляной кислотой, что позволяет удалить с поверхности листа загрязнения и масло. После правки проводят нарезку листа с использованием гильотинных ножниц и укладку прямоугольных листов в штабеля. К прессу листы подаются в штабелированном виде. На рисунке 1 представлен общий вид прессового производства, оснащенного проходными прессами двойного действия, что позволяет за один ход ползуна выполнять поджатие заготовок и операции штамповки. Прессы объединяются в автоматическую линию, что позволяет автоматизировать процесс сложной штамповки, требующий последовательного выполнения нескольких операций над заготовкой. Главным рабочим инструментом такого пресса является штамп, от точности изготовления и состояния которого зависит точность выполнения штампованных деталей и возможность сборки кузова автомобиля с минимальными зазорами.



Рисунок 1 – Построение автоматической линии на базе проходных прессов

При работе штамповый инструмент подвергается комплексу разрушающих воздействий, которые становятся причиной нарушения геометрии штампа и его целостности. Такими воздействиями являются кручение, изгиб, удары, сжимающие, истирающие. Комбинированное действие неблагоприятных факторов имеет кумулятивный характер и усиливается по причине нагрева штампа в ходе работы. При работе прессы в автоматическом режиме температура штампа повышается до 280...300 °С, такой нагрев становится причиной ускорения деструктивных процессов в штампе и отказа от использования некоторых сталей для изготовления штамповой оснастки. Также следует принимать во внимание, что изменение формы штампа в ходе работы носит перманентный характер, при этом по мере увеличения износа штампа скорость протекания деструктивных процессов увеличивается. Так, даже незначительное изменение геометрии штампа после нескольких рабочих ходов приводит к увеличению нагрузок на него на 15...20 % [8].

При изготовлении штампов применяются легированные стали, теплопроводность которых существенно ниже теплопроводности низколегированных сталей, в результате чего при работе штампов из легированных сталей существенно выше уровень напряжений, которые получаются из-за температурного градиента. Это становится причиной образования микротрещин на поверхности штампа в результате так называемой «тепловой усталости» и дополнительно снижает ресурс штампа [3], [4], [14].

Таким образом, при работе штампа происходит разупрочнение и выкрашивание его поверхности, что становится причиной изменения геометрии штампуемых деталей. При выходе таких изменений за пределы допустимой погрешности штамп подлежит восстановительной наплавке и проточке. При этом существенную роль играют процессы дуговой сварки и наплавки, от выполнения которых зависит ход эксплуатации штампа после ремонта.

1.2 Сведения о материале для изготовления штампов

При изготовлении штамповой оснастки, работающей в условиях автоматического штампования применение универсальных легированных сталей показала свою малую эффективность, поэтому для изготовления штампов разрабатываются специальные стали, состав которых позволяет учесть особенности работы [19]. При изготовлении штампов применяется сталь, позволяющая получить высокие показатели износостойкости, прочности и твердости в сочетании с необходимой вязкостью и теплостойкостью. В таблице 1 представлены примеры сталей, которые в настоящий момент широко применяются для изготовления штампов массового производства. Стали, которые применяются для изготовления штампов, могут быть разделены на четыре группы в зависимости от химического состава и степени прокаливаемости. В первую группу входят инструментальные стали с высоким содержанием углерода, например, представленная в таблице 1 сталь У8А с малой прокаливаемостью. Во вторую группу входят стали повышенной прокаливаемости, например, представленная в таблице 1 сталь 6ХВГ. В третью группу входят высокохромистые стали высокой прокаливаемости, к которым относится представленная в таблице 1 сталь Х12М. В четвертую группу входят стали повышенной вязкости, например, представленная в таблице 1 сталь 9ХС. Выбор стали для изготовления штампа определяется условиями и интенсивностью его работы.

Таблица 1 – Состав наиболее распространенных штамповых сталей

Марка стали	углерод	марганец	кремний	хром	Прочие элементы
У8А	0,75...0,84	0,15...0,30	0,15...0,30	0,15	сера – 0,03 фосфор – 0,0035
Х12М	1,45...1,70	0,35	0,40	11,50...12,50	молибден – 0,4...0,6 ванадий – 0,15
6ХВГ	0,55...0,70	0,90...1,20	0,15...0,35	0,5...0,8	вольфрам – 0,5...0,8 молибден – 0,3
9ХС	0,85...0,95	0,30...0,60	1,20...1,60	0,95...1,25	-

При изготовлении кузовных деталей автомобиля широко применяются штампы из стали X12M, которые показали высокую стойкость в условиях продолжительной интенсивной эксплуатации в автоматическом режиме при выполнении деталей сложной формы.

Содержащийся в рассматриваемой стали углерод в количестве от 1,45 до 1,7 % повышает прочность и износостойкость стали, но отрицательно влияет на её сопротивляемость хрупкому разрушению. Помимо этого свариваемость стали существенно ухудшается, что усложняет проведение восстановительной сварки и наплавки при ремонте таких штампов. Поэтому содержание углерода в сталях ограничивают, а повышение эксплуатационных параметров достигается за счёт сложного легирования.

Кремний в рассматриваемой стали содержится в количестве порядка 0,4 %. Такое содержание кремния позволяет обеспечить уменьшение размеров зерна, что положительно сказывается на стойкости стали при ударных воздействиях в сочетании с высокотемпературным нагревом. Также высокое содержание кремния в стали улучшает её свариваемость, так как кремний является активным раскислителем. Следует принимать во внимание некоторое снижение коррозионной стойкости стали из-за повышения содержания в ней кремния.

Марганец, который в рассматриваемой стали содержится в количестве 0,35 %, положительно влияет на прокаливаемость и прочность, а также повышает ударную вязкость стали. Как и кремний, марганец является раскислителем и улучшает свариваемость стали. В сочетании с содержащимся в стали молибденом марганец позволяет измельчить зерно, что положительно сказывается на прочности и сопротивляемости износу.

Хром в рассматриваемой стали является основным легирующим элементом и содержится в количестве 11,5...12,5 %. В результате такого содержания в стали хрома существенно улучшаются антикоррозионные свойства стали, повышается твердость и ударная вязкость материала штампов.

Добавки в рассматриваемую сталь ванадия в количестве 0,15 % позволяют обеспечить равномерное распределение по объему легирующих элементов и уменьшить размеры зерна металла. Также добавки ванадия позволяют повысить теплостойкость.

Молибден, присутствие которого в рассматриваемой стали составляет 0,4...0,6 %, в сочетании с марганцем обеспечивает измельчение структуры стали и повышение её механических и износостойких свойств. Кроме того, молибден повышает прокаливаемость стали.

В результате описанного выше состава стали X12M она относится к трудно свариваемым, при изготовлении сварных конструкций такая сталь обычно не применяется, а используется при наплавочных и восстановительных работах. Главной трудностью сварки и наплавки такой стали является высокая склонность к образованию горячих трещин. При кристаллизации металла происходит образование в нем растягивающих напряжений в результате уменьшения объема в условиях снижения сопротивляемости деформации при повышенных температурах. При кристаллизации металла в нем могут возникать участки нарушения целостности и образовываться трещины. При наплавке сварке и штампов склонность к «появлению горячих трещин повышается, так как сама конструкция штампа не позволяет свободно деформироваться кристаллизующемуся металлу сварочной ванны из-за окружающих его слоёв холодного металла. Для того, чтобы предотвратить образование горячих трещин» [23] при восстановительных работах применяют специальные сварочные электроды. Ещё одной трудностью при сварке и наплавке штампов являются закалочные трещины, образование которых происходит по причине значительного содержания в рассматриваемой стали углерода. Применение предварительного нагрева штампа позволяет уменьшить опасность возникновения закалочных трещин, но опасность образования горячих трещин при этом не устраняется [24], [26].

1.3 Особенности базовой технологии ремонта штампов

Штампы, которые подлежат восстановительной наплавке и ремонтной сварке перемещают на ремонтный участок. Перед осмотром их следует очистить от загрязнений и масла, для чего применяют помывочную машину АМ-1800 ВС, внешний вид которой представлен на рисунке 2, данная машина позволяет в промышленных условиях выполнять очистку поверхности сильно загрязненных металлических деталей массой до 1,8 тонны. После извлечения штампа из помывочной машины выполняют протирку его поверхности сухой чистой ветошью и передают на операцию разделки дефекта.



Рисунок 2 – Помывочная машина АМ-1800 ВС

На рисунке 3 представлены примеры разделки дефектов на поверхности штамповой оснастки, которую следует выполнять механическим способом. Разделке подлежат сколы, выбоины, трещины износ рабочей поверхности. Разделку выполняют с использованием фрезерования, точения и шлифования, поврежденный металл удаляют полностью, заглубляясь в здоровый металл не менее чем на 1 мм. При повторной наплавке изношенной поверхности штампа

при помощи механической обработки полностью удаляют ранее наплавленный металл. Таким образом, каждая последующая наплавка предполагает увеличение глубины разделки, при этом общее количество восстановительных наплавок для одного штампа составляет от семи до десяти, после чего штамп восстановлению не подлежит и должен быть утилизирован [20]. Восстановление штампа проводят с применением ручной дуговой сварки и наплавки, для чего используется представленный на рисунке 4 сварочный выпрямитель ВД-306.

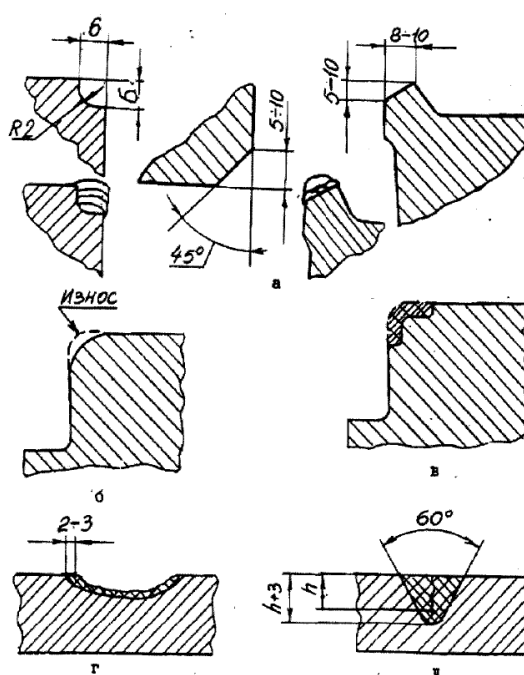


Рисунок 3 – Примеры разделки дефекта на поверхности штампа



Рисунок 4 – Сварочный выпрямитель ВД-306

Наплавку ведут электродами ОШЗ-1 и электродами ОШЗ-2. Electroды ОШЗ-1 применяются для восстановления молотовых и высадных штампов, а также для наплавки подслоя. Валик металла, наплавленный такими электродами после отпуска при температуре 400...500 °С имеет твердость 37...41 HRC. Механическая обработка наплавленного металла при использовании таких электродов может проводиться без отжига.

Электроды ОШЗ-3 применяются для наплавки обрезаемых и вырубных штампов. Механическая обработка штампов при наплавке такими электродами проводится после отжига при температуре 700 °С. Твердость поверхности наплавленного слоя после отпуска при температуре 450 °С составляет 54...59 HRC.

Сила тока при использовании электродов диаметром 5 мм составляет 220...250 ампер. «Сварку и наплавку ведут на постоянном токе обратной полярности. Наплавку ведут короткой дугой, что позволяет уменьшить выгорание легирующих элементов. Наплавку ведут в несколько слоев валиками. При наложении валиков их перекрытие» [23] должно составлять не менее одной трети. После выполнения каждого валика следует провести его очистку от шлака и визуальный осмотр на предмет наличия трещин и выходящих на поверхность пор. Для повышения плотности металла и снижения уровня остаточных напряжений каждый наплавленный валик следует обстукивать молотком массой 0,5 кг. Если на концах разделки выполнены отверстия, то их следует заваривать в первую очередь. При наплавке толщиной более 10 мм необходимо первый слой выполнять с применением электродов ОШЗ-1, а для выполнения последующих слоев принимать электрод необходимой марки.

После восстановительной сварки и наплавки штампы подвергаются отжигу при температуре 900 °С, для чего штамп помещают на 3 часа в разогретую печь. После трех часов выдержки штамп охлаждают вместе с печью, что позволяет получить минимальный уровень остаточных напряжений. После такой термической обработки твердость металла

составляет 25...27 HRC , что позволяет провести механическую обработку штампа. После восстановления геометрии штампа с применением механической обработки проводят закалку в масле при температуре 880...900 °С. После такой термической обработки твердость поверхности штампа составляет 58...62 HRC. После закалки проводят отпуск штампа при температуре 450 °С.

В настоящее время на рынке сварочных материалов представлено значительное количество электродов для восстановительной сварки и наплавки штампов от различных производителей, при использовании которых возможно получение перлитно-сорбидной структуры наплавленного слоя, мартенситной структуры наплавленного слоя, аустенитно-мартенситной структуры наплавленного слоя.

