

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

Институт машиностроения  
(наименование института полностью)

---

Кафедра Проектирование и эксплуатация автомобилей  
(наименование)

15.04.01 Машиностроение  
(код и наименование направления подготовки)

---

Эксплуатация транспортных средств  
(направленность (профиль))

---

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему Исследование влияния гидродробеструйной обработки на  
поверхностное упрочнение шеек коленчатых валов автомобилей

Студент

Д.Н. Демин  
(И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

Научный  
руководитель

канд. техн. наук, доцент А.В. Бобровский  
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

## Оглавление

Введение	3
Глава 1 Восстановление коленчатого вала двигателя	9
1.1 Сущность осуществления процесса восстановления коленчатого вала	9
1.2 Анализ методов проведения технологического процесса восстановления коленчатого вала	14
Глава 2 Влияние гидродробеструйной обработки на поверхностное упрочнение шеек коленчатых валов автомобилей	33
2.1 Сущность процесса гидродробеструйной обработки	33
2.2 Исследование процесса проведения гидродробеструйной обработки	37
2.3 Технологический процесс восстановления коленчатого вала двигателя	47
Глава 3 Экономическая эффективность гидродробеструйной обработки шеек коленчатых валов автомобилей	56
3.1 Расчет экономической эффективности применения гидродробеструйной обработки	56
3.2 Оценка эффективности предлагаемых мероприятий	63
Заключение	68
Список используемых источников	70

## Введение

Коленчатый вал является базовой деталью в двигателе внутреннего сгорания, обладает большой массой и функциональной нагрузкой. Когда встает вопрос, следует восстанавливать или заменять коленчатый вал, то предпочтение обычно отдается более экономически выгодному восстановлению, особенно если речь идет о крупногабаритных изделиях износ которых может не превышать 2% от его общей массы.

Восстановление коленчатых валов имеет давние традиции, которые претерпевают изменения с появлением и развитием новых технологических процессов. Технологии восстановления коленчатых валов делятся на две основные группы, первая включает в себя разнообразные способы наплавки, а вторая различные способы газотермического напыления (ГТН). И те и другие способы имеют промышленное внедрение. Наплавка рекомендована для коленчатых валов из стали 45. Наиболее щадящим процессом с точки зрения термического влияния на материал основы является вибродуговая наплавка. Тем не менее, эти способы не избавлены от дефектов (поры, раковины, шлаковые включения, обнаруживаемых в процессе обработки).

Нанесение защитных и износостойких покрытий, в частности газопламенным напылением (ГПН) различных материалов, позволяет решать ряд вопросов, связанных с повышением ресурса деталей узлов трения различных механизмов и восстановлением изношенных поверхностей.

Напыление материалов может быть произведено следующими способами:

1. Плазменным методом. Этот метод даёт качественное покрытие, но очень дорог, так как создание плазмы требует определённых условий.
2. Электролитическим методом. При относительной дешевизне метода он обладает низкой производительностью.
3. Газопламенным методом. Этот метод наиболее подходит а данном случае, так как он недорог и обладает относительно высокой

производительностью (примерно в 20-30 раз быстрее чем электролитическим методом).

Газотермическое напыление является одним из способов нанесения покрытий на детали машин с целью увеличения их наружных и уменьшения внутренних размеров. Этот вид покрытий зарекомендовал себя как простой, экономичный и надежный способ восстановления размеров изношенных поверхностей деталей машин.

В ряде случаев ГТН применяется (или может применяться) также при изготовлении деталей для наращивания их размеров с одновременным нанесением материалов, придающих детали требуемые свойства (повышение твердости, износостойкости, антифрикционных и других свойств). Таким образом создаются биметаллические и полиметаллические изделия, у которых основной металл и нанесенное покрытие имеют различные свойства. Например, вязкую сердцевину и твердую рабочую поверхность или прочное основание и антифрикционное покрытие и т. д.

Газотермическое напыление дает возможность наносить работоспособные покрытия практически любой необходимой толщины (от 0,01 до 10 мм и более).

Процесс напыления при нормальных условиях и режимах можно вести с нагревом изделия до температуры не более 100°C. При необходимости эта температура может быть снижена дополнительным охлаждением в процессе напыления до 20—25°C. Таким образом, исключается опасность вредных температурных воздействий на основной металл изделия, что имеет место при сварке, наплавке и химико-термической обработке. В частности, при наращивании деталей наплавкой в результате термического влияния возникают внутренние напряжения, вызывающие остаточные деформации. Для снятия внутренних напряжений требуется общий предварительный подогрев и последующая термическая обработка наплавляемых деталей. Это ведет к их короблению и изменению размеров ранее обработанных поверхностей.

При газотермическом напылении покрытий наращивание деталей происходит со сравнительно большой скоростью. Так, нанесение стального покрытия электродуговым аппаратом производится примерно в 10—20 раз быстрее, чем электролитическое железнение (осталивание), и примерно в 100—200 раз быстрее, чем электролитическое хромирование. Все применяемые технологии восстановления деталей, в том числе существующая технология газопламенного напыления, предусматривают отдельные технологии по подготовке поверхности и ее последующего упрочнения на разном оборудовании. Смена базирования крупногабаритных коленчатых валов, сопряжено с определенными трудностями и требует применения дополнительного оборудования, для закрепления изделия в горизонтальном положении, а также приводит к потере адгезионных свойств, геометрии и качества поверхности упрочненного изделия и потери времени, следовательно, ведёт к снижению качества конечной детали.

Создание участка по восстановлению деталей поможет решить многие проблемы, в частности не придётся закупать новые детали, а восстановление старых может занять минимум времени. При этом восстановленные детали полностью удовлетворяют техническим требованиям, а кое в чём даже превосходят новые, в частности по прочностным характеристикам.

Но в любом случае, после проведения процедуры восстановления поверхности шеек коленчатого вала остаются вопросы по долговечности подобного покрытия и качества нанесенного покрытия. Технологией, которая позволяет решить вопрос качества и надежности покрытия является технология гидродробеструйного упрочнения поверхности коленчатого вала.

«Повышение качества и надежности восстановленных коленчатых валов, за счет создания внедрения новых ресурсосберегающих технологических процессов, повышения их производительности требует не столько обеспечения точности размеров, но и заданных физико-механических свойств поверхностного слоя; остаточных напряжений, наклепа (степень и глубина), рельефа микрогеометрии, которые имеют в

большинстве случаев превалирующее значение в обеспечении надёжной работы детали и всего изделия. На сегодняшний день наиболее актуальной проблемой является восстановление геометрических размеров коренных и шатунных шеек без существенного снижения усталостной прочности коленчатых валов.» [28]

«Процесс ГДО является весьма многогранным, т.к. он связан с такими сложнейшими явлениями, как удар сферой, трение, упруго-пластическая деформация, теплофизические процессы и др. Поэтому с целью попытки создания основ теории процесс ГДО рассматривается в весьма различных аспектах, в той или иной степени раскрывающих сущность природы этого процесса. В отдельных случаях для создания связи микроизменений в металле с внешними воздействиями, определяющими технологические параметры, процесс ГДО рассматривается как с микро-, так и с макро- точек зрения.» [14]

В связи с актуальностью вопроса восстановления изношенных коленчатых валов, темой диссертационного исследования принята «Исследование влияния гидродробеструйной обработки на поверхностное упрочнение шеек коленчатых валов автомобилей».

Наиболее подробно процесс гидродробеструйной обработки в машиностроении и технологических процессах восстановления деталей рассматриваются в научных работах таких авторов как Филонов И.П., Баршай И.Л., В.А. Горохов, Н.В. Беляков, А.Г. Схиртладзе, Петросов В.В. и ряд других авторов. В рамках диссертационных исследований проблемы городского пассажирского транспорта рассматривали и предлагали пути их решения такие авторы как Жирнов А.А., Андрушевич А. А., Анисович А.Г.

Теоретико-методологическую базу исследования составили научные работы и исследования, посвященные вопросам упрочнения поверхности изделий методами поверхностно-пластического деформирования, в том числе, при помощи дробеструйной обработки.

«Основные инструменты исследования: методы математического и экономического моделирования, математико-статистические методы, метод сравнения и аналогий, эконометрические методы.» [13]

Информационная база исследований представлена статистическими данными, собранными при проведении экспериментальных исследований, направленных на изучение процессов при поверхностно-пластическом деформировании слоя металла детали.

Научная новизна исследований: состоит в исследовании влияния гидродробеструйной обработки на поверхностное упрочнение шеек коленчатых валов автомобилей, проводимой после восстановления шеек напылением.

Практическая значимость исследования состоит в разработке комплексной технологии восстановления шеек коленчатого вала, в которой производится как восстановление первоначальных размеров методом напыления и последующей шлифовки, так и упрочнение поверхностного слоя гидродробеструйной обработки, результатом чего является улучшение эксплуатационных характеристик восстановленной детали..

«По теме диссертационного исследования опубликована 1 научная работа, общим объемом 0,6 печ.л.» [13]

В первой главе магистерской диссертации рассматриваются теоретические вопросы, посвященные процессу восстановления коленчатого вала двигателя. Рассматриваются основные характеристики конструкции и виды износа, определяются возможные методы восстановления геометрии и производится их сравнительный анализ..

Вторая глава рассматривает влияние гидродробеструйной обработки на качество поверхности коленчатого вала. Производится исследование процесса гидродробеструйной обработки, в соответствии с экспериментами, проводимыми в рамках диссертационного исследования. Представлены математические модели производимых экспериментальных исследований. Разработан технологический процесс восстановления коленчатого вала

автомобиля, в котором была применена гидродоробеструйная обработка, как часть технологического процесса восстановления геометрии

В третьей главе магистерской диссертации производится оценка экономической эффективности предлагаемых мероприятий. Производится оценка предлагаемой в работе технологии восстановления шеек коленчатого вала, с учетом материальных и трудовых затрат.

В заключении излагаются основные результаты проведенного исследования, даются практические рекомендации.

# Глава 1 Восстановление коленчатого вала двигателя

## 1.1 Сущность осуществления процесса восстановления коленчатого вала

Коленчатый вал (рисунок 1.1) является несимметричной деталью, служит для передачи поступательного движения во вращательное. Несколько шатунных шеек поочередно приводятся в движение, передавая энергию, на основную ось вала, которая является осью коренных шеек. У коленвала на заднем торце есть отверстие под маленький подшипник. В этом подшипнике вращается первичный вал КПП, на котором размещен диск сцепления.

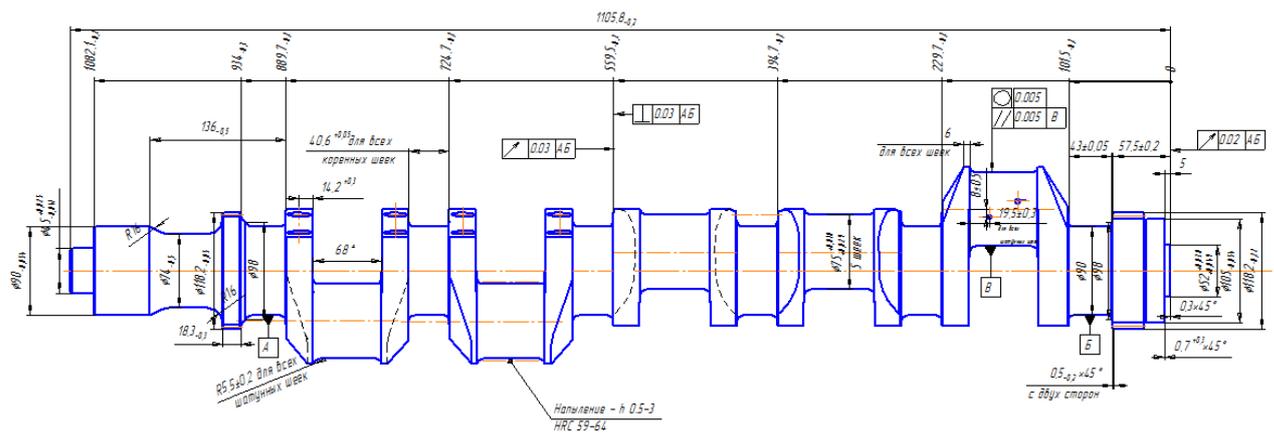


Рисунок 1.1 - Вал коленчатый

Отверстие под этот подшипник должно быть строго соосно с коренными шейками и сальниковыми поверхностями коленвала.

«На концах коленчатого вала находятся посадочные поверхности шестерен, шкивов, маховиков, а также рабочие поверхности под сальники. Вал должен быть жестким и прочным, причем очень важна его усталостная прочность, т.е. способность выдерживать переменные нагрузки.

Одновременно поверхности шеек коленвала должны обладать способностью противостоять износу на протяжении многих тысяч часов

работы. Ну а все вместе это достигается соответствующей конструкцией, материалами и технологией обработки коленчатых валов на заводе-изготовителе.» [19]

Коленвал работает в условиях циклических знакопеременных нагрузок. Температура вала при нормальных режимах работы не превышает 150 С. «Коленчатый вал - деталь наиболее нагруженная. Силы, действующие на него, весьма велики. Это силы давления газов, передаваемые при сгорании топлива через шатуны от поршней, а также силы инерции от их возвратно-поступательного (вверх-вниз) движения.» [9] Вал находится в агрессивной среде, и должен обладать коррозионной стойкостью.

Повышенный износ, задиры (рисунок 1.2) на шейках, забивание масляных каналов, биение и трещины. Биение коленвала, обычно возникает из-за изгиба по перегретой шатунной шейке.



Рисунок 1.2 - Задир на шатунной шейке

При чрезмерном нагреве в аварийной шейке возникают большие внутренние напряжения, которые могут при дальнейшей работе двигателя привести к поломке вала.

«Самые распространенные повреждения валов - из-за недостаточной смазки. В основном это задиры шеек, т.е. «схватывание» разнородных

металлов в сопряжении «шейка-вкладыш» с переносом и наволакиванием металла одной детали на другую. Задиры всегда сопровождаются увеличением зазора в подшипнике, износом рабочих поверхностей с глубокими кольцевыми рисками, а иногда – перегревом и даже расплавлением вкладышей.» [19]

Нарушение соосности коренных шеек вала, в результате перегрева нагруженной стороны шатунной шейки.

Вал сильно перегревался. Такое бывает, в частности, при проворачивании вкладышей на шейке. Посадочные места под передний и задний сальники. Иногда резиновому сальнику удается проточить на их поверхностях довольно глубокие канавки.

Еще одним дефектом, который иногда можно обнаружить у коленвала, является износ хвостовика. Из-за него шкив начинает качаться на валу, что обычно приводит к разрывам ремней привода генератора, кондиционера, насоса гидроусилителя и т. п. Как известно, кондиционер в самых тяжелых режимах может забирать до 13% мощности мотора. Привод на кондиционер осуществляется через шкив, сидящий на хвостовике коленвала, на который, соответственно, воздействует нагрузка, пропорциональная отбираемой мощности.

Коленчатый вал изготовлен из конструкционной, легированной стали 40Х

Заменитель - стали: 45Х, 38ХА, 40ХФ, 40ХР.

«Назначение – оси, валы, вал-шестерни, плунжеры, штоки, коленчатые и кулачковые валы, кольца, шпиндели, оправка, рейки, зубчатые венцы, болты, полуоси, втулки и другие улучшаемые детали повышенной прочности.» [4]

Химические, механические свойства приведены в таблицах 1.1 – 1.7.

