

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Проектирование и эксплуатация автомобилей»
(наименование кафедры)

23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»
(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Автомобили и автомобильное хозяйство»
(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Разработка технологического процесса восстановления кулачков
распределительного вала автомобиля

Студент

Ш.Д. Гайнуллов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Е.А. Кравцова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

А.Н. Москалюк

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

А.Г. Егоров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заместитель ректора - директор
института машиностроения

к.т.н., доцент А.В. Бобровский

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

(личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ г.

Тольятти 2017

АННОТАЦИЯ

В работе проанализированы типовые причины выхода из строя распределительных валов двигателей внутреннего сгорания. Выполнен анализ современных способов восстановления кулачков распределительных валов. Проведен литературный обзор способов упрочнения поверхностей распределительного вала. Разработана конструкция устройства для выглаживания профиля кулачка и опорных поверхностей. С использованием разработанного приспособления спроектирована технология выглаживания поверхностей распределительного вала.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Анализ причин дефектов и технологий восстановления и упрочнения кулачков распределительных валов двигателей внутреннего сгорания.....	5
1.1 Типовые дефекты распределительных валов и методы их устранения.....	5
1.2 Обзор возможностей методов поверхностного пластического деформирования для упрочнения поверхностей кулачков распределительных валов.....	6
2 Проектирование и расчет устройства для реализации комбинированной технологии выглаживания.....	13
2.1 Разработка технического задания.....	13
2.2 Техническое предложение конструкции устройства для реализации комбинированной технологии выглаживания.....	14
2.3 Расчет и проектирование конструкции устройства.....	20
3 Разработка способа обработки кулачков распределительного вала на токарном станке и устройства для его осуществления.....	29
4. Безопасность и экологичность технического объекта.....	34
4.1. Конструктивно-технологическая характеристика объекта.....	34
4.2 Идентификация производственно-технологических и эксплуатационных профессиональных рисков.....	37
4.3. Методы и технические средства снижения профессиональных рисков...38	
4.4 Обеспечение пожарной и техногенной безопасности рассматриваемого технического объекта.....	39
4.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта.....	42
4.6 Заключение по разделу.....	45
Заключение.....	47
Список использованных источников.....	48

ВВЕДЕНИЕ

Одной из главных проблем современного автомобильного хозяйства является проблема обеспечения надежности и долговечности автомобилей. Решение этой проблемы в значительной степени зависит от улучшения качественных и эксплуатационных характеристик деталей и технологий их изготовления. Одним из основных вопросов ремонтного производства является восстановление изношенных деталей. В процессе эксплуатации автомобиля в наиболее напряженных условиях находятся тонкий поверхностный слой контактных участков соприкасающихся деталей, от качества и прочности которого зависят эксплуатационные свойства всего изделия.

В настоящее время создано множество способов восстановления деталей и узлов автомобилей. Одним из перспективных способов упрочнения деталей автомобиля является технология выглаживания. Данный способ обработки позволяет эффективно упрочнить поверхностный слой детали и повысить ее ресурс работы. Все больше данная технология используется в ремонтном производстве, как наиболее простая в реализации. Однако, для обработки сложнопрофильных поверхностей, к которым, например, относится профиль кулачка, требуется разработка новых способов и устройств поверхностной упрочняющей обработки.

1 Анализ причин дефектов и технологий восстановления и упрочнения кулачков распределительных валов двигателей внутреннего сгорания

1.1 Типовые дефекты распределительных валов и методы их устранения

Распределительный вал двигателя внутреннего сгорания является одной из основных деталей головки блока цилиндров. Служебное назначение детали заключается в преобразовании вращательного движения в поступательное и обеспечении работы клапанов по определенному закону. В большинстве случаев распределительный вал автомобилей изготавливается из специального чугуна, прошедшего термическую обработку. Основным эксплуатационным требованием, предъявляемым к работе вала является обеспечение его работы при высоких нагрузках и разных температурных режимах.

В процессе эксплуатации двигателя внутреннего сгорания у распределительного вала могут появляться следующие дефекты: износ и задиры рабочих поверхностей кулачков и опорных шеек; трещины и микроцарапины на поверхностях в местах контакта с сальниковыми уплотнениями; разрушение резьбовых соединений, шпоночных пазов, конструктивных мест под штифты.

В настоящее время ремонтными участками освоены и успешно применяются такие методы восстановления изношенных участков распределительного вала как технологии наплавки; легирования с помощью электро-контактной наплавки порошков из легирующих компонентов; методы детонационного нанесения порошковых покрытий; технологии плазменной металлизации и др. Типовой технологический процесс восстановления кулачком и опорных шеек включает в себя операции дефектовки, нанесения материала, токарные и шлифовальные операции и технологии отделочной упрочняющей обработки (выглаживание, накатывание, обкатка и др.).

Технологический цикл восстановления кулачков выполняется в следующей последовательности: предварительная проточка или шлифование наружных изношенных поверхностей; следующим этапом является подача порошка из легирующих элементов и одновременное поверхностное пластическое деформирование с подачей через накатной ролик электрического тока. В результате сочетания термического и деформационного воздействия материал порошка плавится и заполняет впадины микронеровностей вала.

Необходимо отметить, что практически во всех технологических способах восстановления кулачков распределительного вала одним из эффективных технологических операций являются методы поверхностного пластического деформирования (ППД)

1.2 Обзор возможностей методов поверхностного пластического деформирования для упрочнения поверхностей кулачков распределительных валов

Технология обработки деталей машин методами поверхностного пластического деформирования заключается в способности металлического материала подвергаться локальной пластической деформации без изменения формы детали. За счет локальной пластической деформации материал детали упрочняется, в нем формируются остаточные напряжения сжатия, более мелкозернистая структура и происходит уменьшение шероховатости поверхности. Одним из эффективных методов ППД является технология выглаживания. Данный метод обработки не требует дополнительного технологического оборудования и может выполняться на универсальном токарном станке. Рассмотрим типовые схемы обработки выглаживанием и конструкции приспособлений.

На рис. 1.1 представлена конструкция устройства для выглаживания, в котором инструмент закреплен в специальном плунжере.