Рассматриваемая базовая технология имеет ряд недостатков, которые в условиях современного производства могут быть признаны критическими и требуют применения новых технических решений при построении проектной технологии. Первым недостатком является низкая экологическая безопасность ручной дуговой сварки и наплавки. При горении штучного легированного электрода выделяется вредный сварочный аэрозоль, оказывающий негативное действие на работников, находящихся в сварочном цехе. Это заставляет предприятие испытывать дополнительные затраты на обеспечение безопасности труда. Вторым недостатком является малая производительность сварки и наплавки с применением штучных электродов. Это связано с необходимостью прерывать процесс на замену электрода и удаление слоя шлака при выполнении каждого валика. По этим же причинам существенно страдает качество выполняемого ремонта. Третьим недостатком является малая экономичность ручной дуговой сварки и наплавки, так как значительное количество дорогостоящего легированного электродного металла расходуется на огарки и разбрызгивание. Таким образом, при построении проектной технологии необходимо провести поиск перспективных способов сварки и наплавки для восстановления штамповой оснастки.

1.4 Анализ научной литературы по рассматриваемой тематике

Для поиска предлагается применить поисковые системы, работающие в сети ИНТЕРНЕТ. Особое внимание следует уделить базам знаний, таким как «Киберленинка», «Диссеркат», «Е-лайбрери» и «ПатонПабlish». В базе «Диссеркат» имеется информация по диссертациям, которые были защищены по техническим наукам, в ней в открытом доступе могут быть найдены сами диссертации или авторефераты диссертаций. В случае, если автореферат или диссертация в базе отсутствуют, там будет выложена актуальность, методика и результаты исследования, а также полный список библиографических источников, который может быть использован в дальнейшей работе. В базе «Киберленинка» выложены в открытом доступе статьи в журналах и сборниках, система поиска позволяет найти и отфильтровать результаты. В базе «Е-лайбрери» выложена информация о научных работниках, их публикациях, есть возможность получить бесплатно или заказать за деньги тексты статей, описания патентов на изобретения.

В первом источнике [8] описана методика и результаты комплексного исследования, направленного на решение задачи повышения эффективности наплавочных работ при восстановлении штампового инструмента с применением порошковой проволоки. В ходе литературных изысканий показано, что для достижения поставленной цели необходимо провести оптимизацию состава наплавленного металла, состава порошковой проволоки и технологии наплавки, выбирая оптимальные параметры режима и термической обработки. Для выполнения восстановительной наплавки штамповой оснастки предложена порошковая проволока состава ПП-К15М15Н5Х3Б2Т, которая позволяет получать поверхность металла, характеризующийся повышенными эксплуатационными характеристиками. Твердость наплавленного металла составляет порядка 64...65 HRC. По сравнению со сталью X12 наплавленная поверхность имеет сопротивляемость износу больше в 6...6,5 раза. Наплавка предлагаемой проволокой

характеризуется малой остаточной деформацией металла. Кроме того, предложен состав порошковой проволоки СПП-100Х4М5Ф2, который позволяет получать наплавленный слой с сопротивляемостью износа больше чем у стали Х12 в 1,5...2 раза. Данное исследование показывает эффективность применения порошковой проволоки «при восстановительной наплавке штамповой оснастки. Данная работа будет использована при обосновании выбора способа наплавки и обосновании актуальности выбранного направления исследования» [8].

Во втором источнике [27] установлено, что при наплавке порошком Р6М5 выделение карбидов приводит к сдерживанию размеров зерен аустенита, при этом наплавленный металл имеет зернистость 16...21 мкм. Установлено, что полярность дуги при наплавке оказывает существенное влияние на состав наплавленного металла и геометрию наплавленного валика. При наплавке на дуге прямой полярности улучшается распределение карбидов по объему наплавленного слоя и растет твердость наплавленного металла. Увеличение погонной энергии становится причиной частичного растворения карбидов и улучшения эксплуатационных свойств наплавленного слоя. Данная работа «позволяет судить о высокой эффективности применения плазменной наплавки при восстановлении штамповой оснастки. Эта работа будет использована при обосновании выбора способа восстановительной наплавки и построении проектной технологии» [27].

В третьем источнике научно-технической информации [9] изучены вопросы разработки электродов для ручной дуговой наплавки штампов, стержень которых выполнен на основе из малоуглеродистой стали, а обмазка выполнена из ферросплавов. Выпуск таких электродов отличается высокой экономичностью и может быть налажен на большинстве специализированных предприятий Российской Федерации. «Полученные результаты будут использованы для обоснования актуальности направления исследования, обоснования выбора способа сварки и построения проектной технологии восстановительной сварки и наплавки штамповой оснастки» [9].

В четвертом источнике научно-технической информации [10] «показана эффективность применения плазменно-порошковой наплавки для восстановления штампов. Изучены вопросы повышения эффективности плазменной наплавки, показаны результаты применения порошка ПГ-10Р6М5. Полученные результаты будут использованы для обоснования актуальности направления исследования, обоснования выбора способа сварки и построения проектной технологии восстановительной сварки и наплавки штамповой оснастки» [10].

В пятом источнике научно-технической информации [1] показана эффективность применения порошковой проволоки, состав которой предложен в работе и опробован на ряде предприятий отрасли. Производительность работ повышается на 20 %, а длительность безаварийной работы штампа – в 2...3 раза. «Полученные результаты будут использованы для обоснования актуальности направления исследования, обоснования выбора способа сварки и построения проектной технологии восстановительной сварки и наплавки штамповой оснастки» [1].

Таким образом, «на основании предварительного анализа источников научно-технической информации по вопросу построения ремонтной технологии штампов для построения проектной технологии следует рассмотреть следующие способы. Первым способом является ручная луговая сварка с применением специальных электродов, состав которых продолжает совершенствоваться, получены положительные результаты, позволяющие прогнозировать применимость данного способа для ремонта штампов. Вторым способом является сварка и наплавки проволокой сплошного сечения в защитных газах, повышению эффективности которой за счёт применения импульсного управления посвящено множество научных работ. Третьим способом является сварка и наплавка под флюсом. Четвертым способом является сварка и наплавка порошковой самозащитной проволокой. Пятый способ – сварка и наплавка с применением энергии сжатой дуги» [23].

1.5 Формулировка задач на выполнение выпускной квалификационной работы

Для оптимизации рассматриваемого технологического процесса ремонтной сварки и наплавки штамповой оснастки, достижения поставленной цели с минимальными издержками, следует выполнить правильную постановку задач на выполнение выпускной квалификационной работы, что должно быть основано на изучении актуальной научной информации в области повышения эффективности сварочных процессов. Представленный аналитический раздел содержит исходную информацию по рассматриваемому производству и особенностях эксплуатации штамповой оснастки прессов для изготовления кузовных деталей автомобиля, для исправления возникающих при этом дефектов проводится с применением ручной дуговой сварки, особенности выполнения операций которой применительно к рассматриваемому изделию также рассматриваются в представленном первом разделе, после чего следует перечисление недостатков базовой технологии. далее воспоследует постановка задач на исполнительский раздел. При решении первой задачи предстоит с использованием взятых из литературы технологических критериев провести экспертную оценку альтернативных способов сварки и наплавки на эффективность их применения к рассматриваемому в работе штампу, после чего на основании анализа преимуществ и недостатков должна последовать рекомендация на применение способа сварки и наплавки для построения проектной технологии. При решении второй задачи предстоит на основании анализа научной литературы предложить решения для расширения технологических возможностей выбранного способа ремонтной сварки и наплавки. При решении третьей задачи предстоит составить перечень операций, для которых выбрать оборудование, назначить оптимальные параметры режима и сформулировать технологические требования. Далее следует провести экологическое [2], [9], и экономическое обоснование целесообразности внедрения [12], [17].

2 Построение проектной технологии ремонтной сварки

2.1 Обоснование выбора способа сварки для построения проектной технологии

«На основании предварительного анализа источников научно-технической информации по вопросу построения ремонтной технологии штампов для построения проектной технологии следует рассмотреть следующие способы. Первым способом является ручная луговая сварка с применением специальных электродов, состав которых продолжает совершенствоваться, получены положительные результаты, позволяющие прогнозировать применимость данного способа для ремонта штампов. Вторым способом является сварка и наплавки проволокой сплошного сечения в защитных газах, повышению эффективности которой за счёт применения импульсного управления посвящено множество научных работ. Третьим способом является сварка и наплавка под флюсом. Четвертым способом является сварка и наплавка порошковой самозащитной проволокой. Пятый способ – сварка и наплавка с применением энергии сжатой дуги» [23].

На рисунке 5 представлена ручная дуговая сварка, применение которой рассматривается для базового варианта технологии. Данный способ благодаря своей универсальности получил наибольшее применение при построении технологических процессов ремонтной сварки и наплавки. Оборудование для ручной дуговой сварки в достаточном количестве присутствует на предприятиях, а сам процесс не требует значительной подготовки для проведения ремонтной сварки, что позволяет приступать к выполнению работ практически незамедлительно. Однако из-за неустранимых недостатков ручной дуговой сварки её доля в промышленности неуклонно снижается, как при изготовлении, так и при ремонте металлических конструкций. При этом на первый план выходят автоматизированные и механизированные способы сварки.

При выполнении ручной дуговой сварки и наплавки приходится работать во вредных сварочных аэрозолях и подвергаться излучению сварочной дуги. Также следует указать на низкую стабильность качества соединений, которое в значительной мере зависит от квалификации сварщика, что становится дополнительной проблемой в условиях кадрового голода. Применение ручной дуговой наплавки легированными электродами не может относиться к экономичным процессам, так как значительны потери дорогостоящего электродного металла на разбрызгивание и электродные огарки. В результате описанных проблем ведется поиск новых способов сварки для построения технологии ремонтной сварки и наплавки.



Рисунок 5 – Ручная дуговая сварка и наплавка штампов

Самым производительным из рассматриваемых способов сварки следует признать сварку и наплавку под флюсом, пример выполнения которой представлен на рисунке 6. Способ характеризуется высокой производительности существенным улучшением условий труда, так как сварочная дуга горит под слоем флюса, что частично решает проблему вредного излучения и сварочного аэрозоля. Сварные соединения получаются стабильно высокого качества. Следует указать на ряд недостатков, ограничивающих применение сварки и наплавки под флюсом при восстановлении штампов. Главным недостатком следует признать перегрев основного металла, в результате которого возможно разупрочнение штампа.

Также количество восстановительных наплавок с применением наплавки под флюсом по сравнению с ручной дуговой наплавкой сокращается с семи до трех, так как при механической обработке наплавленного ранее под флюсом штампа приходится снимать большой слой металла. Также из-за насыпанного флюса затрудняется наблюдение за процессом наплавки, что особенно критично при исправлении дефектов небольших размеров.

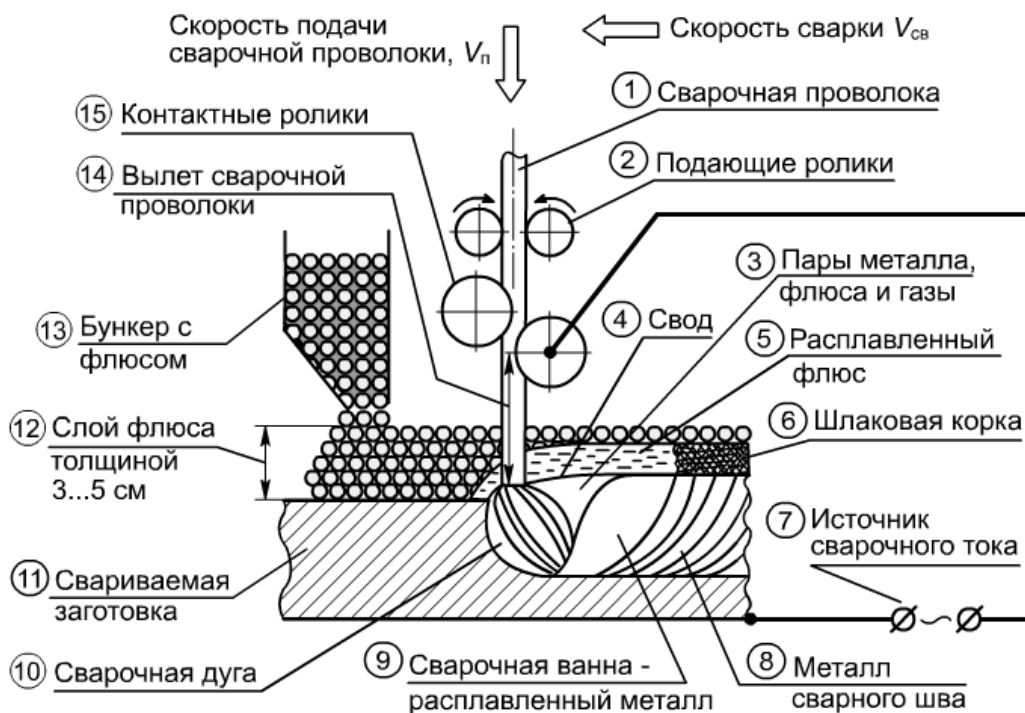


Рисунок 6 – Схема наплавки под флюсом

«Наплавка в защитных газах проволокой сплошного сечения, схема выполнения которой представлена на рисунке 7, по сравнению с ручной дуговой сваркой позволяет существенно повысить качество и производительность процесса. Также при этом способе происходит улучшение условий труда, так как выделяющиеся при сварке аэрозоли менее вредны при использовании защитных газов, чем при использовании штучных электродов. Так как при механизированной сварке и наплавке отсутствует необходимость замены электрода и очистки поверхности валиков от шлака, производительность и качество сварки повышается» [11].