Таблица 1.1 – Температура критических точек, °С

Ac1	Ac3(Acm)	Ar3(Arem)	Ar1	Mh(105)
743	815	730	693	325

Таблица 1.2 - Химический состав, % (ГОСТ 4543-71)

C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	S	P
				Не более			
0.36-0.44	0.17-0.37	0.50-0.08	0.80-1.10	0.30	0.30	0.035	0.035

Таблица 1.3 - Механические свойства в зависимости от сечения

Сечение, мм	$\sigma_{0.2}$	$\sigma_B$	$\delta_5$	$\varphi$	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>	НВ
	Мпа		%			
Закалка 840-860 °С, вода, масло. Отпуск 580-650 °С, вода, воздух						
101-200	490	655	15	45	59	212-248
201-300	440	635	14	40	54	197-235
301-500	345	590	14	38	49	174-217

Таблица 1.4 - Механические свойства в зависимости от температуры отпуска

Температура отпуска, °С	$\sigma_{0.2}$	$\sigma_B$	$\delta_5$	$\varphi$	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>	НВ
	Мпа		%			
Закалка 850 °С, вода						
200	1560	1760	8	35	29	552
300	1390	1610	8	35	20	498
400	1180	1320	9	40	49	417
500	910	1150	11	49	69	326
600	720	860	14	60	147	265

Таблица 1.5 - Механические свойства при повышенных температурах

Температура испытания, °С	$\sigma_{0.2}$	$\sigma_B$	$\delta_5$	$\varphi$	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>
	Мпа		%		
200	700	880	15	42	118
300	680	870	17	58	-
400	610	690	18	68	98
500	430	490	21	80	78
700	140	175	33	78	-
800	54	98	59	98	-
900	41	69	65	100	-
1000	24	43	68	100	-
1100	11	26	68	100	-
1200	11	24	70	100	-

Таблица 2.6 - Предел выносливости

$\sigma_{-1}$ , МПа	$\tau_{-1}$ , МПа	n	Состояние стали
363	-	$10^6$	$\sigma_B = 690$ МПа
470	-	$10^6$	
509	-	-	
333	240	$5 \cdot 10^6$	
372	-	-	
			$\sigma_B = 940$ МПа
			$\sigma_{0.2} = 870$ МПа
			$\sigma_B = 690$ МПа

Таблица 2.7 - Ударная вязкость, КСУ, Дж/см<sup>2</sup>

Температура, °С				Термообработка
+20	-25	-40	-70	
160	148	107	85	Закалка 850 С, масло. Отпуск 650 С
91	82	-	54	Закалка 850 С, масло. Отпуск 580 С

Технологические свойства коленчатого вала, взятые согласно справочным материалам, следующие.

Температура ковки, °С: начала 1250, конца 800, сечения до 350 мм, охлаждается на воздухе.

Свариваемость – трудносвариваемая. Способы сварки: РДС, ЭШС, Необходимы подогрев и последующая термообработка.

Обрабатываемость резанием – в горячекатаном состоянии при НВ 163 – 168,  $\sigma_B = 610$  МПа.

Флокеночувствительность – чувствительна.

Склонность к отпускной хрупкости – склонна.

Восстановление геометрии шеек коленчатого вала производится в случае предельного отклонения их размера относительно одной из перпендикулярных осей. При этом, проведение процесса восстановления возможно двумя путями:

1. Перешлифовка шеек коленчатого вала до ремонтного размера. Как правило, конструкцией коленчатого вала предусмотрена перешлифовка на меньший, так называемый ремонтный размер. При

этом, под каждый следующий ремонтный размер производитель предусматривал соответствующие комплекты вкладышей. Однако, современные производители не оставляют такой возможности восстановления базовых деталей и ремонтные размеры попросту отсутствуют. В этом случае, остается исключительно второй способ восстановления.

2. Восстановление геометрии коленчатого вала путем нанесения покрытия, с последующей механической обработкой с целью восстановления первоначальных геометрических размеров. На практике, в условиях современных условий, приходится все чаще прибегать к этому методу.

Практика восстановления геометрических размеров подразумевает проведение технологического процесса восстановления изношенного слоя материала. как правило, используется технология наплавки или нанесения покрытия газоплазменным методом. Затем проводится шлифовка, задачей которой является восстановление геометрии шейки коленчатого вала ив первоначальных значениях. Заключительным этапом процесса восстановления должно явиться, по мнению автора, использование гидродробеструйной обработки. Указанный этап должен положительно сказаться на эксплуатационных характеристиках коленчатого вала, повысив его износостойкость и долговечность.

## **1.2 Анализ методов проведения технологического процесса восстановления коленчатого вала**

Ремонт и обслуживание своей продукции стало устойчивой тенденцией в современном машиностроении. Объединение "Татра", "Шкода" в Чехословакии, Ростоцкий дизельмоторный завод в Германии восстанавливают свои изделия в рамках фирменной сети по обслуживанию и ремонту. Благодаря своим преимуществам метод газотермического напы-

ления все более прочно входит в технологию ремонта деталей автомобиля. Так компания CPB industries традиционно занимающаяся восстановлением коленчатых валов методом наплавки под слоем флюса сочла более целесообразным восстанавливать их методом газотермического напыления (ГТН). Наибольшее распространение среди методов ГТН имеют: электродуговая металлизация и плазменное напыление. Так, в промышленности Германии на три установки газоплазменного напыления приходится 10 установок для дуговой металлизации. Наиболее интенсивно развивается метод плазменного напыления.

Опыт работы фирмы Public Service Inc (США) показывает, что восстановление валов в 3 раза дешевле изготовления новых деталей. Коленчатый вал традиционно входит в номенклатуру деталей, восстанавливаемых методом ГТН.

В ИЭС имени Патона разработаны технология и оборудование для автоматической наплавки коленчатого вала двигателя ЗИЛ-130. Технология основана на применении самозащитной проволоки и техники наплавки с поперечными па всю ширину шейки колебаниями электрода. Наплавленный металл типа 35Х4ГГСМ имеет твердость HRC 48-54, обладает повышенной стойкостью при трении в условиях окислительного износа.

Значительное тепловое воздействие на материал основы оказывается при любом способе наплавки. Особенно вырастает опасности возникновения трещин при наплавке чугуна. Возникновение трещин ведет к уменьшению выпуска продукции и увеличению стоимости восстановления. Эти причины заставили компанию CPR Industries из Сана Оль Нойте, Калифорния отказаться от наплавки под слоем флюса и перейти к восстановлению чугунных коленчатых валов методом электродуговой металлизации. Два фактора заставили компанию принять такое решение: то, что напыляемый слой не создает зоны подвергаемой воздействию тепла, и то, что напыляемый слой обеспечивает очень хорошие характеристики смазываемости. Ввиду его уникальной способности удерживать масла.

Компания выбрала установку для электродуговой металлизации модели VT-600, производимую компанией Wall Colony Corp, Дейтрот, Мичиган [25]. Система модели VT-600 комплектуется источником постоянного тока с жесткой внешней вольтамперной характеристикой с максимальным током дуги 600 А. Поверхности шеек восстанавливаемого вала занижали на глубину 0,64-0,7 мм шлифованием. Затем поверхности подвергались черновой шлифовке на ленточно-шлифовальном станке наждачной бумагой с размером зерна 40 grit. Шейки коленчатого вала промывались ацетоном, а поверхности, которые не следовало напылять, защищались с помощью обычной защитной ленты. Термическое напыление осуществлялось с нанесения тонкого подстилающего слоя. Он наносился из того же металла, что и основное покрытие, но процесс нанесения покрытия протекал при более низком давлении воздуха. Основной слой осаждался со скоростью приблизительно 13,6 кг/час при силе тока 300 А. В качестве материала для напыления использовалась проволока из мартенситной нержавеющей стали. Эта сталь была выбрана для процесса восстановления коленвалов из-за её высокой износостойкости и малой усадки с целью уменьшения до минимума возможности появления трещин. Окончательной операцией восстановления являлась шлифовка шеек в размер и полировка. По мнению компании иногда восстановленные коленчатые валы получают первоначальные технические характеристики. Компания СРК нашла экономически выгодный способ продавать восстановленные коленчатые валы (на основе взаимного обмена) по цене на 30% меньше, чем цена нового коленвала. В Германии и Польше также успешно восстанавливаются коленчатые валы методом ГТН.

В отечественной, практике также известны примеры успешного восстановления коленчатых валов методами ГТН . Многие исследовательские работы посвящены разработке оборудования и технологических процессов для восстановления коленчатых валов методом ГТН. Перечень напыляемых материалов, рекомендуемых для восстановления

коленчатых валов велик : ст. У10, 40Х13, 11Х18МВД; Х20Н80, пружинная проволока.

Общим для всех газотермических методов является то, что материал покрытия нагревается, расплывается и ускоряется в высокотемпературном газовом потоке (рисунок 1.3). На поверхность изделия основы напыляемый материал поступает в виде мелких расплавленных частиц, которые ударяются о нее, деформируются и, закрепляясь, накладываются друг на друга, образуя слоистую структуру.

«В высокотемпературный источник нагрева 1, напыляемый материал может подаваться в виде порошка или проволоки (прутка) 2 (рисунок 1.3). В случае нанесения покрытий из проволоки, она нагревается, плавится. При напылении порошков, их твердыми вводят в высокотемпературный поток, где они нагреваются в период движения на некотором участке А. Одновременно частицы распределяются в газовом потоке и ускоряются им на участке Б. Участок Б обычно протяженнее участка А. Далее на участке В частицы 3 направленно перемещаются к основе 5 и образуют на ней покрытие 4. При напылении частицы переплавляются, испаряются и вступают в химическое взаимодействие с нагретым газом и окружающей средой. Удар и деформация частиц приводит к их чрезвычайно быстрой кристаллизации и охлаждению. Большим достоинством технологии газотермического напыления является возможность регулирования в процессе напыления состава материала и структуры покрытия от обычной до мелкокристаллической и аморфной, что дополнительно сообщает им комплекс ценных свойств.» [32]

«Существуют следующие виды газотермического напыления:

1. газопламенное напыление (Flame spraying);
2. плазменное напыление (Plasma spraying);
3. плазменно-дуговое напыление;
4. высокочастотное плазменное напыление;
5. электродуговое напыление (Electric arc spraying);
6. детонационное напыление (Detonation spraying);
7. напыление в контролируемой атмосфере;

8. напыление в динамическом вакууме;
9. тигельное напыление;
10. инертно плазменное напыление;
11. внутреннее плазменное напыление.» [16]

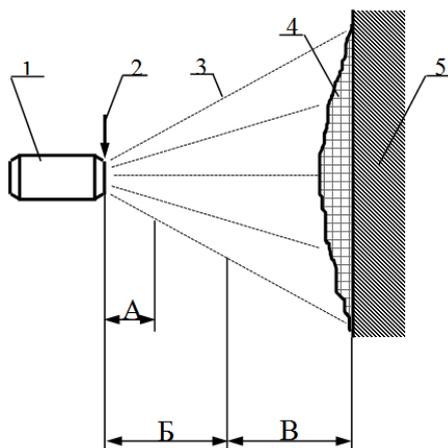


Рисунок 1.3 - Схема процесса газотермического напыления

А - дистанция, на которой происходит нагрев напыляемого материала; Б - дистанция, на которой частицы ускоряются газовым потоком; В - область свободного движения частиц.

«При газопламенном напылении источником тепловой энергии является пламя, образующееся в результате горения смеси кислород - горючий газ. Напыление в зависимости от состояния напыляемого материала может быть трех типов: проволочное, прутковое и порошковое. На рисунке 1.4 показан принцип проволочного газопламенного напыления. Прутковое напыление производится аналогичным образом. В обоих случаях напыляемый материал в виде проволоки или прутка подается через центральное отверстие горелки и расплавляется в пламени. Струя сжатого воздуха распыляет расплавленный материал на мелкие частицы, которые осаждаются на обрабатываемой поверхности. Подача проволоки производится с постоянной скоростью роликами, приводимыми встроенной в воздушную горелку турбиной, работающей на сжатом воздухе, используемым для напыления, или электродвигателем через редукционный механизм. При этом необходима точная регулировка скорости вращения турбины или электродвигателя.» [32]

«При использовании воздушной турбины трудно производить точную регулировку скорости подачи проволоки, однако в этом случае горелка более компактная и имеет меньшие габариты. Поэтому воздушные турбины используют в горелках, которые предназначены для ручного напыления. Горелки с электрическим двигателем позволяют более точно регулировать подачу проволоки и поддерживать ее постоянную скорость. Однако такие имеют значительную массу, поэтому их устанавливают в механизированных установках для напыления. Диаметр напыляемой проволоки обычно не превышает 3 мм.» [21]

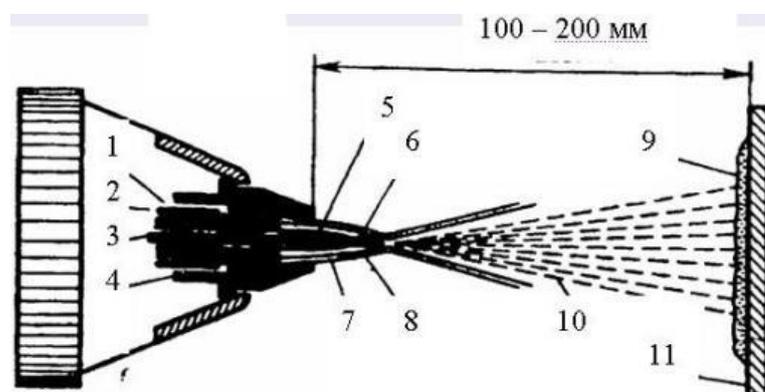


Рисунок 1.4 - Газопламенное напыление проволокой

1 - сжатый воздух; 2 - ацетиленокислородная или пропано-кислородная горючая смесь; 3 - проволока; 4 - насадок; 5 - ядро ацетиленокислородного пламени; 6 - оплавляющийся конец проволоки; 7 - факел пламени; 8 - воздушный поток; 9 - покрытие; 10 - поток частиц напыляемого материала; 11 - основной материал.

«На рисунке 1.5 показан принцип газопламенного напыления порошкового материала. Напыляемый порошок поступает в горелку сверху из бункера через отверстие, разгоняется потоком транспортирующего газа (смесь кислород – горючий газ) и на выходе из сопла попадает в пламя, где происходит его нагрев. Увлекаемые струей горячего газа частицы порошка попадают на напыляемую поверхность. В порошковых горелках, как и в проволоочных, подача напыляемого материала в пламя и разгон

образующихся расплавленных частиц может производиться при помощи струи сжатого воздуха.

Редуктор снижает давление сжатого воздуха, поступающего из воздушной емкости, до 3,0-6,0 кгс/см<sup>2</sup>, а осушитель удаляет из воздуха влагу и масло.» [25]

«В большинстве случаев в качестве горючего газа используют ацетилен. Можно также применять пропан, водород или метилацетиленпропан, который предварительно подвергают стабилизации.» [32]

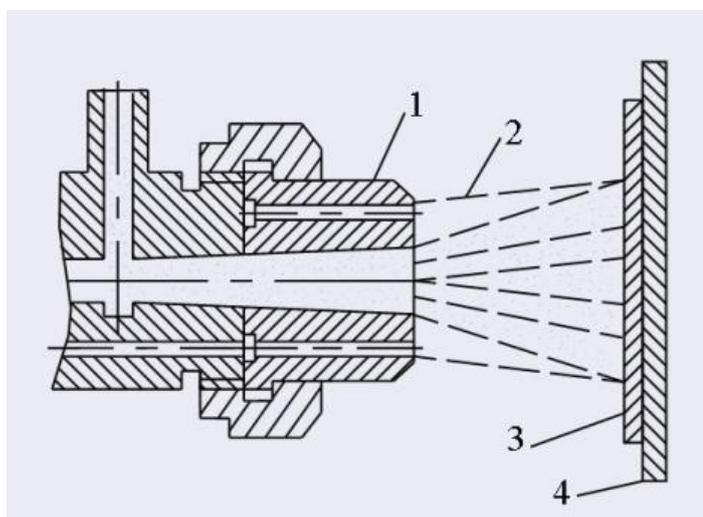


Рисунок 1.5 - Схема газопламенного напыления порошкового материала с помощью транспортирующего газа

1 — сопло; 2 — факел; 3 — покрытие; 4 — подложка

Метод плазменного напыления отличается высокой температурой струи. Пористость покрытия составляет от 2 до 15%, а адгезия около 25 - 50 МПа. Данный метод нами используется, как правило, для нанесения керамических покрытий (антифрикционных, теплозащитных и др.).

Толщина покрытий может быть обеспечена от 0,5 до 20 мм

Номенклатура обрабатываемых деталей и агрегатов:

- штоки поршневых компрессоров (покрытия из карбида вольфрама и др.)
- плунжера насосов (покрытия из карбида вольфрама и др.)

