

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

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

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

15.03.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Современные технологические процессы изготовления деталей в машиностроении
(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему «Технология и оборудование для восстановления коленчатых валов
грузовых машин»

Обучающийся

С.В. Васильев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

доцент Моторин К.В.

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

Тольятти 2022

Аннотация

Выпускная квалификационная работа по теме «Технология и оборудование для восстановления коленчатых валов грузовых машин»

Выполнил – Васильев С.В.

Руководитель – Моторин К.В.

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки и графической части.

Графическая часть выполнена на 6 листах формата А1 и включает чертеж коленчатого вала, анализ способов восстановления изделия, ремонтный чертеж коленчатого вала, технологический процесс восстановления коленчатого вала, сборочный чертеж комплекса для детонационного напыления, экономическую сводку и план цеха.

Пояснительная записка выполнена на 44 страницах и включает разделы – введение, технологии восстановления, применяемые к коленчатым валам грузовых автомобилей, разработка технологического процесса восстановления коленчатых валов грузовых автомобилей, выбор и разработка оборудования и приспособлений для восстановления коленчатого вала грузового автомобиля, безопасность и экологичность объекта, оценка экономической эффективности проектной технологии.

Произведен подбор основного технологического оборудования для детонационного напыления и разработан комплекс оборудования для выполнения этих операций

Содержание

Введение.....	5
1 Технологии восстановления, применимые к коленчатым валам грузовых автомобилей.....	7
1.1 Анализ исходных данных, конструктивных особенностей и функционального назначения коленчатого вала автомобиля.....	8
1.2 Характеристика условия работы коленчатых валов.....	9
1.3 Свойства материала коленчатого вала.....	9
1.4 Виды износа изделия.....	11
1.5 Анализ базового варианта восстановления изделия.....	12
1.6 Анализ вариантов восстановления изделия.....	13
1.7 Выбор способа восстановления.....	16
1.8 Сформулировать задачи работы.....	16
2 Разработка технологического процесса восстановления коленчатого вала грузовых автомобилей.....	17
2.1 Требуемые показатели.....	17
2.2 Выбор материала.....	17
2.4 Схема техпроцесса восстановления коленчатого вала грузового автомобиля.....	18
3 Выбор и разработка оборудования и приспособлений для восстановления коленчатого вала грузового автомобиля.....	19
3.1 Общий вид технологии напыления.....	19
3.2 Выбор детонационной пушки.....	20
4 Безопасность и экологичность технического объекта.....	25
4.1 Конструктивно-технологическая и организационно-техническая характеристика рассматриваемого технического объекта.....	25
4.2 Идентификация профессиональных рисков.....	26
4.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков.....	26
4.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта.....	29
5 Оценка экономической эффективности проектной технологии.....	31
5.1 Исходная информация для выполнения экономической оценки предполагаемых технических решений.....	32

5.2 Расчет фонда времени работы оборудования	34
5.3 Расчет штучного времени	34
5.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов технологии	36
5.5 Капитальные вложения	39
5.6 Показатели экономической эффективности	40
Заключение	42
Список используемой литературы и используемых источников.....	43

Введение

Одним из основных элементов грузовой техники является колончатый вал. Так как во время работы техники вал изнашивается, требуются работы по его замене или ремонту. Покупать новый вал дорого, целесообразно его отремонтировать. В настоящее время валы ремонтируются различными видами наплавки, напыления, наращивания.

Наибольшей экономической эффективности можно добиться, используя современные разработки в области материаловедения, технологии сварочных процессов, интеграции средств компьютерного моделирования при проведении предварительных расчетов для нахождения оптимального режима техпроцесса и автоматизации производства.

Большое распространение в восстановлении деталей получил метод наплавки.

«Наплавка нанесение расплавленного металла на поверхность изделия, нагретую до оплавления или до температуры надежного смачивания жидким наплавленным металлом»[9]

«Восстановительная наплавка применяется для получения первоначальных размеров изношенных деталей. В этом случае наплавленный металл должен быть идентичен по составу и механическим свойствам основному металлу»[10]

Наиболее часто используется ручная дуговая наплавка металла электродом.

«Основными достоинствами метода является универсальность и возможность выполнения сложных наплавочных работ в труднодоступных местах. К недостаткам ручной дуговой наплавки можно отнести относительно низкую производительность, тяжелые условия труда из-за повышенной загазованности зоны наплавки, а также сложность получения необходимого качества наплавленного слоя и большое проплавление основного металла»[2]

Несмотря на имеющиеся преимущества, технологии наплавки имеют ряд недостатков, таких как: трудность в получении тонких слоев, сложность наплавки деталей малых радиусов (так как плохо держится флюс) и самое главное, изменение физико-механических свойств изделия, наличие остаточных напряжений, сокращение длины вала, снижение усталостной прочности ввиду высокого нагрева деталей.

При прочих способах необходимо сложное оборудование, дефицитные материалы, долгий срок восстановления, плохое качество покрытия.

Технология детонационного напыления лишена данных недостатков и позволяет достичь требуемых технологических показателей.

Целью данной выпускной квалификационной работы разработка технологического процесса детонационного напыления для повышения качества.

1 Технологии восстановления, применимые к коленчатым валам грузовых автомобилей

На текущий момент существуют различные технологии восстановления коленчатых валов, как то:

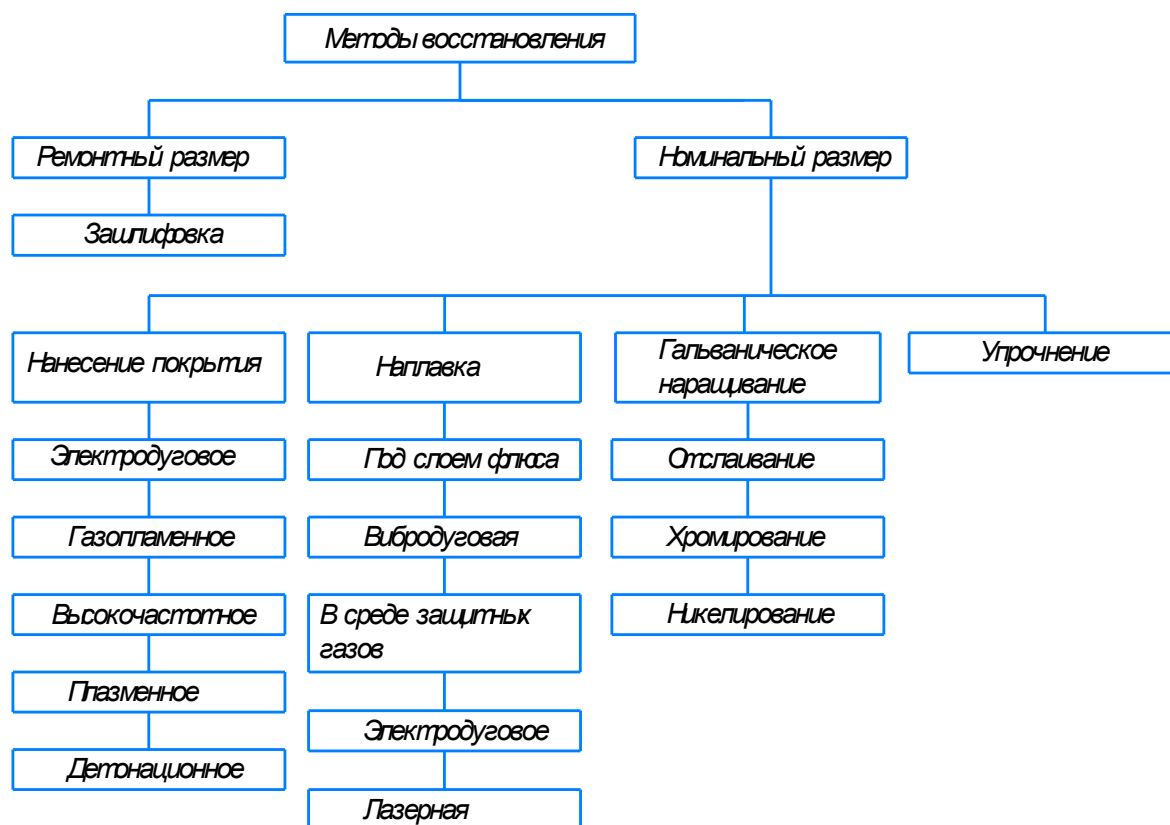


Рисунок 1– Способы восстановления коленчатых валов [7]

Наиболее перспективным в рамках данного проекта может быть электроискровое и детонационное напыление оксидами титана/вольфрама, образующие поверхностный слой с лучшими по сравнению с оригинальной деталью, эксплуатационными свойствами.

Данный метод имеет несколько важных преимуществ перед другими способами восстановления коленчатых валов.

Так, ввиду отсутствия высокотемпературного воздействия можно избежать локального перегрева, коробления вала, укорачивания его длины из-за циклов нагрева–остывания.

Также весомым фактором выбора данного метода послужила возможность применять высокопрочные сплавы из карбидов титана и вольфрама. Применение подобных порошковых материалов позволит получить качество поверхности, превосходящее оригинальное изделие.

