

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)

«Технологии сварочного производства и инженерия поверхностей»

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Технология и оборудование для восстановления и упрочнения
поверхности кулачков распределительного вала

Обучающийся

А.П. Соколов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент К.В. Моторин

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

Консультанты

к.э.н., доцент О.М. Сярдова

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

к.ф.-м.н., доцент Д.А. Романов

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

Тольятти 2025

Аннотация

Выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности восстановления и упрочнения распределительных валов техники. Применение сварочных и наплавочных технологий позволяет существенно снизить затраты на изготовление и доставку новых деталей машин, позволяя сберегать как материальные, так энергетические и финансовые ресурсы предприятия и отрасли в целом. Достижение поставленной цели основывается на разработках российских исследователей-сварщиков с применением имеющегося на внутреннем рынке сварочного и наплавочного оборудования российского производства, что обеспечивает промышленный суверенитет. На основании анализа содержания имеющихся в наличии источников научно-технической информации была выполнена постановка задач на выполнение выпускной квалификационной работы. При решении первой задачи на основании экспертной оценки показателей рассматриваемых способов восстановления кулачков распределительных валов для построения проектной технологии предлагается применить плазменную порошковую наплавку. При решении второй задачи для расширения технологических возможностей выбранного способа восстановления предложено применить разработку российских ученых в области управления сжатой дугой. При решении третьей задачи составлена проектная технология восстановительной и упрочняющей наплавки кулачков распределительного вала. В оценочных разделах выполнена идентификация негативных производственных факторов и предложены меры по их устранению. Проведен сравнительный анализ экономических показателей базового и проектного технологического процесса восстановления и упрочнения вала, на основании которого сделан вывод об экономической целесообразности внедрения в производство предлагаемых технологических решений. В заключении сформулированы выводы по выпускной квалификационной работе.

Abstract

The graduate qualification work is devoted to increasing the efficiency of restoration and hardening of camshafts of machinery. The application of welding and surfacing technologies allows to significantly reduce the costs of manufacturing and delivery of new machine parts, allowing to save both material and energy and financial resources of the enterprise and the industry as a whole. The achievement of the set goal is based on the developments of Russian welding researchers with the use of Russian-made welding and cladding equipment available on the domestic market, which ensures industrial sovereignty. On the basis of analysing the content of the available sources of scientific and technical information the tasks of the graduate qualification work were set. When solving the first task on the basis of expert assessment of indicators of the considered methods of camshaft cams restoration for the construction of design technology it is proposed to apply plasma powder surfacing. At the solution of the second problem for expansion of technological possibilities of the chosen method of restoration it is offered to apply the development of Russian scientists in the field of compressed arc control. At the solution of the third problem the design technology of the camshaft cams repair and hardening surfacing is made up. In the evaluation sections the identification of negative production factors is performed and measures for their elimination are proposed. A comparative analysis of economic indicators of the basic and project technological process of restoration and hardening of the shaft has been carried out, on the basis of which a conclusion has been made about the economic feasibility of introducing the proposed technological solutions into production. The conclusions of the final qualification work are formulated in the conclusion.

Содержание

Введение	6
1 Анализ современного состояния восстановления и упрочнения распределительных валов техники	9
1.1 Условия работы и дефекты распредвала.	9
1.2 Сведения о материале распредвала.	12
1.3 Особенности базовой наплавки кулачков распредвала.	14
1.4 Поиск и анализ известных решений.	18
1.5 Формулировка задач ВКР.	22
2 Построение проектной технологии восстановления и упрочнения кулачков распределительных валов	24
2.1 Обоснование выбора способа наплавки.	24
2.2 Компоновка оборудования для реализации проектной технологии плазменной наплавки.	29
2.3 Компоновка оборудования для последующей механической обработки кулачков распределительного вала.	35
2.4 Особенности выполнения операция проектного технологического процесса	37
3 Промышленная безопасность производственного участка.	39
3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи	39
3.2 Идентификация негативных производственных факторов.	41
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.	59
4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей.	61
Заключение	62
Список используемой литературы и используемых источников.	63

Введение

В настоящее время актуальным для российской промышленности является вопрос восстановления и упрочнения распределительных валов техники, которая зачастую представляет импортные образцы, обслуживание которых связано с решением проблем технического и логистического характера [17]. Применение сварочных и наплавочных технологий позволяет существенно снизить затраты на изготовление и доставку новых деталей машин, позволяя сберегать как материальные, так энергетические и финансовые ресурсы предприятия и отрасли в целом. Согласно данным Всероссийского научно-исследовательского технологического института ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка (ГОСНИТИ) приблизительно 85 % деталей машин могут быть возвращены в эксплуатацию при условии проведения восстановительной наплавки на высоту порядка 0,3 мм, что для современных способов наплавки и напыления является решаемой задачей. На грузовой и тракторной технике для повторного введения в эксплуатацию распределительных валов необходимо обеспечить восстановление геометрии порядка 0,19 % высоты. При выборе алгоритмов ремонта техники необходимо принимать во внимание, что восстановительная наплавка позволяет на 90% уменьшить расход дорогостоящих материалов по сравнению с изготовлением новой детали [36]. При построении процесса восстановления распределительных валов необходимо применять самые современные методы. Ранее применяющееся газотермическое напыление не позволяет получить требуемые эксплуатационные свойства детали после восстановления.

Перспективным представляется внедрение лазерных технологий наплавки и упрочнения, однако высокая сложность оборудования и значительные энергетические затраты ограничивают внедрение этого способа. Также следует принимать во внимание, что работа на оборудовании для

плазменной наплавки требует усиления мер по обеспечению электрической безопасности персонала и по защите персонала от лазерного излучения [38].

Внедрение технологий восстановления с использованием сжатой дуги является изученным и перспективным направлением. Плазменная наплавка и плазменное напыление характеризуются малым тепловым воздействием на основной металл восстанавливаемой детали, что в сочетании с широкими возможностями регулирования состава наплавляемого слоя позволяет формировать покрытия с уникальными свойствами, положительно проявляющимися в ходе дальнейшей эксплуатации и позволяющими увеличить ресурс восстановленной детали, приближая его к ресурсу новой детали.

Также при выборе плазменной наплавки в качестве способа восстановления деталей машин следует учитывать его высокую универсальность. В качестве присадочного материала могут применяться как проволоки сплошного и порошкового сечения, так и порошок, вносимый в струю плазмы. Приобретенное оборудование для плазменной наплавки может быть применено не только для восстановления рассматриваемых в выпускной квалификационной работе деталей, но и для восстановления других деталей, что расширяет область применения предлагаемых технологических решений и позволяет мультиплицировать экономический эффект, создавая региональные центры восстановления деталей машин с применением плазменных технологий.

На основании вышеизложенного следует признать высокую актуальность выбранного направления исследования и цели выпускной квалификационной работы – повышение эффективности восстановления и упрочнения распределительных валов. Поставленная цель должна достигаться применением самых современных технологий, основанных на достижениях российских исследователей, что позволит повысить технологическую независимость Российской Федерации от поставок высокотехнологического оборудования и технологий [7], [15], [20], [25].

1 Анализ современного состояния восстановления и упрочнения распределительных валов техники

1.1 Условия работы и дефекты распредвала

В качестве объекта исследования в рамках настоящей выпускной квалификационной работы предлагается принять распределительный вал автомобиля Raba-MAN, схема которого представлена на рисунке 1.

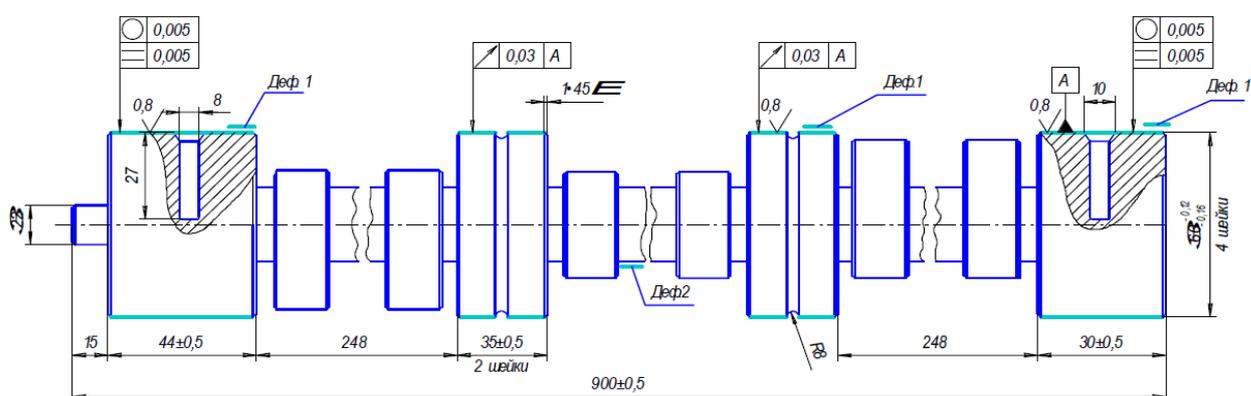


Рисунок 1 – Устройство рассматриваемого в настоящей выпускной квалификационной работе распределительного вала двигателя семейства Raba-MAN

Рассматриваемый вал выполнен из стали 40Г. Для повышения ресурса наиболее нагруженные элементы распределительного вала упрочнены посредством поверхностной закалки, которая выполнена на глубину 2...5 мм. В результате этой операции твердость рабочих поверхностей вала удастся повысить до 52...62 HRC. В процессе работы на распределительный вал действуют нагрузки, характеризующиеся различным направлением, что в сочетании с эксцентриситетом приложения нагрузки относительно оси вала становится причиной формирования в вале крутящих и изгибающих моментов, повышающих скорость износа вала и становящихся причиной его деформации, что усиливается малой жесткостью конструкции самого вала. При этом наблюдается интенсивный износ кулачков, опорных шеек

выкрашивание шпоночной канавки и изломы в распределительной шестерне [22].

Значительные переменные нагрузки вызывают контактную усталость поверхности кулачков распределительного вала и выкрашивание металла, что становится причиной нарушения эксплуатационных размеров, вызывает повышенный люфт в работе механизмов двигателя, снижение полезной мощности, а также приводит к ускорению износа распределительного вала и всего двигателя в целом [13], [28]. Примеры повреждений рабочих поверхностей распределительного вала представлены на рисунке 2.

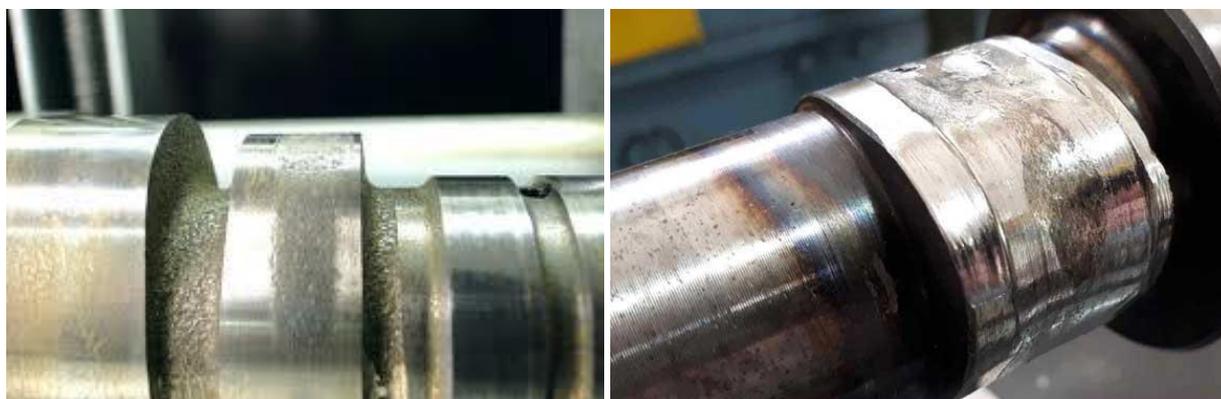


Рисунок 2 – Дефекты рабочих поверхностей распределительных валов

При работе двигателя в штатном режиме и форсированном режиме на скорость и характер износа кулачков распределительного вала оказывает влияние множество эксплуатационных факторов: качество и количество смазки, наличие в масле инородных включений; скорость вращения распределительного вала; качество сопряжения распределительного вала с трущимися поверхностями других деталей двигателя; материал толкателя и кулачка; масса и моменты инерции приводимых в движение элементов механизма [1]. Износ кулачков составляет до 3...5 мм. Износ опорных шеек составляет до 0,25 мм. Область, в которой наблюдается износ кулачка, сосредоточена у его вершины. На самой вершине величина износа кулачка составляет 1...2 мм в 80% рассматриваемых случаев, и до 5 мм в 20 % рассматриваемых случаев. На одном валу в зависимости от условий его

эксплуатации насчитывается от двух до двенадцати изношенных кулачков, требующих восстановления рабочей поверхности методами наплавки. По дефектам кулачков коэффициент повторяемости составляет 0,65. Другим, менее распространенным дефектом, является износ опорных шеек, который находится в диапазоне 0,05...0,1 мм и имеет коэффициент повторяемости 0,25. В некоторых случаях величина износа опорной шейки составляет до 0,25 мм и наблюдается в основном на средней посадочной поверхности.

На основании анализа износа кулачков распределительных валов установлено, что из всего массива исследуемых распределительных валов приблизительно 33,4 % валов имеют кулачки, не требующие проведения восстановительных работ в ближайшей перспективе, около 8,5 % валов имеют кулачки износом аварийного уровня и не подлежащие восстановлению. Остальные валы имеют кулачки, требующие применения технологии наплавки для восстановления геометрии и свойств рабочей поверхности.