- каландровые и другие валы (покрытия из карбида вольфрама и др.)
- корпуса электродвигателей и нефтяных погружных насосов (хромоникелевые покрытия)
- твердые подшипники скольжения (покрытия из карбида вольфрама и оксида алюминия)
- мягкие подшипники скольжения (покрытия из баббитов)
- жаростойкие покрытия
- другие высококачественные покрытия

«Инертно плазменное напыление (ИПН) используется для высококачественного нанесения любых порошковых материалов на поверхность изделий. Процесс осуществляется в зависимости от требований к покрытиям в открытой камере или в камере с контролируемой средой и давлением. Оригинальная конструкция плазмотрона позволяет получить достаточно высокой мощности плазменную струю из аргона при относительно низком значении тока дуги (до 300 А). Можно применять смеси газов на основе аргона с добавлением азота, водорода, гелия. Создаются наполненные профили температуры и скорости плазмы. Равномерный нагрев и ускорение напыляемого материала. Исключается нежелательный эффект химического взаимодействия материала с активными составляющими плазмы. Обеспечиваются высокое качество покрытий и стабильность процесса напыления.» [32]

Значителен ресурс работы плазмотрона - сотни часов. Мощность аргонового плазмотрона - 10 - 50 кВА. Расход аргона - 1,5 - 7,0 м<sup>3</sup>/ч. Расход воды на охлаждение - 0,7 м<sup>3</sup>/ч. Ресурс работы катода и анода - 200 часов. Производительность по напыляемым материалам: NiCrBSi - 7 кг/ч, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 2 кг/ч. Скорость напыляемых частиц, в открытой камере - до 600 м/с, в камере с разреженной средой - до 800 м/с

«Область применения. Упрочнение поверхности ответственных узлов и деталей машин и механизмов. Нанесение легко окисляющихся материалов.

Создание изделий из композиционных материалов практически любого состава и соотношения.» [32]

Метод высокоскоростного HVOF напыления имеет очень высокую скорость рабочей струи (до 5 скоростей звука), что обеспечивает большую кинетическую энергию частиц напыляемого материала. Покрытия, нанесенные этим методом характеризуются сверхвысокой плотностью (более 99%) и адгезией более 80 МПа. Толщина покрытий может быть обеспечена от 0,05 до 3 мм. Более толстые покрытия технологически могут быть получены, но они экономически нецелесообразны. Температура струи составляет около 1800°C.

«Подводимый к горелке кислород, проходя через инжектор, создает в нем разряжение, в результате чего в кольцевую камеру засасывается ацетилен и смешивается с кислородом. В камере имеются 8 сопел, расположенных симметрично. Кислородно-ацетиленовая смесь, фокусируется с образованием резкой границы в структуре пламени.

Через центральный канал подается с определенной скоростью и определенного состава напыляемый материал. Порошковый материал, в зависимости от назначения детали, меняет свой химический состав (упрочняющая и пластифицирующая фаза) вплоть до включения твердой смазки в виде плакированного графита. Газопламенная горелка может работать в любом пространственном положении: она может быть закреплена неподвижно или в специальном приспособлении, которое перемещается вдоль вращающегося изделия. Подача кислорода и ацетилена - от баллонов через специальные редукторы и ротаметры. Установка позволяет наносить покрытия из различных металлов, керамики, а также из порошков самофлюсующихся и композиционных материалов.» [21]

В результате применения сопла Лавалья скорость напыляемого потока превышает 330 м/с, т.е. становится выше скорости звука.

Использование сопла Лавалья позволит нам сделать и поток газового пламени, и поток воздуха ламинарными, предотвратит рассеивание и

увеличит скорость периферийных частиц. Кроме того, значительно снизится время воздействия расплавленного напыляемого материала с кислородом, что положительно скажется на качестве покрытия.

«Температура обрабатываемой детали в процессе напыления не превышает 120-180°C. Данный метод позволяет получать высококачественные покрытия практически со всех металлов, карбидов и металлокерамики (из которых возможно изготовить порошок). Наиболее востребованными на текущий момент являются износостойкие покрытия из карбида вольфрама (твердость покрытия 72-74 ед. HRC) и коррозионно-стойкие хромо-никелевые покрытия.» [32]

«Данный способ позволяет наносить на валы покрытия, обладающие высокой износостойкостью, низким коэффициентом трения, коррозионной стойкостью (в том числе и в агрессивных средах). При этом покрытия характеризуются очень высокой адгезией (более 8 кг/мм<sup>2</sup>) и плотностью (плотность покрытия не уступает плотности литого металла). Твердость покрытий определяется наносимым материалом и может быть обеспечена до 74 ед. HRC.» [25]

В процессе нанесения покрытия обрабатываемое изделие нагревается до температуры не более 120-180°C, что позволяет практически полностью избежать термических деформаций и химико-термического воздействия на деталь.

«Высокая прочность сцепления и минимальная пористость, получаемые при использовании данного метода, позволили успешно восстанавливать изношенные рабочие поверхности валов, плунжеров, штоков, требующих высокого класса чистоты поверхности при окончательной обработке. Ресурс работы изделий с данными покрытиями увеличивается в несколько раз.» [32]

В области электродуговой металлизации ведутся работы по созданию высокочастотных систем электропитания с частотой 2-3 МГц. Так же как и при газопламенном напылении, все большее внимание начинает уделяться

формированию потока с целью увеличения скорости частиц напыляемого материала и его большего размельчения. Работы в этом направлении развиваются по пути создания систем с закрытым соплом, в которых скорости частиц и сжатого воздуха возрастают в осевом направлении вследствие взаимодействия с радиальным воздушным потоком. Одновременно удается лучше сфокусировать пучок, регулировать его коэффициент сосредоточенности.

Перспективны работы в области контроля химической активности потока и среды при электродуговой металлзации. Традиционно считалось, что при электродуговой металлзации практически невозможно получить покрытия, свободные от оксидов. Особенно это сложно при необходимости создания антикоррозионных покрытий из металлов (например, титана, тантала), активно реагирующих с кислородом и азотом воздуха. В таких случаях предлагалось использовать электродуговое распыление в камере, заполненной инертным газом, и распыление вести не сжатым воздухом, а инертным газом. При этом удалось существенно снизить содержание загрязняющих покрытие продуктов реакций, однако неизбежное газонасыщение покрытия приводило к повышенной пористости. Кроме того, прочность сцепления покрытия с основой, а также частиц в покрытии между собой оказалась ниже, чем при напылении сжатым воздухом.

В связи с этим с начала 80-х годов началось развитие систем электродугового распыления при пониженном давлении инертной атмосферы в камере. Процесс плавления проволок перемещен во внутреннюю камеру металлзатора, где поддерживается более высокое давление, чем в объеме камеры напыления. Это обеспечивает надежное плавление и последующее формирование потока высокотемпературного газа и капель. Профилирование сопла позволяет ускорить поток газа до сверхзвуковых скоростей и соответственно обеспечить большие скорости частиц напыляемого материала, а следовательно, повысить прочность сцепления покрытия с основой и частиц в покрытии между собой. Кроме того, ожидается, что

вследствие пониженного давления газов в рабочей камере удастся добиться дегазации металла и понизить пористость покрытия. Дополнительные преимущества могут быть обеспечены, если возбудить дуговой разряд между проволоками, подаваемыми в камеру, и основой, на которую ведется напыление.

«Общие требования к установкам (аппаратам) для газотермического напыления, заключаются в следующем: получение стабильного потока напыляемых частиц заданной формы; регулирование потока напыляемых частиц по производительности, температуре и скорости; обеспечение высоких значений энергетических коэффициентов распыления  $\eta_n$ ; возможность механизации и автоматизации процесса; высокая долговечность и надежность; безопасность и удобство эксплуатации; экологическая приемлемость; высокая производительность процесса и удельная производительность аппарата; минимальная материалоемкость и небольшая стоимость. Установки классифицируют в зависимости от метода напыления, вида подводимой энергии, уровня механизации и формы распыляемого материала.» [32]

В России выпускают ряд установок для газопламенного напыления проволочными и порошковыми материалами. В качестве энергетических газов используется ацетилен и пропанобутановая смесь. Подача к распылителю ацетилена (или заменителя), кислорода, а в ряде случаев и дополнительного газа (воздуха) для распыления осуществляется от узла газопитания. Узел газопитания, как правило, не входит в комплект выпускаемого аппарата. Его монтируют непосредственно на рабочем участке. Аппараты для газопламенного напыления обычно комплектуются распылителем (пистолетом), механизмом подачи проволоки или порошка и пультом управления. Часто механизм подачи проволоки располагают в одном корпусе с распылителем, а порошковый питатель закрепляют на нем.

Газопламенные распылители. Основным элементом газопламенного аппарата является распылительная головка. В зависимости от способа подачи горячего газа различают инжекторные и безинжекторные распылительные головки. На рисунке 1.6, а приведена примерная конструктивная схема

инжекторной головки. В корпусе головки 1 размещены кольцевой канал и, перпендикулярно ему, продольные по периферии. Центральный канал с наконечником 2 предназначен для подачи распыляемого материала. Корпус головки снабжен газовым соплом 3 с рассекателем горючей смеси. Для проволочного и иногда порошкового напыления предусмотрено воздушное обжимное сопло 5 с воздушным колпаком 4 и соответствующие коммуникационные каналы. Для подачи горючего газа в смесительную камеру 6 предусмотрен инжектор 7. К инжектору подводится кислород под давлением 0,2-0,4 МПа. На выходе из инжектора развивается высокая скорость истечения кислорода и соответственно этому местное разрежение. Происходит подсос горючего газа через периферийные каналы инжектора. При наличии инжектора распылитель может работать с применением горючего газа, находящегося под низким давлением. Это важно для ацетилена, получаемого на месте производимых работ от переносных ацетиленовых генераторов низкого давления (0.005-0.01 МПа). При более высоких давлениях горючего газа роль инжекции снижается. В случае равных или близких давлений кислорода и горючего газа может производиться безинжекторная подача (рисунок 1.6, б).

Наличие инжектора делает распылитель универсальным по давлению горючего газа. На выходе из газового сопла образуется пламя, являющееся источником нагрева, распыления и ускорения напыляемых частиц. Распылительную головку закрепляют в корпусе аппарата. Для напыления внутренних поверхностей применяют сменные угловые головки с удлинителями. В отличие от плазменных горелок распылительные головки составляют чаще всего неотъемлемую часть газопламенного аппарата. Распылительные головки не взаимозаменяемы.

Установки для порошкового напыления. В настоящее время в основном применяют три типа установок: УГПТ, Л-5401 и УПТР-1-85. Главное их назначение состоит в напылении покрытий из самофлюсующихся сплавов с последующим оплавлением. Поэтому установки комплектуются горелками для оплавления. Установки пригодны также для напыления покрытий металлическими, керамическими, композиционными порошками с

температурой плавления до 2000 К. Для напыления легкоплавких органических и неорганических материалов используют установку УГПЛ.

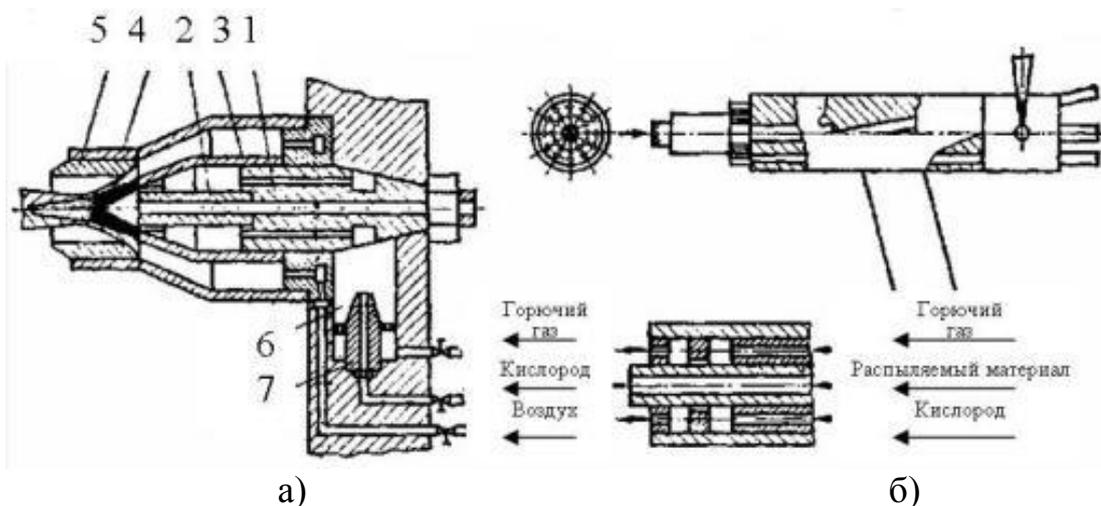


Рисунок 1.6 - Конструктивная схема газопламенного распылителя

а) инжекторного типа, б) безинжекторного типа

Установка УПН-6 предназначена для нанесения покрытий только из органических полимеров. Порошки с частицами размером 0,15-0,25 мм. Пламя воздушно-ацетиленовое. Порошковый питатель упрощенной конструкции имеет малые массу и размеры.

УПН-6 используется для газопорошкового напыления самофлюсующимися и терморреагирующими сплавами с температурой плавления до 2273—2473К, таких, как оксид алюминия, нихром, никелеалюминиевые сплавы, никелеборохромкремниевые сплавы, карбидсодержащие композиции и др. Помимо операции газопламенного напыления предусмотрена возможность последующего оплавления покрытий, наплавленных из твердосплавных порошков типа NiCrBSi, NiCrBSi+карбид (например, WC) пламенем сварочной горелки.

Для оплавления покрытий установка укомплектована газовой горелкой ГС-3А и двумя сетчатыми мундштуками. Установка состоит из бачка-питателя и распылительного пистолета с инжекторным устройством. Порошок захватывается проходящим через бачок-питатель кислородом и направляется в центральный канал пистолета, а затем в зону пламени. Установка пригодна для нанесения покрытий из окиси алюминия.

Принцип работы металлизатора заключается в расплавлении проволоки при ее непрерывной подаче в поток продуктов сгорания горючей смеси и последующем распылении расплавленного металла (его капель) газовым потоком.

Металлизатор МГИ-4 (см. рисунок 1.7) состоит из следующих основных частей: турбинного привода 17 с индукционным регулятором подачи проволоки; двухступенчатого червячного редуктора (5, 7, 15, 14); механизма подачи проволоки (2, 3, 4, 6,10) и распылительной головки (19,11).

Турбинный привод служит для непрерывного вращения ведущего ролика 3 механизма подачи проволоки и плавной регулировки его частоты вращения.

Двухступенчатый редуктор (5, 7, 15, 14) расположен в герметичном отсеке корпуса металлизатора (рисунок 1.7). На выходном валу 4 редуктора установлена сменная шестерня 1. Нажимной ролик 2 свободно вращается на оси, закрепленной на откидной крышке 8. Усилие, создаваемое нажимным роликом, передается с помощью пружинного устройства, расположенного на крышке. Во время работы крышку закрывают и фиксируют. Рукоятка позволяет быстро прижать нажимной ролик к проволоке для ее подачи или отжать его. В последнем случае крышку необходимо приоткрыть.

Конструктивное отличие металлизаторов МГИ-4А и МГИ-4П заключается в различии сечений каналов в распылительной головке, по которым транспортируются горючий газ и кислород.

Для работы металлизатора МГИ-4 необходимо иметь сеть сжатого воздуха; баллоны или сеть с горючим газом; баллоны или сеть с кислородом; вентиляцию; кассету для укладки на нее бухты проволоки; приспособление для механизации процесса; державку для закрепления металлизатора.

Сжатый воздух, предварительно очищенный от влаги и масла постовым масловлагоотделителем, подается под давлением 0,4—0,5 МПа с максимальным расходом 1 м<sup>3</sup>/мин. Металлизатор может работать на горючем

газе от заводской сети, в которой давление газа на выходе не ниже 0,06 МПа, или на баллонном газе.

Установка МГИ-5 имеет программное управление с пуском и остановкой, что позволяет с высокой степенью механизации применять ее для нанесения покрытий напылением крупногабаритных деталей, труб, профильного проката в условиях серийного и массового производства. Проволока диаметром 5-6 мм. Пламя смеси кислорода и пропан-бутана. Аппарат стационарного типа.

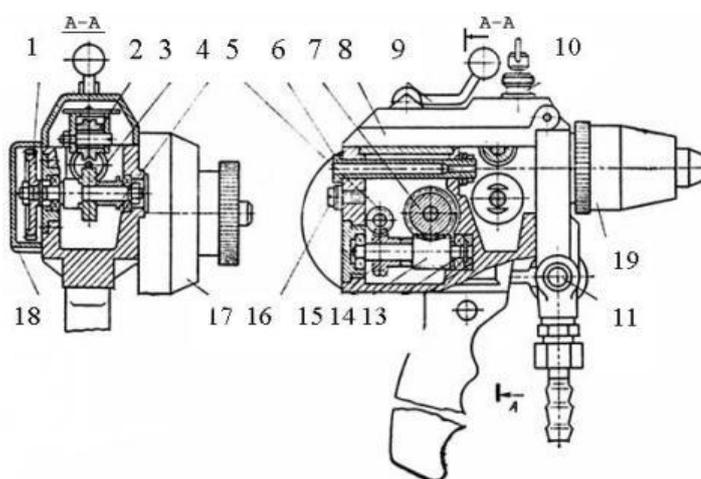


Рисунок 1.7 - Газопламенная проволочная горелка МГИ-4

1-шестерня, 2-ролик нажимной, 3-ролик ведущий, 4-вал, 5 и 14-червяк, 6-штуцер, 7 и 15-колесо червячное, 8-крышка верхняя, 9-крючок, 10-винт регулировочный, 11-кран, 12-шайба специальная, 13-шайба регулировочная, 16-пробка, 17-турбинный привод, 18-кожух, 19-головка распылительная.