«Типичными функциональными возможностями покрытий, нанесенных детонационным напылением, являются износостойкость и коррозионная стойкость, стойкость к окислению при повышенных температурах, тепловой барьер, изолирующие свойства.»[20]

В данной выпускной квалификационной работе рассмотрен коленчатый вал грузового автомобиля (рисунок 1).

1.1 Анализ исходных данных, конструктивных особенностей и функционального назначения коленчатого вала автомобиля

Коленчатый вал является механизмом, преобразующим движения, получаемые от шатунно-поршневых механизмов в крутящий момент, далее через маховик момент передается в элементы трансмиссии.

Шатунные шейки служат для соединения с КШМ, Коренные входят в подшипники, щеки соединяют шейки. [1]

Общий вид коленчатого вала представлен на рисунке 2, Приложение 1

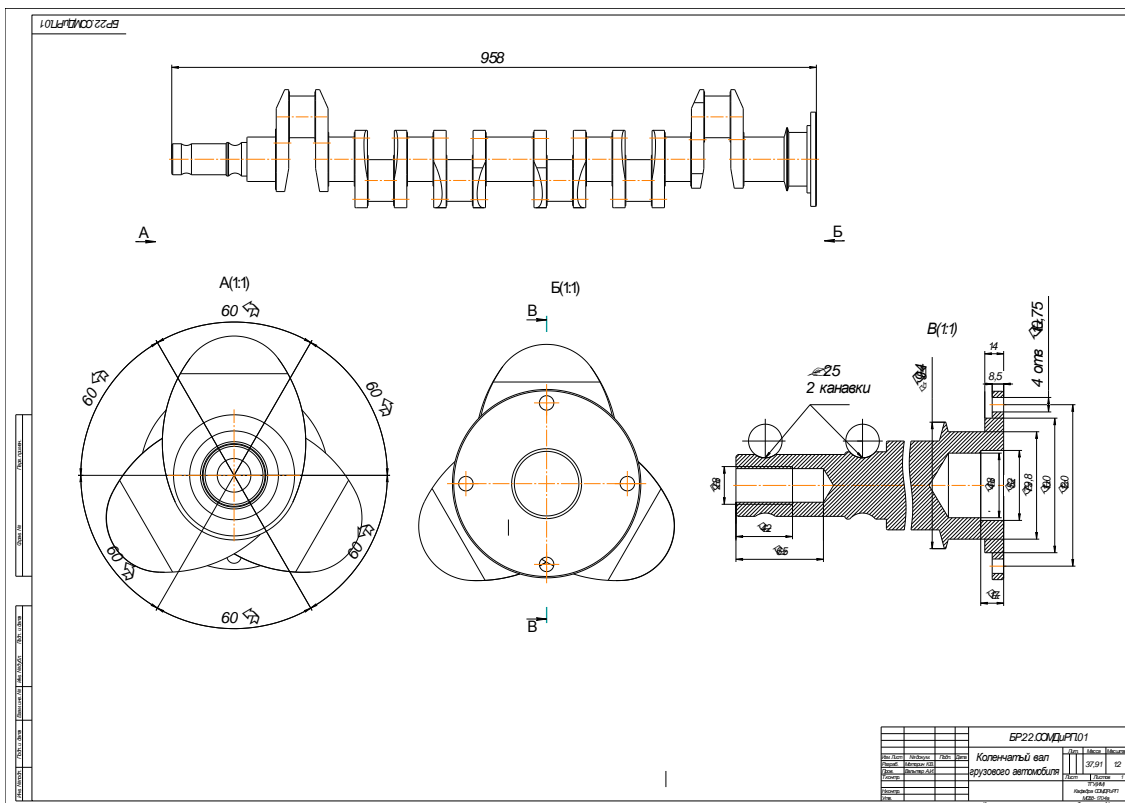


Рисунок 2– Коленчатый вал автомобиля

1.2 Характеристика условия работы коленчатых валов

На коленчатый вал воздействует давление газов, получаемых в камере сгорания испытывает периодические нагрузки, которые возникают от сил давления газов в камере сгорания и передаваемого к коленчатому валу посредством системы КШМ. Так же влияние имеют инерционные силы, возникающие от вращения и движения масс. Коленчатый вал испытывает большие нагрузки и подвергается скручиванию, изгибу и механическому изнашиванию.

1.3 Свойства материала коленчатого вала

Сталь 45 – Сталь конструкционная углеродистая качественная.

Химический состав Стали 45 представлен в таблице 1, технологические характеристики в таблице 2, механические свойства в таблице 3.

Аналоги и заменители – Сталь40Х, Сталь50, Сталь50Г2.

Таблица 1 – Химический состав Стали 45 [13]

Химический элемент	Процентное содержание
C (углерод)	0,42-0,5
Si (кремний)	0,17-0,37
Mn (марганец)	0,5-0,8
Ni (никель)	до 3
S (сера)	до 0,04
P (фосфор)	до 0,035
Cr (хром)	до 0,25
Cu (медь)	до 0,3
As (мышьяк)	до 0,08

Таблица 2 – Технологические характеристики стали–45 [13]

Вид полуфабриката	Температурный интервалковки, °С	Охлаждение поковок, изготовленных из				
		Слитков		Заготовок		
		Размер сечения, мм	Условия охлаждения	Размер сечения, мм	Условия охлаждения	
Слиток	1250-780	Поковки всех размеров ответственного назначения	Нормализация, два переохлаждения, отпуск			
Заготовка	1250-750	Остальные поковки	≤ 400	На воздухе	≤ 400	На воздухе
			401-800	Отжиг низкотемпературный		
			>800	Отжиг высокотемпературный		

Таблица 3 – Механические характеристики стали–45[13]

Термообработка	Сечение, мм	$\sigma_{0,2}$ (МПа)	σ_B (МПа)	δ_5 (%)	ψ %	КСУ (кДж / м ²)	НВ, не более
Нормализация	100-300	245	470	19	42	39	143-179
	300-500			17	34	34	
	500-800			15	34	34	
	до 100	275	530	20	40	44	156-197
	100-300			17	38	34	
Закалка. Отпуск	300-500			15	32	29	156-197
Нормализация, закалка + отпуск	До 100	315	570	17	38	39	167-207
	100-300			14	35	34	
	300-500			12	30	29	
	До 100	345	590	18	45	59	174-217
	100-300			17	40	54	
	300-500			395	620	17	

Свариваемость – трудносвариваемая.

Флокеночувствительность – малочувствительна.

Склонность к отпускной хрупкости - не склонна.

Высокое содержание углерода придает ей прочность, но повышает хрупкость. Невысокая плотность приводит к относительной легкости изделий. Материал трудно обрабатываем обработкой резанием ввиду высокой жесткости, но поддается всем видам механической обработки. Отсутствуют антикоррозийные свойства, восприимчив к кислотам и щелочам. Хорошие износостойкие свойства, хорошо работает в условиях переменных и ударных нагрузок: предел выносливости 245 МПа, ударная вязкость 66 кДж/м².

1.4 Виды износа изделия

В процессе эксплуатации коленчатые валы подвергаются воздействию переменных нагрузок.

Основными неисправностями валов являются износ опорных шеек из-за повреждения вкладышей или деформация - искривление вала из-за

перегрева. В результате этого увеличиваются зазоры в подшипниках, в то время как условия смазки ухудшаются, естественный износ шеек наблюдается при больших нагрузках на двигатель автомобиля. приводят к проявлению дефектов и возникновению изнашивания (рисунок 3).

«Ведущим процессом разрушения является механическое изнашивание, в которое входит абразивный и усталостный износ. Сопутствующими видами износа являются молекулярно - механический и коррозионно-механические износы»[5]