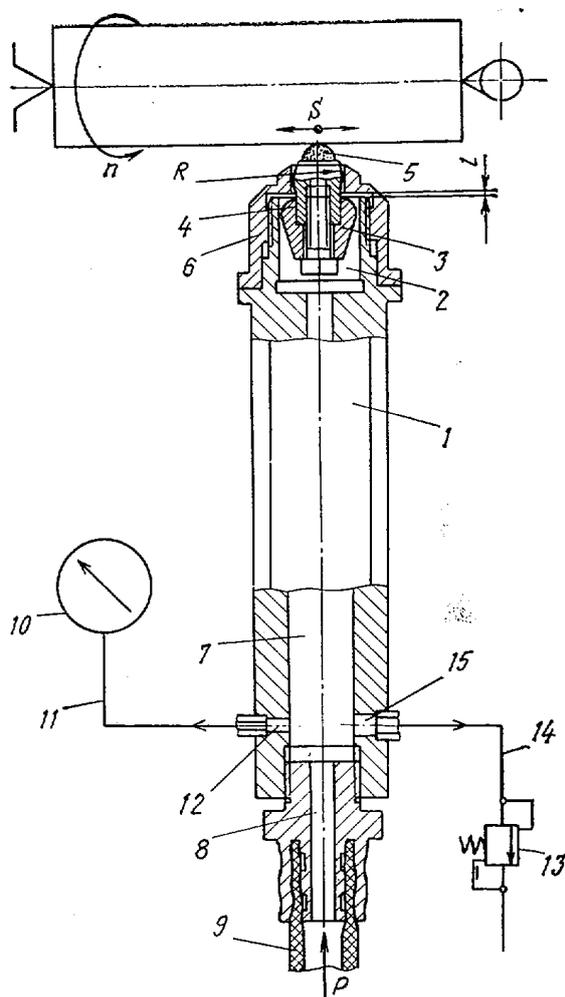


Рисунок - 1.1 Устройство для выглаживания поверхностей деталей

Такое решение позволяет исключить вероятность поломки инструмента при обработке прерывистых поверхностей. При обработке в результате вращения детали в зоне контакта происходит проворачивание плунжера с инструментом что способствует повышению стойкости инструмента и более равномерному распределению износа на его поверхности.

В способе по а.с. № 1242341, изображенном на рис 1.2 выглаживающий инструмент располагают под углом к обрабатываемой поверхности, что обеспечивает равномерный износ рабочей части инструмента. Кроме того,

инструмент имеет возможность проворачиваться, что позволяет осуществить процесс выглаживания при комбинированном трении скольжения и качения. Однако, проворачивание инструмента оказывает влияние на качество обрабатываемой детали.

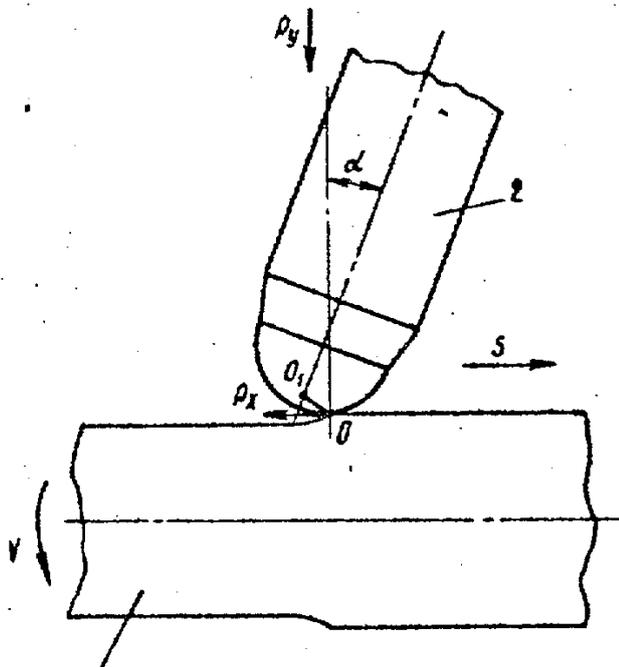


Рисунок 1.2 – Способ выглаживания

Также известно устройство для обработки выглаживанием в котором инструмент устанавливают по образующей конуса и сообщают ему вращательное движение (рис. 1.3). Это позволяет увеличить площадь контакта инструмента с обрабатываемой поверхностью.

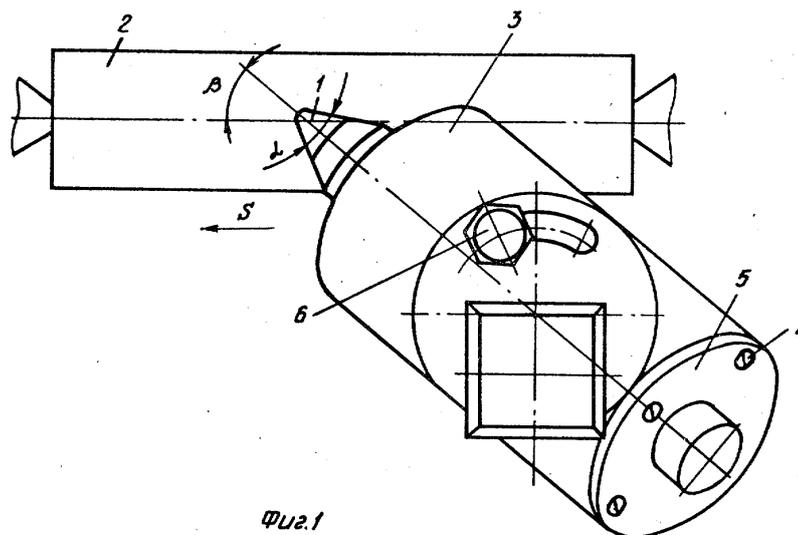


Рисунок 1.3 – Способ обработки выглаживанием

Имеется ряд технических решений для обработки выглаживанием деталей автомобиля. Так, на рис .1.4 представлена конструкция устройства