«В последнее время при газотермическом напылении применяют такой вид расходных материалов, как гибкие шнуры Sfecord, которые выпускает в России российско-французское предприятие “Техникорд” по know-how фирмы SNMI (Societe Nouvelle De Metallisation Industries).

Гибкие шнуры разработаны для использования в газопламенных металлизационных системах и представляют собой композиционный материал проволочного типа, состоящий из порошкового наполнителя и органической связующей, полностью исчезающей при нанесении покрытия

(сублимирует в процессе нагрева при 400 °С без какого-либо отложения на подложку).» [16]

«Установка Техникорд ТОП-ЖЕТ/2. Оборудование СП "Техникорд" (Россия-Франция) обладает повышенной (до 10 кг/ч) производительностью распыления. Для большинства материалов КИМ составляет не менее 80 %. Струя распыла узкая (пятно составляет 10—15 мм в диаметре на расстоянии от 120 до 150 мм от среза сопла до подложки). Пористость покрытий в зависимости от марки материалов, режимов и дистанции напыления составляет от 3 до 10 %. Особое преимущество гибкие шнуры этого типа имеют при применении смесей.» [32]

В России и ближнем зарубежье такое специализированное оборудование — установка ТЕНА-ГШ (ТОП-ЖЕТ/2) — производят СП "Техникорд" и МНПП "ТЕНА" (Минск). Установка состоит из пистолета для металлизации ТОП-ЖЕТ/2 (рисунок 1.8), пульта управления, подставки для его установки и катушек со шнуровыми материалами.

СП "Техникорд" предлагает десятки специальных материалов: от стандартных сплавов и керамики до специально созданных новых материалов, таких как Me + C (N8), Me + MeO + C (MB).

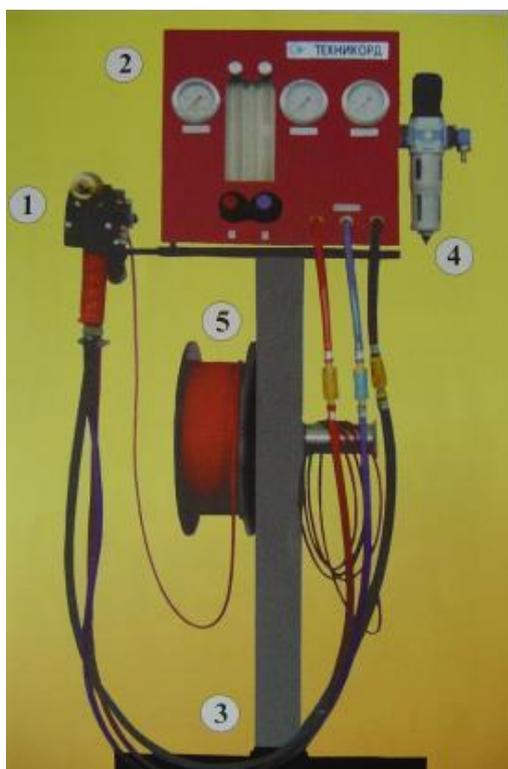


Рисунок 1.8 - Многофункциональный аппарат газопламенного напыления  
"ТЕХНИКОРД ТОП – ЖЕТ/2"

В целом, напыляемые восстанавливающие и упрочняющие покрытия должны обладать комплексом требований: стойкостью в окислительному износу, когезионной и адгезионной прочностью, удовлетворительной обрабатываемостью. Определенные ограничения на выбор технологии оказывает стоимость применяемого материала, доступность оборудования для комплектования участка восстановления, а также уровень вредностей производимых в процессе напыления. Наиболее полно отвечает предъявляемым требованиям для восстановления и упрочнения коленчатых валов технология газопламенного нанесения покрытий, как самая простая и экономичная, однако остро стоит проблема получения высокой адгезии наносимых покрытий, важным фактором которой является скорость напыляемых частиц.

«При очень малом расстоянии между соплом и основой, когда скорость достаточно высока, возникает опасность коробления основы под действием термических напряжений. Когда же расстояние слишком большое, температура и скорость летящих частиц снижается, что приводит к образованию рыхлого покрытия и уменьшению адгезии» [32]

Поэтому в разработанной установке предлагается применять газопламенную горелку со сверхзвуковым потоком истечения рабочей смеси конструкции Тольяттинского государственного университета (патент № 2281812). Сущность изменения заключается в применении камеры сгорания в виде сопла Лавалья и дополнительных ускоряющих воздухопроводов, расположенных вокруг камеры, также в виде сопла Лавалья.

Все применяемые технологии восстановления деталей, в том числе существующая технология газопламенного напыления, предусматривают отдельные технологии по подготовки поверхности и ее последующего упрочнения на разном оборудовании. Смена базирования крупногабаритных коленчатых валов, тем более сложной геометрии, сопряжено с определенными трудностями и требует применения дополнительного

оборудования, для закрепления изделия в горизонтальном положении, а также приводит к потере адгезионных свойств, геометрии и качества поверхности упрочненного изделия и потери времени, следовательно, ведёт к снижению качества конечной детали.

Таким образом, проведя анализ методов восстановления коленчатых валов, делаем вывод о методе газоплазменного напыления как наиболее прогрессивный и практически-применимый. Поскольку, имеется оборудование для проведения таких операций и требуемые расходные материалы.

Применение дробеструйной обработки в процессе восстановления предполагает применение обработки на этапе перед непосредственно нанесением покрытия, для формирования микропрофиля поверхности, улучшающем адгезию.

После проведения шлифовки поверхности, дробеструйная обработка производится с целью формирования поверхностного наклепа шеек коленчатого вала, что позволит повысить эксплуатационные характеристики восстановленной детали.

## Глава 2 Влияние гидродробеструйной обработки на поверхностное упрочнение шеек коленчатых валов автомобилей

### 2.1 Сущность процесса гидродробеструйной обработки

Технология гидродробеструйной обработки - это современный дробеструйный метод обработки деталей, который широко применяется в аэрокосмической, автомобильной и других отраслях промышленности для снятия дефектов механической обработки, защиты от поверхностных усталостных напряжений, методом струйного воздействия дроби на поверхность обрабатываемой детали, а так же для пластичного изгибания поверхностей тонких листовых материалов.

Обработка деталей может производиться стальной, пластиковой, стеклянной или керамической дробью, рисунок 2.1.

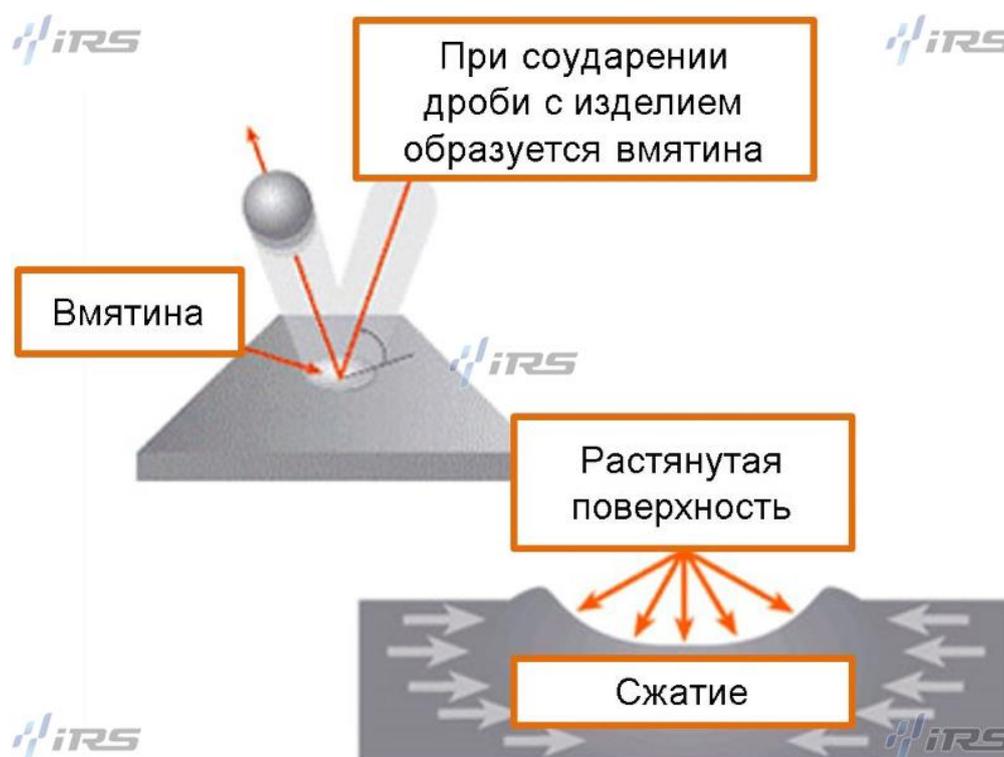


Рисунок 2.1 – Процесс дробеструйной обработки

Отличие гидродробеструйного метода состоит в том, что среда, служащая для перемещения дроби, является жидкой, соответственно, при соударении дроби в точке непосредственного контакта происходит не сухое, а жидкое трение. В этом случае, снижается вероятность перенаклепа, исключается связанное с этим шелушение металла и как результат – формирование поверхности с наилучшими показателями шероховатости поверхности.

Данный тип обработки путем воздействия на поверхность металла дроби с силой, достаточной для создания пластической деформации создает регулируемое напряжение сжатия в поверхностном слое, что улучшает механические свойства поверхностных слоев, повышает усталостную прочность и увеличивает срок службы детали, предотвращая появление задиров, трещин и коррозии на ее поверхности.

Тип дроби: металлические, стеклянные, керамические, пластиковые шарики или сфероидальная рубленая металлическая проволока.

Сферы применения гидродробеструйной обработки следующие.

В промышленности: Детали коробок передач, первичные и коленчатые валы, листовые рессоры и винтовые пружины, торсионы, звездочки, шестерни и шестеренки зубчатых передач, пружины сцепления, детали карданных валов, рычажные механизмы, пружины и детали клапанов, элементы коробок передач, кольца синхронизатора, межосевые дифференциалы, вал шестерни, оси и осевые чашки, раздаточные и передаточные механизмы, шатуны, подшипники, ролики и опорные поверхности, поршни, поршневые пальцы, пуансоны, буровых штанги, детали буровых станков, бурильный инструмент и др.

В авиационной и космической промышленности: Лопатки авиационных турбин и другие элементы авиатурбин, лопатки компрессоров, моноколеса, блинги и блиски авиационных винтовентиляторных двигателей, детали самолетов, шасси и другие ответственные элементы воздушного судна и вертолета, формирование дизайна и обшивки крыла самолета,

формирование стрингеров и лонжеронов, придание необходимой геометрии, кривизны изгибов и аэродинамической гладкости.

При такой обработке дефекты, образовавшиеся в поверхностном слое детали на предшествующих операциях резания, особенно при шлифовании, в значительной мере ликвидируются, слой упрочняется, в нем создаются сжимающие остаточные макронапряжения, долговечность деталей возрастает.

«Основными показателями упрочняюще-чистовой обработки являются толщина и степень наклёпа, величина остаточных макронапряжений сжатия и шероховатость поверхности.

В данном случае толщина наклёпанного слоя составляет 0,1 мм, шероховатость Rz20.» [20]

Для определения времени  $t$ , потребного на обработку детали, и расхода дроби  $Q$ , в зависимости от других параметров процесса, применяется формула:

$$t = K \frac{4D}{Vg \sin^2 \alpha}, \quad (2.1)$$

где  $K$  - коэффициент, определяющий условия получения оптимальных результатов;  $4$  - расстояние детали от дробемета;

$D$  - диаметр дроби;

$V$  - скорость полета дроби;

$\alpha$  - угол атаки;

$g$  - пропускная способность дробемета (по весу дроби).

Режимы процесса:

Давление жидкости 1 МПа

Расстояние от пистолета до поверхности 30 мм.

Частота вращения детали  $\approx 60$  об/мин

При достаточно высокой скорости напыляемых частиц, порядка 200м/с возможно образование наноградиентных слоистых покрытий (рисунки 2.2, 2.3). Этому свидетельствует приведённый расчёт:

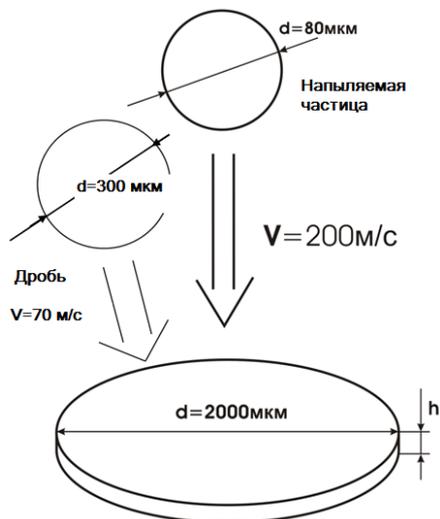


Рисунок 2.2 – Схема деформации

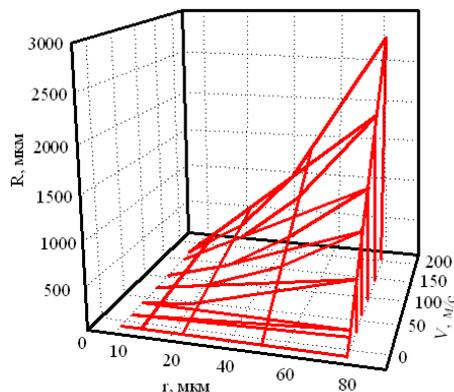


Рисунок 2.3 – Зависимость размеров деформированных частиц ( $R$ , мкм) Fe от их первоначальных размеров ( $r$ , мкм) и скорости соударения с подложкой ( $V$ , м/с).

$$V_{\text{уд}} = \frac{4}{3} \pi r^2 = 2,68 \cdot 10^{-13} \text{ м}^3$$

$$V_{\text{деф}} = \pi r^2 h = 0,314 \cdot 10^{-6} \text{ м} \cdot h$$

$$h = \frac{2,68 \cdot 10^{-13}}{3,14 \cdot 10^{-6}} = 8,53 \cdot 10^{-8} \text{ м} = 85,3 \text{ нм}$$

«При одновременном механическом воздействии на поверхность растекаемой частицы - дробеударная обработка (ДО) происходит её дополнительное уменьшение толщины, при повышении плотности получаемых покрытий, создания напряжений сжатия и, как следствие, повышение когезивно – адгезионных свойств получаемых наноградиентных покрытий. Повышение плотности дислокаций при ДО способствует установлению химической связи покрытие – основа.» [32]

## **2.2 Исследование процесса проведения гидродробеструйной обработки**

Для внедрения какой либо технологии в производство требуется проведение исследовательских работ с целью выявления какие отличия будут присутствовать при применении данной технологии в сравнении с техпроцессом в отсутствии технологии. Целью данного раздела является выявление по результатам испытаний наличия эффекта при упрочнении поверхностей дробе-жидкостной смесью.

На установке ГДЭУ были обработаны 27 эталонных пластин Альмана на различных режимах.

Требуется выявить влияние режима обработки на:

1. Изменение стрелы прогиба
2. Изменение шероховатости в продольном и поперечном направлениях
3. Изменение твердости пластин

По каждому из видов исследований проводятся соответствующие испытания с последующим составлением математической модели эксперимента и ее последующим анализом.

Анализ влияния режимов обработки на изменение стрелы прогиба.