В режиме мелкосерийного производства эффективными следует признать дуговые методы восстановительной наплавки, которые характеризуются высокой универсальностью и малыми капитальными вложениями [3], [26]. При этом критериями для оценки эффективности способа восстановления выступают: малая стоимость реализации предлагаемой технологии, доступность оборудования и материалов на российском рынке, простота последующей механической обработки, срок окупаемости капитальных вложений, занимаемая под технологический процесс производственная площадь и универсальность технологических приемов с возможностью переноса на другие детали машин.

Восстановление рабочих поверхностей распределительных кулачков вала может быть выполнено с применением множества способов, особенности реализации которых в промышленности рассмотрены в значительном количестве источников научно-технической информации. При этом необходимо применять такие современные и перспективные способы, как лазерная наплавка и плазменная наплавка [19].

1.2 Сведения о материале распределителя

Рассматриваемый в настоящей выпускной квалификационной работе распределительный вал изготавливается из стали 40Г. Данная сталь относится к конструкционным легированным сталям. В состав рассматриваемой стали входит: углерод (в количестве от 0,37 до 0,45 %), кремний (в количестве от 0,17 до 0,37 %), марганец (в количестве от 0,7 до 1 %). В качестве примеси в рассматриваемой стали возможно содержание хрома (в количестве до 0,3 %) и меди (в количестве до 0,3 %). В качестве вредных примесей в рассматриваемой стали содержится сера и фосфор, содержание которых ограничивается 0,0035 % каждого. В качестве альтернативы рассматриваемой стали для изготовления аналогичных деталей могут быть применены стали 45 и 40Х. Сварка и наплавка рассматриваемой стали очень сильно затруднены, она относится к трудносвариваемым сталям. Трудности при сварке и наплавке деталей машин из стали 40Г заключаются в высокой склонности к образованию кристаллизационных трещин, холодных трещин и разупрочнению стали под действием термического цикла. Сущность образования кристаллизационных (горячих трещин), пример которых представлен на рисунке 3, заключается в том, что при кристаллизации металла происходит образование в нем растягивающих напряжений в результате уменьшения объема в условиях снижения сопротивляемости деформации при повышенных температурах. При кристаллизации металла в нем могут возникать участки нарушения целостности и образовываться трещины. Для того, чтобы предотвратить образование горячих трещин при восстановительных работах применяют специальные сварочные электроды и технику сварки. Если вести наплавку предварительно подогретой детали, уровень напряжений в ней существенно снижается, что позволяет в ряде случаев устранить опасность образования и развития горячих трещин.

Ещё одной трудностью при наплавке являются закалочные трещины, пример которых представлен на рисунке 4, образование которых происходит

по причине значительного содержания в рассматриваемой стали углерода. Применение предварительного нагрева позволяет уменьшить опасность возникновения закалочных трещин.

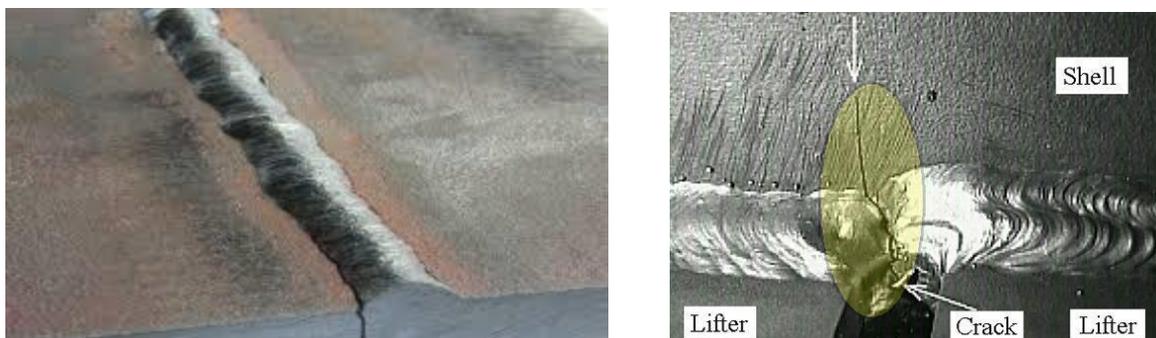


Рисунок 3 – Горячие трещины при сварке и наплавке

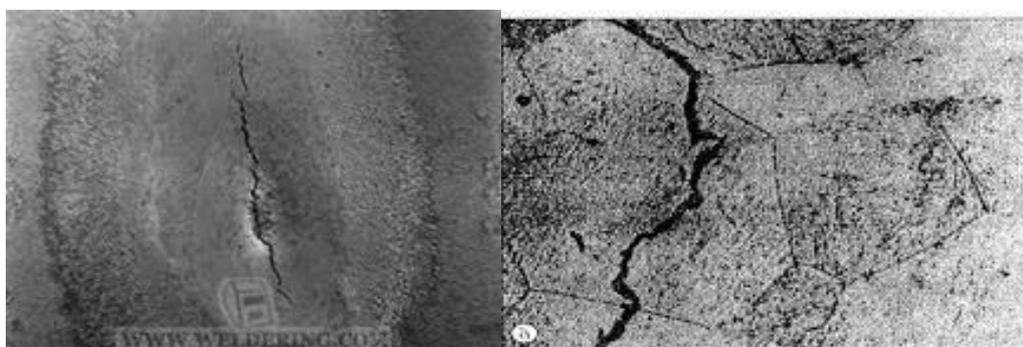


Рисунок 4 – Образование холодных трещин в металле сварного шва

Разупрочнение основного металла при наплавке может быть предотвращено применением термической обработки, так как размеры восстанавливаемой детали позволяют поместить её полностью в печь. Также успешно бороться с разупрочнением основного металла позволяет применение перспективных способов наплавки, уменьшающих тепловое воздействие на основной металл, такими способами являются плазменная наплавка, лазерная наплавка. Таким образом, для построения проектной технологии восстановительной наплавки рассматриваемой детали потребуется учесть описанные выше особенности её материала. Для устранения сложностей наплавки потребуется рассмотреть применение перспективных способов и технологических приемов, применить современные наплавочные материалы и технологии.

1.3 Особенности базовой наплавки кулачков распредвала

При ремонтной наплавке вала в соответствии с базовой технологией применяется наплавка порошковой проволокой, позволяющая обеспечить восстановление геометрии и требуемых свойств наплавленного металла [21]. Очистка поверхности вала перед проведением оценки состояния выполняется с применением мойки на представленной на рисунке 5 машине ТЕКНОХ LAVAPEN 4/60. В качестве моющего состава используется раствор МЛ-51 или МЛ-52, в состав которого входит каустическая сода и тирнатрийфосфат.



Рисунок 5 – Моечная машина

Промывка деталей выполняется в течение 10...15 минут при температуре подаваемого раствора 75...80 °С. Ускорение процесса помывки и повышение её эффективности достигается путем наложения на детали колебаний частотой 20...25 кГц, что обеспечивает полноту отделения загрязняющих частиц с поверхности деталей.

Далее с поверхности вала и его полостей необходимо удалить слой масла, для чего вал помещают в разогретую до температуры 400 °С электрическую печь, представленную на рисунке 6, и выдерживают там в течение 20 минут.



Рисунок 6 – Электрическая печь для термической обработки валов

Далее проводят внешний осмотр состояния рабочих поверхностей вала и их обмер. На основании оценки состояния вала он может быть отнесен к одной из трех категорий: годные, годные с исправлением дефектов, негодные. Все негодные валы подлежат списанию и утилизации. Годные валы поступают для комплектования двигателей. Валы, помеченные как годные с исправлением дефектов, поступают на участок восстановительной наплавки. Оценочная операция представлена на рисунке 7



Рисунок 7 – Оценка состояния распределительного вала

Наплавку ведут на модернизированном токарном станке, применение которого позволяет выполнять позиционирование вала относительно закрепленной на каретке сварочной горелки. Наплавку ведут с применением порошковой проволоки ПП–Нп–30Х5Г2СМ. Питание дуги выполняется от сварочного выпрямителя «ВС-500, который представлен на рисунке 8-а. Подача проволоки выполняется представленным на рисунке 8-б механизмом ПДПГ-500. При наплавке питание дуги ведут постоянным током прямой полярности силой 140...170 ампер при напряжении на дуге 22...24 вольта. Подачу проволоки» [2] ведут со скоростью 1,5...1,8 метра в минуту. Наплавку ведут со скоростью 10...12 метров в час. На рисунке 9 представлен внешний вид кулачка после наплавки.



Рисунок 8 – Выпрямитель ВС-500 и механизм подачи ПДПГ-500



Рисунок 9 – Пример наплавленных кулачков вала

«После наплавки и остывания вала выполняют механическую обработку его поверхностей. Шлифование шеек проводят линейной скоростью 0,2...0,3 метра в секунду, скорость вращения шлифовального круга составляет 25...30 метров в секунду при глубине шлифования 0,005 мм и продольной подаче 3...8 мм за оборот. Расход охлаждающей жидкости составляет 0,3 литра в минуту. Шлифование ведут кругами из электрокорунда с классом зернистости 16...25» [2]. Применение наплавки порошковой проволокой позволяет наплавлять слои значительной толщины, что обеспечивает высокую производительность в условиях ограниченности временных ресурсов. Ещё одним преимуществом базовой технологии является простота и универсальность применяемого для наплавки оборудования, которое может быть применено как для наплавки, так и для сварки, что позволяет сократить простои на производственном участке и положительно сказывается на экономических показателях предприятия. Третьим преимуществом является наличие необходимого оборудования на предприятии, что позволяет проводить процесс восстановительной и упрочняющей наплавки незамедлительно, избегая значительных финансовых затрат на дооснащение производства. Однако построение технологии восстановительной наплавки на основе дуговой наплавки порошковой проволоки встретило ряд вопросов, которые возникли по причине недостатков базовой технологи, в условиях современного производства являющихся критическими. Первым таким недостатком является низкое качество наплавки и непостоянство свойств наплавленного слоя, в результате чего в процессе работы происходит неравномерный неконтролируемый износ. Вторым недостатком применения ручной дуговой наплавки является вредность условия труда сварщика, работающего в атмосфере выделяющихся при сварке аэрозолей. Также следует принимать во внимание неравномерность плавления порошковой проволоки по сечению, что становится причиной получения значительного количества дефектов, исправление которых требует дополнительных временных и материальных затрат.

1.4 Поиск и анализ известных решений

Для составления проектной технологии ремонтной наплавки и упрочнения кулачков распределительного вала в настоящей выпускной квалификационной работе следует провести поиск и анализ известных решений по повышению эффективности наплавочных технологий. Для этого проведем поиск источников научно-технической информации в сети ИНТЕРНЕТ. Поиск будем вести в базах знаний. Первой базой знаний является «Диссеркэт», в которой содержится значительное количество диссертаций и авторефератов диссертаций по техническим и экономическим наукам. В ходе анализа диссертаций удастся не только обосновать актуальность выбранного направления исследований и познакомиться с современными тенденциями развития сварочного производства в рассматриваемой области, но и составить внушительный список литературы, что позволяет обосновать предлагаемые в выпускной квалификационной работе решения. Второй базой знаний является «ПатонПАБЛИШ», в которой содержится значительное количество статей по сварочной тематике, подготовленных украинскими исследователями-сварщиками. Третьей базой является «Е-лайбрери», в которой имеется значительное количество публикаций по техническим наукам, в том числе патентная информация, монографии и другие виды источников научно-технической информации. Четвертой базой является «Киберленинка», в которой содержатся научные статьи по технической и экономической тематике. Таким образом, поиск и анализ источников научно-технической информации в дальнейшем позволит сформулировать задачи выпускной квалификационной работы и обеспечит высокий уровень их решения с применением самых современных достижений в области организации сварочного производства и управления сварочными процессами. Также проведенный анализ научных работ позволит обосновать выбор способа восстановительной наплавки для реализации проектной технологии и указать направление дальнейших исследований при написании диссертации.

По вопросу наплавки и упрочнения найдено несколько источников научно-технической информации, предварительный анализ которых позволяет сформулировать направления дальнейших исследований, перечень ученых в рассматриваемой области и заинтересованные предприятия.

Первая работа [17], авторы: Лапытов Рашит Абдулхакович (Московский государственный машиностроительный университет), Агеев Евгений Викторович (Юго-Западный государственный университет), Лапытова Гюльнара Рашитовна (Московский государственный машиностроительный университет). В работе рассматривается вопрос восстановления распределительного вала дизельного двигателя грузового автомобиля. Наплавку вели ручную дуговую с применением специальных электродов, представляющих собой полый стержень в стандартной обмозке с содержанием частиц карбида вольфрама. Применение таких электродов по сравнению со стандартными электродами ОЗШ-6 позволяет в 1,6...1,8 раза увеличить твердость наплавленного слоя и повысить эксплуатационные свойства распределительных валов после восстановительной наплавки.

Вторая работа [31], автор Рафиков Ильшат Анварович (Башкирский государственный аграрный университет), является кандидатской диссертацией, направленной на повышение эффективности восстановления деталей машин с применением плазменной наплавки. Для расширения технологических возможностей рассматриваемого способа восстановления предлагается воздействовать на сварочную ванну и сжатую дугу продольным магнитным полем, что позволяет на 25 % увеличить ширину наплавленного валика и на 30 %. В результате удастся уменьшить припуск на механическую обработку после наплавки.

Третья работа [24], автор Неверов Виктор Валентинович (Липецкий государственный технический университет), является диссертацией, в которой исследовался процесс наплавки с применением покрытых электродов, предложен состав электродов, обеспечивающий получение наплавленного

слоя сходного по составу с быстрорежущей сталью. Предложены мероприятия по устранению образования трещин в наплавленном слое.