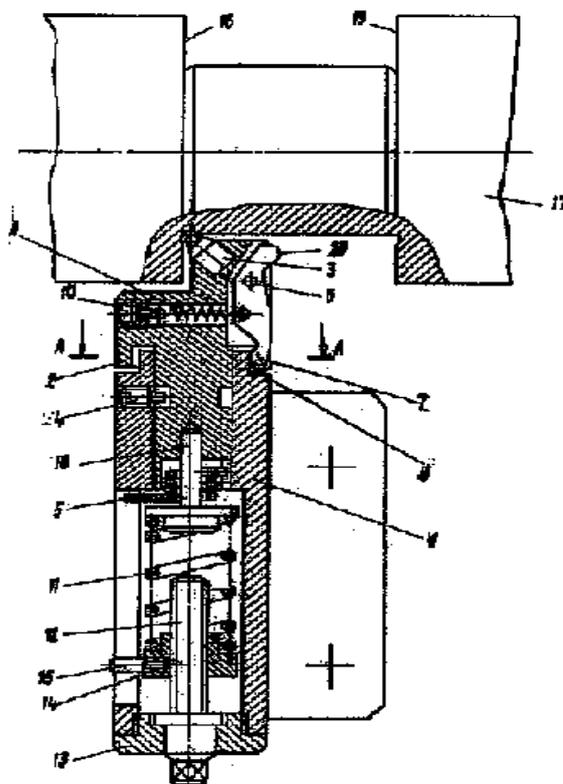


Рис 1.4 Устройство для выглаживания (по А. с. № 804403)
по а.с. №804403 для выглаживания поверхностей, ограниченных уступами.

Устройство содержит шток с алмазным инструментом, выполненным с

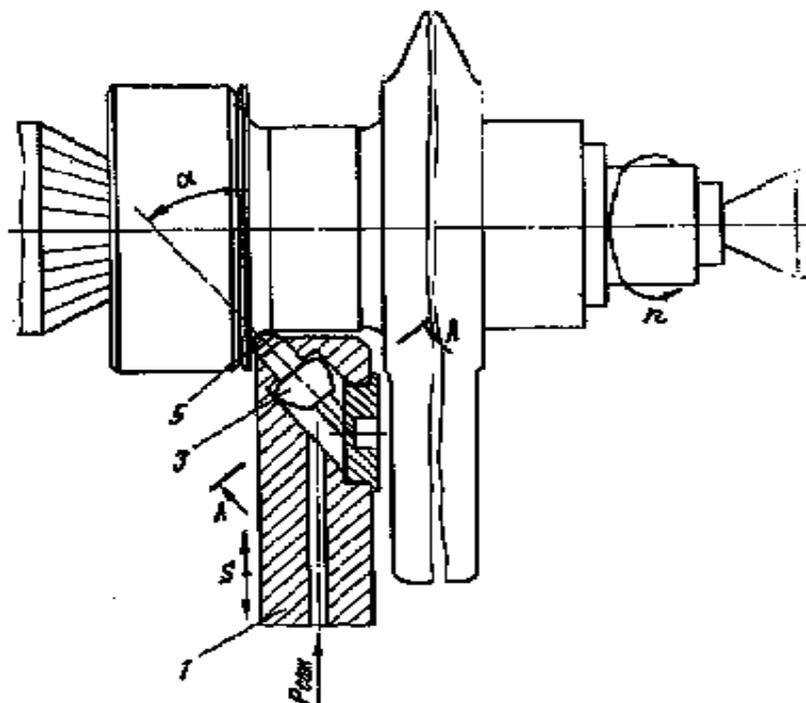


Рисунок 1.5 – Устройство для выглаживания поверхностей деталей
(по а. с. №818838)

возможностью его поворота в корпусе, и узел нагружения

В устройстве, изображенном на рис. 1.5 по а.с. №818838 инструмент закрепленный в плунжере и установленным вместе с ним в корпус державки, заполненным под давлением маслом и смазочной охлаждающей жидкостью. При этом плунжер выполнен усеченным с возможностью контакта основанием с внутренней поверхностью крышки. В результате чего повышается износостойкость инструмента.

Известны конструкции устройств для упрочняющей обработки деталей автомобиля и в зарубежной литературе. Так, на рис. 1.6 представлен способ и устройство для упрочняющего накатывания детали автомобиля по патенту США № US 8250720

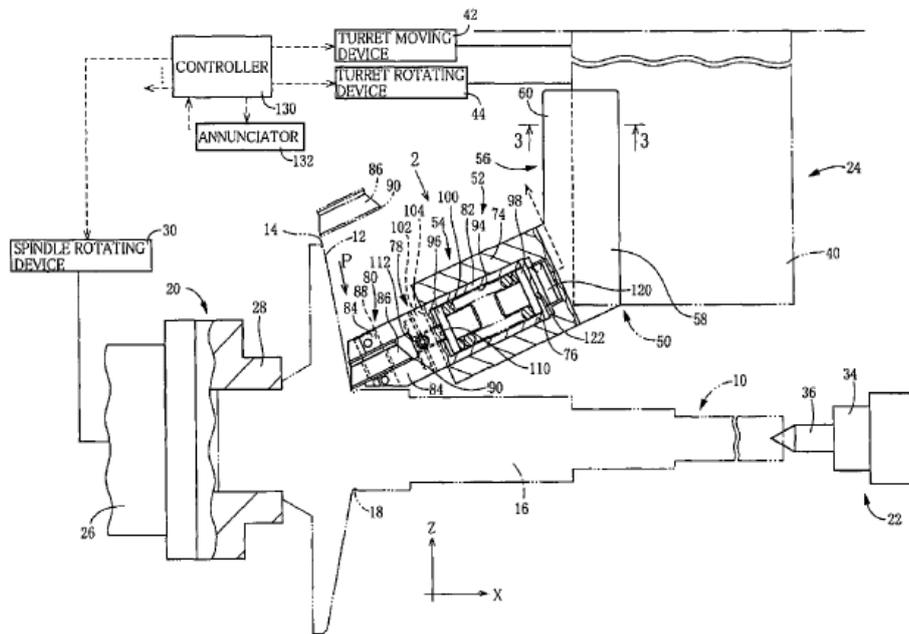


Рисунок 1.6 – Способ и устройство упрочнения вала (патент USA 8250720)

Устройство для накатывания устанавливается в приспособлении, деталь в патроне и поджимается задним центром. Детали сообщают вращательное движение, а инструменту поступательное в направлении упрочняемого участка.