Проводятся испытания пластин на установке ГДЭУ-к/в, после чего осуществляется замер стрелы прогиба при помощи измерительной головки часового типа с ценой деления 0.01 мм. Результаты замеров для составления математической модели сводятся в таблицу 2.1

Таблица 2.1 - Результаты замеров стрелы прогиба по результатам эксперимента для составления математической модели

X <sub>0i</sub>	X <sub>1i</sub>	X <sub>2i</sub>	X <sub>1i</sub>	X <sub>2i</sub>	X <sub>1i</sub> X <sub>2i</sub>	X <sub>0i</sub> Y <sub>i</sub>	X <sub>1i</sub> Y <sub>i</sub>	X <sub>2i</sub> Y <sub>i</sub>	X' <sub>1i</sub> Y <sub>i</sub>	X <sub>2i</sub> Y <sub>i</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> Y <sub>i</sub>
1	1	1	1/3	1/3	1	0.92	0.92	0.92	0.307	0.307	0.92
1	1	-1	1/3	1/3	-1	0.893	0.893	-0.893	0.297	0.298	-0.89
1	-1	1	1/3	1/3	-1	0.255	-0.255	0.255	0.085	0.085	-0.25
1	-1	-1	1/3	1/3	1	0.203	-0.203	-0.203	0.068	0.068	0.203
1	0	0	2/3	-2/3	0	0.717	0	0	-0.478	-0.478	0
1	1	0	1/3	-2/3	0	0.9	0.9	0	0.3	-0.599	0
1	-1	0	1/3	-2/3	0	0.277	-0.227	0	0.075	-0.151	0
1	0	1	-2/3	1/3	0	0.737	0	0.737	-0.491	0.245	0
1	0	-1	-2/3	1/3	0	0.673	0	-0.673	-0.448	0.224	0
9	0	0	0	0	0						
9	6	6	2	2	4						

На основании данных таблицы 2.1 производится формирование математической модели следующего вида:

$$Y = 0.70976 + 0.338X_1 + 0.0238X_2 - 0.14265 * X_1^2 - 0.0115 * X_2^2 - 0.00625X_1 * X_2 \quad (2.2)$$

Проведем проверку воспроизводимости эксперимента по Кохрену, для чего сведем результаты в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Результат проверки воспроизводимости эксперимента по Кохрену

№	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>i</sub>	S <sup>2</sup> {y}
1	1	1	1	0.91	0.94	0.91	0.92	0.0003
2	1	1	-1	0.89	0.9	0.89	0.893	0.000034
3	1	-1	1	0.26	0.255	0.25	0.255	0.000023
4	1	-1	-1	0.22	0.21	0.18	0.203	0.00043
5	1	0	0	0.71	0.72	0.72	0.717	0.000036
6	1	1	0	0.89	0.9	0.91	0.9	0.0001
7	1	-1	0	0.23	0.240	0.21	0.227	0.00023
8	1	0	1	0.73	0.75	0.78	0.737	0.000109
9	1	0	-1	0.68	0.66	0.68	0.637	0.000135
Σ=								0.001393

Требуется проверить однородность при  $\alpha = 0.05$ :

1. Вычисляем для каждой строки средние арифметические и построчечные дисперсии для функции отклика  $y_i$ ;

2. Вычисляем опытное значение критерия Кохрена, равное отношению максимальной эмпирической дисперсии к сумме дисперсии по всем строчкам, для нашего случая  $G_{оп} = 0,308$ ;

3. Теоретическое значение критерия Кохрена  $G_{теор} = 0,47$ ;

4. Так как опытное значение критерия Кохрена меньше теоретического, то гипотеза об однородности дисперсий измерения функции отклика при уровне значимости  $\alpha = 0,05$  по критерию Кохрена не отвергается;

5. Общая дисперсия эксперимента будет равна  $S\{y\} = 0.0126$ .

Проведем статистическую оценку коэффициентов значимости регрессии по Стьюденту.

Условием значимости коэффициента будет являться:

$\delta > V_i$  – коэффициент незначим

$\delta < V_i$  – коэффициент значим

Расчет сведем в таблицу 7.3.

Таблица 2.3 - Статистическая оценка коэффициентов значимости регрессии по Стьюденту

	$\Sigma x$	Среднеквадратическое отклонение коэффициентов регрессии	Величина полуинтервала	$V_j \pm \delta$	
$B_0$	9	$0.0126/3 = 0.0042$	$2.06*0.0042$	$0.7097 \pm 0.0086$	+
$B_1$	6	$0.0126/2.4 = 0.051$	$2.06*0.0051$	$0.338 \pm 0.0105$	+
$B_2$	6	$0.0126/2.4 = 0.051$	$2.06*0.0051$	$0.0238 \pm 0.0105$	+
$B_{11}$	2	$0.0126/1.4 = 0.089$	$2.06*0.089$	$0.1426 \pm 0.0183$	+
$B_{22}$	2	$0.0126/1.4 = 0.089$	$2.06*0.089$	$0.0012 \pm 0.0183$	-
$B_{12}$	4	$0.0126/2 = 0.0063$	$2.06*0.0063$	$0.00625 \pm 0.0129$	-

$$Y = 0.70976 + 0.38X_1 + 0.0238X_2 + 0.14265X_1^2$$

После выведения новой матмодели проведем ее проверку на адекватность по Фишеру, результат в таблице 2.4.

Табл. 7.4

№	X1	X2	BoXo	B1X1	B2X2	B11X1	Y	Yi	Δ	Δ <sup>2</sup>
1	1	1	0.709	0.338	0.0238	-0.1465	0.928	0.920	0.008	0.
2	1	-1	0.709	0.338	-0.0238	-0.1465	0.881	0.893	0.012	
3	-1	1	0.709	-0.338	0.0238	-0.1465	0.253	0.255	0.002	
4	-1	-1	0.709	-0.338	-0.0238	-0.1465	0.205	0.203	0.002	
5	0	0	0.709	0	0	0	0.709	0.717	0.008	
6	1	0	0.709	0.338	0	-0.1465	0.905	0.900	0.005	
7	-1	0	0.709	-0.338	0	-0.1465	0.229	0.227	0.002	
8	0	1	0.709	0	0.0238	0	0.734	0.737	0.003	
9	0	-1	0.709	0	-0.0238	0	0.685	0.673	0.012	

Остаточная дисперсия по  $\Sigma = 0,000462$

$$S^2 = 0.0001155$$

Общая опытная дисперсия равна 0,0001588

Критерий Фишера находится как отношение этих двух дисперсий

$$F = 0,7273$$

$$F_{теор} = 2,6$$

Матмодель адекватна.

Анализ влияния режимов обработки на изменение продольной шероховатости.

Проводятся испытания пластин на установке ГДЭУ-к/в, после чего осуществляется замер шероховатости на исследовательской базе ТГУ.

Данные по продольной шероховатости заносим в таблицу 2.5

Таблица 2.5 – Данные по продольной шероховатости

Xoi	X1i	X2i	X1i	X2i	X1iX2i	XoiYi	X1iYi	X2iYi	X'1iYi	X2iYi	X1X2Yi
1	1	1	1/3	1/3	1	0.35	0.35	0.35	0.117	0.117	0.35
1	1	-1	1/3	1/3	-1	0.36	0.36	-0.36	0.12	0.12	-0.36
1	-1	1	1/3	1/3	-1	0.31	-0.31	0.31	0.103	0.103	-0.31
1	-1	-1	1/3	1/3	1	0.37	-0.37	-0.37	0.123	0.123	0.37
1	0	0	2/3	-2/3	0	0.28	0	0	-0.187	-0.187	0
1	1	0	1/3	-2/3	0	0.39	0.39	0	0.13	-0.26	0
1	-1	0	1/3	-2/3	0	0.33	-0.33	0	0.11	-0.22	0
1	0	1	-2/3	1/3	0	0.28	0	0.28	-0,187	0.093	0
1	0	-1	-2/3	1/3	0	0.29	0	-0.29	-0.193	0.096	0
9	0	0	0	0	0						
9	6	6	2	2	4						

Получаем математическую модель на основании данных таблицы 2.5:

$$Y = 0.28777 + 0.015 * X1 - 0.0133 X2 + 0.06834 * X1^2 + 0.0067 * X2^2 + 0.0125 * X1 * X2$$

Проведем проверку воспроизводимости эксперимента по Кохрену, для чего сведем результаты в таблицу 2.6.

Таблица 2.6 - Проверка воспроизводимости эксперимента по Кохрену

№	Xo	X1	X2	Y1	Y2	Y3	Yi	S <sup>2</sup> {y}
1	1	1	1	0.32	0.4	0.34	0.35	0.00175
2	1	1	-1	0.39	0.37	0.32	0.36	0.0013
3	1	-1	1	0.31	0.3	0.33	0.31	0.00025
4	1	-1	-1	0.37	0.37	0.37	0.37	0
5	1	0	0	0.25	0.31	0.29	0.28	0.00095
6	1	1	0	0.38	0.36	0.42	0.39	0.00095
7	1	-1	0	0.28	0.41	0.29	0.33	0.00525
8	1	0	1	0.31	0.23	0.29	0.28	0.00215
9	1	0	-1	0.23	0.32	0.32	0.29	0.0027
Σ=								0.0152

Требуется проверить однородность при  $\alpha = 0.05$

1. Вычисляем для каждой строки средние арифметические и построчечные дисперсии для функции отклика  $y_i$ .

2. Вычисляем опытное значение критерия Кохрена, равное отношению максимальной эмпирической дисперсии к сумме дисперсии по всем строчкам, для нашего случая  $G_{оп} = 0,34$

3. Теоретическое значение критерия Кохрена  $G_{теор} = 0,47$

4. Так как опытное значение критерия Кохрена меньше теоретического, то гипотеза об однородности дисперсий измерения функции отклика при уровне значимости  $\alpha = 0,05$  по критерию Кохрена не отвергается.

5. Общая дисперсия эксперимента будет равна  $S\{y\} = 0.041$

Проведем статистическую оценку коэффициентов значимости регрессии по Стьюденту.

Условием значимости коэффициента будет являться:

$\delta > V_i$  – коэффициент незначим

$\delta < V_i$  – коэффициент значим

Расчет сведем в таблицу 2.7.

Таблица 2.7 - Оценка коэффициентов значимости регрессии по Стьюденту

	$\Sigma x$	Среднеквадратическое отклонение коэффициентов регрессии	Величина полуинтервала	$V_j \pm \delta$	
$B_0$	9	$0.041/3 = 0.0136$	$2.06*0.0136$	$0.28777 \pm 0.028$	+
$B_1$	6	$0.041/2.4 = 0.0167$	$2.06*0.0167$	$0.015 \pm 0.034$	-
$B_2$	6	$0.041/2.4 = 0.0167$	$2.06*0.0167$	$0.0133 \pm 0.034$	+
$B_{11}$	2	$0.041/1.4 = 0.029$	$2.06*0.029$	$0.06834 \pm 0.059$	-
$B_{22}$	2	$0.041/1.4 = 0.029$	$2.06*0.029$	$0.0067 \pm 0.059$	-
$B_{12}$	4	$0.041/2 = 0.0205$	$2.06*0.0205$	$0.0125 \pm 0.042$	-

Математическая модель будет выглядеть следующим образом:

$$Y = 0.28777 + 0.06834X_1^2$$

После выведения новой математической модели проводим ее проверку на адекватность по Фишеру, таблица 2.8.

Таблица 2.8 – Проверка математической модели на адекватность по Фишеру

№	X1	X2	B0X0	B1X1 <sup>2</sup>	Y	Yi	Δ	Δ <sup>2</sup>
1	1	1	0,2877	0,0683	0,3561	0.35	0.0061	0.000037
2	1	-1	0,2877	0,0683	0,3561	0.36	0,0039	0,000015
3	-1	1	0,2877	0,0683	0,3561	0.31	0.0561	0,0031
4	-1	-1	0,2877	0,0683	0,3561	0.37	0.0138	0,000019
5	0	0	0,2877	0	0,2877	0.28	0.0077	0,000066
6	1	0	0,2877	0,0683	0,3561	0.39	0.033	0,0010
7	-1	0	0,2877	0,0683	0,3561	0.33	0.026	0,0006
8	0	1	0,2877	0	0,2877	0.28	0.0077	0,000066
9	0	-1	0,2877	0	0,2877	0.29	0.0022	0,000005

Остаточная дисперсия:

$$S^2\{y\}_{\text{ост}} = 0,0009816$$

Дисперсия эксперимента:

$$S^2\{y\}_{\text{общ}} = 0,0017$$

Опытное значение критерия Фишера:

$$F_{\text{оп}} = 0,57 < F_{\text{теор}} = 2,6$$

Математическая модель адекватна.

Анализ влияния режимов обработки на изменение твердости пластин.

Проводятся испытания пластин на установке ГДЭУ-к/в, после чего осуществляется замер твердости на приборе марки ТПП-2.

Для построения математической модели сведем результаты в таблицу 7.9.

Таблица 2.9 – Результаты замера твердости пластин

X <sub>0i</sub>	X <sub>1i</sub>	X <sub>2i</sub>	X <sup>2</sup> <sub>1i</sub>	X <sup>2</sup> <sub>2i</sub>	X <sub>1i</sub> X <sub>2i</sub>	X <sub>0i</sub> Y <sub>i</sub>	X <sub>1i</sub> Y <sub>i</sub>	X <sub>2i</sub> Y <sub>i</sub>	x <sup>2</sup> <sub>1i</sub> Y <sub>i</sub>	X <sup>2</sup> <sub>2i</sub> Y <sub>i</sub>	X <sub>1i</sub> X <sub>2i</sub> Y <sub>i</sub>
1	1	1	0,33333	0,33333	1	4,11	4,11	4,11	1,37	1,37	4,11
1	1	-1	0,33333	0,33333	-1	8,89	8,89	-8,89	2,96333	2,96333	-8,89
1	-1	1	0,33333	0,33333	-1	8,79	-8,79	8,79	2,93	2,93	-8,79
1	-1	-1	0,33333	0,33333	1	5,6	-5,6	-5,6	1,86666	1,86666	5,6
1	0	0	-0,66666	-0,66666	0	6,23	0	0	-4,15329	-4,15329	0
1	1	0	0,33333	-0,66666	0	7,93	7,93	0	2,64333	-5,28661	0
1	-1	0	0,33333	-0,66666	0	8,69	-8,69	0	2,89666	-5,79328	0
1	0	1	-0,66666	0,33333	0	5,66	0	5,66	-3,7733	1,88666	0
1	0	-1	-0,66666	0,33333	0	7,23	0	-7,23	-4,81995	2,41	0
9	0	0	1,8E-05	1,8E-05	0	63,13	-2,15	-3,16	1,92345	-1,80653	-7,97
9	6	6	2	2	4						
B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>11</sub>	B <sub>22</sub>	B <sub>12</sub>						
6,97547	-0,35833	-0,52667	0,96172	-0,90326	-1,9925						

Математическая модель будет выглядеть следующим образом:

$$\hat{Y} = 6.97547 - 0.3583 \cdot X_1 - 0.5267 \cdot X_2 + 0.96172 \cdot X_1^2 - 0.9033 \cdot X_2^2 - 1.9925 \cdot X_1 \cdot X_2$$

Проведем проверку воспроизводимости эксперимента по Кохрену, для чего сведем результаты в таблицу 2.10

Таблица 2.10 - Проверка воспроизводимости эксперимента по Кохрену

№	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>i</sub>	S <sup>2</sup> {y}
1	1	1	1	2,8	2,53	7	4,11	5,43
2	1	1	-1	7,83	10,4	8,43	8,89	1,707
3	1	-1	1	9,07	7,3	9,99	8,79	1,87
4	1	-1	-1	6,07	6,17	4,57	5,6	0,8
5	1	0	0	3,95	8,04	6,69	6,23	4,34
6	1	1	0	6,84	13,88	3,09	7,93	30
7	1	-1	0	9,08	9,53	7,45	8,69	1,2
8	1	0	1	2,56	7,41	7,01	5,66	7,24
9	1	0	-1	10,69	2,39	8,59	7,23	18,56
Σ=								71,13

Требуется проверить однородность при  $\alpha = 0.05$

1. Вычисляем для каждой строки средние арифметические и построчечные дисперсии для функции отклика  $y_i$ ;

2. Вычисляем опытное значение критерия Кохрена, равное отношению максимальной эмпирической дисперсии к сумме дисперсии по всем строчкам, для нашего случая  $G_{оп} = 0,42$ ;

3. Теоретическое значение критерия Кохрена  $G_{теор} = 0,47$ ;

4. Так как опытное значение критерия Кохрена меньше теоретического, то гипотеза об однородности дисперсий измерения функции отклика при уровне значимости  $\alpha = 0,05$  по критерию Кохрена не отвергается;

5. Общая дисперсия эксперимента будет равна  $S\{y\} = 2,81$

Проведем статистическую оценку коэффициентов значимости регрессии по Стьюденту.

Условием значимости коэффициента будет являться:

$\delta > V_i$  – коэффициент незначим

$\delta < V_i$  – коэффициент значим

Расчет сведем в таблицу 2.11.