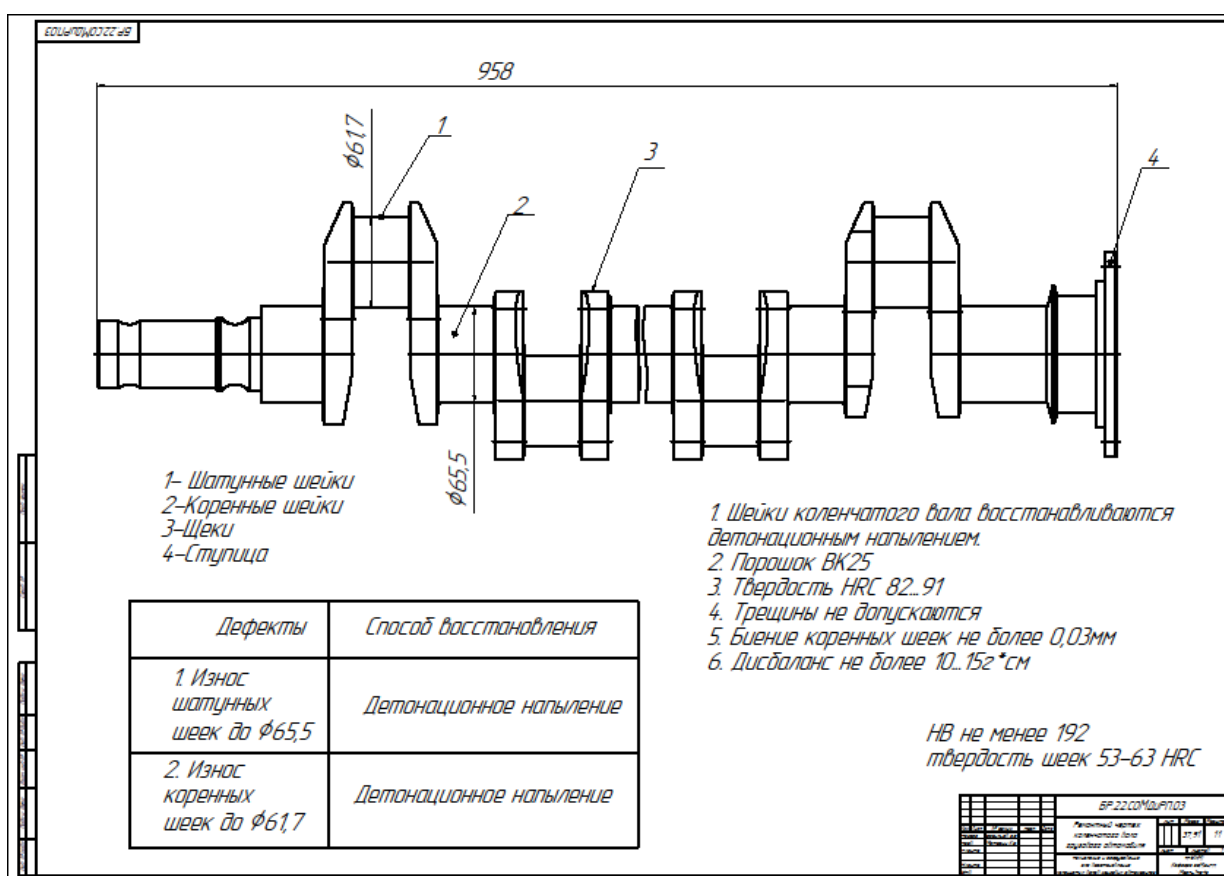


Рисунок 3–Ремонтный чертеж коленчатого вала

1.5 Анализ базового варианта восстановления изделия

Наиболее распространенным способом восстановления изношенных коренных и шатунных шеек коленчатых валов грузовых автомобилей является шлифование под ремонтные размеры, используя электрокорундовые круги на керамической связке с последующей полировкой пастой ГОИ

№20...30. Данный способ подходит для ремонта шеек валов, не вышедших за пределы ремонтных размеров.

1.6 Анализ вариантов восстановления изделия

Основными способами, применимыми для восстановления коленчатых валов являются:

– Зашлифовка под ремонтные размеры: позволяет исправить овальность из-за уменьшения диаметра шеек вследствие износа, задиры. К преимуществам данного метода стоит отнести простоту и дешевизну, а к недостаткам необходимость заменять сопрягаемую с восстановленной деталью другую деталь, что ведет к увеличению номенклатуры деталей, усложнению логистики.

– «Наплавка под слоем флюса: представляет собой нанесение покрытия металлического слоя, когда сварочная дуга, находящаяся между деталью и электродом, защищена от воздействия окружающей среды слоем флюса» [16]. К преимуществам стоит отнести возможность восстанавливать слои с большим износом (3...5мм), высокую производительность на больших площадях, высокое качество наплавленного валика. К недостаткам же следует отнести увеличенную зону нагрева, что делает невозможным наплавку деталей малых и сложных форм, высокую стоимость оборудования, снижение прочностных характеристик, возможность образования пор и трещин.

– Газопламенное напыление: формирование расплавленных частиц и перенос их на напыляемую поверхность. К преимуществам следует отнести получение покрытий с температурой плавления меньше 2800 градусов без разложения, высокая производительность процесса, простота оборудования и автоматизации, «формирование капель (частиц) малого размера расплавленного металла и перенос их на обрабатываемую поверхность, где они удерживаются, формируя тем самым непрерывное покрытие» [18]. к недостаткам – недостаточная прочность покрытия, наличие пористости,

невозможность нанесения тугоплавких покрытий, невысокий КПД на нагрев порошка.

– Лазерная наплавка: метод нанесения материала путем создания ванны расплава от воздействия лазерного луча. Преимущества такого метода состоят в: «металлургическая связь, достигаемая при низких температурах, является самым большим преимуществом лазерной наплавки. Поскольку в лазерной наплавке используется металлургическое соединение, покрытия имеют очень небольшую пористость, что обеспечивает превосходную долговременную коррозионную стойкость»[15], также стоит отметить возможность нанесения толстых слоев за один проход и низкую температуру теплового воздействия. Из недостатков следует отметить наличие холодных микротрещин, образование внутренних и наружных пор, высокая себестоимость оборудования, низкий КПД, малая производительность, ограничения процесса в гибкости, сложность в нанесении тонких слоев, ограничения по материалам.

«Термоотверждение и лазерное легирование металлическими компонентами инициируют гомогенизацию поверхностного слоя, который определяет его высокую износостойкость и несущую способность»[19]

– Электроконтактное напекание порошка: процесс припекания порошка к поверхности деталей путем термического воздействия и прессования. Преимущества такого способа восстановления состоят в высокой производительности, малой глубине теплового воздействия, высокой износостойкости напеченного слоя, «возможность получения пористых покрытий. К недостаткам необходимость применения токов большой плотности (3000А на один см ширины напекания или ширины ролика»[4].

–«Электродуговая металлизация: перенос сжатым воздухом частиц, образовавшихся от расплавления двух проволок горячей между ними электрической дугой. Из преимуществ этого способа высокая производительность, простота оборудования, низкие энергозатраты,

эффективное использование материала, малое тепловое воздействие, простота автоматизации. Из недостатков – ограниченный круг материалов, наличие оксидов в покрытии, пористость, в некоторых случаях недостаточная прочность сцепления с поверхностью.»[10]

– Индукционная наплавка: нанесение слоя металла на рабочую поверхность детали, разогрев которой происходит за счет использования индукционного нагрева токов высокой частоты. Преимущества данного способа состоят в малой глубине проплавления основного металла, повышенной износостойкости наплавленного слоя, высокая производительность в условиях серийного производства. К недостаткам можно отнести низкий к.п.д. процесса, перегрев основного металла, возможность использовать для наплавки только материалы с температурой плавления меньше, чем у основного металла[11].

– «Детонационное напыление: способ нанесения покрытий для восстановления и/или упрочнения изделий, используя кинетическую энергию взрывчатой смеси. Преимущества данного метода в высокой адгезии, возможности использовать тугоплавкие материалы, отсутствие перегрева основного металла, низкая пористость, простота технологии. К недостаткам следует отнести высокий уровень шума, наличие взвешенных частиц в воздухе, наличие продуктов сгорания с образованием вредных примесей"» [2]

«В процессе детонационного напыления в детонационную камеру впрыскивается смесь распыляемого материала, ацетилена, пропана и кислорода.

Чтобы предотвратить возможное обратное срабатывание, газовые входы накрываются слом газообразного азота. Одновременно в камеру сгорания вносится заданное количество порошка для нанесения покрытий. Газовая камера воспламеняется с помощью свечи зажигания.

Температура горючих газов и скорость распространения ударной волны зависят от соотношения рабочих газов.»

1.7 Выбор способа восстановления

Проанализировав информацию принято решение о применении детонационного напыления.

Данный метод имеет несколько важных преимуществ перед другими способами восстановления коленчатых валов.

Так, ввиду отсутствия высокотемпературного воздействия можно избежать локального перегрева, коробления вала, укорачивания его длины из-за циклов нагрева–остывания.

Также весомым фактором выбора данного метода послужила возможность применять высокопрочные сплавы из карбидов титана и вольфрама. Применение подобных порошковых материалов позволит получить качество поверхности, превосходящее оригинальное изделие.

Из достоинств данного метода следует отметить высокую адгезию, качество шероховатости, простоту технической реализации, относительная дешевизна расходных материалов.

1.8 Сформулировать задачи работы

В ходе выпускной квалификационной работы необходимо разработать технологический процесс и оборудование для выполнения работ по восстановлению коленчатого вала методом детонационного напыления.

Выполненная в ходе выпускной квалификационной работы последовательность действий должна привести к качественному улучшению технологического процесса детонационного напыления.

Основными задачами являются:

1. Разработка технологического процесса восстановления коленчатого вала с помощью детонационного напыления.

2. Разработка технологического комплекса для осуществления процесса детонационного восстановления

2 Разработка технологического процесса восстановления коленчатого вала грузовых автомобилей

2.1 Требуемые показатели

В коленчатом валу износу подвержены прежде всего шатунные шейки (рисунок 2).

В ходе восстановления нужно выполнить следующие условия:

- Соблюдение требуемых размеров и шероховатостей;
- Твердость поверхности;
- Прочность сцепления напыленного порошка с основным металлом;
- Симметричность и соосность.

2.2 Выбор материала

Для детонационного с целью повышения износостойкости используют карбиды титана/вольфрама.