Четвертая работа [32], авторы Рябцев И. А., Переплетчиков Е. Ф., Миц И. В. (Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН, Украина), в работе проведены исследования по повышению эффективности плазменной порошковой наплавки, которая позволяет получать наплавленный слой составом, близким составу быстрорежущей стали. В качестве присадочного порошка был применен порошок ПГ-10Р6М5.

Пятая работа [30], авторы Походня И. К., Шлепаков В. Н., Максимов С. Ю. (Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН, Украина), на основании обобщения опыта промышленных предприятий показала высокую эффективность восстановительной и упрочняющей наплавки деталей машин с применением порошковой проволоки. Для повышения стабильности качества наплавки и эксплуатационных свойств предлагается проволока ПП-АН198 диаметром 1,6 мм, применение которой позволяет получать биметаллические изделия с комбинированными свойствами. Проволоку отличает пониженный уровень остаточных напряжений в наплавленном слое и низкое содержание дефектов.

Шестая работа [18], авторы Лебедев В. А., Лендел И. В. (Донбасская государственная машиностроительная академия), «показано, что применение импульсной подачи проволоки при сварке и наплавке деталей позволяет повысить стабильность процесса горения сварочной дуги и уменьшить разбрызгивание электродного металла. Кроме того, повышается стабильность формирования наплавленного валика. Следует отметить, что положительные результаты несколько меньше по сравнению с результатами применения импульсной подачи проволоки на низкоуглеродистых сталях, что объясняется различием теплофизических и химических свойств. Дальнейшие исследования в области повышения эффективности сварки и наплавки в защитных газах деталей из нержавеющей сталей следует вести в области

комбинированного управления подачей проволоки и электрическими параметрами горения сварочной дуги» [18].

Седьмая работа [29], автор Пермяков Дмитрий Николаевич (Казанский федеральный университет), позволяет установить причины получения дефектов в наплавленном слое, выполненном с применением плазменной наплавки, а также сформулировать направления исследований в области предупреждения появления дефектов и их устранения. В работе показана высокая эффективность применения плазменной порошковой наплавки для получения наплавленных слоев с высокими показателями твердости и стойкости против износа.

Восьмая работа [11], авторы Иванов А. В., Пирозерская О. Л. (Санкт-Петербургский государственный университет сервиса и экономики), позволяет рассмотреть различные способы восстановительной наплавки, применение которых возможно в отношении изнашиваемых деталей, в частности, распределительных валов. На рисунке 10 представлены результаты восстановительной наплавки с применением проволок сплошного сечения Нп-30ХГСА и Нп-35ХГ2СА.



Рисунок 10 – Пример восстановительной наплавки с применением проволоки сплошного сечения

Девятая работа [10], автор Иванов В. П. (полоцкий государственный университет, Беларусь), позволяет сформулировать технологические критерии для выбора способа восстановления деталей машин с применением наплавочных технологий.

Десятая работа [14], авторы Котомчин А.Н., Синельников А.Ф., Корнейчук Н.И. (Приднестровский государственный университет им. Т. Г. Шевченко, Молдавия), в работе рассматриваются преимущества и недостатки возможных способов восстановления деталей машин и предлагаются критерии их оценки с точки зрения повышения экономических показателей предприятия на примере МУП «КоммуналДорСервис» и НИЛ «Реновация машин и оборудования».

Таким образом, на основании анализа источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности износостойкой наплавки можно судить о высокой эффективности таких способов, которые в дальнейшем будут рассмотрены при обосновании выбора способа наплавки для построения проектной технологии: ручная дуговая наплавка, наплавка порошковыми проволоками и порошковыми лентами, наплавка проволокой сплошного сечения в защитных газах, плазменная порошковая наплавка.

1.5 Формулировка задач ВКР

Выпускная квалификационная работа посвящена вопросу повышения эффективности восстановления и упрочнения распределительных валов. Во введении доказана актуальность выбранного направления исследования и сформулирована цель выпускной квалификационной работы. Анализ условий работы и характерных дефектов распределительных валов позволил установить возможность получения положительного экономического и технологического эффекта от применения наплавочных технологий в отношении рассматриваемых распределительных валов. Анализ материала вала позволил сформулировать особенности и затруднения, которые могут

возникнуть при выполнении восстановительной наплавки. В ходе анализа источников научно-технической литературы рассмотрены «способы восстановительной наплавки, применение которых может быть целесообразным для построения проектной технологии. На основании проведенных работ могут быть сформулированы задачи выпускной квалификационной работы, решение которых обеспечит достижение поставленной цели. На основании анализа источников научно-технической информации по вопросу повышения эффективности износостойкой наплавки можно судить о высокой эффективности таких способов, которые в дальнейшем будут рассмотрены при обосновании выбора способа наплавки для построения проектной технологии: ручная дуговая наплавка, наплавка порошковыми проволоками и порошковыми лентами, наплавка проволокой сплошного сечения в защитных газах, плазменная порошковая наплавка» [24].

Первой задачей является обоснование выбора способа восстановительной наплавки при исправлении дефектов распределительных валов, в частности, на кулачках распределительного вала. Решение этой задачи основывается на экспертной оценке преимуществ и недостатков рассматриваемых способов восстановления с использованием технологических критериев. «Второй задачей является расширение технологических возможностей выбранного способа наплавки за счёт использования достижений отечественных исследователей-сварщиков в области управления сварочными процессами. Третьей задачей является составление проектной технологии восстановления, которая предусматривает перечень операций технологического процесса, выбор оборудования и назначение оптимальных параметров режима наплавки. Кроме того, при выполнении оценочных разделов предстоит рассмотреть предлагаемые решения с точки зрения обеспечения промышленной и экологической безопасности» [4], [8], а также провести экономическое обоснование целесообразности внедрения [9], [16].

2 Построение проектной технологии восстановления и упрочнения кулачков распределительных валов

2.1 Обоснование выбора способа наплавки

«Для построения проектной технологии восстановления и упрочнения кулачков распределительного вала необходимо рассмотреть известные способы и дать экспертную оценку из преимуществ и недостаткам. На основании ранее проведенного литературного исследования были рекомендованы такие способы, как ручная дуговая наплавка, наплавка порошковыми проволоками и порошковыми лентами, наплавка проволокой сплошного сечения в защитных газах, плазменная порошковая наплавка» [24].

В работе [17] «показана высокая эффективность наплавки шеек валов с применением ручной дуговой наплавки. При этом могут быть применены как стандартные электроды» [17], например, ОЗШ-6, так и специально изготовленные электроды. В работе предлагается применить полые электродные стержни с добавлением наноразмерных частиц из карбида вольфрама ВК8 со стандартной электродной обмазкой. Для измерения твердости и микротвердости участков наплавленного слоя применялись представленные на рисунке 11-а твердомер ТК-2 и представленный на рисунке 11-б твердомер ПМТ-3. При испытании на микротвердость нагрузка на индентор составляла 1 и 0,5 Н.

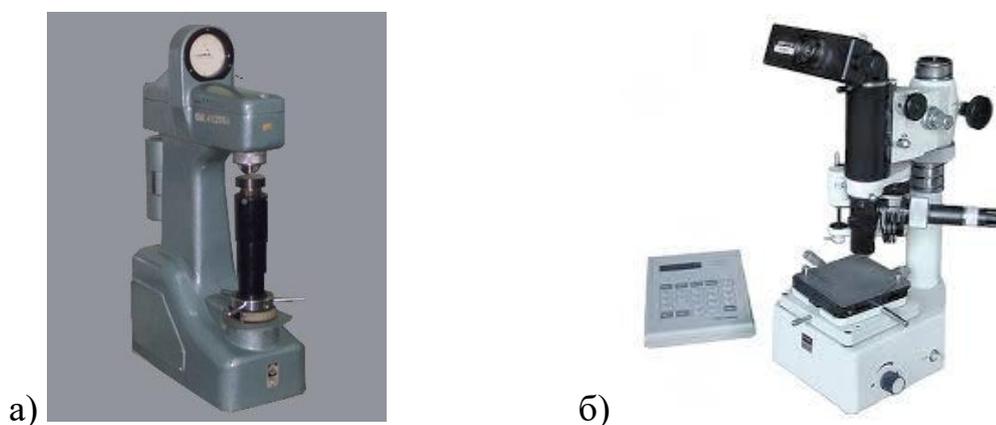


Рисунок 11 – Твердомер ТК-2 (а) и твердомер ПМТ-3 (б)

Наплавку вели с применением сварочного выпрямителя ВД-306. Ток наплавки принят 200 ампер.

По сравнению с применением стандартных электродов восстановительная наплавка предлагаемыми электродами позволяет в 1,6...1,8 раза увеличить твердость наплавленного слоя. Микротвердость наплавленного слоя в 1,9 раза превышает микротвердость при использовании стандартных наплавочных электродов. При исследовании микроструктуры установлено, что применение предлагаемых наплавочных электродов позволяет существенно уменьшить размеры зерен металла, что повышает эксплуатационные свойства деталей после восстановительной наплавки.

При ручной дуговой наплавке обеспечивается универсальность процесса и возможна реализация процесса с минимальными капитальными вложениями в производство. 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 неустраняемых 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. 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. Также следует указать на низкую стабильность качества соединений, которое в значительной мере зависит от квалификации сварщика, что становится дополнительной проблемой в условиях кадрового голода.

Одним из самых распространенных способов дуговой наплавки является наплавка в защитных газах проволокой сплошного сечения [11], [18]. Существенное повышение эффективности такой наплавки достигается при применении алгоритмов импульсного управления горением дуги и переносом электродного металла. Преимуществом наплавку в углекислом газе является высокая твердость наплавленного слоя, «лучшие по сравнению с ручной дуговой наплавкой и наплавкой порошковыми проволоками экологические показатели процесса и высокая производительность по сравнению с ручной дуговой наплавкой» [40]. «Существенным недостатком применения проволоки сплошного сечения является сложность изменения её состава при изготовлении, что ограничивает применение перспективных проволок» [39]. Также при сварке с защитных газов проволоками сплошного сечения в качестве существенного недостатка следует указать разбрызгивание. Наплавленный слой характеризуется высокой склонностью к образованию трещин и высоким уровнем остаточных растягивающих напряжений.

Применение порошковой проволоки при наплавке расширяет возможности по изменению состава наплавленного слоя [37]. По сравнению с проволокой сплошного сечения производство порошковой проволоки отличается большей гибкостью в области регулирования состава наплавленного металла, так как содержание химических элементов в шихте проволоки может регулироваться в широком диапазоне без изменения технологии производства самой проволоки. Таким образом, у технолога-сварщика появляется возможность подбора оптимального состава наплавленного металла, упрощается изготовление экспериментальных партий проволоки и внедрение передовых наплавочных составов. Недостатком применения порошковой проволоки является неравномерное по сечению проволоки плавление, причиной которого является разность проводимости сердечника проволоки и её оболочки. По причине неравномерной плотности тока по сечению часть шихты может попадать в сварочную ванну

нерасплавленной, что приводит к пористости и зашлаковки наплавленного металла.

На рисунке 12 представлена схема газопламенного напыления, применение которой при восстановлении распределительных валов широко распространено на ремонтных предприятиях [24], [29]. Данный процесс легко реализуется на производственном участке и не требует значительных капитальных затрат.

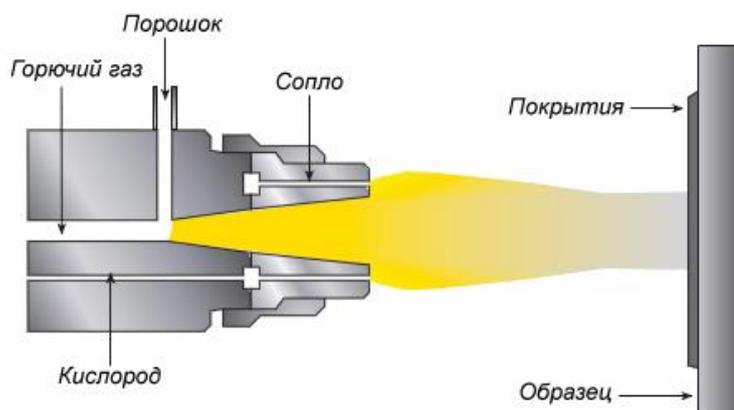


Рисунок 12 – Схема газопламенного напыления

Следует принимать во внимание, что покрытия, полученные с применением методов газопламенного напыления, характеризуются малым сцеплением с основанием и имеют склонность к отслаиванию при продолжительной работе в условиях знакопеременной нагрузки.

Значительными технологическими возможностями обладает плазменная наплавка, схема выполнения которой представлена на рисунке 13. Первым преимуществом плазменной наплавки является высокая энергоэффективность процесса, осуществление которого требует в несколько раз меньших затрат энергии, чем при сварке и наплавке свободно горячей дугой. Вторым преимуществом является экономичность способа, так как расход защитного газа при плазменных процессах меньше, чем при аналогичных процессах при свободно горячей дуге. Кроме того, стоимость присадочного порошка, который применяется для выполнения плазменной наплавки, существенно ниже стоимости аналогичного количества штучных электродов и порошковой

проволоки [33], [34]. 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.