Известна также конструкция устройства для упрочнения деталей имеющих определенный профиль в виде кулачка. На рис. 1.7 представлена конструкция устройства по патенту США № US 8245374

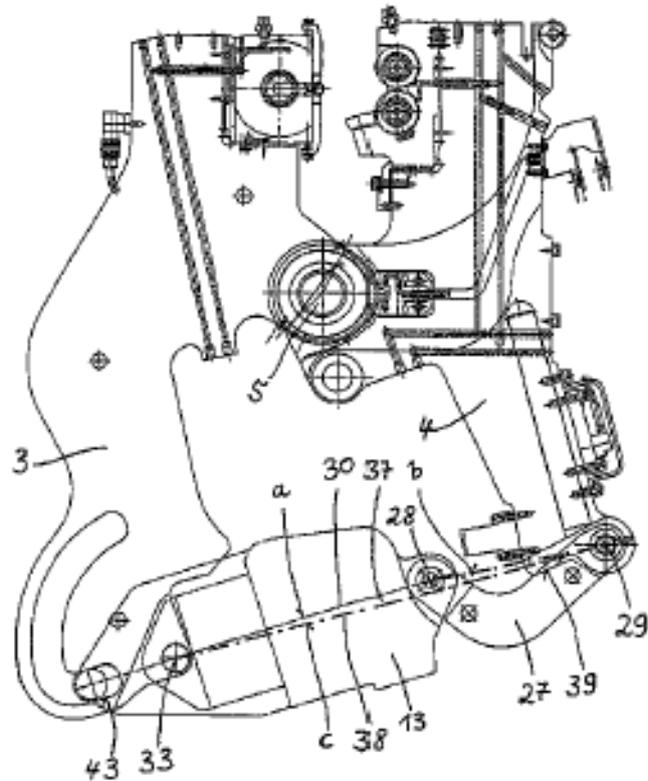


Рисунок 1.7 – Устройство для упрочнения кулачков (патент USA № 8245374)

В представленном устройстве профиль кулачка «обжимается» с определенным усилием специальной скобой в которой установлены накатные ролики. Привод скобы гидравлический.

В настоящее время технологии ППД эффективно применяются при обработке сравнительно простых поверхностей, таких как цилиндрические поверхности, торцы, галтели. Из анализа литературы следует, что имеется как универсальные приспособления, так и специальные для обработки, например, галтелей в шейках коленчатого вала или кулачков распределительного вала.

2 Проектирование и расчет устройства для реализации комбинированной технологии выглаживания

2.1 Разработка технического задания

Для реализации разработанной технологии в работе предлагается спроектировать и рассчитать специальное устройство. В проектируемом устройстве необходимо реализовать возможности настройки приспособления на «нулевое» (исходное) положение. Также необходимо предусмотреть возможность контроля смещения одного из инденторов в направлении подачи индикаторами часового типа (ИЧ) с ценой деления 0,001 мм, т. к. максимальное смещение индентора в направлении подачи должно обеспечивать перекрытие площадок контакта.

С другой стороны необходимо предусмотреть в конструкции устройства возможность обработки галтелей одним из инструментов.

В устройстве установить смещение в направлении подачи одного из инденторов на угол $\pm 20^\circ$.

В конструкции необходимо наличие двух систем контроля усилия обработки (для двух инструментов). Системы предлагается изготовить на основе тарированной пружины сжатия с использованием индикаторов часового типа с ценой деления 0,01 мм.

С использованием предлагаемой конструкции приспособления необходимо обеспечить возможность обработки деталей диаметром от 18 до 50 мм. Также необходимо предусмотреть возможность установки приспособления в резцедержателе токарного станка 1 К62 или 16К20.

В конструкции приспособления предусмотреть наличие унифицированных узлов и деталей с целью обеспечения взаимозаменяемости и ремонтпригодности. При проектировании устройства обеспечить легкодоступность мест приспособления для его настройки.

2.2 Техническое предложение конструкции устройства для реализации комбинированной технологии выглаживания

Необходимо разработать конструкцию приспособления для выглаживания кулачков и опорных шеек распределительного вала, обеспечивающий повышение производительности, качество и стойкости инструмента.

По предложенному способу обработки необходимо обеспечить смещение одного из инструментов относительно другого как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении. На основе этого предлагаются следующие варианты компоновок (схемы расположения инструментов) (рис. 2.1.)

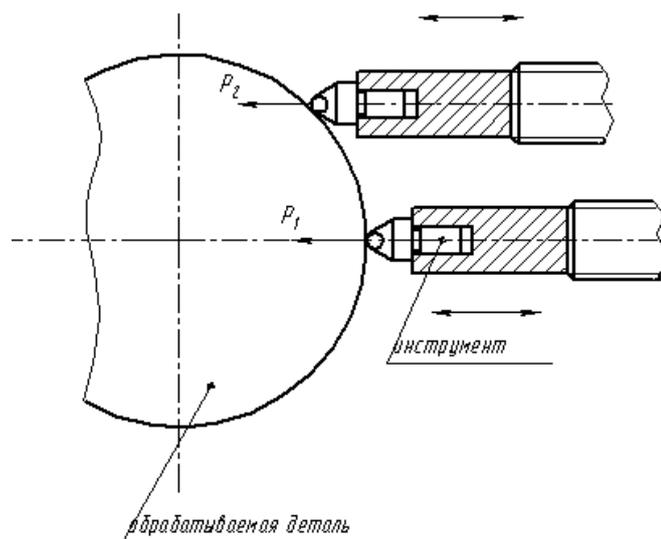


Рисунок 2.1 – Схема расположения инструментов

По схеме, расположенной на рис. 2.1, расположение инструментов параллельно друг другу. Выше было сказано, что с помощью разработанного приспособления необходимо обрабатывать детали диаметром от 18 мм. Следовательно, требуется обеспечить минимально возможную высоту, но также и смещение одного из инструментов относительно другого в направлении подачи, что обуславливает наличие в приспособлении дополнительных устройств, а с другой стороны, их наличие ограничивается

расстоянием между инструментами. Поэтому, предлагается расположить инструмент под углом (рис. 2.2.).