Таблица 2.11 - Статистическая оценка коэффициентов значимости регрессии по Стьюденту

	$\Sigma x$	Среднеквадратическое отклонение коэффициентов регрессии	Величина полуинтервала	$V_j \pm \delta$	
$B_0$	9	$2,81/3 = 0,936$	$2.06 * 0,936$	$6,97 \pm 1,92$	+
$B_1$	6	$2,81/2.4 = 1,146$	$2.06 * 1,146$	$0.3583 \pm 2,36$	-
$B_2$	6	$2,81/2.4 = 1,146$	$2.06 * 1,146$	$0.5267 \pm 2,36$	-
$B_{11}$	2	$2,81/1.4 = 1,99$	$2.06 * 1,99$	$0.96172 \pm 4,09$	-
$B_{22}$	2	$2,81/1.4 = 1,99$	$2.06 * 1,99$	$0.9033 \pm 4,09$	-
$B_{12}$	4	$2,81/2 = 1,41$	$2.06 * 1,41$	$1,99 \pm 2,9$	-

Математическая модель будет выглядеть следующим образом:

$$Y = 6,7547$$

После выведения новой математической модели проводим ее проверку на адекватность по Фишеру, таблица 2.12.

Таблица 2.12 – Проверка математической модели на адекватность по Фишеру

X1	X2	ВоХо	Y	Yi	$\Delta$	$\Delta^2$
1	1	6,97547	6,97547	4,11	2,86	8,18
1	-1	6,97547	6,97547	8,89	1,9	3,61
-1	1	6,97547	6,97547	8,79	1,8	3,24
-1	-1	6,97547	6,97547	5,6	1,37	1,88
0	0	6,97547	6,97547	6,23	0,74	0,54
1	0	6,97547	6,97547	7,93	0,95	0,9
-1	0	6,97547	6,97547	8,69	1,71	2,92
0	1	6,97547	6,97547	5,66	1,315	1,73
0	-1	6,97547	6,97547	7,23	0,25	0,0625

Остаточная дисперсия:

$$S^2\{y\}_{\text{ост}} = 4,61$$

Дисперсия эксперимента:

$$S^2\{y\}_{\text{общ}} = 7,9$$

Опытное значение критерия Фишера:

$$F_{\text{оп}} = 0,58 < F_{\text{теор}} = 2,6$$

Математическая модель адекватна.

Выводы

В результате обработки экспериментов и создания математических моделей, можно сделать следующие выводы:

1. Изменение стрелы прогиба в большей степени зависит от выбора давления и в меньшей от времени обработки, что позволяет использовать эти данные непосредственно при планировании режимов работы.
2. Шероховатость не изменяется в процессе обработки и это является положительным свойством данного вида обработки.
3. Отсутствие изменений при замере скачков твердости является следствием того, что применяется прибор с невысокими техническими характеристиками, не позволяющий фиксировать эти отклонения.

## **2.3 Технологический процесс восстановления коленчатого вала двигателя**

При восстановлении коленчатого вала на предприятиях, существует ряд ограничений (неисправностей) при наличии которых коленчатый вал на восстановление не принимается.

Технические требования на приемку на восстановление коленчатого вала.

Не принимаются на восстановление при наличии хотя бы одного из следующих дефектов:

- сколы;
- кольцевые трещины и риски;
- трещины выходящие на галтели;
- трещины длиной более 10 мм;
- диаметр коренных шеек менее 72.98 мм;
- диаметр шатунных шеек менее 63.98мм;
- радиальное биение поверхности средней коренной шейки относительно общей оси крайних коренных шеек более 1 мм;
- смещение осей шатунных шеек от плоскости проходящей через оси шатунных и коренных шеек более 0.35 мм;
- биение посадочной поверхности под звездочку и подшипник переднего вала коробки передач более 0.04 мм;

Дополнительно в маршрутный тех. процесс восстановления коленчатого вала была введена операция ГДО, которая позволяет обеспечить увеличение ходимости коленчатых валов в 1.5 раза.

Требования к поверхности: Необходимо разработать технологию получения покрытий обладающих рядом свойств:

- высокой адгезией более 80 МПа
- малой пористостью
- высокой твёрдостью НВ 220

- коррозионной стойкостью
- сверхвысокой плотностью (более 99%)
- высокой ударной вязкостью

Кроме того, данная технология должна обеспечить толщина покрытий от 0,05 до 3 мм. При этом быть экономически целесообразной.

Все эти требования можно удовлетворить с помощью метода напыления и проведения гидродробеструйной обработки.

### 1. Прожиг маслканалов

Данная операция производится с целью очистки маслканалов от остатков смазки.

Достаточно проблематично выбить загрязнения, поэтому будет использоваться кислородный резак, обладающий очень высокой температурой струи. Однако нельзя забывать о том, что деталь нельзя перегревать выше, чем 70 С, поэтому прожиг должен быть кратковременным.

Оборудование: резак кислородный

Материалы: ацетилен, кислород

Режимы:

температура детали не более 70 0С,

$P_{\text{кисл}}=5$  атм.,

$P_{\text{ацет}}=1$  атм.

Норма времени: 12 мин

### 2. Продувка маслканалов

Необходимо удалить продукты горения, сажу, копоть.

Оборудование: Пистолет для раздачи воздуха типа 199 PAPO

Режимы:  $P_{\text{возд}}=8$  атм.

Норма времени: 7 мин

### 3. Ультразвуковая мойка

Состояние поверхности металла изделия. Если при визуальном осмотре на поверхности изделия обнаружены следы загрязнений (влага, оксиды, окалина), то следует осуществить соответствующую очистку поверхности.

Как правило, коленчатые валы перед напылением нуждаются в чистке, так как на рабочих поверхностях имеются остатки смазки, грязь, ржавчина. Для получения качественного покрытия поверхность детали необходимо очистить.

- Уложить вал в моечную машину
- Промыть до полного удаления загрязнений

Оборудование: мойка ОМ 22609

Материалы: лабомид 203, Пеногаситель ЭАП-40

Режимы: температура моющего средства, 60 – 80 °С, время выдержки 10 мин.

Норма времени: 12 мин.

#### 4. Сушка

После мойки вал необходимо просушить, так как влага так же является препятствием получения качественных покрытий, соответственно её следует полностью удалить.

- Поместить вал коленчатый в шкаф сушильный
- -Дождаться полного высыхания поверхности.

Оборудование: шкаф сушильный

Норма времени: 8 мин

#### 5. Дефектовка и забивка маслоканалов

Не все коленчатые валы можно восстановить, существует ряд дефектов, не подлежащих ремонту, описанные выше.

К восстановлению допускаются валы коленчатые с биением третьей коренной шейки не более 2 мм.

Оборудование: Верстак, Штангенциркуль, Микрометр, Биениемер ПБМ-500

Норма времени: 8 мин.

## 6. Базирование

Установить вал на установку, зажать нижним фиксатором, с помощью центросместителя задать нужный эксцентриситет, совместить ось напыляемой шейки с основной осью установки. Опустить верхнюю тележку и зафиксировать свободный конец вала.

Норма времени 8 мин.

## 7. Струйно-абразивная обработка

«Предварительная обработка поверхности основы относится к числу важнейших факторов, определяющих прочность сцепления у напыленного покрытия с основным металлом. Адгезия покрытия возникает под действием ряда механизмов, из которых определяющее значение для многих покрытий имеет механическое сцепление напыляемого материала с поверхностью основы. Следовательно, для того чтобы напыляемые частицы, которые ударяются и деформируются об основу, прочно сцеплялись неровностями поверхности, основа должна быть достаточно шероховатой. В тех случаях, когда адгезия покрытия непосредственно зависит от сплавления напыляемого материала с материалом основы или от образования химических соединений в переходной зоне, предварительная обработка изделия должна включать - очистку поверхности. Предварительная обработка поверхности изделия для придания ей шероховатости - важная мера увеличения площади поверхности основы и создания большей активности основы.» [21]

Для придания поверхности изделия шероховатости будем применять струйно-абразивную обработку, преимущество которой связано с возможностью обработки больших площадей.

«В качестве абразивных частиц используют стальную дробь (крошку), дробь отбеленного чугуна, силикатный песок, речной песок, кремень, гранит, шлак, плавленный глинозем, карбид кремния и другие виды материалов в форме угловатых частиц с острыми гранями.» [25]

«При обработке одним соплом дробеструйного аппарата с использованием одной и той же обрабатывающей среды производительность

процесса обдувки возрастает при повышении давления. Эффективность обработки повышается при увеличении размера частиц, при этом возрастает шероховатость обрабатываемой поверхности. Малый размер частиц абразива обеспечивает небольшую шероховатость. На практике обработку поверхности материала изделий осуществляют смесью крупного и мелкого абразивного материала, чтобы полнее использовать преимущества той и другой фракции, нанесение покрытия следует начинать вскоре после окончания предварительной обработки поверхности, поскольку длительная выдержка активированной поверхности с большой эффективной площадью сопровождается активным ее окислением, снижающим прочность сцепления покрытия с основным металлом. После абразивной обработки первый слой следует напылять не позднее чем через 0,5 ч, общая продолжительность от окончания абразивной обработки до завершения процесса напыления покрытия не должна превышать 4 ч; в данной работе предусмотрено, чтобы процесс абразивной обработки происходил непосредственно перед процессом напыления.» [32]

Струйно-абразивный аппарат предназначен для поверхностного наклепа основы и покрытия с целью создания определенного напряженного состояния. Особенно он необходим для смены знака напряжений, например, из растягивающихся в сжимающие. В нашем случае дробеструйный аппарат применялся также для создания специального микрорельефа в виде “ласточкиного хвоста”.

- Произвести обработку поверхности

Оборудование: проектная установка, дробеструйный аппарат

Материалы: электрокорунд 14А, 23А, зернистость 0.5 мм

Режимы: давление сжатого воздуха 10 атм., расстояние от пистолета до поверхности шейки 30 мм, частота вращения 60 об/мин

Активация поверхности: обработка до матовой поверхности Rz20,

Норма времени: 10 мин.

## 8. Нанесение восстанавливающих упрочняющих покрытий

Выбор режимов напыления. Дистанция напыления. Оптимальное расстояние от среза сопла горелки до поверхности напыления обычно не выходит за пределы 75-200 мм, в нашем случае 150 мм. При малой дистанции напыления создается опасность деформации основного металла под влиянием термических напряжений; когда же расстояние слишком большое температура и скорость напыляемых частиц снижается, что приводит к образованию рыхлого покрытия и уменьшению прочности сцепления с основой. В конечном счете, может произойти отслоение покрытия от основы.

Угол напыления. Наибольшая деформация напыляемых частиц при соударении с поверхностью основы происходит, если горелка установлена перпендикулярно к ее поверхности. В случаях, когда невозможно обеспечить этот угол, допускается отклонение от вертикали, но не более чем на  $10-15^{\circ}$ . При углах напыления менее  $90^{\circ}$  несколько снижается качество покрытия, ухудшаются в первую очередь адгезионные свойства. Температура поверхности основного металла в процессе напыления. Перегрев поверхности основного металла в процессе напыления вызывает снижение прочности сцепления покрытия или становится причиной деформации. Теоретическая температура поверхности основного металла не должна превышать  $70^{\circ}\text{C}$ . Более рационально проводить только локальный нагрев и охлаждение зоны напыления.

Равномерность толщины покрытия. По техническим условиям толщина покрытия должна находиться в пределах 70-100 мкм. При отработки технологии напыления толщина напыляемого слоя, за один оборот, не превышала 20 мкм.

Оборудование: Проектная установка, горелка для сверхзвукового напыления, аппарат для напыления, газовые баллоны, компрессор.

Материал: Порошки 1) ХА17, 2) ПН-74Х19105К, 3) ПН-62Х16Б20К

Транспортирующий газ: Ацетилен, Кислород.

Режимы: частота вращения 60 об/мин,  $P(\text{воздуха}) 6 \text{ кгс/см}^2$ , расход воздуха 3 м<sup>3</sup>/час, расход порошка 3 кг/час, фракция 40-60 мкм,  $P(\text{кислорода}) 5 \text{ кгс/см}^2$ , расход кислорода 1 м<sup>3</sup>/час,  $P(\text{ацетилен}) 1.2 \text{ кгс/см}^2$

расход ацетилен 1 м<sup>3</sup>/час, подслои ПН-85Ю15 (3 мкм),

После нанесения подслоя и каждого слоя проводить гидродробеструйную обработку в соответствии.

Расчёт времени напыления одной шейки коленчатого вала

Диаметр шейки:  $d=75 \text{ мм}$

Длина шейки:  $H=57 \text{ мм}$

Толщина напыляемого слоя:  $h=1 \text{ мм}$

Плотность слоя:  $P=7.8 \text{ г/см}^3$

Производительность:  $PP=2 \text{ кг/час}$

- Длина окружности шейки

$$L_{ш} = \pi \cdot d_{ш}. \quad (2.3)$$

$$L_{\phi} = 3.14 \cdot 75 = 235.5 \text{ м}$$

- Площадь поверхности шейки

$$S_{\phi} = L_{\phi} \cdot H_{\phi} \quad (2.4)$$

$$S_{\phi} = 235.5 \cdot 57 = 13423.5 \text{ м}^2$$

- Объем напыляемого слоя

$$V_{\phi} = S_{\phi} \cdot h_{\phi} \quad (2.5)$$

$$V_{\phi} = 13423.5 \cdot 1 = 13423.5 \text{ м}^3$$

- Масса напыляемого материала

$$M_{\phi} = V_{\phi} \cdot P \quad ($$

$$M_{\phi} = 13423.5 \cdot 7.8 = 104703.3 \text{ кг} = 104.7 \text{ т} \quad 2.6)$$

Норма времени: Напыление 2 мм слоя производится в 4 слоя, соответственно, 4 раза будет, проводится промежуточная обработка, с охлаждением в потоке воздуха  $T=T_{ш} \cdot 2 + T_{др} \cdot 4$

Время струйно-абразивной обработки с охлаждением.  $T_{др}=5.7$  мин

$T=23.7$  мин. Всего 11 шеек: Время машинное 261 мин.

Время напыления 187 мин

Расход порошка 3 кг/час

Расход материала на изделие  $N_{рпор}=9$  кг/изд

#### 9. Финишная механическая обработка

После напыления ожидается получить геометрические размеры близкие к требуемым, тем не менее, необходимо провести финишную механическую обработку, для получения требуемых размеров, и необходимой шероховатости.

Оборудование: Станок шлифовальный

Материалы: Круги алмазные

Режимы:  $V=10-15$  м/мин

#### 10. ОТК

Высокие эксплуатационные свойства деталей с износостойкими покрытиями обеспечиваются, прежде всего, стабильностью значений характеристик слоя и основы, а также техпроцесса. Для износостойких покрытий инструментальных материалов требуется их прочное сцепление с основой, однородная толщина покрытия, минимальная пористость, отсутствие микротрещин и т.д.

Контроль производится технологом и контролером. Проверить инструмент на сплошность покрытия (визуально).

Покрытие должно быть без шелушения, вздутий, трещин и включений. Вакуумно-плазменное покрытие на основе нитрида титана имеет золотисто-желтый цвет.

Проверить твердость инструмента по Роквеллу (HRCэ), Она должна соответствовать твердости согласно требованиям чертежа.

Толщина и микроструктуру нанесённого слоя определяется на металлографическом микроскопе ММР-2 путём замера поперечного металлографического шлифа.

Исследование фазового состава проводится на рентгеновском дифрактометре ДРОН-1,5. Адгезию покрытия с основой определяют склерометрическим методом, с помощью зонда на покрытие наносится царапины. При этом увеличивают нагрузку до тех пор, пока не произойдёт отделение материала покрытия от подложки. По критической нагрузке определяют степень адгезии покрытия с основой.

Шероховатость поверхности покрытия должна соответствовать требованиям чертежа на обрабатываемое изделие.

Ударная вязкость определяется при термоциклических испытаниях.

Оборудование: Верстак, микрометр, скобы, штангенциркуль.

Режимы: твёрдость НРСэ=59-64, биение 0.03 мм, отклонение от номинального размера радиуса шейки 0.02 мм.

## **Глава 3 Экономическая эффективность гидродробеструйной обработки шеек коленчатых валов автомобилей**

### **3.1 Расчет экономической эффективности применения гидродробеструйной обработки**

В условиях рыночной экономики значение экономического обоснования технических и технологических проектов повышается. Обострение конкурентной борьбы производителей услуг, быстрые темпы морального устаревания разработок повышают риск и возможные потери от необоснованных решений. Обоснование экономической эффективности является неотъемлемой частью технологических и конструкторских разработок, позволяя выбрать оптимальное с экономической точки зрения техническое решение.