В данной выпускной работе используем порошок ВК25 размером 20-63 мкм. Он позволяет получить покрытие должного качества, полностью соответствующее требованиям по твердости, долговечности, адгезии. В таблице 4 представлены характеристики напыляемого порошка.

Таблица 4 – Физические характеристики порошка ВК25 [13]

Измерение	Значение	Единицы измерения
Тепловое расширение	10,1–17,1	Е ⁻⁶
Теплопроводность	55,4–75,5	Вт/м·К
Удельная теплоемкость	456	Дж/кг·К
Температура плавления	137–1400	град·С
Рабочая температура	0–500	град·С
Плотность	8000	кг/м ³

2.4 Схема техпроцесса восстановления коленчатого вала грузового автомобиля

Последовательность действий по восстановлению коленчатого вала:

– Разборка коленчатого вала гаечными ключами, очистка поверхности от загрязнений.

– Зачистка поверхности пневмошлифмашинкой Messer–M33386-750 Вт с абразивным кругом для ручных машин по ГОСТ –23182-78

– Дефектация коленчатого вала проведением замеров микрометром и сравнение с базовыми.

– Обезжиривание поверхности, используя обезжириватель Reoflex.

– Детонационное напыление, используя детонационную пушку CDDS2000 и спроектированный комплекс для выполнения технологического процесса.

– Зашлифовка шеек коленчатого вала под исходные размеры на специальном станке для перешлифовки шеек коленчатых валов 3A423 абразивным кругом 900x305x40мм.

– Контроль качества проведенных работ посредством проведения замеров микрометром и сравнения с требуемыми параметрами.

3 Выбор и разработка оборудования и приспособлений для восстановления коленчатого вала грузового автомобиля

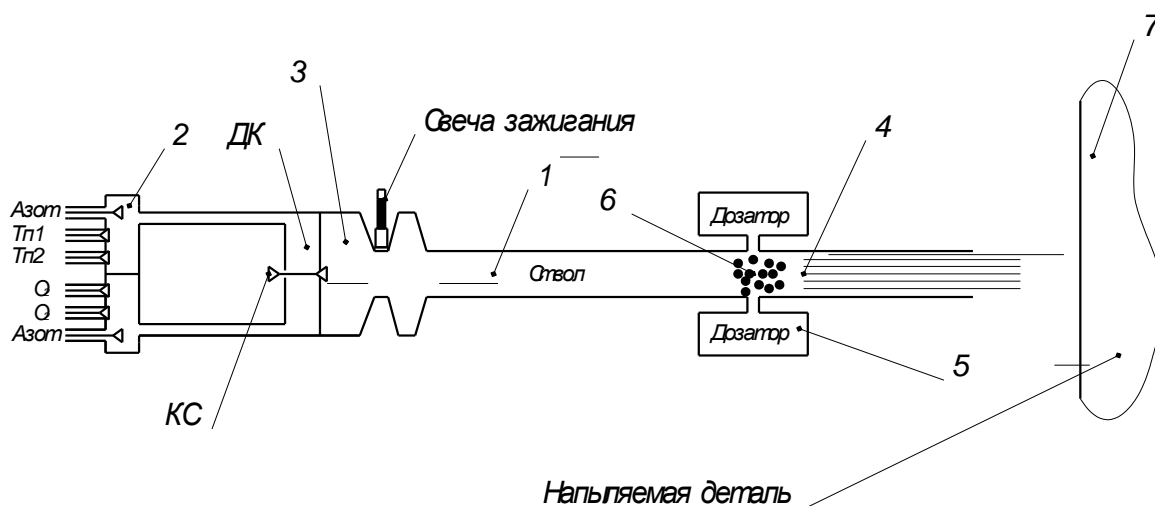
3.1 Общий вид технологии напыления

«Для восстановления размеров изношенных деталей автомобилей широко используется метод напыления, заключающийся в нагреве распыляемого материала высокотемпературным источником, образовании двухфазного газопорошкового потока¹ и формировании покрытия на поверхности детали толщиной менее 1 мм.

Одной из разновидностей напыления является детонационное, то есть использующие энергию детонации газовых смесей (кислород + горючий газ), в которых перенос и нагрев частиц осуществляется ударной волной, образующейся в результате взрыва горючей смеси и выделения при этом теплоты.» [1]

Общая схема напыления и детонационной пушки представлена на рисунке 4.

Схема технологического процесса представлена в приложении Г.



Тп1 – ацетилен, Тп2 – пропан/пропилен, ДК – демпферная камера, КС – клапан смесителя

Рисунок 4 – Общая схема детонационного напыления[2]

В качестве рабочих газов используются два горючих газа плюс кислород и азот.

Демпферная камера перед выстрелом продувается азотом для предотвращения попадания пламени в газовый смеситель.

Изменяя пропорции подаваемых горючих газов + кислород изменяется сила детонации. Этого можно оперативно достичь благодаря наличию нескольких топливных магистралей.

3.2 Выбор детонационной пушки

Проанализировав имеющееся на рынке оборудование сделан выбор в пользу детонационной пушки на базе технологии CDDS2000[22] (рисунок 5), разработанной в ИГиЛ СО РАН [12].

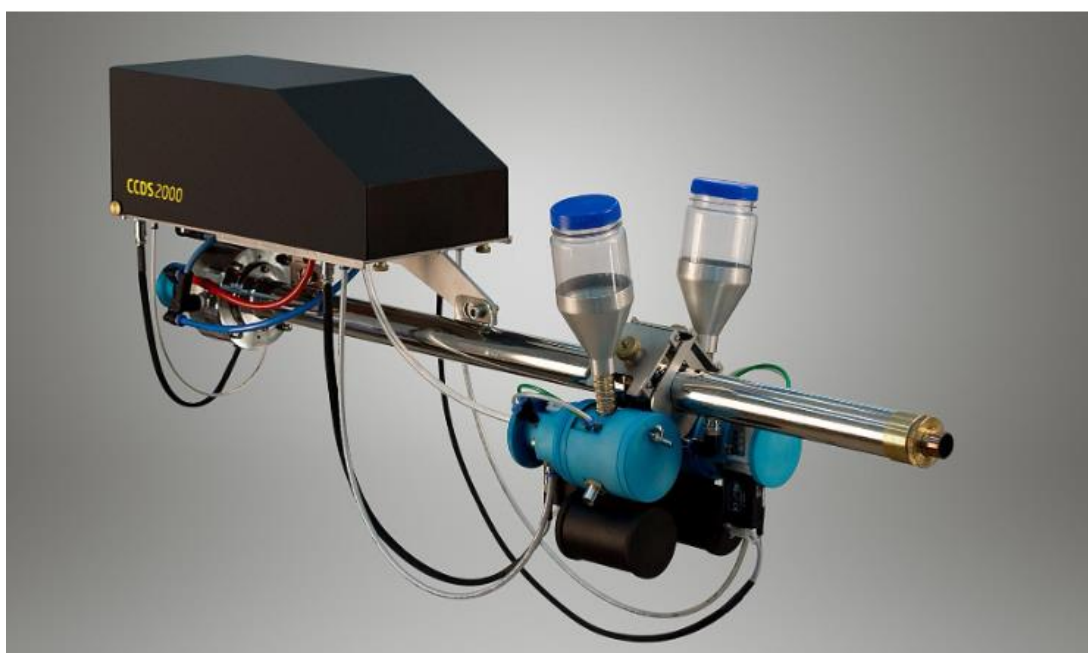


Рисунок 5 – Детонационная пушка на базе технологии CDDS2000, разработанной в ИГиЛ СО РАН[22]

Одним из преимуществ данной установки является реализация системы многоканальной подачи топлива – технология Super D-Gun.

Современные органы управления и внедрение автоматизации позволяют обеспечить строгое дозирование компонентов и обеспечить необходимый режим напыления.

«Ключевым преимуществом метода CDDS является возможность контроля количества взрывоопасной смеси, используемой для каждого выстрела.»[20]

«На рисунке 4 показана установка CCDS2000. Канал внутри ствола пушки 1 заполняется газами с помощью прецизионной газораспределительной системы 2, управляемой компьютером. Процесс начинается с заполнения канала газом-носителем. После этого подается определенная порция взрывчатой смеси с образованием стратифицированной газовой среды, состоящей из заряда взрывчатого вещества 3 и газа-носителя 4. С помощью потока газа-носителя порох впрыскивается в ствол (управляемым компьютером питателем 5) и образует облако 6. Подложка 7 размещается на определенном расстоянии от выходного отверстия ствола. После впрыскивания порции порошка компьютер дает сигнал на инициирование детонации. Это реализуется электрической искрой. Продолжительность взрывного горения заряда составляет около 1 мс. В взрывчатой смеси формируется волна детонации, трансформирующаяся в газе-носителе в ударную волну. Продукты детонации (нагретые до 3500–4500 К) и газ-носитель (нагретый ударной волной до 1000–1500 К) движутся со сверхзвуковой скоростью. Время взаимодействия газов с распыляемыми частицами составляет 2–5 мс. При детонационном напылении частицы порошка могут полностью расплавляться при ускорении. Скорости частиц могут достигать 800 м/с.»[22]

3.3 Разработка технологического комплекса для обеспечения перемещения детонационной пушки и вращения заготовки

В ходе выпускной квалификационной работы был разработан комплекс, позволяющий осуществлять процесс детонационного напыления на детали типа коленчатый вал.