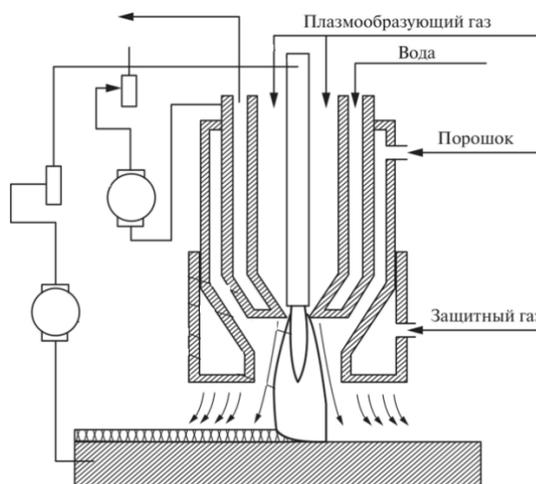


Рисунок 13 – Схема плазменной наплавки

На основании вышеизложенного для построения проектной технологии предлагается применить наплавку сжатой дугой, которая позволяет получать заданные свойства наплавленного слоя за счёт применения присадочных порошков различного состава. Также следует указать на то, что плазменная наплавка по сравнению с наплавкой открыто горячей дугой позволяет уменьшить расход защитного газа и присадочного материала, снизить уровень остаточных напряжений в детали после наплавки, Поскольку при плазменной наплавке слой наплавленного металла имеет малую шероховатость, уменьшается припуск на механическую обработку, что также улучшает экономические показатели производства. В дальнейшем при выполнении выпускной квалификационной работы предстоит на основании изучения научно-технической литературы оптимизировать способ плазменной наплавки применительно к рассматриваемой детали.

2.2 Компоновка оборудования для реализации проектной технологии плазменной наплавки

На рисунке 14 представлена комплектация установки плазменной наплавки распределителей. В состав установки входит манипулирующее устройство детали на базе программируемого вращателя, позиционирующее устройство плазменной головки, сама плазменная головка, аппаратура подачи газа и присадочного порошка, источник питания, система компьютерного управления. Бесступенчатое управление скоростью вращения наплавляемой детали обеспечивается применением частотных преобразователей переменного тока. Такие же частотные преобразователи применены для управления перемещением наплавочной плазменной головки.



Рисунок 14 – Установка плазменной наплавки распределителей

В качестве плазматрона предлагается применить представленный на рисунке 15 плазматрон ПМН-2. Данный плазматрон снабжен механизмом поперечных колебаний, позволяющим расширить технологические возможности установки.

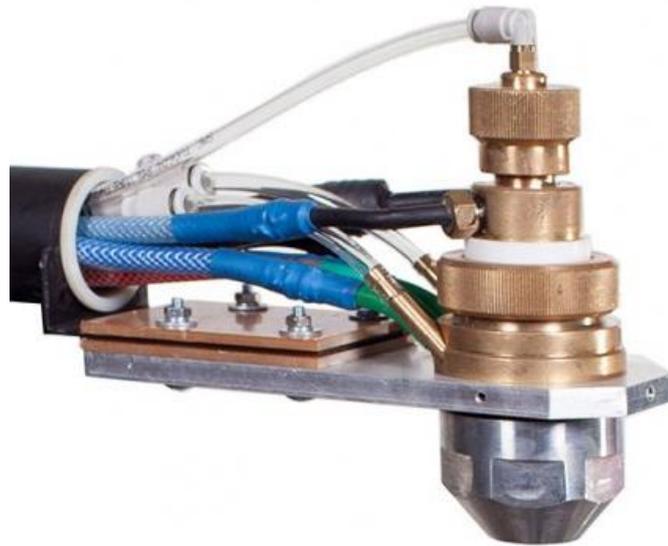


Рисунок 15 – Плазматрон для наплавки деталей машин

В работе [6] представлено подробное описание установки плазменной наплавки распределительных валов, функциональная схема которой представлена на рисунке 16 и графической части выпускной квалификационной работы.

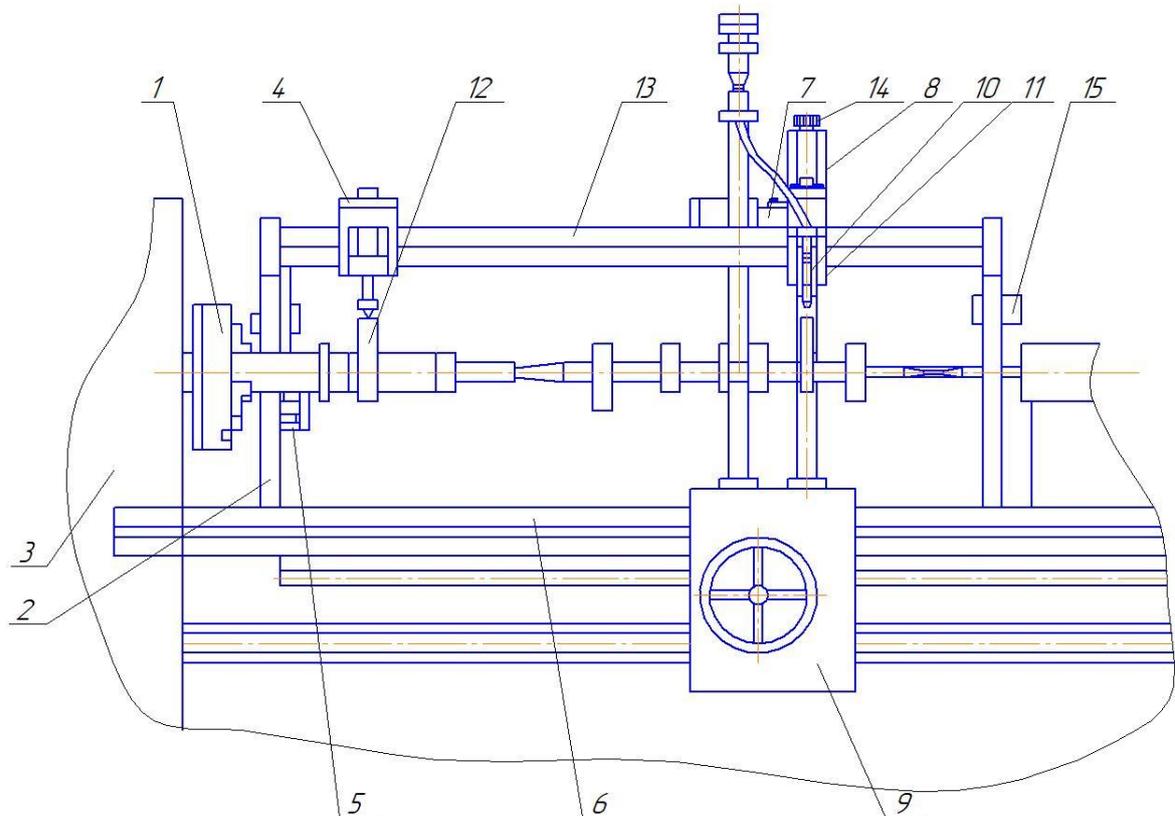


Рисунок 16 – Обозначение элементов наплавочной установки согласно работы [6]

«Распределительный вал, подлежащий восстановлению, ввинчивают в резьбовое отверстие базирующего вала и закрепляется в патроне 1 вращателя 3 с механизмом поперечных колебаний 2. Задний центр станка поддерживает свободный конец распределительного вала. При помощи пружины и пазов во втулке относительно поверхности детали происходит фиксация копируемой поверхности. Опорный элемент каретки 4 опускается копируемую поверхность. Исполнение опорного элемента, который осуществляет контакт с копируемой поверхностью, предусмотрено виде пирамиды, клина или конуса. Контакт опорного элемента с копируемой поверхностью может проходить по точке или линии. На рабочей каретке 4 закреплена плазменная горелка 10. На продольном суппорте 9 смонтирован механизм колебаний 7. Перемещение плазменной горелки вдоль восстанавливаемого распределительного вала происходит при помощи поводкового элемента 11 вдоль направляющей 13. Вращение вала передается от патрона 1 через копир 12. Плазменная горелка 10 закреплена на качающейся раме 6 с направляющей 13, которая, в свою очередь, приводится в движение от опорного элемента. Колебание рабочей каретки 14 происходит от колебательного механизма 7. Баллоны для газа крепятся на стойке 15. Командоаппарат 5 обеспечивает изменение угловой скорости вращения вала. За счёт применения противовесов обеспечивается снижение нагрузки на копируемую поверхность от опорного элемента копира 12» [6].

Основные элементы установки, обеспечивающие её работу, komponуются согласно описанию установки для наплавки кулачков распредвалов УПНС-3040, внешний вид которой представлен на рисунке 17.

В качестве источника питания плазменной установки за основу предлагается принять представленный на рисунке 18 источник УПНС-БС-315 в комплекте с представленным на рисунке блоком управления УПНС-3040 и порошковым питателем. Для охлаждения элементов установки предлагается применить модуль водяного охлаждения УПНС-БАО-039, который представлен на рисунке 18.



Рисунок 17 – Установка для наплавки распредвалов техники



Рисунок 18 – Источник питания плазматрона, блок управления и модули водяного охлаждения

Российскими исследователями предложен эффективный способ управления плазменной наплавкой [27], реализованный на ряде предприятий с получением положительного технологического и экономического эффекта. Способ управления плазменной наплавки реализуется на имеющихся установках, и его функциональная схема, представленная на рисунке 19, подробно представлена в описании к изобретению. Схема включает в себя «плазмотрон 1, обрабатываемую деталь 2, источник 3 постоянного тока, дроссель 4, контур дуги косвенного действия с модулятором 5 косвенной дуги, балластным сопротивлением 6 и блоком управления 7, контур дуги прямого действия между катодом К и деталью 2 с модулятором 8 дуги прямого действия, балластным сопротивлением 9 и блоком управления 10, контур дуги прямого действия между анодом А и деталью 2 с модулятором 11, балластным сопротивлением 12 и блоком управления 13, блок согласования 14 работы модуляторов» [27].

Плазменная наплавка вала на предлагаемой установке представлена на рисунке 20. Схема наплавки при восстановлении кулачка представлена на рисунке 21.

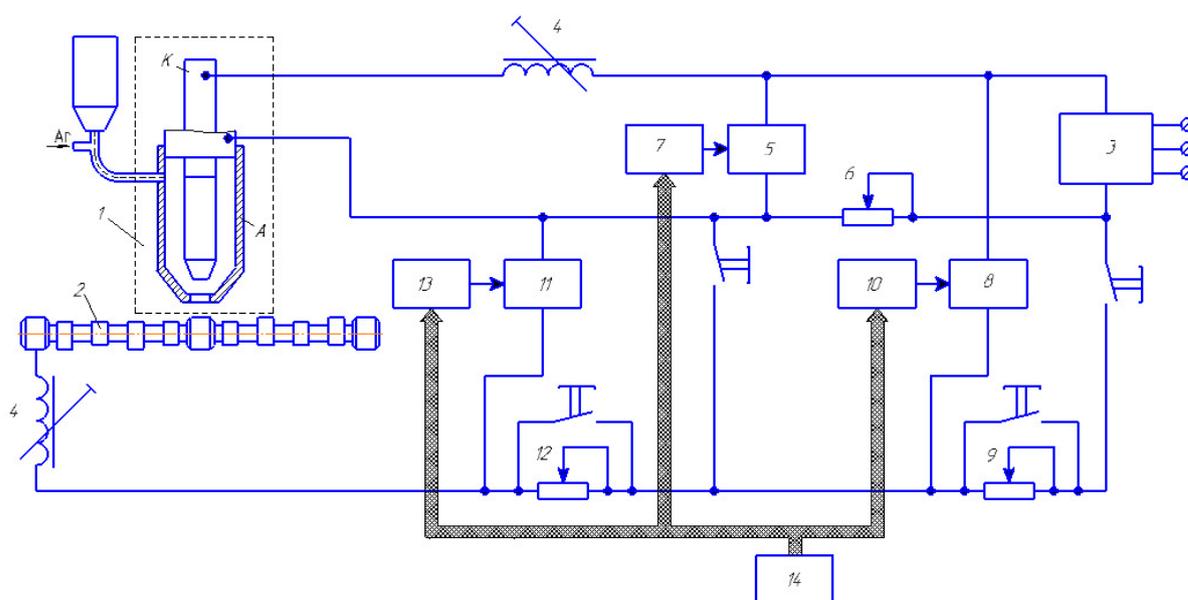


Рисунок 19 – Работа предлагаемо модернизированной схемы управления плазменной наплавкой



Рисунок 20 – Плазменная наплавка вала

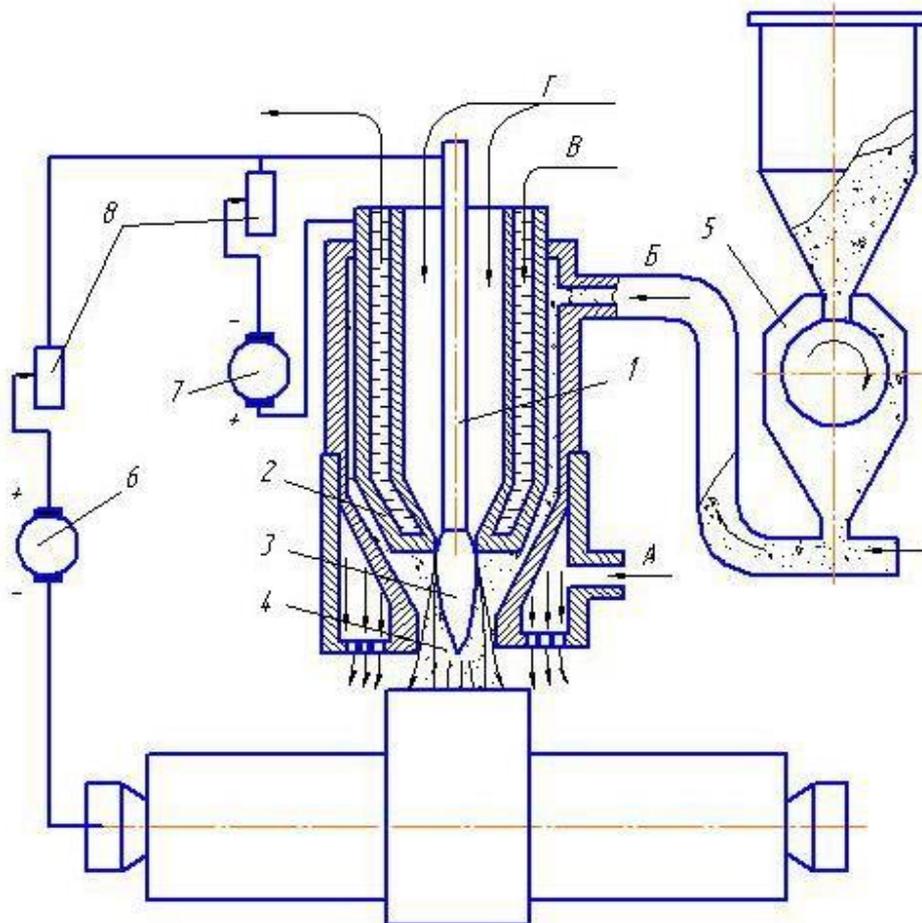


Рисунок 21 – Схема наплавки при восстановлении кулачков распредвала

В состав функциональной схемы восстановительной наплавки кулачка распредвала входят неплавящийся электрод 1, «сопло плазматрона 2, плазменная струя косвенного действия 3, сжатая дуга прямого действия 4, питатель порошка 5, источники питания дуг 6 и 7, балластные сопротивления 8» [7]. Также на схеме показаны подача защитного газа «А», порошка «Б», охлаждающей воды «В» и плазмообразующего газа «Г».