Обоснование целесообразности проекта: затраты на изготовление новой детали значительно превышают затраты на ремонт (восстановление) изношенной детали. Поэтому актуальной проблемой в настоящее время является восстановление изношенной детали с последующей ее обработкой и придание ей определенных свойств.

Таким образом, целью является обоснование экономической эффективности произведенных затрат. Однако, как правило, в процессе экономического обоснования проектируемых мероприятий рассчитываются следующие показатели:

- снижение трудоемкости;
- снижение непроизводительных потерь рабочего времени;
- условия высвобождение численности рабочих;
- сокращение численности рабочих;
- рост производительности труда;
- рост объема производства;
- снижение себестоимости услуг (продукции);

- экономия условно-годовая от внедрения мероприятий;
- экономический эффект от внедрения мероприятий;
- срок окупаемости дополнительных капитальных затрат.

Любое техническое решение может быть признано эффективным и принято к внедрению лишь после того, как будет доказана его техническая прогрессивность и экономическая целесообразность. Следует отметить, что основными дефектами коленчатого вала являются: изгиб, износ шатунных и коренных шеек, износ отверстия под подшипник ведущего вала коробки передач и отверстий фланца вала под болты крепления маховика.

Изгиб коленчатого вала двигателя проверяют на стенде, на призмах, установленных на контрольной плите или в центрах токарного станка при помощи индикатора. Изгиб (биение средней коренной шейки относительно крайних) свыше допустимого по техническим условиям устраняют правкой на прессе. Коленчатый вал устанавливают на призмы крайними коренными шейками, а штоком пресса через медную или латунную прокладку давят на среднюю шейку со стороны, противоположной изгибу. При этом величина прогиба должна быть примерно в 10 раз больше устраняемого изгиба. Вал выдерживают под нагрузкой на прессе в течение 2—4 мин. После правки рекомендуется вал подвергнуть термической обработке, т. е. нагреть до 180—200° С и выдержать при этой температуре в течение 5—6 ч. Затем вал проверяют на биение. Биение средних шеек по отношению к крайним шейкам не должно превышать 0,05 мм.

В разделе необходимо обосновать экономическую эффективность разработки оборудования технологии для восстановления и упрочнения коленчатых валов автомобилей.

Для решения задач обоснования экономической эффективности необходимо:

- рассчитать затраты на разработку проекта и его практическую реализацию;
- оценить экономический эффект;

- срок окупаемости проектных затрат;
- обобщить результаты расчетов и сделать выводы об эффективности проектных затрат.

Экономическая эффективность - сложная категория экономической науки. Она пронизывает все сферы практической деятельности человека, все стадии общественного производства, является основой построения количественных критериев ценности принимаемых решений, используется для формирования материально-структурной, функциональной и системной характеристики хозяйственной деятельности.

Сущность экономической эффективности большинством экономистов трактуется как достижение максимальных результатов в интересах общества при минимальных затратах. Поэтому определение экономической эффективности производства и производительности общественного труда должно базироваться на сопоставлении результата производства с совокупными затратами, обусловившими данный результат.

Экономическая эффективность - результат рационального расходования материальных, трудовых и денежных ресурсов. На практике определяется как соотношение между получаемыми доходами организации, с одной стороны, и затратами живого (рабочая сила) и овеществленного (средства производства) труда - с другой стороны. Это относительный показатель, соизмеряющий полученный эффект с затратами или ресурсами, использованными для достижения этого эффекта.

Результативность и эффективность хозяйственной деятельности предприятия измеряются различными абсолютными и относительными показателями: прибылью, уровнем валового дохода, рентабельностью и др. Различные показатели существуют для измерения эффективности использования ресурсов предприятия (показатели отдачи ресурсов). Данные показатели обычно не имеют нормативных значений, они зависят от множества факторов и существенно варьируются по различным предприятиям в разных отраслях.

Экономический эффект может быть выражен в натуральных, трудовых, стоимостных - количественных и качественных показателях.

Взаимосвязанный процесс одновременного использования научно-технических достижений и внутрихозяйственных резервов выступает в качестве основного фактора повышения эффективности производства.

Система показателей экономической эффективности производства отражает темпы роста конечных результатов и снижение издержек производства, вместе с тем характеризуют степень совершенства хозяйственного механизма, включая механизм управления научно-техническим прогрессом.

Внедрение технических усовершенствований в автосервис автомобилей повышает их конкурентоспособность, безопасность и комфорт потребителя, но встает вопрос о том, сколько времени и ресурсов было необходимо для создания и внедрения технических разработок.

Разработка оборудования технологии для восстановления и упрочнения коленчатых валов автомобилей требует затрат материальных, трудовых, финансовых ресурсов.

Задачи обоснования экономической эффективности проекта:

1. Определить исходные данные проектирования
2. Сформировать организационную структуру управления проектом
3. Определить стоимость разработки и внедрения проекта.
4. Рассчитать эффект от использования оборудования технологии для восстановления и упрочнения коленчатых валов автомобилей
5. Рассчитать показатели экономической эффективности: коэффициент окупаемости затрат на внедрение проектных мероприятий, срок окупаемости проекта.
5. Внести полученные результаты обоснования экономической эффективности проекта в итоговую таблицу и сделать выводы по разделу.

Характеристика технических изменений, вносимых разработкой и ее влияние на экономические и качественные показатели представлены в таблице 3.1

Таблица 3.1 - Краткая характеристика проектных предложений по разработке оборудования технологии для восстановления и упрочнения коленчатых валов автомобилей

Характеристика технических (технологических) изменений, предлагаемых в проекте	Влияние технических изменений на		
	Экономические показатели		Качественные параметры
	В сфере производства	В сфере эксплуатации	
Разработка технологии для восстановления и упрочнения коленчатых валов автомобилей	1.Снижение трудовых затрат 2.Экономичность	1. Долговечность и высокая работоспособность деталей машин при наименьших затратах на их восстановление	1.Повышение твердости, экономическая и экологическая эффективность. 2.Повышение технического уровня

Как показывают данные таблицы, проектные предложения положительным образом сказываются на экономических и качественных параметрах. Разработка оборудования технологического процесса восстановления рабочих поверхностей коленчатого вала, обеспечивает наибольшую долговечность и высокую работоспособность деталей машин при наименьших затратах на их восстановление. Чтобы определить экономический эффект необходимо сравнить предполагаемые экономические результаты от проекта с соответствующими затратами, поэтому в следующем параграфе будет рассчитана себестоимость разработки приложения.

Технологический процесс восстановления коленчатых валов включает следующие операции:

- мойку, разборку и дефектацию коленчатого вала;
- проверку биения по средней шейке;
- правку коленчатого вала на прессе (при необходимости);
- установку пробок в отверстия масляных каналов вместо заглушек;
- шлифование коренных и шатунных шеек;
- контроль размеров коренных, шатунных шеек и радиуса кривошипа;
- полирование коренных и шатунных шеек и сборку коленчатого вала.

Построим матрицу работ с указанием содержания работ и продолжительностью работ в часах (таблица 2.2).

Таблица 2.2 - Содержание и продолжительность разработки проекта

Содержание работ	Продолжительность работ, чел-час
Обзор существующих систем визуализации информации	12
Разработка технических условий проекта	18
Патентные исследования	10
Разработка структурной схемы	10
Разработка принципиальной схемы	10
Проектирование печатной платы	10
Разработка технологического процесса сборки печатной платы	10
Чертежные работы	20
Оформление конструкторской документации	15
Обоснование экономической эффективности проекта	15
<b>ОБЩАЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ</b>	<b>130</b>

Принципиальная схема участников технического проекта представлена на рисунке 2.1

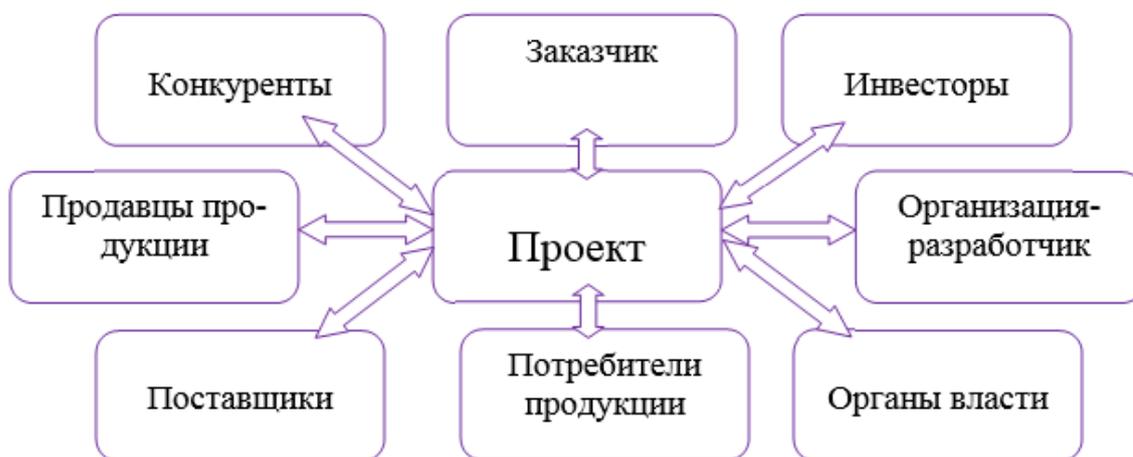


Рисунок 2.1 - Схема участников

Для успешного внедрения проектного предложения на предприятии необходимо сформировать организационную структуру, позволяющую эффективно управлять проектом. Для реализации проекта целесообразно создать рабочую группу, для разработки проекта привлечь дополнительные ресурсы.

Формирование рабочей группы технического проекта занимает от 3 до 5 дней. Технология формирования рабочей группы отражена на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 - Технология формирования рабочей группы

### 3.2 Оценка эффективности предлагаемых мероприятий

Стоимость разработки и внедрения проекта рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{созд}} = C_{\text{сразр}} + C_{\text{свнедр}}, \quad (3.1)$$

где  $C_{\text{сразр}}$  - стоимость разработки проекта;

$C_{\text{свнедр}}$  - стоимость внедрения проекта

Стоимость разработки проектных предложений получим по формуле:

$$C_{\text{сразр}} = T_{\text{пр}} * P_{\text{пр}} * O_{\text{сн}} + T_{\text{рк}} * C_{\text{ЭВМ}}, \quad (3.2)$$

где  $T_{\text{пр}}$  – длительность цикла разработки оборудования в часах;

$P_{\text{пр}}$  – почасовая оплата труда участников проекта;

$O_{\text{сн}}$  – отчисления на социальные нужды;

$T_{\text{рк}}$  - время работы на электрооборудовании;

$C_{\text{ЭВМ}}$  – стоимость работы на электрооборудовании в единицу времени.

Для объективной оценки стоимости разработки за основу расчетов возьмем среднюю оплату труда по Самарскому региону: на 1.10.13г. она составила 20950 руб. При 22 рабочих днях в месяц и 8 часовой продолжительности трудового дня почасовая оплата труда участников проекта составит:

$$P_{\text{пр}} = 20950 / 22 / 8 = 119 \text{ руб.}$$

Размер отчислений в социальные фонды в 2013 г. – 34%.

Продолжительность работы на электрооборудовании составила около 60% всего цикла работ:

$$T_{\text{рк}} = 140 * 0,6 = 84 \text{ дней}$$

Стоимость дня работы на электрооборудовании рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{ЭВМ}} = C \setminus (T * n) \quad (3.3)$$

где:  $C$  – затраты на содержание и обслуживание оборудования (за месяц)

$T$  – полезный фонд времени работы (за месяц)

$n$  – количество единиц оборудования

Затраты на содержание и обслуживание рассчитываются по формуле:

$$C = C_{ЗП} + C_{АМ} + C_{РЕМ} + C_{ЭЛ} + C_{М}$$

где:  $C_{ЗП}$  – затраты на обслуживание техники

$C_{АМ}$  - амортизационные отчисления

$C_{РЕМ}$  - затраты на ремонт электрооборудования

$C_{ЭЛ}$  - затраты на электроэнергию

$C_{М}$  - затраты на материалы

Данные для расчета стоимости приведены в таблице 4.3.

Таблица 2.3 - Структура затрат по разработке оборудования технологии для восстановления и упрочнения коленчатых валов автомобилей

Элементы затрат	Сумма (руб)
Материальные затраты	9000,00
Амортизационные отчисления	5610,00
Затраты на ремонт электрооборудования	1870,00
Затраты на электроэнергию	2700,00
Прочие	1700,00
Итого:	20880,00

Рассчитаем стоимость одного часа работы на электрооборудовании:

$$C_{э. об.} = 20880,00 / (18,34 * 6 * 16) = 11,86 \text{ руб.}$$

Таким образом, стоимость разработки проекта составит:

$$C_{разр} = 130 * 119 * 1,34 + 84 * 11,86 = 15470 + 996,2 = 16466 \text{ руб.}$$

Стоимость внедрения проекта рассчитаем по формуле:

$$C_{внедр} = C_{фг} + C_{об} + Фмс \quad (3.4)$$

где  $C_{фг}$  – стоимость работ по формированию рабочей группы проекта;

$C_{об}$  – стоимость электрооборудования, необходимого для реализации проекта;

$Фмс$  – фонд материального стимулирования участников проекта.

Стоимость работ по формированию рабочей группы проекта получим по формуле:

$$C_{\text{фг}} = T_{\text{фг}} * P_{\text{рп}} * O_{\text{сн}}, \quad (3.5)$$

где  $T_{\text{фг}}$  – длительность работ по формированию рабочей группы проекта в днях;

$P_{\text{рп}}$  – дневная оплата труда специалиста ;

$O_{\text{сн}}$  –отчисления на социальные нужды.

Длительность работ по формированию рабочей группы проекта в днях определена в п.4.2. и составляет 5 рабочих дней. Дневная оплата труда специалиста в среднем составляет 800 руб. Таким образом, получим:

$$C_{\text{фг}} = 5 * 800 * 1,34 = 5360 \text{ руб.}$$

Стоимость инструментов и электрооборудования, необходимых для реализации проекта, составляет  $C_{\text{об}} = 58000$  руб.

Фонд материального стимулирования формируется в виде 2 премиальных выплат участникам проекта и составляет:

$$F_{\text{мс}} = 50 \text{ тыс.руб.}$$

Таким образом, стоимость внедрения проекта составит:

$$C_{\text{внедр}} = 5360 + 58000 + 50000 = 113360 \text{ руб.}$$

Совокупная стоимость разработки и внедрения проекта составит:

$$C_{\text{созд}} = 16466 + 113360 = 129826 \text{ руб.}$$

Оценка экономической эффективности проекта по разработке оборудования технологии для восстановления и упрочнения коленчатых валов автомобилей.

Разработка технологического процесса восстановления рабочих поверхностей коленчатого вала, обеспечивает наибольшую долговечность и высокую работоспособность деталей машин при наименьших затратах на их восстановление.

Экономический эффект проектной разработки в условиях недостатка информации может быть получен методом экспертной оценки. В качестве

экспертов выбраны сотрудники НИИ (г. Самара). Результаты оценки экономического эффекта от внедрения проекта отражены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 - Результаты оценки экономического эффекта от внедрения проекта

Источник эффекта	Количественная оценка эффекта	Величина эффекта, тыс. руб.
Экономия производственных затрат	на 1%	100

Экономический эффект за счет качества и надежности автомобилей из-за улучшения потребительских характеристик может быть получен в долгосрочной перспективе, поэтому в расчет экономической эффективности не принят.

В расчете участвует оценка экономического эффекта, полученного за счет экономии производственных затрат:

$$\text{Эг} = 100000 \text{ руб.}$$

Экономическая эффективность затрат на внедрение проектных мероприятий (Э) рассчитывается по формуле:

$$\text{Э} = \text{Эг} - E_n * C_{\text{созд}}, \quad (3.6)$$

где Эг – годовой экономический эффект;

$E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

$C_{\text{созд}}$  - общая сумма затрат на создание проекта.

В расчетах используется отраслевой нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений, равный 0.3 ( $E_n = 0.3$ ).

Экономическая эффективность затрат по проекту составила:

$$\text{Э} = 100000 - 0,3 * 129826 = 61052 \text{ руб.}$$

Рассчитаем коэффициент окупаемости затрат по проекту:

$$E_p = \text{Эг} / C_{\text{созд}} \quad (3.7)$$

$$E_p = 100000 / 129826 = 0,77$$

Должно выполняться условие  $E_p > E_n$ .