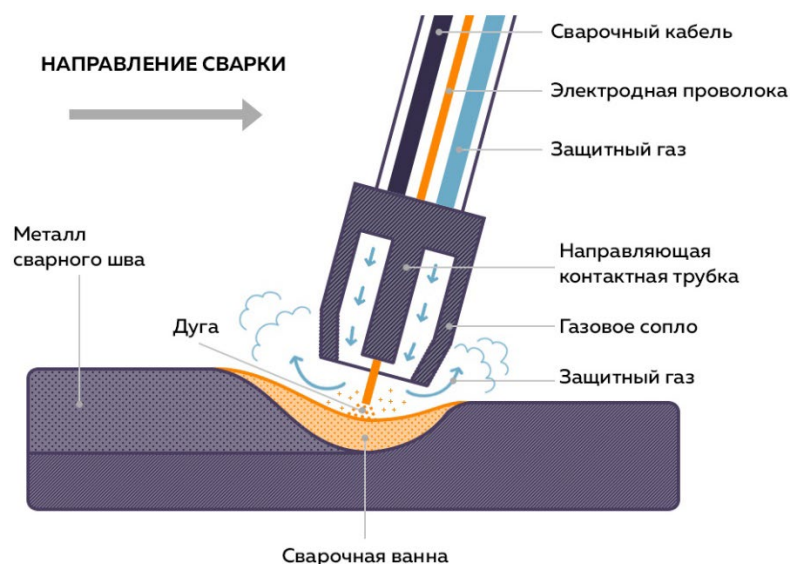


Рисунок 7 – Схема выполнения механизированной сварки в защитных газах

Для выполнения восстановительной наплавки штампов требуется проволока сплошного сечения с особым составом, изготовление которой обходится существенно дороже, чем изготовление проволоки для сварки и наплавки деталей из низколегированных сталей. Также недостатком рассматриваемого способа является повышенное разбрызгивание электродного металла, что делает необходимым трудоемкую зачистку поверхности деталей, так как прилипшие брызги расплавленного металла ухудшают внешний вид и становятся очагами коррозии. Помимо этого, из-за повышенной вязкости расплавленного металла увеличивается вероятность появления в сварном шве трещин, ухудшаются условия отхождения из сварочной ванны газов.

На рисунке 8 представлен пример восстановительной наплавки с применением «порошковой самозащитной проволоки. Такой способ сочетает в себе положительные качества ручной дуговой сварки и механизированной сварки в защитных газах. При изготовлении порошковой проволоки упрощается легирование сварного шва, так как состав порошкового наполнителя проволоки» [10] может быть изменен в широком диапазоне без изменения технологии производства проволоки, что существенно снижает стоимость сварочных материалов.

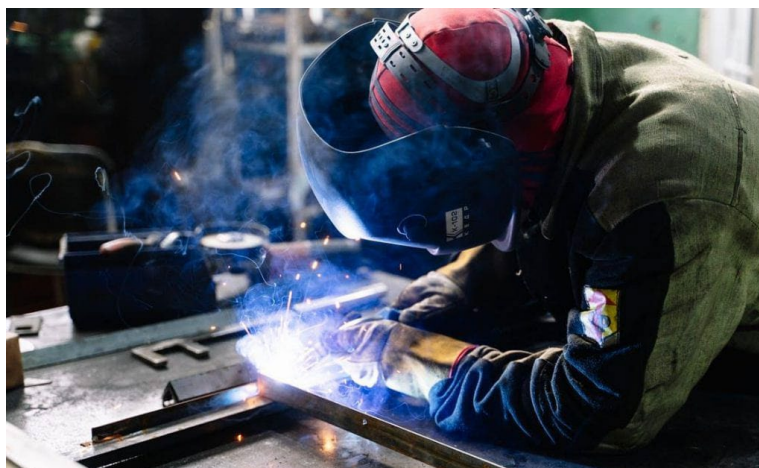


Рисунок 8 – Ремонтная сварка самозащитной проволокой

В диссертационном исследовании [8] описана методика и результаты комплексного исследования, направленного на решение задачи повышения эффективности наплавочных работ при восстановлении штампового инструмента с применением порошковой проволоки. В ходе литературных изысканий показано, что для достижения поставленной цели необходимо провести оптимизацию состава наплавленного металла, состава порошковой проволоки и технологии наплавки, выбирая оптимальные параметры режима и термической обработки. Для выполнения восстановительной наплавки штамповой оснастки предложена порошковая проволока состава ПП-К15М15Н5Х3Б2Т, которая позволяет получать поверхность металла, характеризуемый повышенными эксплуатационными характеристиками. Твердость наплавленного металла составляет порядка 64...65 HRC. По сравнению со сталью Х12 наплавленная поверхность имеет сопротивляемость износу больше в 6...6,5 раза. Наплавка предлагаемой проволокой характеризуется малой остаточной деформацией металла. Кроме того, предложен состав порошковой проволоки СПП-100Х4М5Ф2, который позволяет получать наплавленный слой с сопротивляемостью износа больше чем у стали Х12 в 1,5...2 раза.

В числе недостатков сварки самозащитными проволоками следует указать повышенную мягкость проволоки, в результате чего существенно увеличивается частота заломов и застреваний в подающих механизмах. Также

следует принять во внимание повышенную текучесть расплавленного шлака и металла сварочной ванны, из-за чего повышаются требования к сборке и подготовке кромок, ухудшаются условия формирования корневого слоя шва. При плавлении порошковой проволоки может наблюдаться неравномерность нагрева проволоки по сечению, в результате чего часть нерасплавившегося шлака просыпается в сварочную ванну и становится причиной образования пор и шлаковых включений.

Применение сжатой дуги как источника нагрева при сварке и наплавке раскрывает дополнительные возможности перед технологом при организации восстановления деталей машин. В настоящий момент плазменная наплавка считается одним из перспективных способов, внедрение которого на предприятиях Российской Федерации будет интенсивно продолжаться. На рисунке 9 представлен пример выполнения роботизированной плазменной наплавки. Первым преимуществом плазменной наплавки является высокая энергоэффективность процесса, осуществление которого требует в несколько раз меньших затрат энергии, чем при сварке и наплавке свободно горящей дугой. Вторым преимуществом является экономичность способа, так как расход защитного газа при плазменных процессах меньше, чем при аналогичных процессах при свободно горящей дуге. Кроме того, стоимость присадочного порошка, который применяется для выполнения плазменной наплавки, существенно ниже стоимости аналогичного количества штучных электродов и порошковой проволоки. В работе [27] для проведения наплавки применялась установка УПН-303УХЛ4, которая ранее выпускалась в серийных количествах. При наплавке поддерживали расход защитного и транспортирующего газа 10...16 литров в минуту. Расход плазмообразующего газа устанавливали 2 литра в минуту. Для наплавки в качестве плазмообразующего газа был применен чистый аргон высшего сорта. В качестве расходного материала был использован порошок состава Р6М5 размером гранул 100...300 мкм. Качество образца для наплавки применялась пластина из стали 20, толщина которой составляла 10 мм. Выполняли

наплавку за один проход, поперечные колебания не применялись. Расход порошка составил 1,9 кг в час. Для изучения структуры наплавленного металла применялся микроскоп OLYMPUS GX51. Анализ структуры выполнялся на расстоянии не менее 50 мм от начала шва, что позволило получить установившийся режим наплавки.

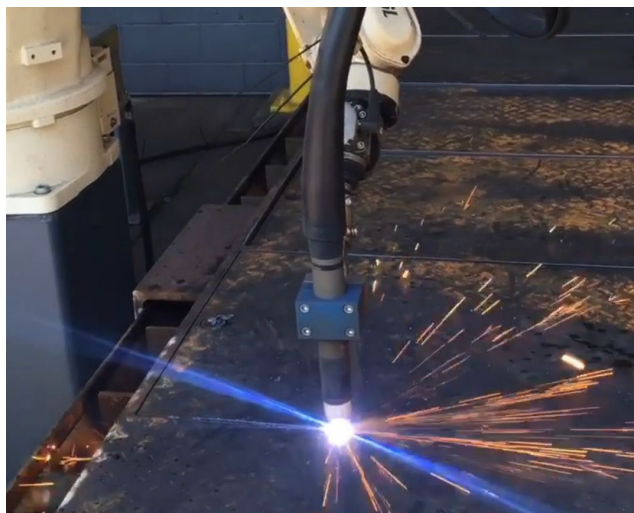


Рисунок 9 – Схема плазменной наплавки

Главным недостатком плазменной наплавки следует признать недостаточный опыт её применения в производстве. Промышленные предприятия не накопили в должной мере оборудования для проведения плазменных процессов обработки металлов, поэтому любой переход на применение плазменной наплавки и сварки будет сопровождаться значительными финансовыми затратами. Повышение экономической эффективности плазменных процессов возможно только при условии широкого внедрения в производство, что позволит повысить универсальность процесса и снизить простои дорогостоящего оборудования [23].

Руководствуясь технологическими критериями эффективности применения различных процессов при подготовке сварочного производства [11], следует признать самым перспективным применение плазменной сварки и наплавки, которую предлагается реализовать при построении проектной технологии восстановления штамповой оснастки.

2.2 Повышение эффективности и расширение технологических возможностей плазменной наплавки при восстановлении штампового инструмента

Как показали ранее проведенные исследования, представленные в предыдущих разделах настоящей выпускной квалификационной работы и научные работы, опубликованные в ряде изданий [7], [25], [27], применение дуговых способов наплавки при восстановлении штамповой оснастки оказывается менее эффективным, чем применение наплавки сжатой дугой. При этом получение наплавленного слоя состава Р6М5 позволяет снизить расходы на дальнейшую механическую обработку штампа и обеспечить высокие эксплуатационные свойства. Как показали результаты исследования, представленные в работе [18] применение плазменной наплавки позволяет получить размер зерна металла на 20 % меньше, чем исходный материал Р6М5, при этом твердость наплавленного слоя на 10...20 % выше по сравнению с твердостью исходного металла после отжига. При выборе параметров режима плазменной наплавки необходимо учитывать результаты работы [28], в которой показано, что на размеры зерен наплавленного металла оказывает значительное влияние характер термического цикла при наплавке, что в конечном итоге определяет эксплуатационные свойства наплавленного слоя. Поскольку плазменная дуга обладает широкими возможностями по регулированию параметрами нагрева, результаты работы должны быть учтены при построении проектной технологии.

Для наплавки экспериментальных образцов была применена установка УПН-303, представленная на рисунке 10. При выполнении наплавки были применены следующие параметры расхода газа: защитного газа 10...16 литров в минуту, плазмообразующего газа 2 литра в минуту. Для защиты и образования плазмы был применен чистый аргон высшего сорта. Наплавку вели порошков состава Р6М5 размером зерен 100...350 мкм. Для наплавки применялись пластины толщиной 10 мм из стали 20. Наплавку вели за один

проход без применения поперечных колебаний плазматрона, расход порошка составил 1,9 кг в час. В таблице 2 представлены значения параметров режима наплавки, которые были применены при эксперименте при использовании дуги обратной полярности. В таблице 3 представлены значения параметров режима наплавки, которые были применены при эксперименте при использовании дуги прямой полярности.



Рисунок 10 – Установка для плазменной наплавки экспериментальных образцов

Таблица 2 – Параметры режима экспериментальной наплавки при применении обратной полярности

№ опыта	Плотность тока	Ток наплавки	Скорость наплавки	Погонная энергия
	А/мм ²	А	см/с	кДж/см
1	«8,15	160	0,17	20,4
2	9,17	180	0,17	24,5
3	10,19	200	0,17	28,2
4	11,2	220	0,17	32,1
5	11,2	220	0,21	25,9
6	11,2	220	0,25	21,8
7	8,15	160	0,13	26,7
8	9,17	180	0,13	32,1
9	10,19	200	0,13	36,9
10	11,2	220	0,13	41,9
11	10,19	200	0,21	22,8
12	10,19	200	0,25	19,2

Таблица 3 – Параметры режима экспериментальной наплавки при применении прямой полярности

№ опыта	Плотность тока	Ток наплавки	Скорость наплавки	Погонная энергия
	А/мм ²	А	см/с	кДж/см
1	8,15	160	0,13	26,7
2	9,17	180	0,13	32,1
3	10,19	200	0,13	36,9

4	11,2	220	0,13	41,9» [28]
---	------	-----	------	------------

С применением представленного на рисунке 11 микроскопа OLYMPUS GX51 выполняли анализ макроструктуры и микроструктуры. При этом для анализа отбирали участки наплавленного валика с установившимся тепловым режимом. Глубина проплавления определялась на четырех поперечных макрошлифах с применением оптического микроскопа. Микротвердость участков наплавленного металла определяли с применением представленного на рисунке 12 твердомера ПМТ-3.