Для наплавки предлагается применить порошки ПГ-ХН80СР4, ПН85Ю15 и ПН55Т45.

Упрочнение поверхности кулачков после наплавки предлагается на той же установке, которая была применена для восстановительной наплавки согласно работе [12]. Для этого выполняют повторное оплавление наплавленного слоя кулачка воздействием на него потоком плазмы без присадочного порошка.

2.3 Компоновка оборудования для последующей механической обработки кулачков распределительного вала

После того, как была проведена восстановительная наплавка кулачков распределительного вала, следует провести механическую обработку их поверхности с целью восстановления геометрии кулачка. При этом может применяться как точение, так и шлифование. В проектной технологии предлагается применить шлифование профиля кулачка на станке ХШЗ-57Ф2, который представлен на рисунке 22.

Особенностью применения данного станка является возможность регулирования скорости вращения заготовки в течение одного оборота. Таким образом, за счёт ускорения вращения при обработке вершины кулачка и замедления вращения на участках его спуска и подъема обеспечивается оптимальная степень обработки, исключая образование прожогов и повышающая производительность обработки. На рисунке 23 представлена схема шлифования кулачка распределительного вала после

восстановительной наплавки, в составе которой позицией 1 показан копирующий ролик, позицией 2 показан шлифовальный круг, позицией 3 показан обрабатываемый кулачек, позицией 4 показана люлька станка, позицией 5 показан копир. Профиль кулачка формируется при комбинированном движении вращения и качения, что позволяет копировать профиль через копирующий ролик.



Рисунок 22 – Копировально-шлифовальный станок для обработки поверхности кулачков распределительного вала

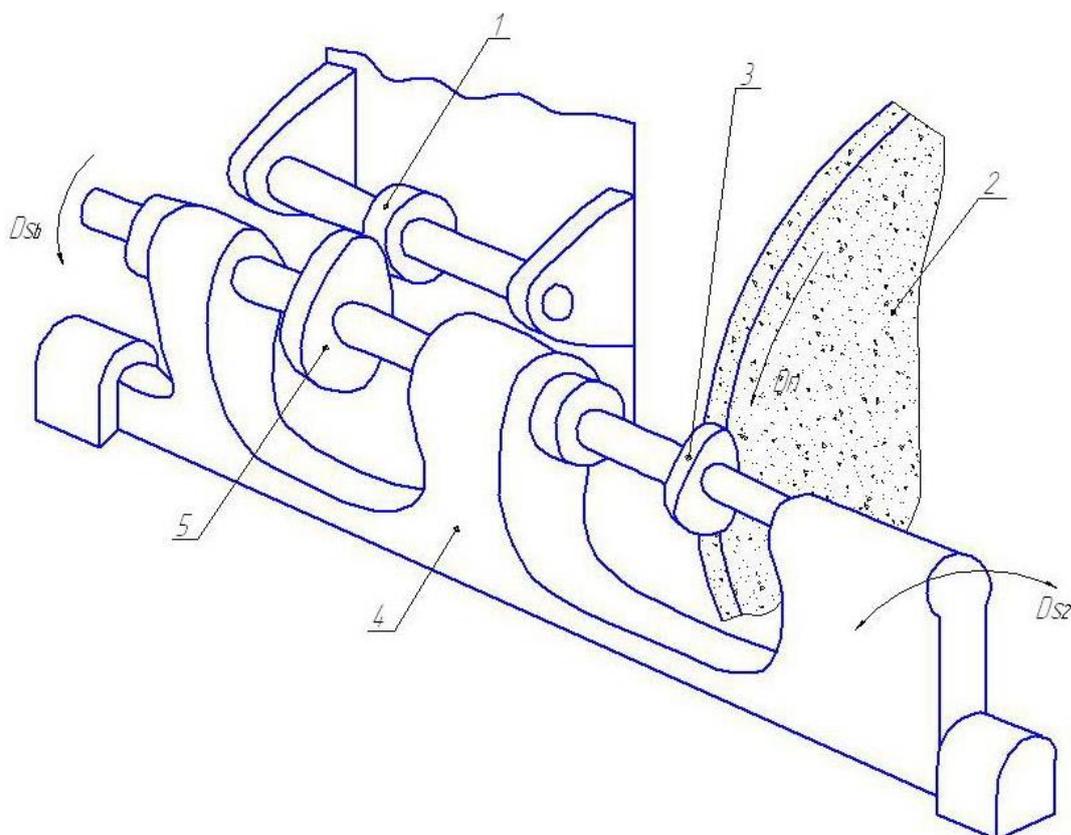


Рисунок 23 – Схема выполнения шлифования поверхности кулачка после восстановительной наплавки

Таким образом, после восстановительной наплавки, упрочняющей обработки и шлифования кулачка формируется профиль, повторяющий геометрию кулачка на новом валу. Скорость вращения шлифовального круга составляет 25...35 метров секунду при поперечной подаче 0,004 мм и продольной подаче 3...8 мм за один оборот кулачка. Линейная скорость поворота кулачка составляет 0,2...0,3 мм. Большая скорость поворота приходится на участок вершины кулачка, меньшая скорость приходится на участки спуска и подъема кулачка, что позволяет обеспечить равномерное воздействие на поверхность обрабатываемого кулачка и избежать прожогов поверхности кулачка.

2.4 Особенности выполнения операция проектного технологического процесса

Для очистки валов перед выполнение их восстановления и упрочнения при реализации проектной технологии предлагается применить представленную на рисунке 24 моечную машину Magido L331.



Рисунок 24 - Моечная машина Magido L331

В качестве моющего состава используется раствор МЛ-51 или МЛ-52, в состав которого входит каустическая сода и тирнатрийфосфат. Промывка деталей выполняется в течение 10...15 минут при температуре подаваемого раствора 75...80 °С. Ускорение процесса помывки и повышение её эффективности достигается путем наложения на детали колебаний частотой

20...25 кГц, что обеспечивает полноту отделения загрязняющих частиц с поверхности деталей.

Для подготовки поверхности вала перед плазменной наплавкой проводят его дробеструйную обработку в представленной на рисунке 25 камере ГАКС-ДК-М. Применяется дробь диаметром 1,2 мм и твердостью 43 HRC. Скорость вылета дроби поддерживается в диапазоне 100...120 метров в секунду при расходе 200...230 килограммов дроби в минуту.

Наплавку ведут на токе 150 ампер при напряжении на дуге 180 вольт. Эти параметры наплавки применяются при восстановлении кулачка. При восстановлении шейки необходимо увеличить ток сжатой дуги до 170 ампер и напряжение на дуге до 220 вольт. Подача плазмообразующего газа «выполняется с расходом 1,5...2,5 литра в минуту. Подача защитного газа выполняется с расходом 16...20 литров в минуту. Подача охлаждающей токоведущие элементы установки воды осуществляется с расходом 5 литров в минуту» [7]. Правку вала после наплавки проводят с применением гидравлического пресса.

Выводы по второму разделу

Настоящий раздел содержит описание решений поставленных задач. При решении первой задачи на основании экспертной оценки показателей рассматриваемых способов восстановления кулачков распределительных валов для построения проектной технологии предлагается применить плазменную порошковую наплавку. При решении второй задачи для расширения технологических возможностей выбранного способа восстановления предложено применить разработку российских ученых в области управления сжатой дугой. При решении третьей задачи составлена проектная технология восстановительной и упрочняющей наплавки кулачков распределительного вала. Дальнейшие работы следует вести в направлении экологического и экономического обоснования предлагаемых решений при внедрении их на предприятиях Российской Федерации.

3 Промышленная безопасность производственного участка

3.1 Описание технологического объекта и постановка оценочной задачи

При выполнении предыдущих разделов настоящей выпускной квалификационной работы проведен анализ состояния вопроса, выполнена постановка задач на проектирование и составлена проектная технология восстановительной и упрочняющей наплавки кулачков распределительного вала. В ходе внедрения предлагаемых решений ожидается положительный технологический эффект, выраженный в повышении производительности и качества наплавочных работ. Для принятия решения о внедрении предлагаемых решений необходимо провести оценочную экспертизу, в ходе которой следует рассмотреть вопросы обеспечения промышленной, «пожарной и экологической безопасности производственного участка, реализующего проектную технологию. Предварительно следует рассмотреть вопросы промышленной безопасности, связанные с идентификацией негативных производственных факторов» [8] и составлением перечня средств по их нейтрализации. Укрупненная характеристика проектного технологического процесса сварки ремонтной сварки паропровода представлена в таблице 1. Проектный технологический процесс в упрощенном виде может быть представлен как набор из семи операций, в ходе выполнения каждой операции возникает комплекс опасных и вредных производственных факторов. Представленная в таблице информация позволит судить о выполняемых операциях, персонале, применяемом оборудовании и материалах, что позволяет провести идентификацию опасных и вредных производственных факторов, которыми характеризуется рассматриваемый производственный участок, на котором предлагается реализовать проектную технологию.

Для выполнения операций проектного технологического процесса привлекаются слесарь-сборщик, сварщик на автоматических и полуавтоматических машинах, термист, инженер-дефектоскопист. Если фактор не ухудшает состояние персонала, то он признается нейтральным и в дальнейшем не учитывается.

Таблица 1 – Укрупненная характеристика проектного технологического процесса восстановительной и упрочняющей наплавки кулачков вала

Операция	Персонал	Оборудование
«Мойка	Слесарь-сборщик	- моечная машина - щелочной раствор - техническая вода
Дефектация	Инженер-дефектоскопист	- микрометр - призма базирующая - набор визуального и измерительного контроля
Подготовка поверхности	Слесарь-сборщик	- дробеструйная камера - краскопульт - защитная мастика - стальная дробь
Наплавка	Сварщик на автоматических и полуавтоматических машинах	- установка плазменной наплавки - копир - наплавочный порошок
Правка	Слесарь-сборщик	- гидравлический пресс - набор визуального и измерительного контроля
Шлифовка	Слесарь-сборщик	- копировально-шлифовальный станок - микрометр
Контроль качества» [23]	Инженер-дефектоскопист	- набор визуального и измерительного контроля - набор цветовой дефектоскопии - дефектоскоп ультразвуковой

Представленная в таблице информация позволяет в дальнейшем провести идентификацию негативных производственных факторов. Если негативный фактор может стать причиной получения персоналом травмы или причиной смертельного случая, то такой фактор следует отнести к группе опасных факторов. Если в результате действия рассматриваемого фактора у персонала может возникнуть или развиваться профессиональное заболевание, то такой фактор следует отнести к группе вредных факторов.

3.2 Идентификация негативных производственных факторов

По результатам анализа укрупненного технологического процесса для каждой рассматриваемой операции следует составить перечень негативных производственных факторов, сформулированных согласно ГОСТ 12.0.003-2015. При выполнении операция проектного технологического процесса возможно возникновение негативных производственных факторов, которые отдельно по рассматриваемым операциям технологического процесса представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Негативные производственные факторы при реализации операций

Наименование операции	Опасный или вредный производственный фактор
Мойка	- острые кромки и заусенцы и шероховатости на поверхности - химические вещества в твердом, жидком и газообразном состоянии
Дефектация	- острые кромки и заусенцы и шероховатости на поверхности - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения
Подготовка поверхности	- острые кромки и заусенцы и шероховатости на поверхности - движущиеся части машин и механизмов - отсутствие или недостатков естественного освещения - отсутствие или недостатков искусственного освещения - поражение электрическим током
Наплавка	- чрезмерное загрязнение воздушной среды в зоне дыхания - повышенный уровень шума - поражение электрическим током - инфракрасное излучение - ультрафиолетовое излучение - химические вещества в аэрозольном состоянии - повышенная температура поверхностей
Правка	- острые кромки и заусенцы и шероховатости на поверхности - движущиеся части машин и механизмов
Шлифовка	- острые кромки и заусенцы и шероховатости на поверхности - движущиеся части машин и механизмов
Контроль качества	- повышенный уровень ультразвуковых колебаний - острые кромки и заусенцы и шероховатости на поверхности

Операции сварки и наплавки предусматривают наличие дуги, что приводит к повышенному уровню опасных и вредных факторов, возникающих на рассматриваемом производственном участке.