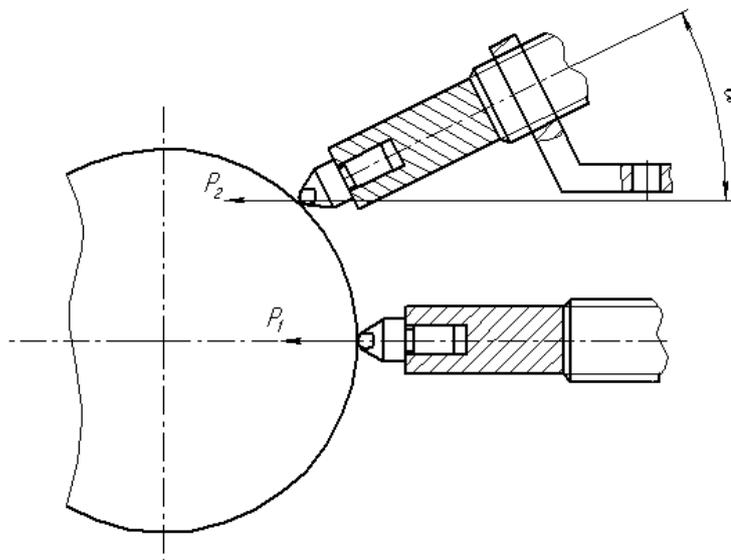


Рисунок 2.2 – Схема расположения инструментов
(один из инструментов под углом)

Детальная проработка по такой схеме показала, что регулировка приспособления оказалась невозможной, в связи с труднодоступностью регулировочных мест. Таким образом, предлагается два инструмента расположить под углами к направлению внедрения инструментов (рис. 2.3.)

В проектируемом приспособлении необходимо обеспечить смещение одного из инструментов в направлении подачи (рис. 2.4., 2.5.). Вариант по рис. 2.4. предполагает прямолинейные перемещения державки с инструментом,

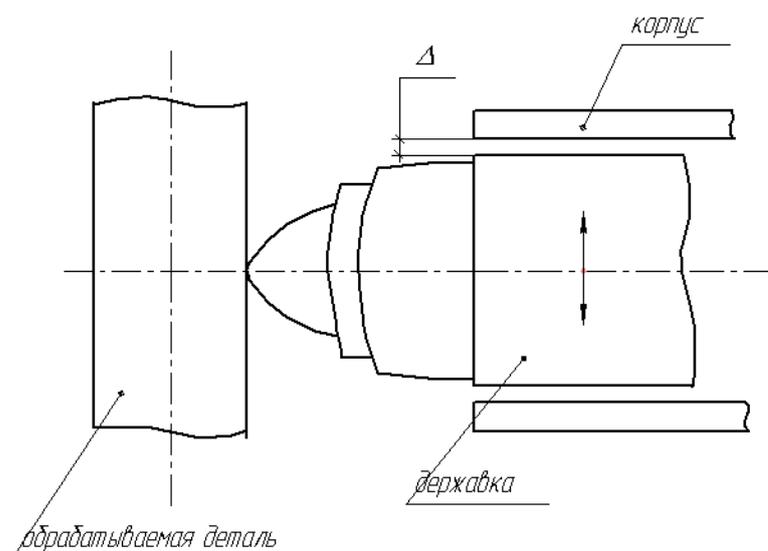


Рисунок 2.4 – Принятая схема расположения инструментов установленной в корпусе приспособления с зазором Δ , но при такой компоновке могут возникать перекосы (рис. 2.4а.), а требуются точные смещения.

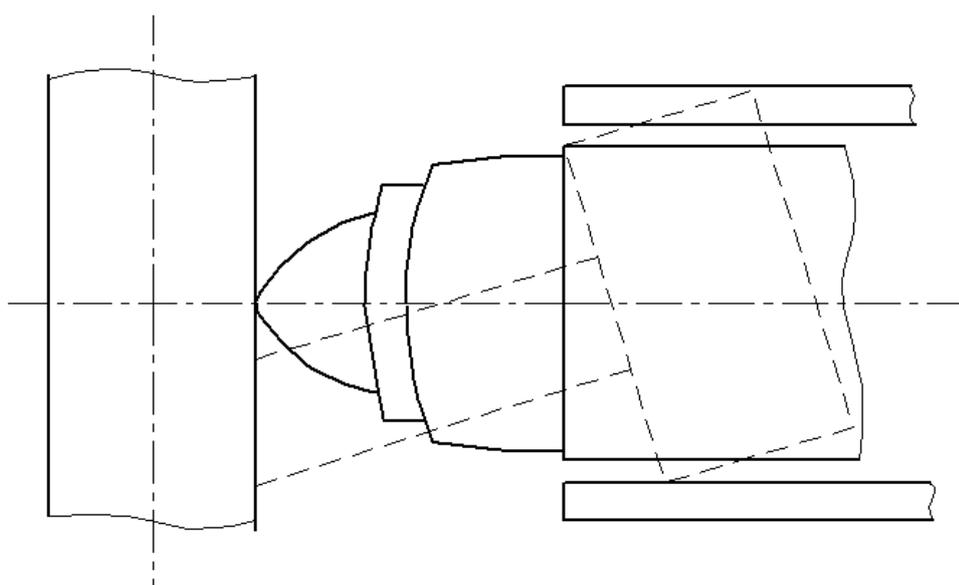


Рисунок 2.4а – Погрешности при смещении инструмента

К тому же необходимо обеспечить обработку галтелей, что вызовет трудности при реализации такой схемы компоновки. Поэтому, целесообразно использовать компоновку на рис. 4.5., т. е инструмент смещается в направлении подачи в результате вращения державки вокруг оси.