Рисунок 11 – Микроскоп OLYMPUS GX51



Рисунок 12 – Микротвердомер ПМТ-3

В ходе исследования установлено, что при силе тока в диапазоне от 160 до 180 ампер в наплавленном металле обнаруживается значительное количество пор, размер которых от 10 до 180 мкм. Если силу тока увеличить на 10...20 %, то повышение интенсивности перемешивания металла и увеличение давления столба дуги приводит к уменьшению образования пор.

Наплавка на токе прямой полярности позволяет формировать узкие валики наплавленного металла. Наплавка на токе обратной полярности характеризуется получением валиков, ширина которых при тех же величинах погонной энергии оказывается в 1,5...2 раза больше, чем при наплавке на токе прямой полярности. Высота же валиков при этом оказывается в 1,2...1,5 раза меньше. Отличия валиков, наплавленных на прямой полярности и обратной полярности представлены на рисунке 13.

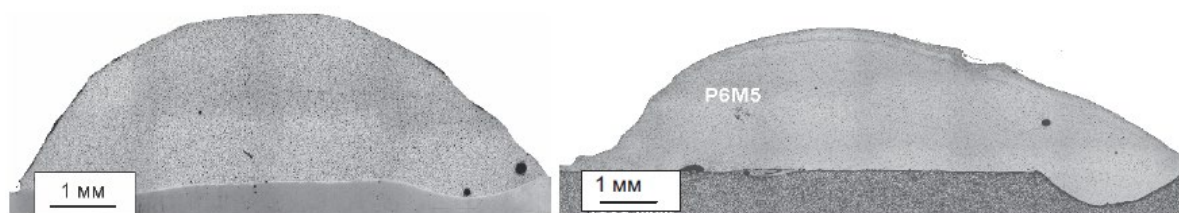


Рисунок 13 – Валики, наплавленные с применением сжатой дуги прямой и обратной полярности

Ранее исследователями [10] отмечалось, что применение дуги прямой полярности при использовании неплавящегося электрода способствует большей концентрации тепла, увеличивает глубину проплавления по сравнению с наплавкой на токе обратной полярности. Также следует принимать во внимание, что при наплавке дугой обратной полярности наблюдается локальное увеличение проплавления, это объясняется особенностями движения катодного пятна дуги. Применение дуги прямой полярности обеспечивает постоянство геометрии наплавленного валика. На рисунке 14-а представлено изменение высоты наплавленных валиков в зависимости от погонной энергии. На рисунке 14-б представлено изменение ширины наплавленных валиков в зависимости от погонной энергии для прямой и обратной полярности.

При плазменной наплавке матрица металла представляет собой смесь мартенсита и аустенита. На рисунке 15 представлена структура металла, которая независимо от применяемых параметров режима наплавки состоит из равноосных зерен.

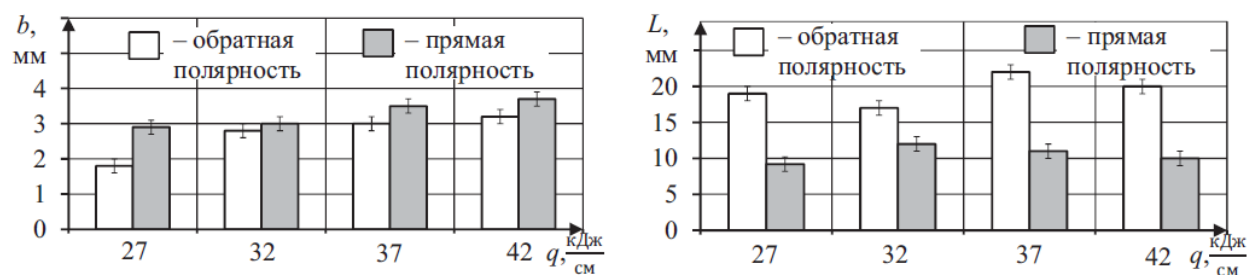


Рисунок 14 – Изменение высоты и ширины наплавленного валика в зависимости от погонной энергии при различной полярности

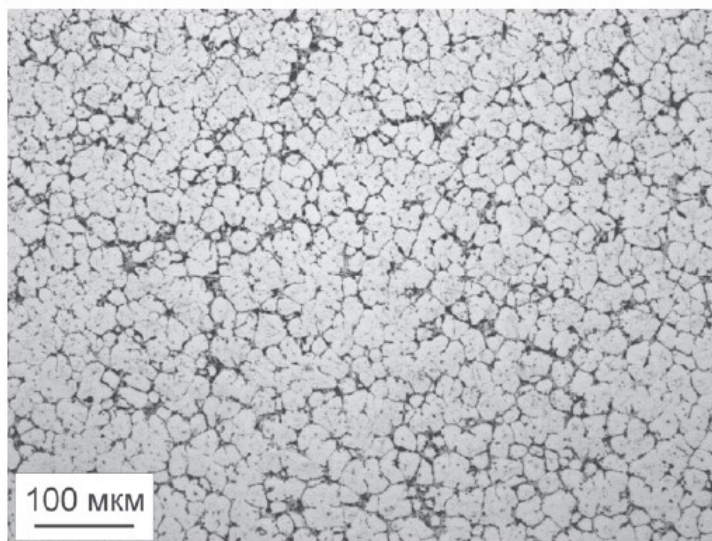


Рисунок 15 – Микроструктура наплавленного металла

На рисунке 16 представлена зависимость размера зерен наплавленного металла от погонной энергии и полярности сжатой дуги. При увеличении погонной энергии наблюдается незначительное увеличение размеров зерна наплавленного металла.

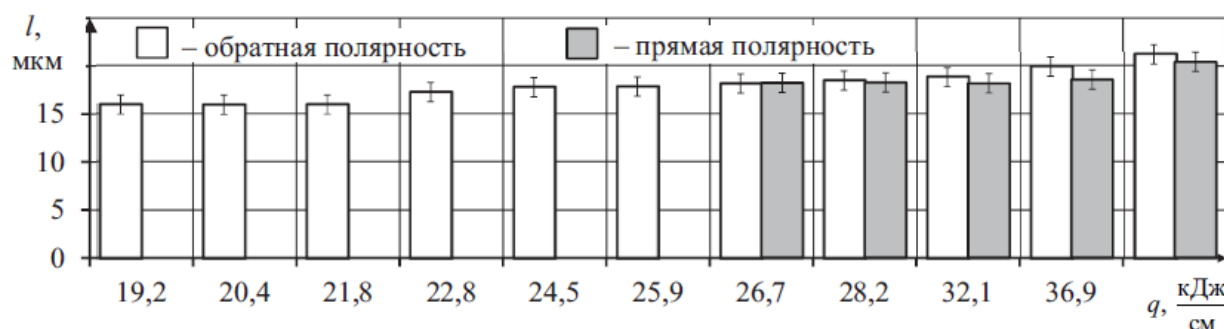


Рисунок 16 – Зависимость размера зерен наплавленного металла от погонной энергии и полярности сжатой дуги

На рисунке 17 представлена зависимость среднего значения микротвердости наплавленного металла от погонной энергии и полярности сжатой дуги. Наплавка на прямой полярности позволяет получить микротвердость на уровне 6,6...6,7 ГПа. Наплавка на обратной полярности позволяет получить микротвердость на уровне 6,3...6,5 ГПа.

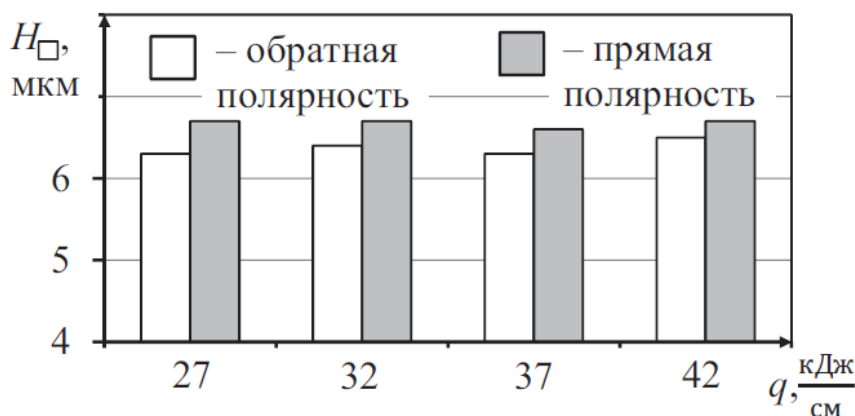


Рисунок 17 – Микротвердость наплавленного металла в зависимости от полярности и погонной энергии

Проведенные исследования позволяют заключить, что при построении проектной технологии эффективно применение порошка ПР-10Р6М5, при этом наплавку следует выполнять на постоянном токе прямой полярности.

2.3 Выбор схемы плазменной наплавки

В настоящий момент в мировой промышленности реализовано значительное количество эффективных схем плазменной наплавки с «применением в качестве присадочного материала как порошковых материалов, так и проволок, которые могут быть сплошными и порошковыми» [5], [16], [23].

На рисунке 18 представлены схемы плазменной наплавки с применением в качестве присадочного материала проволок. Позицией 1 обозначено изделие, позицией 2 обозначен источник тока, позицией 3 обозначено защитное сопло, позицией 4 обозначен неплавящийся электрод,

позицией 5 обозначено плазмообразующее сопло, позицией 6 обозначена наплавочная проволока, позицией 7 обозначена сжатая дуга. Представленный на рисунке 18-а способ характеризуется наибольшей простотой исполнения. Сжатая дуга прямого действия горит между неплавящимся электродом и изделием, присадочная проволока подается в сжатую дугу. При осуществлении данного способа отмечается повышенной по сравнению с другими рассматриваемыми способами глубиной проплавления, поэтому его применяют в случае, если наплавляемый металл незначительно отличается от основного металла. Для уменьшения глубины проплавления может быть применена наплавка на токе обратной полярности. Производительность данного способа может достигать 8...9 кг наплавленного металла в час.

Для уменьшения проплавления основного металла может быть применена схема наплавки, представленная на рисунке 18-б. Горение сжатой дуги происходит между токоведущей проволокой и неплавящимся электродом, а самое изделие остается электрически нейтральным. Комбинированный способ наплавки, представленный на рисунке 18-в, позволяет проводить наплавку массивных тел, когда теплоотвод в изделие компенсируется дополнительной дугой, горящей между неплавящимся электродом и изделием.

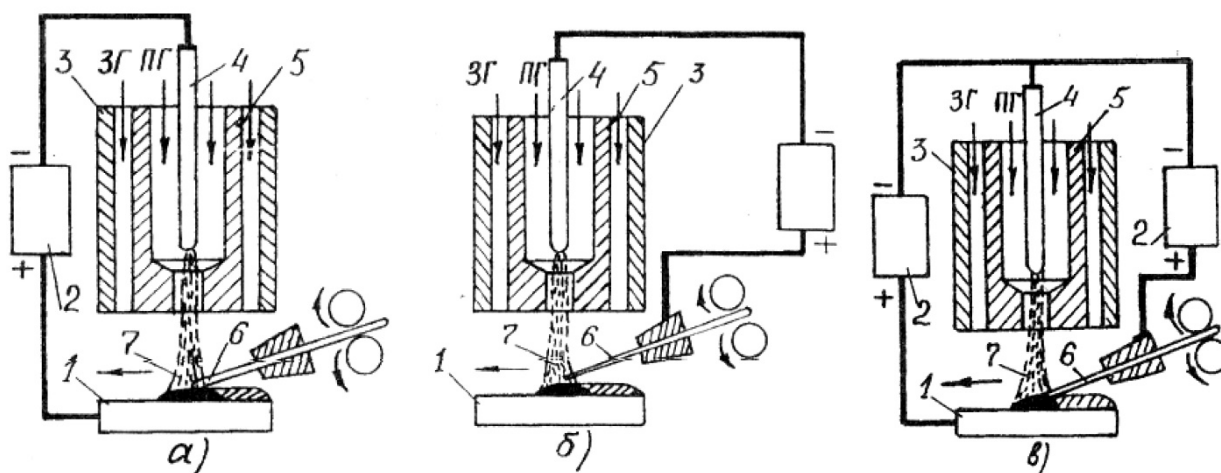


Рисунок 18 – Схемы питания при плазменной наплавке с применением присадочной проволоки

На рисунке 19 представлены схемы плазменной наплавки с применением в качестве присадочного материала порошкового материала. Позицией 1 обозначено изделие, позицией 2 обозначен источник тока, позицией 3 обозначено защитное сопло, позицией 4 обозначено плазмообразующее сопло, позицией 5 обозначен неплавящийся электрод, позицией 6 обозначено сжатая дуга, позицией 7 обозначен слой порошка на изделии, позицией 8 обозначено сопло для подачи порошка.