Данный комплекс позволяет использовать возможности автоматизации и точного регулирования подачи компонентов смеси, что приводит к снижению опасных факторов воздействия на жизнь и здоровья персонала и улучшает качество получаемых изделий.

Общий вид комплекса для детонационного напыления представлен на рисунке 6.

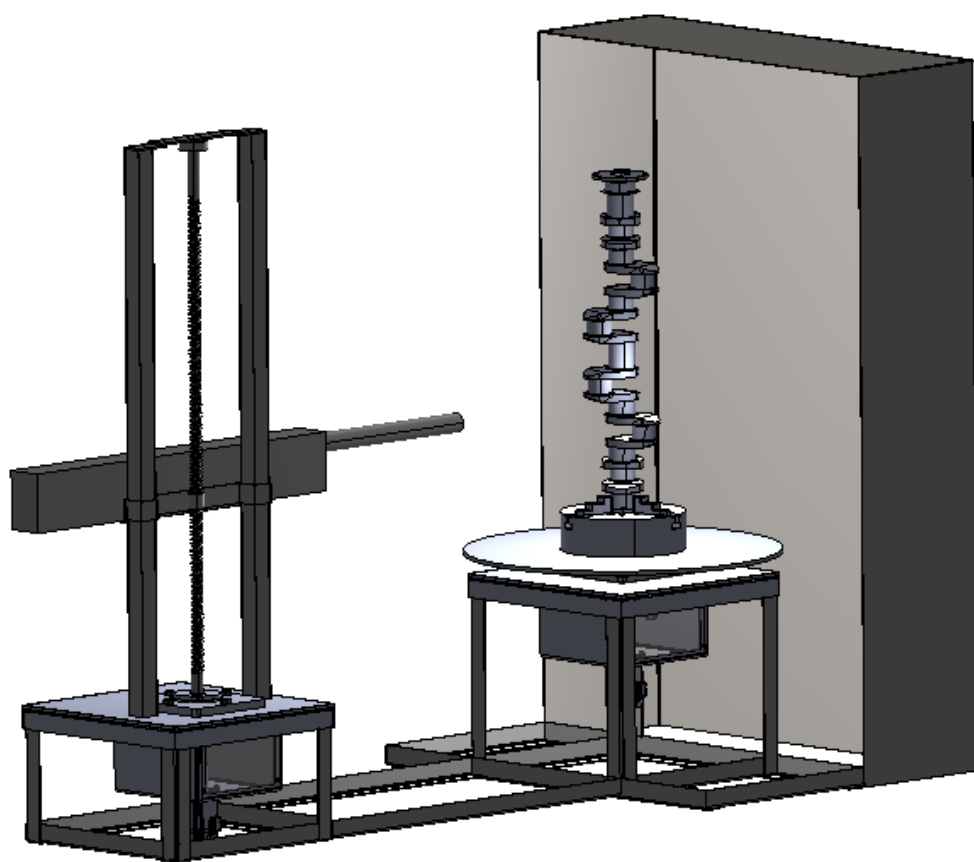


Рисунок 6 – Общий вид комплекса для детонационного напыления

Перемещение по вертикальной оси осуществляется посредством сервопривода, через муфту соединяется с винтом, на котором находится резьбовая втулка, перемещающая пушку. На другом конце винта находится

радиальный подшипник, соединенный с винтом через соединительную рейку и винт. Ход вертикального передвижения по винту = 1135 мм.

На рисунке 7 изображен максимальный ход пушки по вертикали.

Для ограничения хода предусмотрена установка концевых выключателей оптических. На детонационной пушке установлен отражатель. При пересечении с которым луч от датчика подает управляющий сигнал на прекращение движения

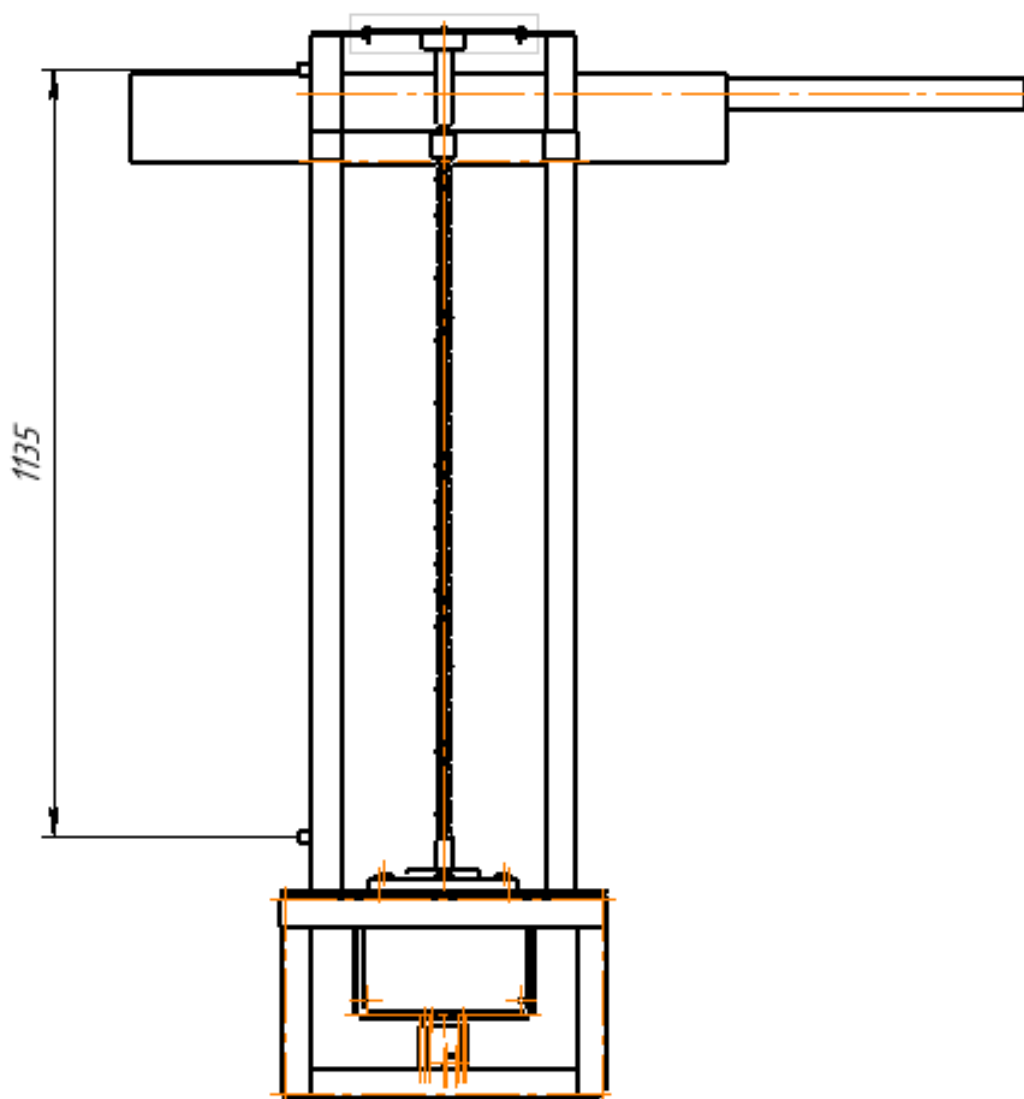


Рисунок 7 – Ход вертикального перемещения детонационной пушки

Стойки из уголка служат направляющими, по которым ездят уголки из части сварной конструкции вместе с резьбовой втулкой.

В качестве ограничителя хода служат оптические путевые выключатели при перекрытии которых идет сигнал на остановку привода.

Предусмотрено смотровое окошко, также используемое для техобслуживания и ремонта узлов.

Поворот детали вокруг оси реализован также сервоприводом, через муфту к сварному валу, лежащему на упорном подшипнике. Снизу радиальный подшипник. Далее через потайные винты крепится стол, на котором установлен трехкулачковый патрон, в котором происходит зажим детали.

Каркасом служит ферма из профиля. Сзади установлен защитный экран.

Сборочный чертеж установки представлен в приложении Д.

4 Безопасность и экологичность технического объекта

4.1 Конструктивно-технологическая и организационно-техническая характеристика рассматриваемого технического объекта.

Техническим объектом ВКР является комплекс для детонационного напыления, характеризуется технологическим паспортом объекта.