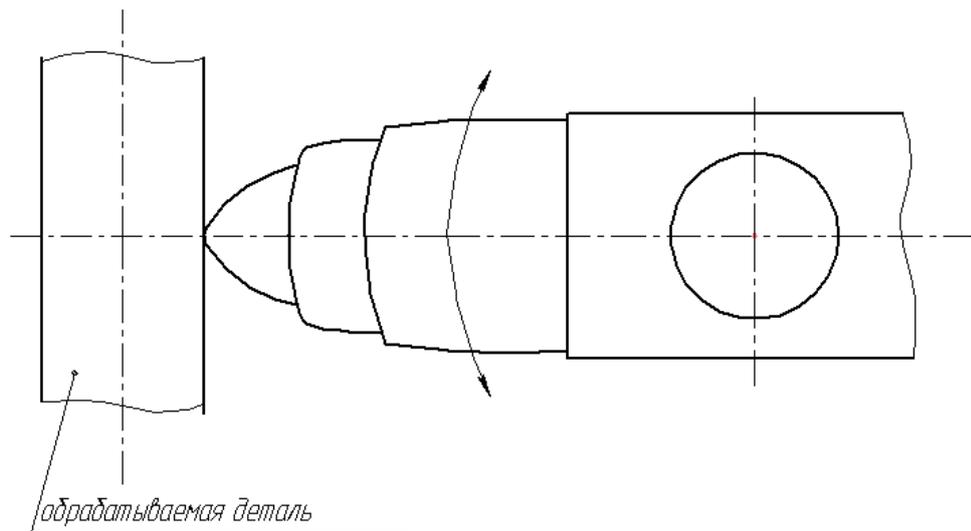


Рисунок 4.5 – Схема, при которой смещение инструмента осуществляется за счет вращения державки с инструментом вокруг оси

Согласно такому решению, предлагается компоновка (рис. 4.6.), по которой державка с инструментом устанавливается на цилиндрический палец, вмонтированный в корпус приспособления.

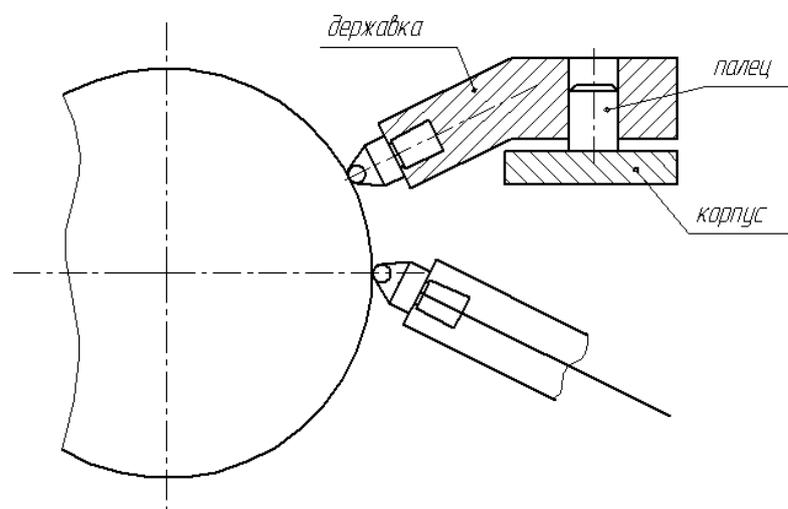


Рисунок 4.6 – Схема, обеспечивающая поворот державки с инструментом

Тем не менее при такой компоновке могут возникнуть различные погрешности, связанные с погрешностями, получаемыми при изготовлении и сборке; что в свою очередь влияет на точность смещения инструмента. В связи с чем, предлагается использовать следующую схему компоновки (рис. 4.7.). При такой схеме остается неясным, каким образом происходит

настройка инструмента на «нулевое» положение (когда инструменты находятся на одной оси в вертикальном положении).

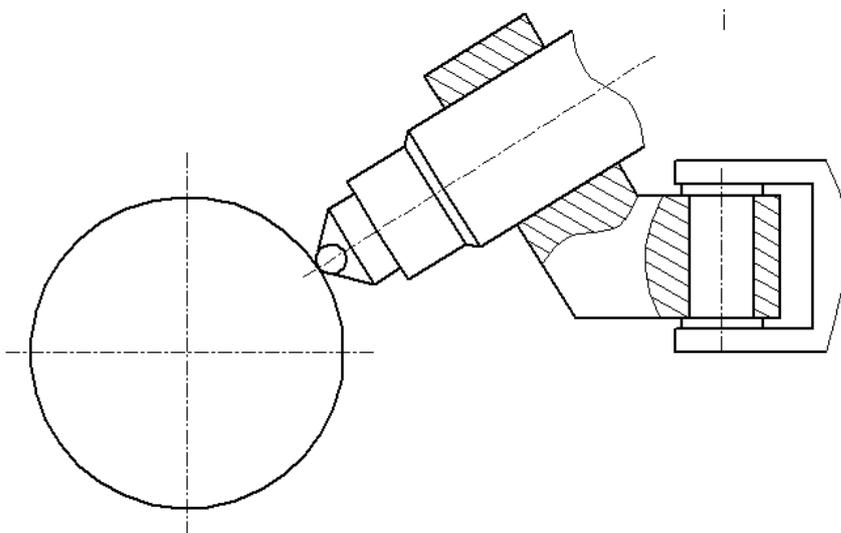


Рисунок 4.7 – Схема обработки с возможностью смещения инструмента

Тогда предлагаем следующее решение: державку с инструментом, выполненную с возможностью линейного регулирования, располагаем во втулке, имеющую ось вращения. Эта втулка устанавливается в специальном стакане, расположенном в вилке с возможностью регулирования в направлении подачи (рис. 4.8.)

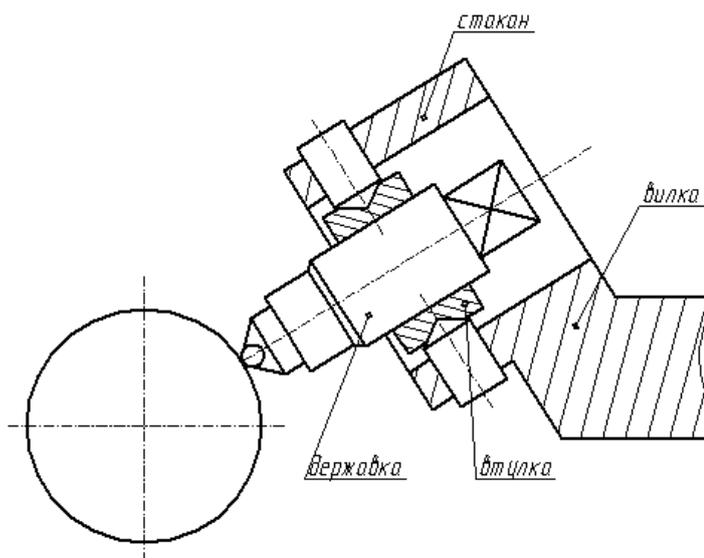


Рисунок 4.8 – Принятая схема компоновки

Систему линейного регулирования державки инструмента разработаем на основе двухалмазного приспособления для выглаживания шеек коленчатых валов мотоцикла. Но поскольку нам необходимо настраивать приспособление на «нулевое» положение, которое нужно зафиксировать, то предлагаем державку изготовить с одной стороны с центровым отверстием (для настройки «нулевого» положения), и внутренней резьбой (для регулировки) – рис. 4.9.