3.3 Нейтрализация негативных производственных факторов

Для составленного перечня опасных и вредных производственных факторов необходимо сформулировать список средств по их нейтрализации, при этом следует прибегать к применению стандартных решений, а к разработке специальных методик прибегать только в случае недостаточной эффективности предлагаемых стандартных решений. Предлагаемые стандартные средства и методики представлены в таблице 3, которая рассматривает двенадцать негативных факторов, действие которых на персонал предприятия должно быть устранено. При обеспечении безопасности персонала необходимо учитывать кумулятивное действие вредных факторов, заключающееся в накоплении негативного действия в течении времени и острого их проявления. Также следует принимать во внимание, что действующие совместно факторы могут усиливать друг друга, что повышает их опасность и вредоносность. При организации защитных мероприятий следует особо выделить эффективность поддержания трудовой дисциплины, нарушение которой, как показала многолетняя практика промышленных предприятий, становится главной причиной несчастных случаев на производстве. Проведение периодического инструктажа по технике безопасности позволяет поддерживать персонал в состоянии готовности вовремя заметить и предотвратить опасность получения травмы, а также обеспечить сохранение здоровья при работе в условиях действия вредных факторов. Запрещается работа на неисправном оборудовании, что может послужить причиной поражения электрическим током и получения механических травм. Запрещается нахождение на производственном участке посторонних лиц, что значительно усиливает опасность негативных факторов по отношению к неподготовленным лицам. Для обслуживания технических средств безопасности труда должны привлекаться квалифицированные работники. Такие механизмы, как пресс, установка наплавки и дробеструйная камера должны быть оснащены средствами защитной блокировки.

Таблица 3 – Средства и методики для устранения профессиональных рисков

Негативный фактор	Технические средства	Индивидуальные средства
острые кромки и заусенцы и шероховатости и поверхности заготовок	- оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
движущиеся части машин и механизмов	устройства защитного отключения привода станков	Специальная одежда, перчатки
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 твердом, жидком и газообразном состоянии	- «оснащение рабочих мест предупреждающими плакатами и табличками	Специальная одежда, перчатки
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 - 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
ультрафиолетовое 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
химические вещества в аэрозольном состоянии	- устройства местного удаления загрязненного воздуха и общеобменной вентиляции	защитные маски
повышенный уровень ультразвуковых колебаний	- ограничение проникновения персонала в опасную зону	защита расстоянием и уменьшением времени воздействия» [8]

Представленные в таблице средства обеспечивают эффективную защиту персонала при условии соблюдения трудовой дисциплины, поэтому разработки специальных средств защиты не требуется.

3.4 Пожарная безопасность производственного участка

При выполнении наплавочных операций применяется электрическая дуга, наличие которой становится причиной повышения опасности возникновения пожара на рассматриваемом производственном участке. Горение сжатой дуги сопровождается интенсивным тепловым излучением, интенсивным ультрафиолетовым излучением, высокотемпературным действием на поверхности, разбрасыванием искр и брызг расплавленного металла. «Также следует принимать во внимание, что питание дуги требует подвода электрической энергии высокой мощности, при повреждении электрического оборудования возможно образование возгорания и развития пожара на рассматриваемом производственном участке. Наличие на участке электрического оборудования усложняет протекание пожара и его тушение. В таблице 4 выполнена идентификация пожара, возникновение которого следует предотвратить» [8].

Таблица 4 – Идентификация пожара на производственном участке

«Наименование участка	Участок проведения восстановительной и упрочняющей наплавки валов
Наименование оборудования	моечная машина, дробеструйная камера, краскопульт, установка плазменной наплавки, гидравлический пресс, копировально-шлифовальный станок, дефектоскоп ультразвуковой
Классификация по виду горящего вещества	Пожары, которые происходят за счет воспламенения и горения веществ и материалов на электроустановках, запитанных электрическим напряжением (Е)
Основные опасные факторы пожара	Пламя, повышенная температура воздуха, токсические продукты горения, уменьшение концентрации кислорода в воздухе, снижение видимости из-за задымления, искры
Вторичные опасные факторы пожара	Поражение персонала электрическим током, падение на персонал элементов конструкции здания и оборудования» [8]

В случае возникновения пожара необходимо быть готовым к нейтрализации его опасных факторов, действие которых может стать причиной травм, жертв и экономического ущерба. К основным (первичным) факторам 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. К вторичным факторам пожара относят возможность падения на людей элементов оборудования и элементов конструкции здания при разрушении, поражение персонала и сотрудников МЧС электрическим током. На основании результатов проведенного анализа возникающий на рассматриваемом производственном участке пожар может быть отнесен к категории «Е», так как ещё одним поражающим фактором является электрический ток, поражение которым может произойти при тушении пожара. В таблице 5 представлены средства, обеспечивающие устранение опасных факторов такого пожара, которые следует быть готовым применить на рассматриваемом производственном участке.

Таблица 5 – Средства устранения факторов пожара

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

Запрещается складирование мусора, могущего стать потенциальным топливом (ветошь, картон, бумага, элементы упаковки, куски пенопласта). Запрещается хранить на участке значительных количеств возгорающихся жидкостей. Обязателен инструктаж по вопросам пожарной безопасности и проверка умения персонала обращаться со средствами первичного тушения.

3.5 Обеспечение экологической безопасности производственного участка

При построении современных технологических процессов помимо безопасности по отношению к персоналу следует рассматривать вопросы природосбережения, при этом следует принимать во внимание, что в соответствии с мировой экологической повесткой требования по «экологической безопасности промышленных предприятий будут только ужесточаться. Рассматриваемый процесс восстановительной и упрочняющей плазменной наплавки может представлять опасность для элементов природы – гидросферы, литосферы и атмосферы. В таблице 6 представлены мероприятия и средства, обеспечивающие защиту природных компонентов от негативных экологических факторов рассматриваемого производства» [8].

Таблица 6 – Мероприятия и средства по защите природных компонентов от негативных экологических факторов рассматриваемой технологии

Участок	Участок восстановительной и упрочняющей наплавки валов
Защита атмосферы	Требуется дооснащение вентиляции рассматриваемого производственного участка системой фильтрации и утилизации собираемых компонентов. Запрещается сжигание промышленного мусора, полученного в ходе функционирования рассматриваемого производственного участка. Инструктаж персонала по необходимости соблюдения экологических норм.
Защита гидросферы	Запрещается слив в канализацию и водоемы машинного масла и других жидких отходов, возникающих при функционировании производственного участка,. Следует соблюдать периодичность проведения инструктажа персонала по соблюдению экологических норм. Очистка и повторное использование технической воды, позволяющие уменьшить расход водных ресурсов. Запрещается использование для технических нужд питьевой воды.
Защита литосферы	Организация на производственном участке селективного сбора, разделения и утилизации промышленного мусора. Запрещается закапывание и несанкционированное выбрасывание промышленного мусора. Следует соблюдать периодичность проведения инструктажа персонала по необходимости соблюдения экологических норм. Рециклинг промышленных отходов, позволяющий значительно уменьшить негативную нагрузку со стороны предприятия на литосферу. Запрещается наземный слив масла и отработавших технологических жидкостей.

Выводы по экологическому разделу

Настоящий раздел посвящен рассмотрению вопросов промышленной, пожарной и экологической безопасности при реализации проектной технологии восстановительной и упрочняющей наплавки валов. При составлении и анализе укрупненного технологического процесса выделены пять операций и для каждой операции сформулированы негативные производственные факторы, защиту от действия которых на персонал предприятия предлагается проводить с применением стандартных технических средств и организационных мероприятий, оценка эффективности которых проведена и позволяет отказаться от проектирования специальных средств защиты. Пожарная безопасность на рассматриваемом участке проведения ремонтной сварки обеспечивается представленными в настоящем разделе стандартными средствами. Значительная роль отводится мероприятиям предупредительного характера, позволяющим за счёт повышения культуры производства значительно уменьшить опасность образования пожара и возникновения на рассматриваемом производственном участке несчастного случая. При анализе проектной технологии с точки зрения негативного действия на окружающую среду предложены мероприятия, обеспечивающие снижение антропогенного действия рассматриваемого производственного участка на составляющие природы – атмосферу, литосферу и гидросферу. В процессе функционирования сварочного участка необходимо проводить селективный сбор промышленных отходов и рециклинг. 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. Следовательно, проектный технологический процесс может быть реализован на производственном участке.

4 Экономическая эффективность предлагаемых технических решений

4.1. Исходные данные для экономического расчёта

Ранее при выполнении разделов выпускной квалификационной работы составлена проектная технология восстановительной и упрочняющей плазменной наплавки валов. Применение предлагаемых решений позволяет получить технологический эффект в виде повышения производительности и качества выполняемых работ. Для того, чтобы обосновать целесообразность внедрения предлагаемых решений в производство необходимо провести ряд экономических расчётов, направленных на определение экономических показателей предприятия. Поскольку проектная технология предусматривает применение модернизированного оборудования, стоимость которого выше, чем у оборудования, применяемого при реализации базового технологического процесса, экономическая эффективность предлагаемых решений не очевидна и должна быть доказана. Для последующего экономического анализа исходные данные по рассматриваемым технологиям представлены в таблице 7. Применение при реализации проектной технологии предлагаемых решений 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 учётом специфики рассматриваемого производства экономические расчёты проводим исходя из режима работы производственного участка в одну смену. На основании временных и экономических показателей должна быть рассчитана эффективность.

Таблица 7 – 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	200	200
Коэффициент доплат	$K_{доп}$	%	12	12
Коэффициент отчислений на дополнительную ЗП	K_d	-	1,88	1,88
Коэффициент отчислений на социальные нужды	$K_{сн}$	%	34	34
Коэффициент выполнения нормы	$K_{вн}$	-	1,1	1,1
Стоимость оборудования	$Ц_{об}$	руб.	400 тыс.	800 тыс.
Норма амортизации оборудования	K_a	%	21,5	21,5
Мощность оборудования	$M_{уст}$	кВт	13	18
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	100	100
Стоимость эксплуатации площадей	$C_{эсп}$	(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» [16]	$K_{зав}$	-	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» [16].

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_H и эффективный фонд времени работы оборудования F_3 , связанные друг с другом через коэффициент рабочего времени B . Годовой фонд времени работы оборудования F_H в дальнейшем определяет годовую программу» [16] и влияет на последующие расчеты.

Рассматриваемое в настоящей выпускной квалификационной работе производство предусматривает работу в одну смену, таким образом, для «расчётов 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 расчётов 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 расчётов принимается равным $D_{п}=7$ дней. На основании вышеизложенного может быть рассчитано значение годового фонда времени:

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

Эффективный фонд времени работы оборудования позволяет учесть потери рабочего времени» [16] через коэффициент B , значение которого для рассматриваемого случая построения технологического процесса принимается $B=0,07$. На основании вышеизложенного

$$F_3 = F_H(1-B) = 2209 \cdot (1 - 0,07) = 2054 \text{ часов.} \quad (2)$$

Расчёт показателей экономической эффективности в дальнейшем выполняем с учетом рассчитанного выше значения эффективного фонда времени $F_3= 2054$ 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» [16] выполняется как

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

Расчёт по формуле (3) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы: $t_{шт} = 1,5 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 1,89$ часа. Расчёт по формуле (3) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение штучного времени для выполнения работы: $t_{шт} = 0,6 \cdot (100\% + 10\% + 5\% + 5\% + 1\%) = 0,76$ часа.

Далее рассчитывается годовая программа как отношение эффективного фонда времени оборудования F_3 и штучного времени $t_{шт}$ как

$$\Pi_{\Gamma} = F_3 / t_{шт} . \quad (4)$$

Расчёт по формуле (4) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы $\Pi_{\Gamma} = 2054/1,89 = 1086$ наплавленных валов за год. Расчёт по формуле (4) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить значение годовой программы $\Pi_{\Gamma} = 2054/0,76 = 2700$ наплавленных валов за год. С учётом потребностей рассматриваемого производства для значения годовой программы принимается $\Pi_{\Gamma} = 1000$ наплавленных валов за 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 $K_{\text{вн}} = 1,03$ » [16]:

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

«Расчёт по формуле (5) для базового варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования $n_{\text{расч.}} = 1,89 \cdot 1000 / (2054 \cdot 1,03) = 0,9$. Расчёт по формуле (5) для проектного варианта построения технологического процесса позволяет получить количество оборудования $n_{\text{расч.}} = 0,76 \cdot 1000 / (2054 \cdot 1,03) = 0,4$ » [16]. Следует принять ближайшее большее натуральное значение, которое для проектного и базового вариантов составляет 1 и 1 соответственно. 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 $K_3 = 0,9/1 = 0,9$ и $K_3 = 0,4/1 = 0,4$ 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 $N_{\text{р}}$ и коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{\text{тз}}$, значение которого для рассматриваемого производства согласно таблице исходных данных составляет $K_{\text{тз}} = 1,05$ » [16]:

$$M = C_{\text{м}} \cdot N_{\text{р}} \cdot K_{\text{тз}} . \quad (7)$$

«Расчёт по формуле (7) для базового варианта технологии позволяет получить $M = 210 \cdot 0,448 + 40 \cdot 0,888 = 129$ руб. Расчёт по формуле (7) для проектного варианта технологии позволяет получить величину затрат на материалы равную $M = 109 \cdot 0,8 + 60 \cdot 1,18 = 158$ 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 $C_{\text{ч}} = 150$ руб., $K_{\text{д}} = 1,88$ и $K_{\text{доп}} = 0,12$. Расчёт величины $Z_{\text{осн}}$ » [16]:

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

Применение (8) для базового варианта позволяет получить величину $Z_{\text{осн}} = 1,89 \cdot 200 \cdot 1,88 = 710$ руб. Применение (8) для проектного варианта позволяет получить величину $Z_{\text{осн}} = 0,76 \cdot 200 \cdot 1,88 = 285$ руб.