В таблице 5 указаны параметры, входящие в технологический паспорт объекта

Таблица 5 – Технологический паспорт технического объекта

№ п/п	Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Материалы, вещества
1	2	3	4	5	6
1	Восстановление коленчатого вала	Разборка	Слесарь 18511, 1 человек	Гаечные ключи	
		Зачистка	Слесарь 18511, 1 человек	Пневмошлифмашинка	Круг абразивный для ручных машин
		Обезжиривание	Слесарь 18511, 1 человек	Микрофибра	Обезжириватель
		Детонационное напыление	Оператор станков с программным управлением 16045, 1 человек	Детонационный комплекс на базе CDDS2000	Порошок ВК25, ацетилен, пропан, кислород, азот.
		Зашлифовка	Оператор станков с программным управлением 16045, 1 человек	Станок для перешлифовки шеек коленчатых валов 3А423	Круг шлифовальный 3А1 Аэробор, абразивный завод Ильич

4.2 Идентификация профессиональных рисков

В таблице 6 указан перечень профессиональных рисков на производстве

Таблица 6 – Идентификация профессиональных рисков

№ п/п	Производственно-технологическая и/или эксплуатационно-технологическая операция, вид выполняемых работ	Опасный и /или вредный производственный фактор	Источник опасного и /или вредного производственного фактора ³
1	2	3	4
1	Разборка	Механические повреждения	Задиры, вес объектов
2	Зачистка	Механические повреждения, абразивная пыль	Подвижная часть механизма пневмошлифмашинки, вылетающая пыль
3	Обезжиривание	Опасность воспламенения, пары	Обезжириватель
4	Детонационное напыление	Шум, опасность взрыва/воспламенения, вибрация, световые вспышки	Детонационная установка, баллоны с жидким газом.
5	Зашлифовка	Шум, пыль, механические повреждения	Подвижная часть механизма станка, вылетающая пыль

Детонационное напыление производится в соответствии с отраслевым стандартом ГОСТ 27953-88.

Зашлифовка под ремонтные размеры выполняется соответственно ГОСТ Р 52588-2011

4.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Для снижения/устранения опасных/вредных производственных факторов предусмотрен ряд организационно-технических мероприятий и технических средств.

Первоочередным методом предупреждения возникновения негативного воздействия вредных факторов является проведение первичного/целевого инструктажа с персоналом, также работники обеспечиваются необходимыми СИЗ. По возможности исключается контакт между персоналом и источником вредных факторов путем реализации технологии дистанционного управления, изоляции опасного участка.

В таблице 7 указаны меры предупреждения возникновения негативных факторов

Таблица 7 – Организационно-технические методы и технические средства (технические устройства) устранения (снижения) негативного воздействия опасных и вредных производственных факторов.

№ п/п	Опасный и / или вредный производственный фактор	Организационно-технические методы и технические средства защиты, частичного снижения, полного устранения опасного и / или вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
1	2	3	4
1	Острая стружка, задиры	Проведение инструктажа, использование защитных экранов, эмульсии	Защитные очки, форма, перчатки, ботинки, респиратор
2	Движущиеся части механизмов	Проведение инструктажа, защитные экраны, контактные защитные коврики	Защитные очки, форма, перчатки, ботинки
3	Шум/вибрация	Использование изоляции фундамента и стен, вынос рабочего места отдельно от источника шума, использование рациональных режимов труда и отдыха	Противошумные вкладыши/наушники/каска
4	Пары	Проведение инструктажа	Защитные очки, респиратор.
5	Световые вспышки	Проведение экранирования	Защитные очки

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4
6	Опасность взрыва/воспламенения	Проведение инструктажа, категоризация помещений и объектов, разделение обязанностей между причастными к пожарной безопасности, комплектация средствами пожаротушения, проточная вентиляция	Огнетушитель ОП-2

Проводимые мероприятия по устранению/снижению негативных факторов в соответствии

1. ГОСТ 12.1.003-2014. Межгосударственный стандарт. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
2. ГОСТ 12.1.012-2004. ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.
3. ГОСТ 12.2.008-75*. ССБТ. Оборудование и аппаратура для газопламенной обработки металлов и термического напыления покрытий. Требования безопасности".
4. ГОСТ 12.2.029-88. ССБТ. Приспособления станочные. Требования безопасности.
5. ГОСТ 12.2.033-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.
6. ГОСТ 12.2.061-81. Межгосударственный стандарт. ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам.
7. ГОСТ 12.1.029-80 (СТ СЭВ 1928-79). ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.
8. ГОСТ 12.3.002-75. Межгосударственный стандарт. ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности.
9. ПОТ Р М-004-97. Межотраслевые правила по охране труда при использовании химических веществ.

10. ГОСТ 12.3.025-80. ССБТ. Обработка металлов резанием. Требования безопасности.

4.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

В таблице 8 указаны пожароопасные факторы производства

Таблица 8 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

№ п/п	Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
1	2	3	4	5	6
1	Детонационное напыление	CDDS2000	С	Пламя и искры, тепловой поток, повышенная температура окружающей среды, пониженная концентрация кислорода, повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения.	Образующиеся в процессе пожара осколочные фрагменты, крупногабаритные части разрушившихся строительных зданий, инженерных сооружений, энергетического оборудования, технологических установок, производственного и инженерно-технического оборудования, опасные факторы взрыва
2	Зашлифовка	ЗА423	В	Пламя и искры, тепловой поток, повышенная температура окружающей среды, пониженная концентрация кислорода, повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения,	Образующиеся в процессе пожара осколочные фрагменты, крупногабаритные части разрушившихся строительных зданий, инженерных сооружений, энергетического оборудования, технологических установок, производственного и инженерно-технического оборудования, произведенной и/или хранящейся продукции и материалов и иного имущества

В таблице 9 указаны технические средства для обеспечения безопасности

Таблица 9 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Первичные средства пожаротушения	1	Огнетушитель углекислотный ОУ-3, противопожарное полотно
Мобильные средства пожаротушения	2	Пожарный автомобиль АГ-20
Стационарные установки системы пожаротушения	3	Автоматическая дренчерная система пожаротушения Viaplast
Средства пожарной автоматики	4	Извещатели пожарные тепловые, автоматическая система пожаротушения, система дымоудаления
Пожарное оборудование	5	Огнетушители, знаки безопасности, информационный стенд, автоматическая система пожаротушения, система дымоудаления, противопожарное полотно
Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	6	Изолирующая полумаска ИСТОК-300
Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	7	Пожарный багор, лом, топор
Пожарные сигнализация, связь и оповещение	8	Пожарная сигнализация

В таблице 10 указан перечень организационных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности

Таблица 10 – Организационные мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Наименование технологического процесса, используемого оборудования в составе технического объекта	Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий	Предъявляемые нормативные требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
1	2	3
Детонационное напыление CDDS2000, баллоны с пропаном, ацетиленом	Установление противопожарного режима, противопожарный инструктаж	Определение круга лиц, отвечающего за противопожарную безопасность, введение режима пожароопасности, оснащение помещений приборами пожаротушения, утверждение порядка эвакуации, организация размещения знаков, табличек.

Продолжение таблицы 10

1	2	3
Зашлифовка	Установление противопожарного режима, противопожарный инструктаж	Определение круга лиц, отвечающего за противопожарную безопасность, введение режима пожароопасности, оснащение помещений приборами пожаротушения, утверждение порядка эвакуации, организация размещения знаков, табличек.

5 Оценка экономической эффективности проектной технологии

5.1 Исходная информация для выполнения экономической оценки предполагаемых технических решений

В данной выпускной квалификационной работе предложено решение для восстановления коленчатых валов грузовых автомобилей детонационным напылением. Принято решение использовать детонационную пушку CDDS2000, разработанную ИГИЛ ССО РАН, на базе которой спроектирован комплекс детонационного напыления с поворотным столом и подъемным механизмом.

Базовый вариант технологии предполагает использование технологии зашлифовки под ремонтные размеры

Замена базового варианта проектной технологией позволит получать покрытия большей твердости, обладающие лучшими антикоррозионными и устойчивыми к химическим воздействиям, свойствам. Также стоит отметить большую гибкость технологии, так как зашлифовкой можно восстанавливать валы до размеров, находящихся в пределах ремонтных.

В данном разделе следует оценить затраты на внедрение предложенных технических решений и потенциальный экономический эффект при принятии в производство данного метода.