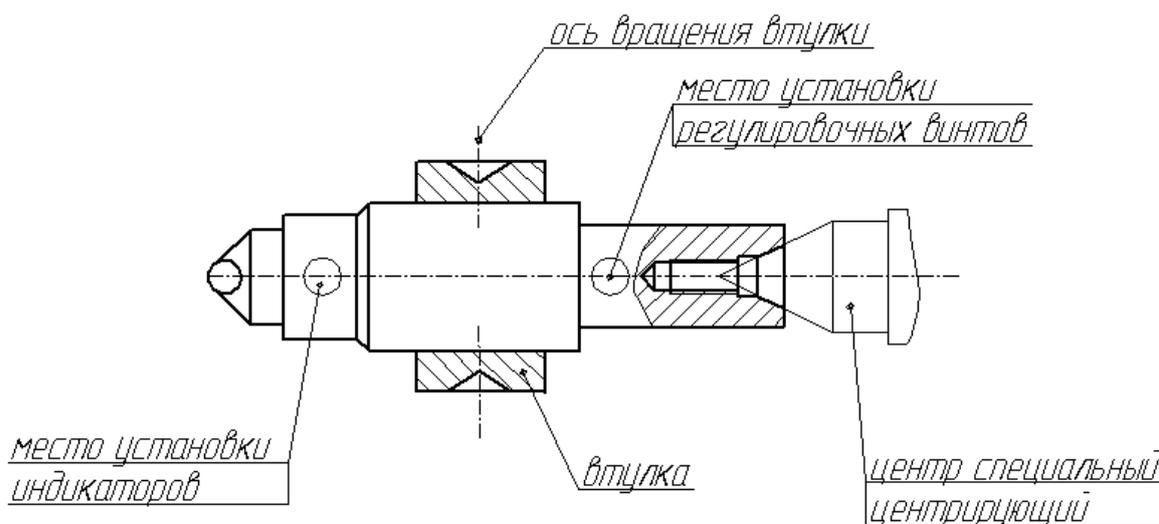


Рисунок 4.9 – Конструкция державки

«Нулевое» положение настраивается следующим образом: (рис. 4.9.), в стакан ввинчивается специально изготовленный центр и совмещается с центровым отверстием державки, что обеспечивает перпендикулярность оси державки с осью вращения втулки в направлении подачи. Посредством регулировки винтов, устанавливаемых в специально предусмотренное место (рис. 4.9.), державка ввинченная во втулку имеет возможность смещения вокруг оси вращения втулки. Смещение контролируется с помощью индикаторов часового типа с ценой деления 0,001 мм.

Система контроля усилия внедрения инструментов разработана на основе аналога и представляет собой реализацию упругой схемы нагружения.

Контроль усилия нагружения осуществляется с помощью индикаторов часового типа с ценой деления 0,01 мм.

2.3 Расчет и проектирование конструкции устройства

Исходные данные:

- необходимое усилие $P = 350$ (Н);
- в качестве материала для изготовления принимаем сталь 40Х как имеющую достаточные физико-механические характеристики и хорошую обрабатываемость резанием;
- допускаемое напряжение материала (вид термообработки - закалка), $[\sigma_p] = 120$ МПа.

Для расчета пружины:

- сила $P_1 = 5$ кгс; (усилие предварительной деформации)
- сила $P_2 = 35$ кгс; (усилие рабочей деформации)
- рабочий ход $h = 15$ мм;
- наружный диаметр пружины D (предварительный) = 25 мм;
- наибольшая скорость перемещения подвижного конца пружины $V_0 = 5$ м/с;
- выносливость $N = 1 \cdot 10^7$.

2.3.1 Расчет необходимой силы зажима стержня с инструментом.

Одним из основных требований к обеспечению надежности работы приспособления является условие непроворота державки в направлении подачи от действия составляющей силы выглаживания P_x .

Это условие можно сформулировать следующим образом: момент действия силы P_x вокруг оси вращения державки должен уравниваться моментом действия сил зажима винтов (рис.4.10.)

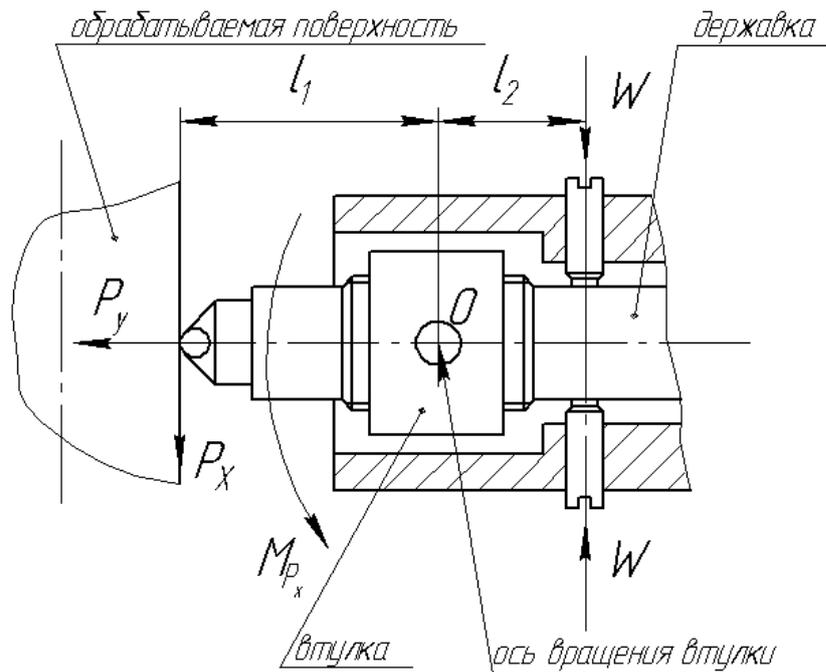


Рисунок 4.10 – Схема к расчету необходимой силы зажима

Условие надежного закрепления стержня с инструментом:

$$M_{P_x} = M_w, \quad (2.1)$$

где M_{P_x} - момент действия силы P_x ,

M_w - момент действия сил зажима винтов.