Условие эффективности проекта выполняется, т.к.  $0,77 > 0,3$ .

Срок окупаемости затрат  $T_{\text{окуп}}$  рассчитаем по формуле:

$$T_{\text{окуп}} = C_{\text{созд}} / \text{Эг} \quad (4.8)$$

$$T_{\text{окуп}} = 129826 / 100000 = 1,3 \text{ года}$$

Результаты обоснования экономической эффективности проекта занесем в таблицу 3.5.

Таблица 3.5 - Результаты оценки экономической эффективности разработки и внедрения проекта

Показатель	Значение показателя
Стоимость разработки проекта (Сразр), руб.	16466
Стоимость внедрения проекта (Свнедр), руб.	113360
Совокупные проектные затраты (Ссозд), руб.	129826
Годовой экономический эффект (Эг), руб.	100000
Коэффициент окупаемости проектных затрат ( $E_p$ )	0,77
Срок окупаемости затрат ( $T_{\text{ок}}$ ), лет	1,3

Результаты расчетов позволяют сделать вывод об экономической эффективности и удовлетворительной окупаемости затрат по разработке оборудования технологии для восстановления и упрочнения коленчатых валов автомобилей. Проект является экономически целесообразным и рекомендуется к внедрению в производстве.

## Заключение

В рамках диссертационной работы была произведено исследование влияния гидродробеструйной обработки на поверхностное упрочнение шеек коленчатых валов. В практической части диссертации была рассмотрена технология восстановления коленчатого вала автомобиля методом напыления с последующей промежуточной и финишной обработкой поверхности гидродробеструйным методом. Был произведен комплекс работ, в ходе которых был решен ряд задач, поставленных при разработке:

- проведение анализа методик восстановления геометрии шеек коленчатого вала;
- произвести анализ и сформулировать комплекс проблем, характерных для проведения технологических операций подобного рода;
- определены в соответствии с проведенным анализом пути разрешения комплекса проблем в сфере технологии;
- произведена серия экспериментов, в ходе которых установлено влияние режимов гидродробеструйной обработки на поверхностное упрочнение шеек коленчатых валов;
- произведена предварительная оценка эффективности предлагаемых решений в рамках диссертационного исследования.

Решение задач производилось в трех главах диссертационной работы.

В первой главе магистерской диссертации были рассмотрены теоретические вопросы, посвященные вопросам проведения восстановления коленчатых валов автомобилей. В частности, рассматривалась технология напыления металла на изношенные шейки коленчатых валов, как наиболее часто используемая в условиях современного производства и соответствующая текущему уровню развития техники и технологии. Также в главе был произведен анализ проблем проведения технологической операции восстановления коленчатого вала, среди которых автором были выделены ключевые.

Во второй главе были рассмотрены основы проведения гидродробеструйной обработки поверхности. В главе был раскрыт комплекс вопросов, посвященных сути процесса. Также в главе приводятся результаты экспериментов по исследованию влияния гидродробеструйной обработки на качество поверхности. Результат экспериментов представлены в виде математических моделей, описывающих различные параметры, характеризующих качество поверхности.

В третьей главе магистерской диссертации была произведена первичная оценка экономической эффективности предлагаемых мероприятий. Оценка предлагаемых в рамках диссертационного исследования решений носит оценочный характер и не является окончательной, поскольку в процессе реализации технологического процесса в условиях реального производства неизбежно возникновение комплекса сопутствующих работ, которые приведут к изменению капитальных вложений и повлияет на конечные сроки окупаемости.

На основании произведенных работ можно сделать вывод о достижении поставленных целей в рамках диссертационного исследования.

## Список используемых источников

1. Филонов, И. П. Инновации в технологии машиностроения: Учебное пособие / Филонов И.П., Баршай И.Л. - Мн.:Вышэйшая школа, 2009. - 110 с. (ВУЗ)ISBN 978-985-06-1684-5.
2. Инновационные центры высоких технологий в машиностроении : монография / В. И. Аверченков, А. В. Аверченков, В. А. Беспалов [и др.]; под общ ред. В. И. Аверченкова, А. В. Аверченкова. - 2-е изд., стереотип. - Москва : Флинта, 2011.- 180 с. - ISBN 978-5-9765-1257-3.
3. Иванов, А. С. Курсовое проектирование по технологии машиностроения : учебное пособие / А. С. Иванов, П. А. Давыденко, Н. П. Шамов. - Москва : ИЦ РИОР : НИЦ ИНФРА-М, 2019. - 276 с. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-16-100268-1.
4. Материаловедение в машиностроении и промышленных технологиях: Учебно-справочное руководство / В.А. Струк, Л.С. Пинчук, Н.К. Мышкин, П.А. Витязь. - Долгопрудный: Интеллект, 2010. - 536 с. ISBN 978-5-91559-068-6.
5. Скворцов, В. Ф. Основы технологии машиностроения : учебное пособие / В.Ф. Скворцов. — 2-е изд. — Москва : ИНФРА-М, 2020. — 330 с. + Доп. материалы [Электронный ресурс]. — (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-16-108020-7.
6. Основы технологии сборки в машиностроении : учеб. пособие / И.В. Шрубченко, Т.А. Дуюн, А.А. Погонин [и др.]. — Москва : ИНФРА-М, 2019. — 235 с. — (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-16-107680-4.
7. Погонин, А. А. Технология машиностроения : учебник / А.А. Погонин, А.А. Афанасьев, И.В. Шрубченко. — 3-е изд., доп. — Москва : ИНФРА-М, 2020. — 530 с. - ISBN 978-5-16-106238-8.
8. Аверьянова, И. О. Технология машиностроения. Высокоэнергетические и комбинированные методы обработки : учебное

пособие / И. О. Аверьянова, В. В. Клепиков. — Москва : ФОРУМ, 2020. — 304 с. — (Профессиональное образование). —

9. Иванов, И. С. Технология машиностроения: производство типовых деталей машин : учеб. пособие / И.М. Иванов. — М. : ИНФРА-М, 2019. — 224 с. — ISBN 978-5-16-100179-0. —

10. Технология сельскохозяйственного машиностроения : учебник / М.А. Федоренко, Т.А. Дуюн, Ю.А. Бондаренко, А.А. Погонин. — 2-е изд., стереотип. — Москва : ИНФРА-М, 2018. — 467 с. — ISBN 978-5-16-106088-9.

11. Погонин, А. А. Восстановление точности крупногабаритных деталей с использованием приставных станочных модулей: Монография / Погонин А.А. - Москва :НИЦ ИНФРА-М, 2017. - 191 с.ISBN 978-5-16-105731-5 (online). - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/899755> – Режим доступа: по подписке

12. Лебедев, А. Т. Технология и организация восстановления деталей и сборочных единиц при сервисном обслуживании [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.Т. Лебедев, Р.А. Магомедов, А.В. Захарин и др.; Ставропольский гос. аграрный ун-т. - Ставрополь, 2014. - 96 с. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/514975> – Режим доступа: по подписке

13. Пачурин, Г. В. Повышение коррозионной долговечности и эксплуатационной надежности изделий из деформационно-упрочненных металлических материалов / Пачурин Г.В. - М.:НИЦ ИНФРА-М, 2018. - 132 с.ISBN 978-5-16-107318-6 (online). - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/98189> – Режим доступа: по подписке

14. Завистовский, С.Э. Технологическое оборудование машиностроительного производства : учебное пособие / С.Э. Завистовский. — Минск : РИПО, 2019. - 351 с. - ISBN 978-985-503-849-9. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1055959> – Режим доступа: по подписке

15. Константинов, И. Л. Основы технологических процессов обработки металлов давлением : учебник / И. Л. Константинов, С. Б. Сидельников. - Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2015. - 488 с. - ISBN 978-5-7638-3166-5. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/516157> – Режим доступа: по подписке
16. Технология ремонта машин : учебник / В.М. Корнеев, В.С. Новиков, И.Н. Кравченко [и др.] ; под ред. В.М. Корнеева. — Москва : ИНФРА-М, 2019. — 314 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). — [www.dx.doi.org/10.12737/textbook\\_59d25702b797a5.36101100](http://www.dx.doi.org/10.12737/textbook_59d25702b797a5.36101100). - ISBN 978-5-16-106257-9. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/989548>– Режим доступа: по подписке
17. Горохов, В. А. Материалы и их технологии. В 2 ч. Ч. 2 : учебник / В.А. Горохов, Н.В. Беляков, А.Г. Схиртладзе ; под ред. В.А. Горохова — Москва : ИНФРА-М, 2020. — 533 с. : ил. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-100743-3. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1064170> – Режим доступа: по подписке
18. Горохов, В. А. Материалы и их технологии : учебник / В.А. Горохов, Н.В. Беляков, А.Г. Схиртладзе ; под ред. В.А. Горохова. В 2 ч. Ч. 1. — Минск : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2019. — 589 с. : ил. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-100742-6. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1014069> – Режим доступа: по подписке
19. Технологические процессы в техническом сервисе машин и оборудования : учеб. пособие / И.Н. Кравченко, А.Ф. Пузряков, В.М. Корнеев [и др.]. — Москва : ИНФРА-М, 2018. — 346 с. + Доп. материалы [Электронный ресурс; Режим доступа: <https://znanium.com>]. — ISBN 978-5-16-105517-5. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/966987>– Режим доступа: по подписке
20. Перфилов, М. Е. Материаловедение и технология конструкционных материалов [Электронный ресурс] : курс лекций / Новосиб.

гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т.; сост.: М. Е. Перфилов. – Новосибирск, 2012.  
– 283 с. – Текст : электронный. – URL:  
<https://znanium.com/catalog/product/516398> – Режим доступа: по подписке

21. Технологические процессы в сервисе: Учебное пособие / А.Ф. Пузряков, М.Е. Ставровский, А.В.Олейник и др.; НП "Уником Сервис". - Москва : Альфа-М: ИНФРА-М, 2011. - 240 с.: ил.; . - (Технологический сервис). ISBN 978-5-98281-250-6. - Текст : электронный. - URL:  
<https://znanium.com/catalog/product/221242> – Режим доступа: по подписке

22. Волхонов, В. И. Основы технологии изготовления, монтажа, испытаний и ремонта судовых энергетических установок : учебное пособие / В. И. Волхонов. - Москва : МГАВТ, 2011. - 144 с. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/403520> – Режим доступа: по подписке

23. Виноградов, В. М. Ремонт и утилизация наземных транспортно-технологических средств: Учебное пособие / Виноградов В.М., Черепяхин А.А., Солдатов В.Ф. - Москва :КУРС, НИЦ ИНФРА-М, 2019. - 346 с.: - (Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-104567-1. - Текст : электронный. - URL:  
<https://znanium.com/catalog/product/1036600> – Режим доступа: по подписке

24. Долгих, А. И. Слесарные работы : учебное пособие / А.И. Долгих, С.В. Фокин, О.Н. Шпортько. - Москва : Альфа-М : ИНФРА-М, 2016. - 528 с. : ил. - (Мастер). - ISBN 978-5-16-100050-2. - Текст : электронный. - URL:  
<https://znanium.com/catalog/product/941923> – Режим доступа: по подписке

25. Схиртладзе, А. Г. Ремонт технологического оборудования: учебник / А. Г. Схиртладзе, В.А. Скрыбин. - Москва : КУРС : ИНФРА-М, 2018. - 352 с. - ISBN 978-5-16-106229-6. - Текст : электронный. - URL:  
<https://znanium.com/catalog/product/944189> – Режим доступа: по подписке

26. Филиппов, М. А. Материаловедение в автомобилестроении: Учебное пособие / Филиппов М.А., - 2-е изд., стер. - Москва :Флинта, Изд-во Урал. ун-та, 2017. - 310 с. ISBN 978-5-9765-3261-8. - Текст : электронный. -

URL: <https://znanium.com/catalog/product/946936> – Режим доступа: по подписке

27. Андрушевич, А. А. Микроструктуры черных и цветных металлов : монография / А. А. Андрушевич, А. Г. Анисович. - Минск : Беларуская навука, 2015. - 132 с. - ISBN 978-985-08-1883-6. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1066219> – Режим доступа: по подписке

28. Жирнов, А.А. Применение гидродробеструйной обработки при ремонте коленчатых валов двигателей автомобилей семейства ЗИЛ: диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук / А.А. Жирнов. – Саранск, 2006. - 145с.

29. Выбор и применение материалов : учебное пособие. В 5 т. Т. 2. Выбор и применение конструкционных сталей / Н. А. Свидунович [и др.] ; под ред. Н. А. Свидуновича. - Минск : Беларуская навука, 2019. - 626 с. - ISBN 978-985-08-2389-2. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1067960> – Режим доступа: по подписке

30. Положение о составе затрат с постатейными материалами/Сост. Верховцев А. В. - 5-е изд. - (Серия "Бухгалтерский учет")ИНФРА-М, 2001. - 156 с., обложка, тираж 3000, ISBN 5-16-000640-0. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/18467> – Режим доступа: по подписке

31. Киселев, М. Г. Электрофизические и электрохимические способы обработки материалов: Учебное пособие / Киселев М.Г., Мрочек Ж.А., Дроздов А.В. - Москва :НИЦ ИНФРА-М, Нов. знание, 2014. - 389 с. (Высшее образование: Магистратура) ISBN 978-985-475-624-0. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/441209>. – Режим доступа: по подписке

32. Елагина, О. Ю. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин [Электронный ресурс] : учеб. пособие / О. Ю. Елагина. - Москва : Университетская книга; Логос, 2009. - 488 с.: ил. - (Новая университетская библиотека). - ISBN 978-5-98704-450-6. - Текст :

электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/468686> – Режим доступа: по подписке

33. Остяков, Ю. А. Проектирование механизмов и машин: эффективность, надежность и техногенная безопасность: Учебное пособие / Остяков Ю.А., Шевченко И.В. - Москва :НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 260 с. (ВО: Бакалавриат (МАТИ-МАИ)) ISBN 978-5-16-011108-7. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/513552> – Режим доступа: по подписке

34. Успенский, И.А. Основы проектирования вспомогательных технологических процессов технического обслуживания и ремонта автотранспорта, сельскохозяйственных, дорожных и специальных машин [Электронный ресурс] : учебное пособие / И.А. Успенский, Г.Д. Кокорев, Г.К. Рембалович, Е.В. Лунин и др. - Рязань : Изд. ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», 2014. - 204 с. - ISBN 978-5-98660-225-7. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/517268> – Режим доступа: по подписке

35. Черкасов, В. А. Надежность машин и механизмов: Учебник / Черкасов В.А., Кайтуков Б.А., Капырин П.Д., - 2-е изд., (эл.) - Москва :МИСИ-МГСУ, 2017. - 273 с.: ISBN 978-5-7264-1651-9. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/969413> – Режим доступа: по подписке

36. Девятков, В. В. Deviatkov, V. V. Creation principals of universal modeling environment for simulation application development / V. V. Deviatkov, S. A. Vlasov, T. V. Deviatkov // 13th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, June 3-5, 2009, Moscow, Russia.

37. Chandler, A. Strategy and Strategik role for Purchasing rashekar [Text] / A. Chandler // The International Journal of Logistics Management 10, no. 2 (1999). – P. 27-40.

38. Chastain Clark E. How management Accountants Coped With the Recessin [Text]// Management Accounting. – 1985. – January. – P.34-38.

39. Coase, R. H. The Nature of the Firm [Text] / R. H. Coase // Economics – Vol. 4. – 1937. – P. 62-76. 178. Coopers & Lybrand Consultants, Survey of Benchmarking in the UK. - CBI Manufacturing Council, London, 1993, – P. 237.

40. Hitt, M. A., Ireland, R. D., Hoskisson, R. E. Strategis management: competitiveness and globalization [Text] / M. A. Hitt, R. D. Ireland, R.E. Hoskisson. – South-Western College Publishing, 2001. – P. 1044.

41. Kaplan, Robert S., Norton, David P. The strategy-focused organization: How balanced scorecard companies thrive in the new business environment. [Text] / Robert S. Kaplan, David P. Norton. – Harvard Business School Press, 2001.

42. Erik Oberg, Holbrook L. Horton Machinery's Handbook: A Reference Book for the Mechanical Engineer, Designer, Manufacturing Engineer, Draftsman, Toolmaker, and Machinist. [Text] / Erik Oberg, Holbrook L. Horton. - Industrial Press, 2008