Для выполнения экономических расчетов приведены исходные данные по базовой и проектной технологиям, таблица 11

Таблица 11 – Исходные данные для выполнения расчётов по оценке экономической эффективности проектной технологии по отношению к базовой технологии

Экономический показатель	Обозначение	Единица измерения	Значение	
			Базовая	Проектная
1	2	3	4	5
Разряд персонала	P_p	-	V	V
Часовая тарифная ставка	$C_{\text{ч}}$	Р/час	400	400
Смен на операцию	$K_{\text{см}}$	-	1	1
Коэффициенты для расчета заработной платы				
-доплат к основной работе	$K_{\text{доп}}$	%	12	12
-отчисления на социальные нужды	$K_{\text{сн}}$	%	30	30
Стоимость оборудования	$C_{\text{об}}$	Руб.	3500000	2000000
Установленная мощность оборудования	$M_{\text{уст}}$	кВт	11	1
Норма амортизации оборудования	N_a	%	21,5	21,5
Коэффициент транспортно-заготовительных расходов	$K_{\text{т-з}}$	%	5	5
Коэффициент затрат на монтаж и демонтаж	$K_{\text{мон}}, K_{\text{дем}}$	%	3	3
КПД	η	-	0,8	0,3-0,8
Стоимость электроэнергии	$C_{\text{э-э}}$	Р/кВт	10	10
Площадь цеха	S	м^2	10	10
Коэффициенты для расчета затрат на площади				
Стоимость эксплуатации	$C_{\text{экс}}$	$\frac{P}{\text{м}^2 \text{ год}}$	100000	100000
Стоимость помещения	$C_{\text{пл}}$	$\frac{P}{\text{м}^2}$	200000	200000
Норма амортизации	$N_a, \text{пл.}$	%	5	5

помещений				
-----------	--	--	--	--

Продолжение таблицы 11

1	2	3	4	5
Коэффициент цеховых расходов	$K_{\text{цех}}$	-	1,05	1,05
Коэффициент заводских расходов	$K_{\text{зав}}$	-	1,15	1,15
Коэффициент эффективности капитальных вложений	E_H	-	0,33	0,33

5.2 Расчет фонда времени работы оборудования

Суммарное число рабочих дней в году $D_p = 277$ дней

Длительность смены $T_{\text{см}} = 8$ часов

Количество праздничных дней $D_{\text{пр}} = 7$ дней

Уменьшение продолжительности смены в предпраздничные дни $T_{\text{п}} = 1$ час

Фонд времени

$$F_H = (D_p \times T_{\text{см}} - D_{\text{пр}} \times T_{\text{п}}) \times K_{\text{см}} \quad (1)$$

$$F_H = 277 \times 8 - 7 \times 1) \times 1 = 2209 \text{ ч}$$

Эффективный фонд работы оборудования при учете потерь рабочего времени $B=7\%$

$$F_3 = F_H (1 - B/100) \quad (2)$$

$$F_3 = 2209 (1 - 7/100) = 2054 \text{ ч}$$

5.3 Расчет штучного времени

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

$t_{маш}$ время машинное

$t_{всп}$ время вспомогательное

$t_{обсл}$ время обслуживания

$t_{отд}$ время отдыха рабочих

$t_{п-з}$ время подготовительно-заключительное

Производительность детонационного напыления составляет 60 см² в минуту. Таким образом на восстановление шейки коленчатого вала диаметром 80 мм и длиной 100 мм понадобится 5,83 минуты, что составляет

При зашлифовке на ремонтные размеры машинное время составит 10 минут

Штучное время

$$t_{штб} = 10 + 5 + 0,05 + 0,05 + 0,1 = 15,02 \text{ мин} = 0,25\text{ч}$$

$$t_{штпр} = 6 + 3 + 0,05 + 0,05 + 0,1 = 9,1\text{мин} = 0,15\text{ч}$$

Годовая программа $P_r = 500$ валов

Необходимое количество оборудования

$$n_{об.расч.} = \frac{N_{пр} \times t_{шт}}{F_3 \times 60} \quad (4)$$

$$n_{об.расч.б.} = \frac{500 \times 15,02}{2054 \times 60} = 0,06 \text{ шт}$$

$$n_{об.расч.п.} = \frac{500 \times 9,1}{2054 \times 60} = 0,04 \text{ шт}$$

При принятии количества оборудования $n_{пр} = 1$ получаем коэффициент загрузки оборудования

$$K_3 = \frac{n_{об.расч.}}{n_{пр}} \quad (5)$$

$$K_{зб} = 0,06$$

$$K_{зпр} = 0,04$$

5.4 Заводская себестоимость базового и проектного вариантов технологии

Затраты на материалы вычисляются с учетом нормы расходов H_p , цены материалов C_M и коэффициента транспортно-заготовительных расходов $K_{ТЗ}$.

$$M = C_M \times H_p \times K_{ТЗ} \quad (6)$$

$$ЗМ_б = 200 \text{ руб}$$

$$ЗМ_{пр} = 800 \text{ руб}$$

Объем основной заработной платы

$$З_{осн} = t_{шт} C_ч \quad (7)$$

$$З_{осн.б.} = 0,25 \times 400 = 80 \text{ руб}$$

$$З_{осн.пр.} = 0,15 \times 400 = 60 \text{ руб}$$

Дополнительная заработанная плата

$$З_{доп.} = З_{осн} \frac{K_{доп}}{100} \quad (8)$$

$$З_{доп.б.} = 80 \times \frac{12}{100} = 9,6 \text{ руб}$$

$$З_{доп.пр.} = 60 \times \frac{12}{100} = 7,2 \text{ руб}$$

Фонд заработной платы ФЗП равен сумме основной и дополнительной заработной платы

$$ФЗП_б = 89,6$$

$$ФЗП_{пр.} = 67,2$$

Отчисления на социальные нужды

$$O_{\text{сн}} = \Phi\text{ЗП} \times \frac{K_{\text{сн}}}{100} \quad (9)$$

$$O_{\text{сн.б}} = 89,6 \times \frac{30}{100} = 26,88 \text{ руб}$$

$$O_{\text{сн.пр}} = 67,2 \times \frac{30}{100} = 20,16 \text{ руб}$$

Затраты на оборудование рассчитываются как сумма затрат на амортизацию, электроэнергию и газ

$$Z_{\text{об}} = A_{\text{об}} + P_{\text{ээ}} + P_{\text{г}} \quad (10)$$

$$A_{\text{об}} = \frac{C_{\text{об}} H_{\text{а}} t_{\text{маш}}}{100 F_3} \quad (11)$$

$$A_{\text{об.б}} = \frac{3500000 \times 18 \times 15,02}{100 \times 2054 \times 60} = 77 \text{ руб}$$

$$A_{\text{об.пр}} = \frac{2000000 \times 18 \times 9,1}{100 \times 2054 \times 60} = 27 \text{ руб}$$

Затраты на электроэнергию

$$Z_{\text{ээ}} = \frac{P_{\text{об}} \times t_{\text{маш}}}{\eta} C_{\text{ээ}} \quad (12)$$

$$Z_{\text{ээ.б}} = \frac{11 \times 0,25}{0,8} 10 = 34,4 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{ээ.пр}} = \frac{1 \times 0,15}{0,8} 10 = 1,88 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{об.б}} = 77 + 34,4 = 111,4 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{об.пр}} = 27 + 1,88 + 20 = 48,88 \text{ руб}$$

Технологическая себестоимость

$$C_{\text{тех}} = M + \Phi\text{ЗП} + O_{\text{сн}} + Z_{\text{об}} \quad (13)$$

$$C_{\text{тех.б.}} = 200 + 400 + 26,88 + 34,4 = 661,28 \text{ руб}$$

$$C_{\text{тех.пр.}} = 200 + 400 + 20,16 + 1,88 = 622,04 \text{ руб}$$

Цеховая себестоимость

$$C_{\text{цех}} = C_{\text{тех}} + Z_{\text{осн}} \times K_{\text{цех}}$$

(13)

$$C_{\text{цех.б.}} = 661,28 + 1,5 \times 89,6 = 795,4 \text{ руб}$$

$$C_{\text{цех.пр.}} = 622,04 + 1,5 \times 67,2 = 722,8 \text{ руб}$$

Заводская себестоимость

$$C_{\text{зав}} = C_{\text{цех}} + Z_{\text{осн}} \times K_{\text{цех}}$$

(14)

$$C_{\text{зав.б.}} = 795,68 + 89,6 \times 1,5 = 929,8 \text{ руб}$$

$$C_{\text{зав.пр.}} = 722,84 + 67,2 \times 1,5 = 823,6 \text{ руб}$$

В таблице 12 сведена калькуляция стоимости сварки.

Таблица 12 – Калькуляция технологической, цеховой и заводской себестоимости сварки

Наименование экономического показателя	Обозначение	Калькуляция	
		Базовый	Предлагаемый
Расходы на основные материалы	М	200	200
Расходы на заработанную плату	ФЗП	80	60
Отчисления на социальные нужды	Осн	26,88	20,16
Затраты на оборудование	Зоб	111,4	48,88
Технологическая себестоимость	Стех	661,28	622,04
Цеховая себестоимость	Сцех	795,4	722,8
Заводская себестоимость	Сзав	929,8	823,6