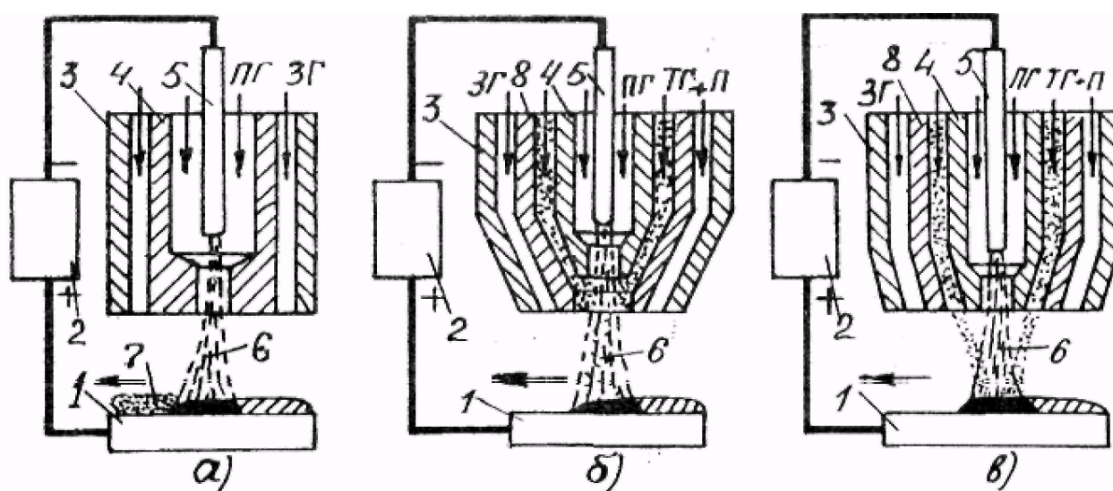


Рисунок 19 – Схемы плазменной наплавки с применением в качестве присадки порошкового материала

Наибольшей простотой исполнения характеризуется схема плазменной наплавки, представленная на рисунке 19-а, когда на поверхность наплавляемого изделия насыпается присадочный порошок, расплавление которого осуществляется за счёт тепла от дуги прямого действия, которая горит между неплавящимся электродом и поверхностью детали. Данный способ применим при наплавке на горизонтально расположенные поверхности, при этом размеры порошка должны обеспечивать его удержание на поверхности в условиях действия потоков плазмы и газа, т.е. применяется порошок крупной зернистости – от 0,5 до 3 мм. Если применяется мелкий порошок, или ведется наплавка в положении, отличном от горизонтального может быть выполнено приклеивание порошка с применением различных связующих составов.

На рисунке 19-б представлен широко применяемый способ плазменно-порошковой наплавки, при котором наплавочный порошок поступает непосредственно в сжатую дугу через плазматрон конструкции, обеспечивающей подачу порошка транспортирующим газом. Производительность такой наплавки составляет от 1,5 до 12 кг наплавленного металла в час при толщине наплаваемого слоя от 0,5 до 6 мм в зависимости от применяемого плазматрона и параметров режима. Наплавка по такой схеме обеспечивает долю основного металла в наплавленном слое не более 10 %.

На рисунке 19-в представлена схема плазменной наплавки с подаче присадочного порошка непосредственно в сварочную ванну, что позволяет существенно упростить конструкцию плазматрона по сравнению с выше описываемой схемой. Если применять самофлюсующийся порошок, для защиты зоны наплавки становится достаточным применением лишь транспортирующего газа.

Из рассматриваемых способов наибольшей универсальностью и производительностью характеризуется способ плазменно-порошковой наплавки с подачей присадочного порошка в сжатую дугу, что и будет применено при построении проектной технологии.

2.4 Проектная технология восстановительной наплавки штампа

Штамп, который следует восстановить с применением наплавочных технологий, предварительно отжигают, что позволит в дальнейшем провести обточку дефектного места. Чтобы предотвратить окисление поверхности штампа кислородом воздуха, нагрев ведут с погружением штампа в плотно «закрытый ящик, заполненный порошком древесного угля. Перед помещением штампа в ящик, необходимо обмазать поверхность штампа защитным составом из 40 % песка, 35 % глины, 15 % кальцинированной соды и 10 % воды. Толщина защитной обмазки на поверхности штампа должна

составлять приблизительно 3 мм. Отжиг выполняют при температуре от 850 до 900 °С в течение 2...4 часов» [23] в зависимости от толщины штампа.

При очистке поверхности штампа удаляют загрязнения, окалину и ржавчину, ведут зачистку дефектного места до металлического блеска. Выкрошившиеся кромки и трещины разделяют с применением механических или плазменных способов. По периметру наплавки следует выполнить выточки с глубиной фаски, которая зависит от толщины наплавляемого слоя. В проектной технологии предлагается применить плазменную разделку дефектов, предусматривающей выплавление дефекта плазменной струей, а выдувание расплавленного металла сжатым воздухом. Плазменную разделку проведем с применением резака ПРВ-202, который представлен на рисунке 20-а и установки для «воздушно-плазменной резки УПР-201, которая представлена на рисунке 20-б. Резку проводят на постоянном токе обратной полярности силой 340...380 ампер при напряжении на сжатой дуге 22...45 вольт. Диаметр неплавящегося электрода составляет 8 мм» [23], скорость реза достигает 11...15 мм в секунду. После воздушно-плазменного реза проводят механическую обточку кромок, удаляя окислившийся металл и формируя гладкий выход на поверхность штампа, что при последующей наплавке позволит снизить уровень остаточных напряжений.



Рисунок 20 – Оборудование для воздушно-плазменной резки при разделке дефекта на штамповой оснастке: резак ПРВ-202 и источник питания УПР-201

Перед восстановительной наплавкой штампа проводят его предварительный подогрев до температуры 200...300 °С. При восстановлении массивных штампов температура предварительного подогрева должна быть увеличена до 400...450 °С.

При восстановительной наплавке в качестве присадочного порошка применяется ПР-10Р6М5 или ПР-Х12МФ. Фракция порошка может быть в диапазоне от 70 до 600 мкм, но обязательно, чтобы в применяемой партии порошка различие в размерах частиц не превышало 30 мкм, в противном случае не обеспечивается равномерное расплавление частиц и формирование однородного наплавленного слоя. В качестве защитного и плазмообразующего газа используется чистый аргон, расход которого для защиты составляет 16...20 литров в минуту, для транспортировки порошка 5...7 литров в минуту, для образования плазмы 1,5...2,5 литров в минуту. При наплавке сила тока составляет от 150 до 200 ампер при напряжении холостого хода от 120 до 160 вольт, напряжение на дуге при наплавке составляет от 40 до 45 вольт. Наплавка ведется со скоростью 0,15...0,18 метров в минуту при наложении поперечных колебаний на горелку частотой 40...100 колебаний в минуту, расстояние от сопла горелки до детали составляет 10...18 мм. На рисунке 21 представлен пример штампа после выполнения восстановительной наплавки. Наплавка ведется с припуском на последующую механическую обработку, которая должна обеспечить получение требуемых размеров штампа с заданной точностью.



Рисунок 21 – Поверхность штампа после восстановительной наплавки

После восстановительной наплавки проводят высоки отпуск, который должен снять остаточные напряжения в наплавленной детали. Термическую обработку штампов после наплавки проводят в контейнерах с засыпанием активированным углем. Температура нагрева составляет 700...750 °С при длительности от 2 до 4 часов в зависимости от размеров штампов.

Далее проводят контроль качества наплавки, который проводят визуальный, измерительный и ультразвуковой. Не допускается наличие трещин и несплавлений, а также подрезы и раковины. Наиболее опасными из перечисленных дефектов представляются трещины, которые в процессе работы штампа имеют склонность к быстрому росту и могут привести к выходу из строя всего штампа с последующей его утилизацией, что может стать причиной серьезных финансовых издержек предприятия.

Поры по сравнению с трещинами являются менее опасными дефектами, но их наличие вызывает снижение износостойкости наплавленного штампа и его прочности.

Если в наплавленном слое будет пропущен такой дефект, как несплавление, то в процессе работы штампа следует ожидать откола части наплавленного слоя.

При выполнении визуального осмотра припуск на механическую обработку наплавленного слоя должен составлять 1 мм. При замере твердости наплавленного слоя полученные значения должны быть 40...42 HRC.

Внутренние дефекты обнаруживаются с применением ультразвукового дефектоскопа А-1214 «Эксперт».

После того, как была проведена оценка качества наплавленного слоя, выполняют механическую обработку наплавленного слоя с получением заданных размеров штампа. После этого следует провести закалку штампа, для чего нагрев ведут до температуры 840...860 °С, закалку штампа выполняют в масло.

Выводы по второму разделу

Настоящий раздел выпускной квалификационной работ является исполнительским и содержит описание ранее поставленных задач, формулировка которых была выполнена в конце первого раздела. При решении первой задачи обоснован выбор способа восстановительной наплавки штампа, для построения проектной технологии предложено применить плазменную наплавку, показавшую высокую эффективность и описанную в значительном количестве научных работ, анализ которых выполнен в настоящей выпускной квалификационной работе. При решении второй задачи рассмотрены способы повышения эффективности плазменной наплавки, обоснован выбор полярности сжатой дуги, параметров режима наплавки и применяемого присадочного порошка. Также были рассмотрены применяемые в настоящее время в производстве схемы плазменной наплавки, на основании анализа которых предложено применить наплавку с подачей присадочного порошка в сжатую дугу. При решении третьей задачи составлена проектная технология восстановительной плазменной наплавки штампа, сформулирован перечень операций и условия их выполнения. Далее следует рассмотреть вопросы пожарной и экологической безопасности [2], [9]. Во втором оценочном разделе следует провести сравнение экономических показателей базового и проектного вариантов технологии, на основании которого можно сделать вывод о целесообразности внедрения предлагаемых решений в производство [12], [17]. Последующее заключение должно содержать выводы и доказательство достижения поставленной цели с рекомендациями по внедрению и направлению исследований в рассматриваемой области наук.

3 Промышленная безопасность производственного участка

3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи

Предлагаемые в исполнительском разделе решения позволяют повысить эффективность восстановительной наплавки при исправлении дефектов на штампах для получения листовых деталей кузова автомобиля. Внедрение предлагаемых решений обеспечивает получение технологического эффекта – повышения качества и производительности наплавочных работ. Решение о возможности внедрения предлагаемых решений в современное производство должно приниматься «на основании анализа возможности обеспечения безопасности труда и экологической безопасности рассматриваемого производственного участка. Укрупненная характеристика проектного технологического процесса ремонтной сварки представлена в таблице 4, которая позволяет получить необходимую информацию о перечне выполняемых операций» [9], персонале, применяемом оборудовании и материалах, что является достаточным для идентификации опасных и вредных производственных факторов, которыми характеризуется рассматриваемый производственный участок, на котором предлагается реализовать проектную технологию ремонтной сварки металлических конструкций. Предусматривается выполнение шести укрупненных операций. Операции отжига и высокого отпуска выполняются с участием термиса. Контрольные операции выполняются с участием дефектоскописта. Подготовка дефектного места выполняется с участием слесаря сборщика. Предварительный подогрев и восстановительная наплавка выполняются с участием электросварщика. Применяемое при выполнении операций оборудование может стать причиной возникновения факторов, если фактор не ухудшает состояние персонала, то он признается нейтральным и в дальнейшем не учитывается. Поэтому следует идентифицировать только негативные факторы (опасные или вредные).

Таблица 4 – Укрупненная характеристика проектного технологического процесса восстановительной наплавки

Операция	Персонал	Оборудование	Материалы
«Отжиг	Термист	Электродпечь	Порошок древесного угля
Подготовка дефектного места	Слесарь-сборщик	Установка плазменной резки, резак, линейка металлическая	Ветошь
Проведение предварительного подогрева	Электросварщик	Электродпечь	отсутствуют
Наплавка на дефектное место	Электросварщик	Источник питания сварочной дуги, установка для наплавки	Наплавочный порошок, аргон, вода техническая
Высокий отпуск	Термист	Электродпечь	Порошок древесного угля
Контроль качества» [23]	Дефектоскопист	Лупа, дефектоскоп, штангенциркуль, твердомер	масло

«На основании представленной в таблице информации становится возможным сформулировать производственные факторы, влияние которых может оказать негативное воздействие на персонал предприятия» [9].

3.2 Идентификация негативных производственных факторов

«В процессе восстановительной наплавки неизменно возникает ряд негативно влияющих на персонал факторов, источниками которых является применяемое на участке технологическое оборудование» [9]. Свободно горящая дуга становится источником инфракрасного и ультрафиолетового излучения высокой интенсивности, также при наплавке разлетаются брызги расплавленного металла, поверхности деталей нагреваются до высоких температур.. На участке имеется оборудование с опасным уровнем напряжения и тока. В таблице 5 представлен перечень возникающих факторов, влияние которых необходимо учитывать при реализации технологии.