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

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

Применение (9) для базового варианта позволяет получить величину $Z_{\text{доп}} = 710 \cdot 0,12 = 85$ руб. Применение (9) для проектного варианта позволяет получить величину $Z_{\text{доп}} = 285 \cdot 0,12 = 34$ руб.

Расчёт величины ФЗП:

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

Применение (10) для базового варианта позволяет получить величину $\text{ФЗП} = 710 + 85 = 796$ руб. Применение (10) для проектного варианта позволяет получить величину $\text{ФЗП} = 285 + 34 = 320$ 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 $O_{\text{сн}}$ определяется с учетом ранее определенных значений ФЗП для рассматриваемых вариантов и коэффициента отчислений на социальные нужды $K_{\text{сн}}$ » [16], значение которого для рассматриваемого производства из таблицы исходных значений принимается $K_{\text{сн}} = 0,34$. Расчёт величины $O_{\text{сн}}$:

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

Применение (11) для базового варианта позволяет получить величину $O_{\text{сн}} = 796 \cdot 0,34 = 270$ руб. Применение (11) для проектного варианта позволяет получить величину $O_{\text{сн}} = 320 \cdot 0,34 = 108$ руб.

Для того, чтобы рассчитать размер затрат на оборудование $Z_{\text{об}}$, необходимо предварительно определить составляющие: амортизационные отчисления $A_{\text{об}}$ и затраты на электрическую энергию $P_{\text{э}}$.

При расчете величины $A_{об}$ применяются ранее определенные значения F_3 и $t_{маш}$, а также принятые для рассматриваемого производства норма амортизации H_a и стоимость оборудования $Ц_{об}$, значения которых берутся из таблицы исходных данных. Расчёт величины $A_{об}$:

$$A_{об} = \frac{Ц_{об} \cdot H_a \cdot t_{маш}}{F_3 \cdot 100}. \quad (12)$$

Применение (12) для базового варианта позволяет получить величину $A_{об} = 400000 \cdot 21,5 \cdot 1,89 / 2054 / 100 = 79$ руб. Применение (12) для проектного варианта даёт $A_{об} = 800000 \cdot 21,5 \cdot 0,76 / 2054 / 100 = 64$ руб. Увеличение амортизационных отчислений в проектном варианте технологии по сравнению с базовым вариантом технологии объясняется применением более сложного технологического оборудования больше стоимости.

Для расчёта величины $P_{ээ}$ выполняется применяется цена электрической энергии $Ц_{ээ}$, 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 $P_{ээ}$:

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

Применение (13) для базового варианта позволяет получить величину $P_{ээ} = 13 \cdot 1,89 \cdot 3,4 / 0,7 = 122$ руб. Применение (13) для проектного варианта позволяет получить величину $P_{ээ} = 18 \cdot 0,76 \cdot 3,4 / 0,85 = 54$ руб.

Величина затрат на оборудование $З_{об}$ определяется как сумма $A_{об}$ и $P_{ээ}$:

$$З_{об} = A_{об} + P_{ээ}. \quad (14)$$

Применение (14) для базового варианта позволяет получить величину затрат на оборудование $З_{об} = 79 + 122 = 201$ руб. Применение (14) для проектного варианта позволяет получить величину $З_{об} = 64 + 54 = 118$ руб.

«Полученные значения составляющих позволяют рассчитать полное значение технологической себестоимости $C_{\text{тех}}$ выполняется как сумма затрат на материалы M , фонда заработной платы $\Phi ЗП$, отчислений на социальные нужды $O_{\text{сс}}$, затрат на оборудование $Z_{\text{об}}$:

$$C_{\text{тех}} = M + \Phi ЗП + O_{\text{сс}} + Z_{\text{об}}. \quad (15)$$

Применение (15) для базового варианта позволяет получить величину $C_{\text{тех}} = 129 + 796 + 271 + 201 = 1397$ руб. Применение (15) для проектного варианта позволяет получить $C_{\text{тех}} = 158 + 320 + 109 + 118 = 705$ руб. Снижение технологической [16] 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 $C_{\text{цех}}$ необходимо применить ранее рассчитанное значение технологической себестоимости $C_{\text{тех}}$ и основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$, а также коэффициент цеховых расходов $K_{\text{цех}}$, значение которого для рассматриваемого производства принимается из таблицы исходных данных $K_{\text{цех}}=1,5$. Расчёт величины $C_{\text{цех}}$:

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

Применение (16) для базового варианта позволяет получить величину $C_{\text{цех}} = 1397 + 1,5 \cdot 711 = 1397 + 1067 = 2464$ руб. Применение (16) для проектного варианта позволяет получить $C_{\text{цех}} = 705 + 1,5 \cdot 286 = 705 + 429 = 1134$ руб. Для расчётного определения заводской себестоимости $C_{\text{зав}}$ необходимо применить ранее рассчитанные значения цеховой себестоимости $C_{\text{цех}}$ и основной заработной платы $Z_{\text{осн}}$, а также коэффициент заводских расходов $K_{\text{зав}}$, значение которого для рассматриваемого производства принимается из таблицы исходных значений $K_{\text{зав}}=1,15$. Расчёт величины $C_{\text{зав}}$:

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

Применение (17) для базового варианта позволяет получить значение $C_{зав} = 2464 + 1,15 \cdot 711 = 2464 + 818 = 3282$ руб. Применение (17) для проектного варианта дает $C_{зав} = 1134 + 1,15 \cdot 286 = 1134 + 329 = 1463$ руб.» [16].

Для анализа которых на рисунке 25 представлена диаграмма, демонстрирующая структуру технологической себестоимости по базовому и проектному вариантам технологического процесса, эти же данные в цифровом виде представлены в калькуляционной таблице 8. На рисунке 26 представлена структура заводской себестоимости.

Таблица 8 – Калькуляция заводской себестоимости восстановительной и упрочняющей плазменной наплавки валов

Показатель	Условное обозначение	Калькуляция, руб.	
		Базовый вариант	Проектный вариант
«1. Затраты на материалы	М	129	158
2. Фонд заработной платы	ФЗП	796	320
3. Отчисления на соц. нужды	Осн	271	109
4. Затраты на оборудование	Зоб	201	118
5. Технологическая себестоимость	Стех	1397	705
6. Цеховые расходы	Рцех	1067	429
7. Цеховая себестоимость	Сцех	2464	1134
8. Заводские расходы	Рзав	818	329
9. Заводская себестоимость» [16]	$C_{зав}$	3282	1463

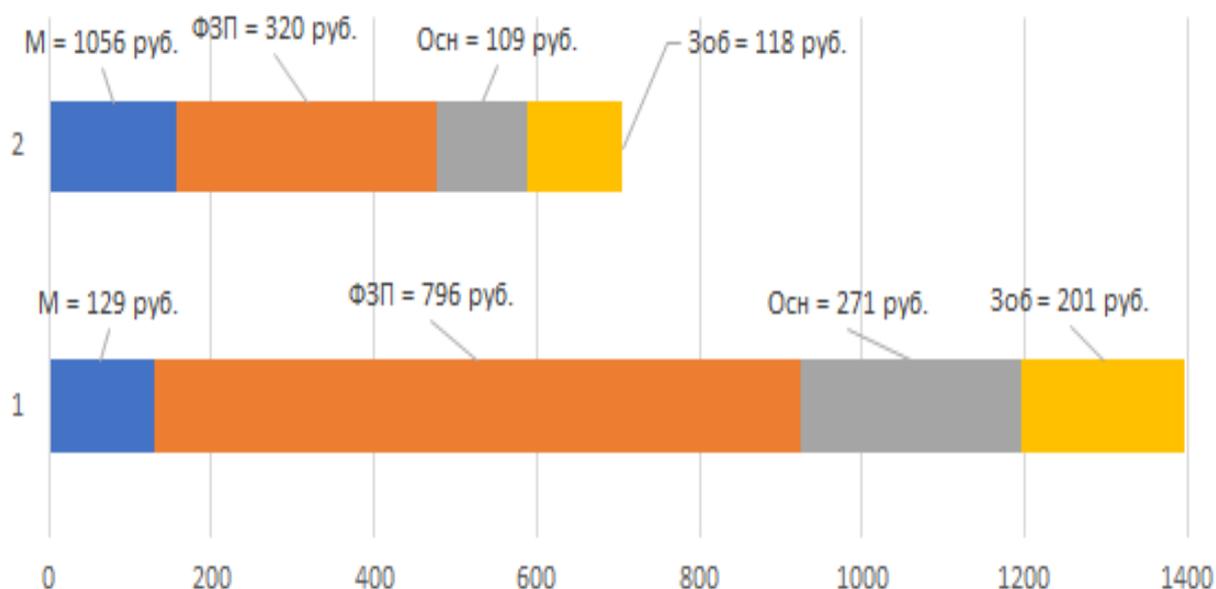


Рисунок 25 – Состав технологической себестоимости

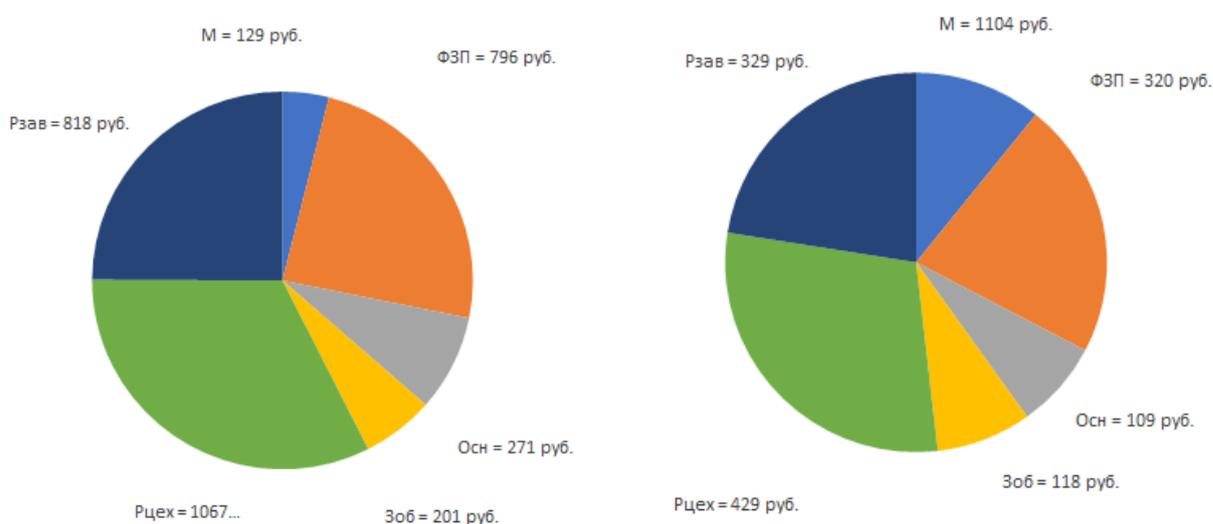
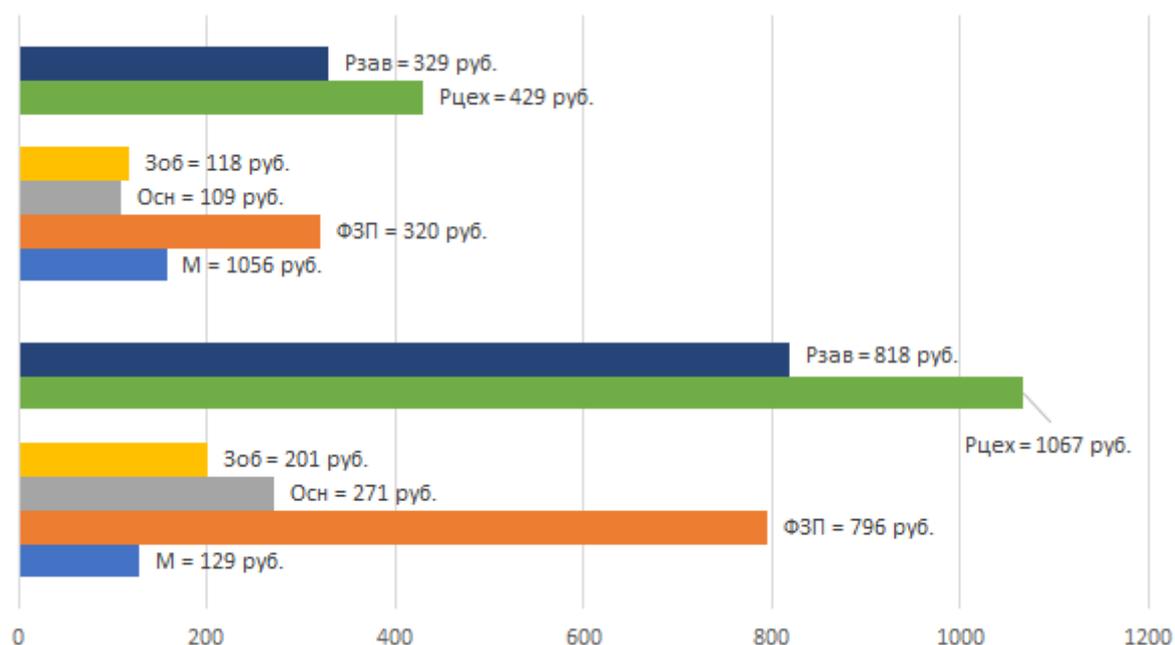


Рисунок 26 – Структура заводской себестоимости

Снижение заводской себестоимости в проектом варианте технологии обеспечивается за счёт уменьшения величины технологической себестоимости и величины цеховых и заводских расходов. Высокая эффективность предлагаемых решений доказывается уменьшением величины заводской себестоимости в проектом варианте по сравнению с базовым вариантом. Но для расчётного определения показателей экономической эффективности требуется рассчитать капитальные затраты, которые будут учтены при расчётном определении экономической эффективности.