5.5 Капитальные вложения

$$K_{\text{общ.б.}} = \Pi_{\text{об}} K_3 \quad (15)$$

$$\Pi_{\text{об}} = \Pi_{\text{перв}} - \left(\frac{\Pi_{\text{перв}} T_{\text{сл}} H_A}{100} \right) \quad (16)$$

$$\Pi_{\text{об.б.}} = 3500000 - \left(\frac{3500000 \times 2 \times 21,5}{100} \right) = 1995000 \text{ руб}$$

$$K_{\text{общ.б.}} = 1995000 \times 0,06 = 119700 \text{ руб}$$

$$K_{\text{общ.пр.}} = K_{\text{об.пр.}} + K_{\text{пл.пр.}} + K_{\text{соп.}} \quad (17)$$

$$K_{\text{об.пр.}} = \Pi_{\text{об}} K_{\text{тз}} K_{\text{зп}}$$

$$K_{\text{об.пр.}} = 2000000 \times 1,05 \times 0,04 = 84000 \text{ руб}$$

$$K_{\text{соп}} = K_{\text{дем}} + K_{\text{монт}} \quad (18)$$

$$K_{\text{дем.б.}} = \Pi_{\text{об}} K_{\text{д}} \quad (19)$$

$$K_{\text{монт.}} = \Pi_{\text{об}} K_{\text{монт.}} \quad (20)$$

$$K_{\text{дем.б.}} = 3500000 \times 0,025 = 87500 \text{ руб}$$

$$K_{\text{монт.пр.}} = 2000000 \times 0,025 = 50000 \text{ руб}$$

$$K_{\text{соп}} = 275000 \text{ руб}$$

$$K_{\text{общ.пр.}} = 87500 + 50000 = 137500 \text{ руб}$$

$$K_{\text{доп.}} = K_{\text{общ.пр.}} - K_{\text{общ.б.}} \quad (21)$$

$$K_{\text{доп.}} = 137500 - 119700 = 17800 \text{ руб}$$

5.6 Показатели экономической эффективности

Расчет снижения трудоемкости

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{t_{\text{шт.б}} - t_{\text{шт.пр.}}}{t_{\text{шт.б}}} 100\% \quad (22)$$

$$\Delta t_{\text{шт}} = \frac{0,25 - 0,15}{0,25} 100\% = 40\%$$

Расчет повышения производительности труда

$$П_{\text{т}} = \frac{100 \Delta t_{\text{шт}}}{100 - \Delta t_{\text{шт}}} \quad (23)$$

$$\Delta П_{\text{т}} = \frac{100 \times 40}{100 - 40} = 67\%$$

Расчет снижения технологической стоимости $\Delta C_{\text{тех}} = \frac{C_{\text{тех.б.}} - C_{\text{пр.}}}{C_{\text{тех.б.}}} 100\%$

$$\Delta C_{\text{тех}} = \frac{661,28 - 622,04}{661,28} 100\% = 5,9\%$$

Расчет условно-годовой экономии (ожидаемой прибыли)

$$\text{Пр}_{\text{ож}} = \text{Э}_{\text{у.г.}} = (C_{\text{зав.б.}} - C_{\text{зав.пр.}}) П_{\text{т}} \quad (24)$$

$$\text{Э}_{\text{у.г.}} = (929,8 - 823,6) \times 500 = 53100 \text{ руб}$$

$$T_{\text{ок.}} = \frac{K_{\text{доп.}}}{\text{Э}_{\text{у.г.}}} \quad (25)$$

$$T_{\text{ок.}} = \frac{239300}{53100} = 4, \text{ года}$$

$$\text{Э}_{\text{г.}} = \text{Э}_{\text{у.г.}} - E_{\text{н.}} K_{\text{доп.}} \quad (26)$$

$$\text{Э}_{\text{г.}} = 53100 - 0,33 \times 17800 = 47226 \text{ руб}$$

Увеличение долговечности

$$T_{\text{сл.}} = \frac{\sum T_i}{N} \quad (27)$$

T_i Срок службы i -го изделия

T Число наблюдаемых изделий

$$T_{\text{сл.б.}} = \frac{30}{3} = 10$$

$$T_{\text{сл.пр.}} = \frac{45}{3} = 15$$

Коэффициент сравнительной долговечности

$$K_{\text{д.}} = \frac{T_{\text{сл.пр.}}}{T_{\text{сл.б.}}} \quad (28)$$

$$K_{\text{д.}} = \frac{15}{10} = 1,5$$

Заключение

В ходе выпускной квалификационной работы по теме «Технология и оборудование для восстановления коленчатых валов грузовых машин» был проведен анализ существующих способов восстановления наплавкой, напылением и механической обработкой, сделаны выводы о целесообразности их применения в конкретном случае. По итогу анализа был сделан выбор в пользу использования технологии детонационного напыления, спроектирован автоматизированный комплекс для осуществления технологического процесса.

В качестве пушки для детонационного напыления использовано оборудование разработки производства ООО «Сибирские технологии защитных покрытий», город Новосибирск. Данное оборудование позволяет напылять защитные покрытия большой прочности и твердости, что важно для долговечной службы коленчатых валов.

Со своей стороны, спроектирован поворотный механизм, обеспечивающий вращение закрепленного в нем через трехкулачковый патрон коленчатый вал и подъемный механизм для детонационной пушки. Выбраны сервоприводы для обеспечения подачи, спроектированы узлы и механизмы для передачи движения от сервоприводов.

Разработан весь технологический цикл процесса восстановления коленчатого вала, включающий разборку, очистку, дефектацию, обезжиривание, напыление, шлифовку и итоговый контроль изделия.

Проанализированы факторы различных воздействий процесса напыления на рабочий персонал, подобраны оптимальные меры по обеспечению безопасных условий труда.

Проанализирована экономическая эффективность применения данного способа производства, сделано сравнение с базовым.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Васильев А.Н., Л.Ф. Мелехин, Г.С. Рыбальченко, Детонационное напыление деталей//Журнал «Механики 21 веку» #№4, 2005, с.161-163.
2. В.В.Купаев. Наплавка как один из методов восстановительных работ при ремонте техники.
3. В.Ю. Ульяницкий, О.П. Солоненко, В.Е. Овчаренко и пр. Влияние микроструктуры СВС-порошков карбид титана-нихром на свойства детонационных покрытий//Журнал «Поверхность. Рентгеновские, синхронные и нейтронные исследования», 216, №10, С.53-63.
4. Гапатов Ф.Л./Перспективы развития и внедрения электроконтактного напекания металлических порошков: Тезисы доклада на конференции/XX научно-практическая конференция молодых ученых. 2019. <https://elibrary.ru/item.asp?id=13054258> (14.09.2022).
5. Заикин А.Н. Дудкин С.А. Восстановление коленчатого вала газопламенным напылением/Северный (Арктический) Федеральный университет имени М.В Ломоносова/Статья в сборнике трудов конференции, 2021, с.96-98.
6. Л.Н. Горина, М.И. . Раздел бакалаврской работы «Безопасность и экологичность технического объекта». Уч.-методическое пособие (2-е изд. Доп.). - Тольятти: изд-во ТГУ, 2021. –22 с
7. Методические указания по оформлению квалификационных работ по программам бакалавриата. Программ специалитета, программ магистратуры. Тольяттинский государственный институт
8. Н.С. Селюн. Характеристика методов восстановления и упрочнения шеек коленчатого вала автомобиля: сб.науч.тр./Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, 2018,с 130-133.
9. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 14 ноября 2016 года №634 «Об утверждении Правил по охране труда при нанесении металлопокрытий»

10. Хасуи А., Моригаки О. Наплавка и напыление / Пер.с яп.В. Н. Попова. Под ред.В. С. Степина, Н. Г. Шестернева. М.: Машиностроение, 1985. – 240с.

<https://moluch.ru/archive/294/66715> (10.10.2022)

11. Грохольский, Н. Ф. Восстановление деталей машин и механизмов сваркой и наплавкой. - М.: Машиностроение. – 1966. – 275с
<https://moluch.ru/archive/294/66715/> (10.10.2022).

12. <http://www.hydro.nsc.ru/technology/techn3.php> (17.04.2022)

13. <https://old.tspc.ru/tech/DET.php>(14.09.2022).

<https://cyberleninka.ru/article/n/naplavka-kak-odin-iz-metodov-vosstanovitelnyh-rabot-pri-remonte-tehniki/viewer> (10.10.2022)

15. <https://redmetsplav.ru/store/volfram/splavy-volframa-1/volfram-vk25/>

16. <https://separett.su/svarka/naplavka-pod-sloem-flyusa.html>. (14.09.2022).

17 <https://wikimetall.ru/metalloobrabotka/elektrodugovaya-etallizatsiya.html>. (14.09.2022).

18. Gobind1 , Jawala Parshad2 , Dr. Neel Kanth Grover 3/Improving Wear Resistance of Grey Cast Iron using Detonation Gun Sprayed Coatings: A Review / 1,2,3Department of Mechanical Engineering, S.B.S.S.T.C, Ferozepur, Punjab, INDIA

[https://www.ijemr.net/DOC/ImprovingWearResistanceOfGreyCastIronUsingDetonationGunSprayedCoatingsAReview\(303-307\).pdf](https://www.ijemr.net/DOC/ImprovingWearResistanceOfGreyCastIronUsingDetonationGunSprayedCoatingsAReview(303-307).pdf) (10.10.2022)

19. Kargapol'tsev S.K.1 , Shastin V.I.2 , Gozbenko V.E.3 , Livshits A.V.4 and Filippenko N.G.5, Laser Alloying of Wear Surfaces with Metal Components

https://ripublication.com/ijaer17/ijaerv12n17_27.pdf (10.10.2022)

20. book: Thermal Sprayed Coatings and their Performances, January 2015 pp.294-327

21. https://www.researchgate.net/publication/276882183_Detonation_Sprayed_Coatings_and_their_Tribological_Performances

https://www.researchgate.net/publication/276882183_Detonation_Sprayed_Coatings_and_their_Tribological_Performances

22. Vladimir Yu. Ulinsky, Dina V. Dudina, Alexandr A. Shtertser, Igor Smurov. Computer-Controlled Detonation Spraying: Flexible Control of the Coating Chemistry and Microstructure.//Journal «Metals 2019,9(12)