Таблица 5 – Негативные производственные факторы при реализации операций проектного технологического процесса восстановительной наплавки штампов

Наименование операции	Опасный или вредный производственный фактор
Отжиг	- острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок - повышенная температура поверхностей - опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током
Подготовка дефектного места	- острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения - химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии
Проведение предварительного подогрева	- острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок - повышенная температура поверхностей
Наплавка на дефектное место	- чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания - повышенный уровень шума - опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током - инфракрасное излучение - ультрафиолетовое излучение - химические вещества в аэрозольном состоянии - повышенная температура поверхностей
Высокий отпуск	- острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок - повышенная температура поверхностей - опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током
Контроль качества	- повышенный уровень ультразвуковых колебаний - острые кромки и заусенцы и шероховатости н поверхности заготовок

Представленные в таблице неблагоприятные производственные факторы могут быть отнесены к вредным производственным факторам и опасным производственным факторам. К «первым следует отнести такие факторы, которые становятся причиной возникновения заболеваний или причиной развития уже имеющихся у человека заболеваний. При этом заболевания могут протекать как остро, так и хронически. Ко второй группе факторов следует отнести» [9] такие факторы, которые могут способствовать получению человеком травмы или возникновению на предприятии смертельного случая.

3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов

Ранее был составлен перечень негативных производственных факторов согласно ГОСТ 12.0.003-2015. Нейтрализация этих факторов эффективно выполняется с применением представленных в таблице 6 технических средств и организационных мероприятий.

При назначении средств защиты следует принимать во внимание, что совместное действие нескольких негативных факторов может представлять большую опасность, чем суммарное действие каждого фактора по отдельности, что дополнительно повышает их опасность. Также следует учитывать кумулятивный эффект, заключающийся в длительном накоплении негативного действия и остром его проявлении.

Также при назначении средств защиты следует опираться на стандартные методики и технологии, показавшие свою эффективность при построении технологических процессов.

Значительная роль отводится организационным мероприятиям, от своевременности и полноты проведения которых в значительной степени зависит безопасность труда. Как показывает практика, именно нарушение трудовой дисциплины становится причиной большинства несчастных случаев на производстве. Проведение периодического инструктажа по технике безопасности позволяет поддерживать требуемую производственную дисциплину.

Также следует принимать во внимание необходимость поддержания порядка на рабочем месте, что позволяет лучше организовать производственный процесс и обеспечить его безопасность по отношению ко всем участникам. Средства индивидуальной защиты должны периодически проверяться на комплектность и исправность, их состояние должно контролироваться как руководством предприятия, так и самим персоналом.

Исправность оборудования должна проверяться квалифицированным персоналом.

Таблица 6 – Средства и методики для устранения профессиональных рисков

Негативный фактор	Технические средства	Индивидуальные средства
химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии	- «оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
ультрафиолетовое излучение	- ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений - защитные экраны	специальная одежда, перчатки, защитные маски
движущиеся части машин и механизмов	устройства защитного отключения привода станков	Специальная одежда, перчатки» [9]
отсутствие или недостатков естественного освещения	- контроль уровня освещенности рабочего места - дополнительная подсветка	индивидуальная подсветка
отсутствие или недостатков искусственного освещения	- контроль уровня освещенности рабочего места - дополнительная подсветка	индивидуальная подсветка
химические вещества в аэрозольном состоянии	- устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	защитные маски
чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания	- «устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	индивидуальные средства защиты дыхательных путей
опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током	- организация и проведение периодического инструктажа работников на предмет соблюдения техники безопасности - контроль изоляции и заземления - защитное заземление, защитное отключение	защитная одежда, диэлектрические коврики
инфракрасное излучение	- ограничение проникновения персонала в опасную зону применением ограждений - защитные экраны	специальная одежда, перчатки, защитные маски
повышенная температура поверхностей	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	специальная одежда, перчатки, защитные маски
острые кромки и заусенцы и шероховатости и поверхности заготовок	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
повышенный уровень ультразвуковых колебаний	- ограничение проникновения персонала в опасную зону	защита расстоянием и уменьшением времени воздействия» [9]

По результатам анализ представленной таблицы можно судить о высокой эффективности применяемых стандартных средств и методик, обеспечивающих комплексную защиту персонала. Разработки специальных средств не требуется.

3.4 Пожарная безопасность производственного участка

Горящая дуга при выполнении наплавочных работ становится источником повышенной пожарной опасности. Горение дуги характеризуется высокими температурами и интенсивностью теплового излучения; брызг расплавленного металла, которые могут попасть на горючие предметы; самих нагретых поверхностей. Для того, чтобы «обеспечить горение дуги, применяются источники тока, подвод электрической мощности к которым также может стать причиной возгорания. Также наличие на участке электрического оборудования усложняет протекание пожара и его тушение. В таблице 7 выполнена идентификация пожара, возникновение которого следует предотвратить на рассматриваемом производственном участке» [9].

Таблица 7 – Идентификация пожара на производственном участке

«Наименование участка	Участок восстановительной наплавки прессовых штампов для изготовления деталей кузова автомобиля
Наименование оборудования	Оборудование для механической обработки, сварочное оборудование, термическое оборудование, дефектоскоп
Классификация по виду горящего вещества	Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)
Наименование основных опасных факторов пожара	Пламя, повышенная температура воздуха, токсические продукты горения, уменьшение концентрации кислорода в воздухе, снижение видимости из-за задымления, искры
Наименование вторичных опасных факторов пожара» [9]	Поражение персонала электрическим током, падение на персонал элементов конструкции здания и оборудования

Возникающий пожар характеризуется факторами, правильный учет которых позволяет обеспечить оперативное тушение пожара и уменьшить его негативное действие. К таким фактора относят разлетающиеся при горении искры, застилающее обзор и мешающее ориентироваться в пространстве задымление, отравляющие людей токсические продукты горения, приводящее к удушью уменьшение содержания в воздухе кислорода, волны горячего воздуха и само пламя. Также при пожаре возможно падение на людей элементов оборудования и строительной конструкции при её разрушении. На

основании результатов проведенного анализа возникающий на рассматриваемом производственном участке пожар может быть отнесен к категории «Е», так как ещё одним поражающим фактором является электрический ток, поражение которым может произойти при тушении пожара.

В таблице 8 представлены средства, обеспечивающие устранение опасных факторов такого пожара, которые следует быть готовым применить на рассматриваемом производственном участке.

Таблица 8 – Средства устранения факторов пожара, возникновение которого возможно на рассматриваемом производственном участке

«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» [9]	Кнопка оповещения, звуковые оповещатели, речевые оповещатели, световые оповещатели

Планирование противопожарных мероприятий следует выполнять с учётом приоритетности предупредительных мероприятий. Особое внимание следует уделить средствам и мероприятиям, обеспечивающим предотвращение появления возгорания. Запрещается сваливание на участке мусора (ветошь, картон, бумага, элементы упаковки, куски пенопласта). Также запрещается хранение на производственном участке значительных количеств возгорающихся жидкостей. Необходимо проведение инструктажа персонала по обеспечению пожарной безопасности.

3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка

Современные производственные процессы должны отвечать не только требованиям промышленной безопасности и пожарной безопасности, но и предусматривать нанесение минимального ущерба окружающей среде. В настоящей выпускной квалификационной работе рассматривается процесс ремонтной сварки металлических конструкций сельскохозяйственной техники, который представляет опасность для элементов природы – гидросферы, литосферы и атмосферы.

Для защиты атмосферы предлагаются следующие мероприятия. Вентиляционная система, обслуживающая производственный участок, должна быть оснащена системой фильтров, обеспечивающей сбор и утилизацию выделяющихся вредных компонентов. Запрещается сжигание промышленного мусора, полученного в ходе функционирования рассматриваемого производственного участка. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Для защиты гидросферы предлагаются следующие меры. Запрещается сливать в канализационную систему цеха машинное масло и другие отходы производства. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Очистка и повторное использование технической воды, позволяющие уменьшить расход водных ресурсов. Запрещается использование для технических нужд питьевой воды. Для защиты литосферы предлагаются следующие меры. Обеспечить отдельный сбор и утилизацию промышленного мусора, возникающего в ходе «функционирования рассматриваемого производственного участка. Запрещается закапывание и несанкционированное выбрасывание промышленного мусора. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Рециклинг промышленных отходов, позволяющий значительно уменьшить негативную нагрузку со стороны предприятия на литосферу» [2].

Выводы по экологическому разделу

Для анализа предлагаемого проектного технологического процесса восстановительной наплавки прессовых штампов проведен анализ особенностей и сформулирован перечень негативных производственных факторов, как опасных, так и вредных, защита от действия которых реализуется путем применения стандартных средств и организационных мероприятий.

Необходимый уровень безопасности обеспечивается, и проведение специальной разработки не требуется. Рассмотрение вопросов пожарной безопасности рассматриваемого производственного участка позволило составить перечень средств и мероприятий по обеспечению пожарной безопасности и предотвращению возникновения пожара на предприятии. Установлено, что основной упор следует сделать на предотвращение возникновения ситуаций, в которых возможно возникновение пожара. «Соблюдение требований современной мировой экологической повестки заставляет рассматривать производственный участок с точки зрения потенциальной опасности по отношению к природным ресурсам» [2].

В настоящей выпускной квалификационной работе предложены мероприятия по защите составляющих природы – атмосферы, литосферы и гидросферы от негативного воздействия со стороны производственного участка. Особое внимание следует уделить селективному сбору промышленных отходов и недопустимости несанкционированного их выбрасывания, что может привести к загрязнению гидросферы и литосферы.

Таким образом, предлагаемые в настоящей выпускной квалификационной работе технические решения не представляют существенной угрозы работникам предприятия и окружающей среде. Все возникающие при реализации проектной технологии негативные воздействия могут быть нейтрализованы с применением стандартных средств и мероприятий.

4 Экономическая эффективность предлагаемых технических решений

4.1. Исходные данные для экономического расчёта

В исполнительском разделе рассматривался вопрос построения технологии восстановительной наплавки прессовых штампов. Базовый процесс предусматривает применение ручной дуговой наплавки. Проведено обоснование применения плазменной порошковой наплавки для реализации проектной технологии.

Далее составлена проектная технология, реализованная применительно к рассматриваемому изделию. Применение предлагаемых решений при реализации проектного технологического процесса по сравнению с базовой технологией позволяет получить комплексный положительный технологический эффект, выражающийся в одновременном повышении производительности выполняемых работ и их качества.

За счёт повышения производительности ожидается снижение размеров фонда заработной платы, а повышение качества позволяет экономить на сварочных материалах, электрической энергии и фонде заработной платы, так как существенно снижается количество брака и работ по его исправлению.

Исходные данные, которые будут применены для расчёта экономических показателей, представлены в таблице 9. Эти данные послужат для задания временных и экономических показателей базового и проектного вариантов технологии наплавки прессовых штампов.

Дальнейшие экономические расчёты будут основаны на представленных в таблице исходных данных. С учётом особенностей рассматриваемого технологического процесса технология будет реализована при работе в одну смену.

Таблица 9 – Данные для расчета экономических показателей производства

Параметр	Обозначение	Единица измерения	Принимаемое значение по варианту технологии	
			базовый	проектный
«Число рабочих смен в сутках	$K_{см}$	-	1	1
Разряд работников	P_p	-	V	V
Часовая тарифная ставка	$Cч$	Р/час	300	300
Коэффициент доплат	$K_{доп}$	%	12	12
Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП	K_d	-	1,88	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
Коэффициент выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования	$Ц_{об}$	руб.	300 тыс.	800 тыс.
Норма амортизации оборудования	K_a	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	10	10
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{т-з}$	%	5	5
Стоимость электрической энергии	$Ц_{э-э}$	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	м ²	800	800
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эксп}$	(Р/м ²)/год	2000	2000
Цена производственных площадей	$Ц_{пл}$	Р/м ²	30000	30000
Норма амортизации площади	$На.пл.$	%	5	5
Коэффициент дополнительной производственной площади	$K_{пл}$	-	3	3
Коэффициент эффективности капитальных вложений	E_n	-	0,33	0,33
Коэффициент цеховых расходов	$K_{цех}$	-	1,5	1,5
Коэффициент заводских расходов» [12]	$K_{зав}$	-	1,15	1,15

Дальнейшие экономические показатели рассчитываются на основании представленных в настоящей таблице исходных данных. Алгоритм оценки эффективности предусматривает отдельное определение временных показателей рассматриваемого производства, отдельный расчёт составляющих технологической себестоимости, цеховых и заводских расходов, капитальных вложений.

4.2 Фонд времени работы оборудования

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

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

$$F_n = (D_p \cdot T_{см} - D_{п} \cdot T_{п}) \cdot K_{см} = (277 \cdot 8 - 7 \cdot 1) \cdot 1 = 2209 \text{ часов.} \quad (1)$$

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

$$F_o = F_n(1-B) = 2209 \cdot (1 - 0,07) = 2054 \text{ часов.} \quad (2)$$

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

4.3 Расчёт штучного времени и годовой программы производства

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

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

Расчёт по формуле (3) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы: $t_{шт} = 8,4 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 10,2$ часа. Расчёт по формуле (3) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы: $t_{шт} = 5 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 6$ часа.