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 $\Pi_{перв.}= 400$ тыс. руб. с учетом нормы амортизационных отчислений $H_a=21,5\%$ » [16]:

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

Применение (18) для базового варианта позволяет получить величину $\Pi_{об.б.} = 400000 - (400000 \cdot 3 \cdot 21,5 / 100) = 142000$ руб.

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

$$K_{общ.б.} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{z.б.} = 1 \cdot 142000 \cdot 0,90 = 127800 \text{ рублей.} \quad (19)$$

«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_{tz} и коэффициента загрузки оборудования K_z , расчётное значение которого составляет $K_z=0,4$. Из таблицы исходных данных принимается $\Pi_{об.пр.}=800$ тыс. рублей, $K_{tz}=1,05$. Капитальные затраты по на оборудование по проектному варианту составят

$$K_{об.пр.} = \Pi_{об.пр.} \cdot K_{tz} \cdot K_{zп} = 800000 \cdot 1,05 \cdot 0,4 = 336000 \text{ руб.} \quad (20)$$

Далее рассчитывают расходы на демонтаж оборудования с учётом коэффициента расходов на демонтаж $K_{дем}=0,05$ и цены оборудования $\Pi_{об.б.}=400$ тыс. рублей определяют как

$$P_{дем} = \Pi_{об.б.} \cdot K_{д} = 1 \cdot 400000 \cdot 0,05 = 20000 \text{ руб.} \quad (21)$$

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 $P_{\text{монт}}$:

$$K_{\text{соп}} = P_{\text{дем}} + P_{\text{монт}} = 20000 + 40000 = 60000 \text{ рублей.} \quad (23)$$

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

$$K_{\text{общ. пр.}} = K_{\text{об. пр.}} + K_{\text{соп.}} = 336000 + 60000 = 396000 \text{ рублей.} \quad (24)$$

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 $K_{\text{общ. пр.}}$:

$$K_{\text{доп}} = K_{\text{общпр}} - K_{\text{общб}} = 396000 - 127800 = 268200 \text{ рублей.} \quad (25)$$

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» [16] затрат составляет $K_{\text{уд}} = 127800/1000 = 127$ рублей за одну восстановленную деталь. Для проектного варианта технологического процесса величина удельных капитальных затрат составляет $K_{\text{уд}} = 396000/1000 = 396$ рублей за одну восстановленную деталь. Далее проводим расчёт показателей эффективности проектной технологии.

4.6 Расчёт изменяющихся технологических показателей

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

$$\Delta t_{шт} = (t_{шт\ б} - t_{шт\ пр}) \cdot 100 \% / t_{шт\ б} = (1,89 - 0,76) \cdot 100 \% / 1,89 = 60 \% \quad (27)$$

Расчёт повышения производительности труда Π_T :

$$\Pi_T = 100 \cdot \Delta t_{шт} / (100 - \Delta t_{шт}) = 100 \cdot 60 / (100 - 60) = 150 \% \quad (28)$$

Расчёт снижения технологической себестоимости:

$$\Delta C_{тех} = (C_{тех.б} - C_{тех.пр}) \cdot 100\% / C_{тех.б} = (1397 - 705) \cdot 100\% / 1397 = 50 \% \quad (29)$$

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 :

$$\mathcal{E}_{уг} = (C_{зав.б} - C_{зав.пр}) \cdot \Pi_T = (3282 - 1463) \cdot 1000 = 1819000 \text{ рублей.} \quad (30)$$

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

$$T_{ок} = K_{доп} / \mathcal{E}_{уг} = 268200 / 1819000 = 0,2 \text{ года.} \quad (31)$$

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

$$\mathcal{E}_T = \mathcal{E}_{уг} - E_H \cdot K_{доп} = 1819000 - 0,33 \cdot 268200 = 1721320 \text{ рублей.} \quad (32)$$

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

Выводы по экономическому разделу

В настоящем разделе проведены расчётные исследования по определению эффективности проектной технологии восстановительной и упрочняющей плазменной наплавки валов. Представлены исходные данные, характеризующие базовую и проектную технологию сварки. По результатам оценки особенностей протекания технологического процесса в базовом варианте и проектном варианте определены временные показатели технологии, на основании которых с использованием исходных данных выполнен расчёт составляющих заводской себестоимости сборки и сварки по рассматриваемым вариантам технологии.

Установлено, что внедрение предлагаемых технологических решений позволяет уменьшить размер фонда заработной платы и отчислений на социальные нужды за счёт повышения производительности труда. Также это привело к значительному уменьшению цеховых и заводских расходов, что положительно сказалось на уменьшении заводской себестоимости проведения сварочных работ. Далее установлен размер капитальных вложений по базовому варианту и проектному варианту построения технологического процесса, с учётом которых рассчитаны показатели эффективности предлагаемых к внедрению решений.

За счёт применения более прогрессивного оборудования и технологий при внедрении предлагаемых решений в производство удастся уменьшить трудоемкость выполнения работ на 60 %, повысить производительность процесса на 150 %. За счёт уменьшения размера основных составляющих технологической себестоимости её величина уменьшается на 50 %. При капитальных вложениях 268 тыс. рублей срок окупаемости составляет 0,2 года, а экономический эффект составляет 1,721 млн. рублей.

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

Заключение

Выпускная квалификационная работа посвящена повышению эффективности восстановления и упрочнения распределительных валов техники. Во введении доказана актуальность выбранного направления исследования и сформулирована цель выпускной квалификационной работы. Анализ условий работы и характерных дефектов распределительных валов позволил установить возможность получения положительного экономического и технологического эффекта от применения наплавочных технологий в отношении рассматриваемых распределительных валов. Анализ материала вала позволил сформулировать особенности и затруднения, которые могут возникнуть при выполнении восстановительной наплавки. В ходе анализа источников научно-технической литературы рассмотрены способы восстановительной наплавки, применение которых может быть целесообразным для построения проектной технологии. При решении первой задачи на основании экспертной оценки показателей рассматриваемых способов восстановления кулачков распределительных валов для построения проектной технологии предлагается применить плазменную порошковую наплавку. При решении второй задачи для расширения технологических возможностей выбранного способа восстановления предложено применить разработку российских ученых в области управления сжатой дугой. При решении третьей задачи составлена проектная технология восстановительной и упрочняющей наплавки кулачков распределительного вала. За счёт применения более прогрессивного оборудования и технологий при внедрении предлагаемых решений в производство удастся уменьшить трудоемкость выполнения работ на 60 %, повысить производительность процесса на 150 %. Экономический эффект составляет 1,721 млн. рублей. На основании вышеизложенного следует признать эффективность внедрения предлагаемых в настоящей выпускной квалификационной работе технологических решений.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Агеева Е. В., Агеев Е. В. Оценка эффективности применения твердосплавных электроэрозионных порошков при реновации деталей автотракторной техники // *Агроинженерия*. 2013. № 4. С. 76-79.
2. Балабанов В. И., Добряков Д. В. Анализ технологий восстановления валов автотракторной техники // *Agricultural Engineering*. 2024. № 5. С. 31-38.
3. Батищев А. Н. Методика оптимизации способов восстановления деталей // *Организация и технология ремонта машин*. - М.: РГАЗУ, 2000. С. 174 – 178.
4. Белов С. В. Охрана окружающей среды. М. : Машиностроение, 1990. 372 с.
5. Бунина Л. Н., Волчок И. П. Повышение конструкционной прочности марганцевых сталей // *Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта*. 2011. № 8. С. 207-212.
6. Васильев Р. А., Агафонов С. В., Аносова А. И. Восстановление распределительных валов плазменной наплавкой // *Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК : Иркутский государственный аграрный университет им. А. А. Ежовского*. 2023. С. 214-219.
7. Вертакова Ю. В., Плотников В. А. Перспективы импортозамещения в высокотехнологичных отраслях промышленности // *Аналитический вестник*. 2015. № 27. С. 7-20.
8. Горина Л. Н. Обеспечение безопасных условий труда на производстве: учебное пособие. Тольятти : ТолПИ, 2000. 68 с.
9. Зяблицева О.В., Галимова М.П. Основные проблемы коммерциализации результатов инновационной деятельности // *Инновационная экономика: перспективы развития и совершенствования: научно-практический журнал*. 2016. № 6, С. 44 -51.

10. Иванов В. П. Выбор способа восстановления деталей // Наука и техника. 2016. № 1. С. 9-17.
11. Иванов А. В., Пирозерская О. Л. Перспективные способы наплавки и механической обработки восстанавливаемых деталей // Техно-технологические проблемы сервиса. 2010. № 3. С. 7-9.
12. Кадырметов А. М., Бухтояров В. Н., Попов П. Н. Упрочение опорных шеек и кулачков распределительного вала // Воронежский научно-технический вестник. 2020. № 4. С. 109-113.
13. Канарчук В. Е., Чигринец А. Д. Курс восстановления автомобильных деталей: Технология и оборудование. М.: Транспорт, 1998. 303 с.
14. Котомчин А.Н., Синельников А.Ф., Корнейчук Н.И. К вопросу выбора способа восстановления деталей машин // Вестник СибАДИ. 2020. № 17. С 84-97.
15. Крампит А. Г., Крампит Н. Ю., Габитов Э. К. Модернизация сварочного оборудования – как решение приоритетной задачи по импортозамещению // Технический научно-производственный журнал. 2016. № 7. С. 18-23.
16. Краснопевцева И. В. Экономическая часть дипломного проекта : метод. указания. Тольятти : ТГУ, 2008. 38 с.
17. Лапытов Р. А., Агеев Е. В., Лапытова Г. Р. Восстановление распределительного вала дизельного двигателя // Современные материалы, техника и технологии. 2016. № 2. С. 146-150.
18. Лебедев В. А., Лендел И. В. Совершенствование механизированной дуговой сварки и наплавки нержавеющей сталей с импульсной подачей электродной проволоки // ВІСНИК Донбаської державної машинобудівної академії. 2016. № 2. С. 156–159.
19. Лелякин В. П. Восстановление деталей – важный резерв экономии ресурсов // Вестник ОрелГАУ. 2011. № 2. С. 95-97.

20. Ленчук Е. Б. Научно-технологическое развитие России в условиях санкционного давления // Экономическое возрождение России. 2022. № 3. С. 52-60.

21. Макаренко И. А. Исследование и разработка порошковой проволоки, обеспечивающей высокую стойкость наплавленного металла к абразивному износу // Вестник Приазовского государственного технического университета. 2004. № 14. С. 17-22.

22. Маломыжев О. П., Бектемиров А. С., Круглов М. Э. Исследование причин разрушения двигателя внутреннего сгорания // Вестник ИрГТУ. 2015. № 5. С. 122-127.

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

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

25. Неёлов Ю. В. Перспективы импортозамещения в Российской Федерации, // Аналитический вестник. 2015. № 27. С. 4-7.

26. Новиков В. С., Очковский Н. А., Тельнов Н. Ф. Проектирование технологических процессов восстановления изношенных деталей : методические рекомендации к курсовому и дипломному проектированию. М.: МГАУ, 1998. 52 с

27. Патент РФ № 2211256 МПК С23С4/12 Способ нанесения покрытия / Д.И. Станчев, А.М. Кадырметов, А.В. Винокуров. Заявл. 04.06.2001, Опубл. 27.08.2003.

28. Пермяков Д. Н. Анализ материалов и технологий упрочнения распределительных валов грузовых автомобилей // Наука, техника, образование. 2016. № 7. С. 58-61.

29. Пермяков Д. Н. анализ причин возникновения дефектов в структуре наплавленного материала, нанесенного плазменной наплавкой // Academy: Технические науки. 2016. №3. С. 13-17.

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

31. Рафиков И. А. Разработка технологии восстановления деталей машин плазменной наплавкой в продольном магнитном поле: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук. Уфа: Башкирский государственный аграрный университет. 2013.

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

33. Шиповалов А. Н. Технология восстановления кулачков распределительных валов плазменной наплавкой: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Российский государственный аграрный заочный университет. 2010.

34. Шиповалов А. Н., Храпков Г. А., Юдин В. М. Восстановление кулачков распределительного вала двигателя Cat 3116 плазменной наплавкой // Сварка и диагностика. 2010. № 3. С. 49-51.

35. Шпилев А. И. Исследование и оптимизация газопорошковых потоков в головках для лазерной порошковой наплавки : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева. 2018

36. Frazier W.E. Metal additive manufacturing: A Review // J. Mater. Eng. Performance. 2014. № 6. P. 917–928.

37. Hirtler M., Jedynak A., Sydow B. Investigation of microstructure and hardness of a rib geometry produced by metal forming and wire-arc additive

manufacturing // MATEC Web of Conferences (ICNFT 2018). 2018. Vol. 190. P. 102-105.

38. Martina F., Williams S.W., Colegrove P.A. Improved microstructure and increased mechanical properties of additive manufacture // 24th International Free form fabrication Symposium, Austin, Texas, USA. 2013. P. 490-496.

39. Zhu S., Guo Y., Yang P. Remanufacturing system based on totally automatic MIG surfacing via robot // Journal of Central South University of Technology. 2005. № 2. P. 129–132.

40. Zu-bao Z. Micro-beam plasma arc powder surfacing // Advances in Thermal Spraying. Elsevier. 1986. № 9. P. 727–736.