«Далее рассчитывается годовая программа как отношение эффективного фонда времени оборудования $F_{\circ}$ и штучного времени $t_{шт}$ как» [12]

$$\Pi_{\Gamma} = F_{\circ} / t_{шт} . \quad (4)$$

Расчёт по формуле (4) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы $\Pi_{\Gamma} = 2054/10,2 = 201$ исправляемых дефектов за год. Расчёт по формуле (4) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы $\Pi_{\Gamma} = 2054/6 = 342$ исправляемых дефектов за год. С учётом потребностей рассматриваемого производства для значения годовой программы принимается $\Pi_{\Gamma} = 100$ исправляемых дефектов за один год. Далее следует выполнить расчёт количества оборудования $n_{\text{расч}}$ для проектного и базового вариантов технологического процесса, для чего «следует применить ранее рассчитанное значение эффективного фонда времени F_3 , годовой программы Π_{Γ} и штучного времени $t_{\text{шт}}$ с учётом коэффициента выполнения нормы $K_{\text{вн}}$, значение которого в рассматриваемом варианте производства принимается $K_{\text{вн}} = 1,03$ » [12]:

$$n_{\text{расч}} = t_{\text{шт}} \cdot \Pi_{\Gamma} / (F_3 \cdot K_{\text{вн}}). \quad (5)$$

«Расчёт по формуле (5) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования $n_{\text{расч.}} = 10,2 \cdot 100 / (2054 \cdot 1,03) = 0,48$. Расчёт по формуле (5) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования $n_{\text{расч.}} = 6 \cdot 100 / (2054 \cdot 1,03) = 0,28$ » [12]. Следует принять ближайшее большее натуральное значение, которое для проектного и базового вариантов составляет по одному. Коэффициент загрузки оборудования K_3 , который рассчитывается как отношение расчётного и принимаемого количества оборудования по вариантам технологии:

$$K_3 = n_{\text{расч}} / n. \quad (6)$$

Расчёт по формуле (6) для базового и проектного вариантов позволяет получить $K_3 = 0,48/1 = 0,48$ и $K_3 = 0,28/1 = 0,28$ соответственно, что объясняется повышением производительности труда при реализации проектного варианта технологического процесса.

4.4 Заводская себестоимость

Для определения размеров технологической себестоимости $C_{\text{тех}}$ проведения работ согласно рассматриваемым вариантам технологического процесса необходимо выполнить отдельный расчёт составляющих: «затрат на материалы M , фонда заработной платы ФЗП, отчислений на социальные нужды $O_{\text{сс}}$, затрат на оборудование $Z_{\text{об}}$ и затрат на площади $Z_{\text{пл}}$. Расчёт расходов на сварочные материалы проводится с учётом их цены $C_{\text{м}}$, нормы расхода $H_{\text{р}}$ и коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{\text{тз}}$, значение которого для рассматриваемого производства согласно таблице исходных данных составляет $K_{\text{тз}} = 1,05$ » [12]:

$$M = C_{\text{м}} \cdot H_{\text{р}} \cdot K_{\text{т-з}} . \quad (7)$$

Расчёт по формуле (7) для базового варианта технологии позволяет получить $M=240 \cdot 20 \cdot 1,05=5040$ руб. Расчёт по формуле (7) для проектного варианта позволяет получить $M_{\text{баз}}=90 \cdot 12 \cdot 1,05+50 \cdot 6 \cdot 9 \cdot 1,05=1134+2835=3969$ руб.

«Фонд заработной платы ФЗП предприятия характеризует расходы на основную заработную плату $Z_{\text{осн}}$ и дополнительную заработную плату $Z_{\text{доп}}$, которые рассчитываются с учетом часовой тарифной ставки $C_{\text{ч}}$, коэффициента доплат $K_{\text{д}}$ и коэффициента дополнительных затрат $K_{\text{доп}}$. Для рассматриваемого производства по таблице исходных данных принимается $C_{\text{ч}}=300$ руб., $K_{\text{д}}=1,88$ и $K_{\text{доп}}=0,12$. Расчёт величины $Z_{\text{осн}}$:

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

Применение (8) для базового варианта позволяет получить величину» [12] $Z_{\text{осн}} = 300 \cdot 10,2 \cdot 1,88=5753$ руб. Применение (8) для проектного варианта позволяет получить величину $Z_{\text{осн}} = 300 \cdot 6 \cdot 1,88 = 3384$ руб.

Расчёт величины $Z_{\text{доп}}$ предусматривает применение следующей математической зависимости:

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

Применение (9) для базового варианта позволяет получить величину $З_{доп} = 5753 \cdot 0,12 = 690$ руб. Применение (9) для проектного варианта позволяет получить величину $З_{доп} = 3384 \cdot 0,12 = 406$ руб.

Расчёт величины ФЗП:

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

Применение (10) для базового варианта позволяет получить величину $ФЗП = 5753 + 690 = 6443$ руб. Применение (10) для проектного варианта позволяет получить величину $ФЗП = 3384 + 406 = 3790$ руб.

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

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

$$O_{сн} = ФЗП \cdot K_{сн}. \quad (11)$$

Применение (11) для базового варианта позволяет получить величину $O_{сн} = 6443 \cdot 0,34 = 2191$ руб. Применение (11) для проектного варианта позволяет получить величину $O_{сн} = 3790 \cdot 0,34 = 1289$ руб. Для того, чтобы рассчитать размер «затрат на оборудование $З_{об}$, необходимо предварительно определить составляющие: амортизационные отчисления $A_{об}$ и затраты на электрическую энергию $P_{э}$ » [12]. При расчете величины $A_{об}$ применяются ранее определенные значения F_9 и $t_{маш}$, а также принятые для

рассматриваемого производства норма амортизации H_a и стоимость оборудования $\Pi_{об}$, значения которых берутся из таблицы исходных данных. Расчёт величины $A_{об}$:

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

Применение (12) для базового варианта «позволяет получить величину $A_{об} = 300000 \cdot 21,5 \cdot 10,2 / 2054 / 100 = 320$ руб. Применение (12) для проектного варианта даёт $A_{об} = 800000 \cdot 21,5 \cdot 6 / 2054 / 100 = 502$ руб.» [12] Увеличение амортизационных отчислений в проектном варианте технологии по сравнению с базовым вариантом технологии объясняется применением более сложного технологического оборудования больше стоимости.

Для расчёта величины $P_{э}$ выполняется применяется цена электрической энергии $\Pi_{э}$, установленная мощность применяемого оборудования $M_{уст}$, машинное время $t_{маш}$ и коэффициент полезного действия. Эти значения были рассчитаны ранее или принимаются из таблицы исходных данных. Расчёт величины $P_{э}$:

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

Применение (13) для базового варианта позволяет получить величину $P_{э} = 10 \cdot 10,2 \cdot 3,4 / 0,7 = 684$ руб. Применение (13) для проектного варианта позволяет получить величину $P_{э} = 10 \cdot 6 \cdot 3,4 / 0,85 = 332$ руб.

Величина затрат на оборудование $Z_{об}$ определяется как сумма $A_{об}$ и $P_{э}$:

$$Z_{об} = A_{об} + P_{э}. \quad (14)$$

Применение (14) для базового варианта позволяет получить величину затрат на оборудование $Z_{об} = 320 + 684 = 1004$ руб. Применение (14) для проектного варианта позволяет получить величину $Z_{об} = 502 + 332 = 834$ руб.

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

на материалы M , фонда заработной платы $\Phi ЗП$, отчислений на социальные нужды O_{cc} , затрат на оборудование $З_{об}$, затрат на площади $З_{пл}$:

$$C_{тех} = M + \Phi ЗП + O_{cc} + З_{об} + З_{пл}. \quad (15)$$

Применение (15) для базового варианта позволяет получить величину $C_{тех} = 5040 + 6443 + 2198 + 1004 + 521 = 15206$ руб. Применение (15) для проектного варианта позволяет получить $C_{тех} = 3969 + 3790 + 1289 + 834 + 306 = 10188$ руб.» [12]

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

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

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

Применение (16) для базового варианта позволяет получить величину $C_{цех}=15206 + 1,5 \cdot 5753 = 15206 + 8630 = 23836$ руб. Применение (16) для проектного варианта позволяет получить $C_{цех}=10188 + 1,5 \cdot 3384 = 10188 + 5076 = 15264$ руб.

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

$$C_{\text{зав}} = C_{\text{цех}} + Z_{\text{осн}} \cdot K_{\text{зав}}. \quad (17)$$

Применение (17) для базового варианта позволяет получить значение $C_{\text{зав}} = 23836 + 1,15 \cdot 5753 = 23836 + 6616 = 30452$ руб. Применение (17) для проектного варианта дает $C_{\text{зав}} = 15264 + 1,15 \cdot 3384 = 15264 + 3892 = 19156$ руб.

Для анализа которых на рисунке 22 представлена диаграмма, демонстрирующая состав заводской себестоимости по базовому и проектному вариантам технологического процесса» [12]. Калькуляция представлена в таблице 10.

Таблица 10 – Калькуляция заводской себестоимости

Показатель	Обозначение	Базовый	Проектный
1. «Затраты на материалы	М	5040	3969
2. Фонд заработной платы	ФЗП	6443	3790
3. Отчисления на соц. нужды	ОСН	2198	1289
4. Затраты на оборудование	Зоб	1004	834
5. Расходы на площади	Зпл	521	306
5. Технологическая себестоимость	Стех	15206	10188
6. Цеховые расходы	Рцех	8630	5076
7. Цеховая себестоимость	Сцех	23836	15264
8. Заводские расходы	Рзав	6616	3892
9. Заводская себестоимость» [12]	Сзав	30452	19156

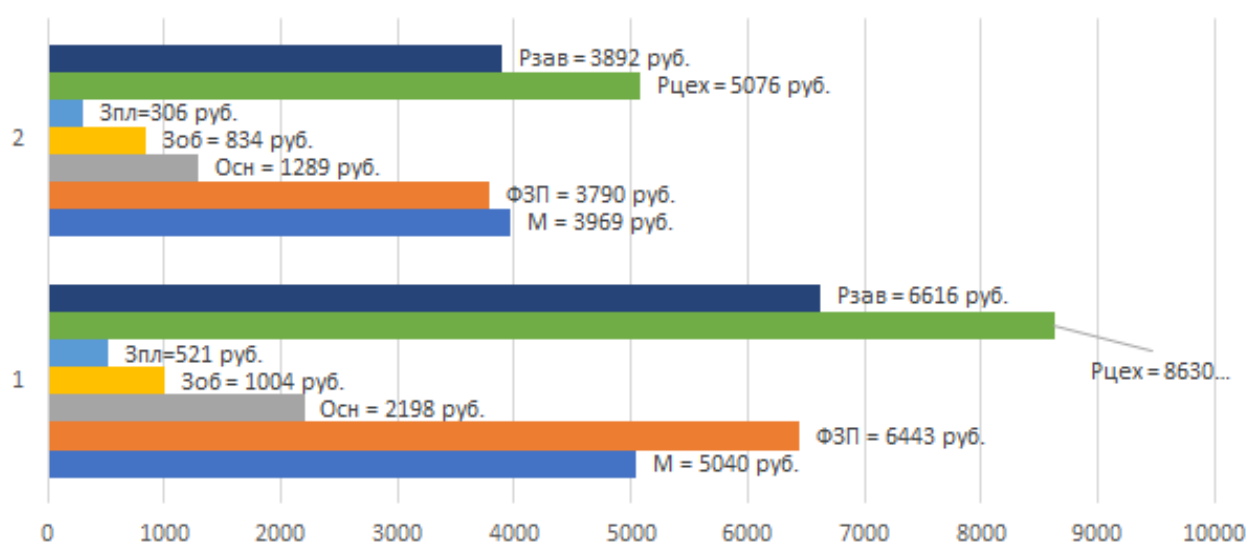


Рисунок 22 – Состав заводской себестоимости

Далее для расчётного определения показателей экономической эффективности требуется рассчитать капитальные затраты.

4.5 Капитальные затраты по рассматриваемым вариантам

«Первоначально следует определиться с величиной остаточной стоимости оборудования $\Pi_{об.б.}$, использование которого выполнялось при реализации базовой технологии. При продолжительности эксплуатации $T_c=3$ года и цене оборудования $\Pi_{перв}= 300$ тыс. руб. с учетом нормы амортизационных отчислений $H_a=21,5\%$:

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

Применение (18) для базового варианта позволяет получить величину $\Pi_{об.б.} = 300000 - (300000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 106500$ руб.

Величина общих капитальных затрат $K_{общ.б.}$ в базовом варианте технологии, рассчитывается по ранее полученному коэффициенту загрузки K_z и остаточной стоимости $\Pi_{об.б.}$:

$$K_{общ.б.} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{з.б.} = 106500 \cdot 0,48 = 51120 \text{ рублей.} \quad (19)$$

Капитальные затраты на оборудование при реализации проектного технологического процесса $K_{об.пр.}$ рассчитываются с учётом цены оборудования по проектному варианту $\Pi_{об.пр.}$, коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{тз}$ и коэффициента загрузки оборудования K_z , расчётное значение которого составляет $K_z=0,28$. Из таблицы исходных данных принимается $\Pi_{об.пр.}=800$ тыс. рублей, $K_{тз}=1,05$. Капитальные затраты по на оборудование по проектному варианту составят

$$K_{об.пр.} = \Pi_{об.пр.} \cdot K_{тз} \cdot K_{зп} = 800000 \cdot 1,05 \cdot 0,28 = 235200 \text{ руб.} \quad (20)$$

Далее рассчитывают расходы на демонтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на демонтаж $K_{дем}=0,05$ и цены оборудования $\Pi_{об.б.}= 40$ тыс. рублей определяют как

$$P_{дем} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{д} = 300000 \cdot 0,05 = 15000 \text{ руб.} \quad (21)$$

Далее рассчитывают расходы на монтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на монтаж $K_{\text{мон}}=0,05$ и цены оборудования $C_{\text{об.пр.}}=800$ тыс. рублей определяют как

$$P_{\text{монт}} = C_{\text{об. пр.}} \cdot K_{\text{м}} = 800000 \cdot 0,05 = 40000 \text{ рублей.} \quad (22)$$

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

$$K_{\text{соп}} = P_{\text{дем}} + P_{\text{монт}} = 15000 + 40000 = 65000 \text{ рублей.} \quad (23)$$

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

$$K_{\text{общ. пр.}} = K_{\text{об. пр.}} + K_{\text{соп.}} = 235200 + 65000 = 300200 \text{ рублей.} \quad (24)$$

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

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общпр}} - K_{\text{общб}} = 300200 - 51120 = 249080 \text{ рублей.} \quad (25)$$

Размер удельных капитальных затрат $K_{\text{уд}}$ рассчитывается по капитальным вложениям $K_{\text{доп}}$ с учётом годовой программы $\Pi_{\text{Г}}$:

$$K_{\text{уд}} = K_{\text{общ}} / \Pi_{\text{Г}}. \quad (26)$$

Для базового варианта технологического процесса величина удельных капитальных» [12] затрат составляет $K_{\text{уд}} = 51120/100 = 511$ рублей за один дефект на прессовом штампе. Для проектного варианта технологического процесса величина удельных капитальных затрат составляет $K_{\text{уд}} = 300200 / 100 = 3002$ рублей за один дефект на прессовом штампе.

4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей

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

$$\Delta t_{шт} = (t_{шт\ б} - t_{шт\ пр}) \cdot 100 \% / t_{шт\ б} = (10,2 - 6) \cdot 100 \% / 10,2 = 41 \%. \quad (27)$$

Расчёт повышения производительности труда Π_T :

$$\Pi_T = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}) = 100 \cdot 41 / (100 - 41) = 69 \%. \quad (28)$$

Расчёт снижения технологической себестоимости:

$$\Delta C_{тех} = (C_{тех.б.} - C_{тех.пр.}) \cdot 100\% / C_{тех.б.} = (15206 - 10188) \cdot 100\% / 15206 = 33 \% \quad (29)$$

Условно-годовая экономия $\mathcal{E}_{уг}$ позволяет оценить величину экономического эффекта без учета капитальных вложений и рассчитывается с учётом разности заводской себестоимости $C_{зав}$ по вариантам технологии и годовой программы Π_T :

$$\mathcal{E}_{уг} = (C_{зав.б.} - C_{зав.пр.}) \cdot \Pi_T = (30452 - 19156) \cdot 100 = 1129600 \text{ рублей}. \quad (30)$$

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

$$T_{ок} = K_{доп} / \mathcal{E}_{уг} = 249080 / 1129600 = 0,22 \text{ года}. \quad (31)$$

Расчёт годового экономического эффекта $\mathcal{E}_T$ с учетом коэффициента окупаемости затрат $E_H = 0,33$:

$$\mathcal{E}_T = \mathcal{E}_{уг} - E_H \cdot K_{доп} = 1129600 - 0,33 \cdot 249080 = 1047403 \text{ рублей}. \quad (32)$$

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

Выводы по экономическому разделу

В исполнительском разделе рассматривался вопрос построения технологии восстановительной наплавки прессовых штампов. Базовый процесс предусматривает применение ручной дуговой наплавки. Проведено обоснование применения плазменной порошковой наплавки для реализации проектной технологии. Далее составлена проектная технология, реализованная применительно к рассматриваемому изделию. Применение предлагаемых решений при реализации проектного технологического процесса по сравнению с базовой технологией позволяет получить комплексный положительный технологический эффект, выражающийся в одновременном повышении производительности выполняемых работ и их качества. За счёт повышения производительности ожидается снижение размеров фонда заработной платы, а повышение качества позволяет экономить на сварочных материалах, электрической энергии и фонде заработной платы, так как существенно снижается количество брака и работ по его исправлению. С учетом исходных данных и рассчитанных временных параметров процесса в базовом и проектном вариантах технологии выполнен расчёт составляющих технологической себестоимости проведения сварочных работ. При расчётах установлено, что внедрение предлагаемых технологических решений позволяет уменьшить размер фонда заработной платы и отчислений на социальные нужды за счёт повышения производительности труда. Также это привело к значительному уменьшению цеховых и заводских расходов, что положительно сказалось на уменьшении заводской себестоимости проведения наплавочных работ. Трудоемкость выполнения работ уменьшается на 41 %, производительность процесса повышается на 69 %. За счёт уменьшения размера основных составляющих технологической себестоимости её величина уменьшается на 33 %. При капитальных вложениях 258 тыс. рублей срок окупаемости составляет 0,22 года, а экономический эффект составляет 1,047 млн. рублей.

Заключение

Выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности и расширению технологических возможностей операций наплавки при восстановлении прессовых штампов, применяемых для изготовления кузовных деталей автомобиля. Во введении представлен краткий анализ состояния вопроса и обоснована актуальность выбранного направления исследования, выполнена формулировка цели выпускной квалификационной работы и способов её достижения.

В аналитическом разделе проведен анализ условий работы штампа и возникающих дефектов при его использовании. Рассмотрены особенности сварки штамповой стали, из которой выполнен рассматриваемый штамп, особенности выполнения операций базовой технологии ремонтной наплавки штампа, которая предусматривает применение ручной дуговой сварки, недостатки которой сформулированы. На основании проведенного литературного обзора выполнен анализ источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности восстановительной наплавки дуговыми способами, выполнена постановка задач на выпускную квалификационную работу.

При решении первой задачи обоснован выбор способа сварки для реализации проектной технологии. На основании экспертной оценки преимуществ и недостатков рассматриваемых способов предложено применить наплавку сжатой дугой с применением присадочного порошка.

При решении второй задачи расширение технологических возможностей плазменной наплавки предлагается достигать за счёт применения достижений отечественных исследователей-сварщиков.

При решении третьей задачи выполнено построение проектной технологии восстановительной наплавки, для реализации которой составлен перечень операций, сформулированы требования к их выполнению и назначены параметры режима.

При выполнении третьего раздела настоящей выпускной квалификационной работы проведена идентификация негативных производственных факторов, образование которых и действие на персонал наблюдаются при реализации проектного технологического процесса. Кроме того, рассмотрены меры по обеспечению пожарной безопасности и экологической безопасности рассматриваемого сварочного участка.

При выполнении четвертого раздела настоящей выпускной квалификационной работы был выполнен расчёт экономических показателей, характеризующих реализацию базового технологического процесса и реализацию проектного технологического процесса. На основании сравнения этих показателей можно судить о высокой эффективности предлагаемых решений.

При расчётах установлено, что внедрение предлагаемых технологических решений позволяет уменьшить размер фонда заработной платы и отчислений на социальные нужды за счёт повышения производительности труда. Также это привело к значительному уменьшению цеховых и заводских расходов, что положительно сказалось на уменьшении заводской себестоимости проведения наплавочных работ. Трудоемкость выполнения работ уменьшается на 41 %, производительность процесса повышается на 69 %. За счёт уменьшения размера основных составляющих технологической себестоимости её величина уменьшается на 33 %. При капитальных вложениях 258 тыс. рублей срок окупаемости составляет 0,22 года, а экономический эффект составляет 1,047 млн. рублей.

Размер ожидаемого экономического эффекта может быть многократно повышен при расширении области применения предлагаемых решений на другие производства и предприятия, выполняющие восстановительную наплавку.

На основании вышеизложенного следует признать эффективность внедрения предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технологических решений.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Бартенев, Д.В. Разработка наплавочного сплава и технологии упрочнения и ремонта штампов горячего деформирования : дисс. ... канд. техн. наук, Курский государственный технический университет, Курск, 2008.
2. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.
3. Богуцкий А. А., Куший А. М. Механизированная наплавка металлорежущего инструмента быстрорежущей сталью // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку: матеріали V Міжнародної наук. техн. конф., 4-7 червня 2007 року. Краматорськ: Донбаська державна машинобудівна академія, 2007. С. 9.
4. Богуцкий А. А. Многокритериальная оптимизация состава безвольфрамовой стали для наплавки режущего инструмента // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: зб. наук. праць. 1999. Вып. 9. С. 95–97.
5. Вайнерман А.Е., Веселков В.Д., Новосадов В.С. Плазменная наплавка металлов. Л.: Машиностроение, 1969. 190 с.
6. Гавариев Р. В., Савин И. А., Гавриева А. И. Лазерное упрочнение штампов в условиях крупного машиностроительного предприятия // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2021. № 2. С. 26-30.
7. Гладкий П. В. Переплетчиков Е. Ф. Рябцев И. А. Плазменная наплавка (обзор) // Сварочное производство. 2007. № 2. С. 32-40.
8. Голуб Д. М. Совершенствование технологии наплавки штампового инструмента с применением порошковой проволоки : диссертация на соискание уч. степени канд. техн. наук. Мариуполь. 2016.
9. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.

10. Дедюх Р. И. Теория сварочных процессов. Физические и технологические свойства сварочной дуги. Томск : Изд-во ТПУ, 2002. 92 с.
11. Занковец П. В., Шелег В. К. Математическое моделирование и автоматизация технологической подготовки производства сварных конструкций // Наука и техника. 2017. № 1. С. 5–15.
12. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
13. Кузнецов Н. А., Савина А. И. Восстановление штамповой оснастки методом роботизированной наплавки // Современные автомобильные материалы и технологии. 2021. № 3. С. 167-169.
14. Куликовский Р.А. Восстановление наплавкой штампов пресс-форм // Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении, 2012. № 2. С. 67–70
15. Макаренко Н. А., Богуцкий А. А., Грановская Н. А. Повышение эффективности работы деталей машин металлургического и прессового производства применением плазменно-порошковой наплавки на разнополярном токе // ВІСНИК Донбаської державної машинобудівної академії. 2011. № 1. С. 108–114.
16. Малаховский В.А. Плазменные процессы в сварочном производстве М.: Высшая школа, 1988. 72 с.
17. Павлова И. А., Павлов А. С. Технико-экономический анализ при внедрении инновации на производственном предприятии // Экономический анализ: теория и практика. 2014. № 40. С. 14–21.
18. Переплетчиков Е. Ф., Рябцев И. А. Плазменно-порошковая наплавка режущего инструмента // Сварочное производство. 2008. № 11. С. 28-31.
19. Позняк Л. А., Скрынченко Ю. М., Тишаев С. И. Штамповые стали // М. : Металлургия, 1980. 244 с.
20. РД 020000.37.101.0021-2019 Наплавка деталей штамповой оснастки для холодной обработки металлов давлением, деталей оборудования и

вспомогательного инструмента в прессовом производстве, АО «АВТОВАЗ», 2019. 25 с.

21. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. Л. : Машиностроение, 1979. 520 с.

22. Рябцев, И.А. Влияние исходной структуры и гранулометрического состава порошка на структуру металла 10P6M5, наплавленного плазменно-порошковым способом / И.А. Рябцев, Е.Ф. Переплётчиков, И.В. Миц, И.А. Бартенев // Автоматическая сварка. – 2007. – № 10. – С. 23–27.

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

24. Смирнов В. А., Талызин А. С. Энергосбережение при ремонте и техническом обслуживании локомотивов // Известия Транссиба. 2011. № 4. С. 41-49.

25. Соколов Г. Н. Наплавка износостойких сплавов на прессовые штампы и инструмент для горячего деформирования сталей // Волгоград : Политехник, 2005. 284 с.

26. Соломка Е. А., Лобанов А. И., Орлов Л. Н. Восстановительная и упрочняющая наплавка деталей штампового оборудования // Автоматическая сварка. 2014. № 6–7. С. 111–113.

27. Хайдарова А. А., Дегтярев А. С. Структура и свойства покрытий на основе стали Р6М5, полученных способом плазменной порошковой наплавки // Известия Томского политехнического университета. 2012. № 2. С. 95-99.

28. Шнейдер Е. А. Влияние режима термической обработки на морфологию структурных составляющих наплавленной быстрорежущей стали // Сварочное производство. 2009. № 11. С. 42-47.