Момент действия силы P_x можно найти по формуле:

$$M_{P_x} = P_x \cdot l_1, \quad (2.2)$$

где P_x - составляющая силы P_y ,

$$P_x = 0,8 \dots 0,9 P_y; \quad l_1 = 47 \text{ мм.}$$

Момент действия сил зажима винтов найдем по формуле:

$$M_w = 2 \cdot W \cdot l_2, \quad (2.3)$$

где $l_2 = 25$ мм.

Исходя из формул (4.1), (4.2) и (4.3) получим необходимую силу зажима, обеспечивающую надежность закрепления:

$$W = \frac{P_x \cdot l_1}{2 \cdot l_2}, \quad (2.4)$$

$$W = \frac{315 \cdot 47}{2 \cdot 25} = 296,1 \text{ (Н)};$$

С другой стороны, сила зажима винтов ограничивается допустимым усилием, создаваемым винтами, которую можно определить из выражения []:

$$[W] = d^2 [\sigma_p] c^2, \text{ Н} \quad (2.5)$$

где c - коэффициент для основных метрических резьб, $c \approx 1,4$;

$[\sigma_p]$ - допускаемые напряжения материала, МПа.

По данным [], определяем допускаемое напряжение материала; для стали 40Х (вид термообработки - закалка), $[\sigma_p] = 120$ МПа.

Номинальный диаметр резьбы может быть определен по формуле:

$$d = c \sqrt{W / [\sigma_p]} \quad (2.6)$$

$$d = 1,4 \sqrt{296,1 / 120} = 2,198 \text{ мм},$$

$[W] = (2,198)^2 \cdot 120 \cdot 1,4^2 = 1136,25$ (Н). Условие: $W \leq [W]$ выполняется.

$$296,1 \text{ (Н)} \leq 1136,25 \text{ (Н)}$$

Поскольку, конструктивно выбираем диаметр резьбы, равный 18 мм, то усилие зажима определим по формуле (4.5), в результате получим допускаемое усилие зажима $[W] = 76205$ (Н). Но, т.к в расчете усилие зажима получилось, равное 296,1(Н), обеспечивающее непроворот державки в направлении подачи, условие $W \leq [W]$; $296,1 \text{ (Н)} \leq 76205 \text{ (Н)}$ выполняется с еще большим запасом.

2.3.2. Расчет резьбового соединения «державка – втулка».

Расчитаем на прочность резьбовое соединение державки инструмента с втулкой. Наиболее нагруженным элементом приспособления является державка инструмента, на которую действует сжимающая сила P_p (рис.4.11), равная:

$$P_p = P_y \cdot \cos \alpha \cdot \cos(\beta - \alpha) + P_z \cdot \sin(\beta - \alpha), \quad (2.7)$$

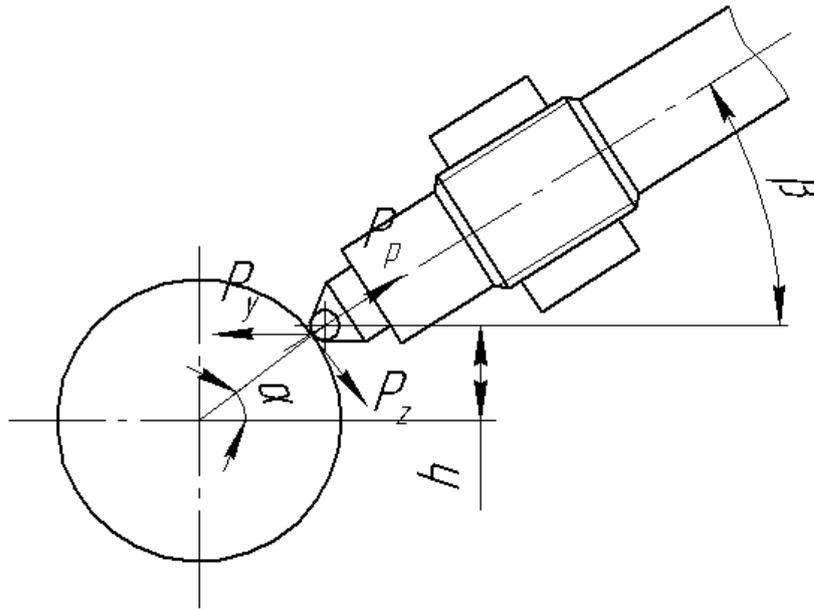


Рисунок 2.11 – Схема к определению силы P_p

где P_y, P_z - составляющие усилия выглаживания.

$$P_z = 0,9P_y;$$

$\beta = 40^\circ$ (конструктивный угол), тогда формула (4.7) примет вид:

$$P_p = P_y [(\cos \alpha \cdot \cos(40^\circ - \alpha) + 0,9 \cdot \sin(40^\circ - \alpha))] \quad (2.8)$$

Угол α определим из геометрических соображений:

$$\sin \alpha = \frac{h}{(R_3 + R_u)} \Rightarrow \alpha = \arcsin\left(\frac{h}{R_3 + R_u}\right), \quad (2.9)$$

где h - необходимое настроечное расстояние между инструментами в вертикальном направлении определяется по формуле:

$$h = h_0 + 0,57n, \quad (2.10)$$

где h_0 - минимальное расстояние между инструментами, обусловленное конструкцией приспособления; n - число оборотов стержня с резьбой, необходимое для настройки различных величин h . Построим зависимость

$\alpha = f\left(\frac{h}{R_3 + R_u}\right)$, рассчитав значения α при различных отношениях $\left(\frac{h}{R_3 + R_u}\right)$

по формуле (4.9), причем следует заметить, что отношение $\left(\frac{h}{R_3 + R_u}\right)$ может

изменяться от $0 \dots 1$, а α $0 \dots 90^\circ$ ($0 \dots 1,6 \text{ рад}$).

Результаты расчетов представлены в виде графика (рис.2.12) .

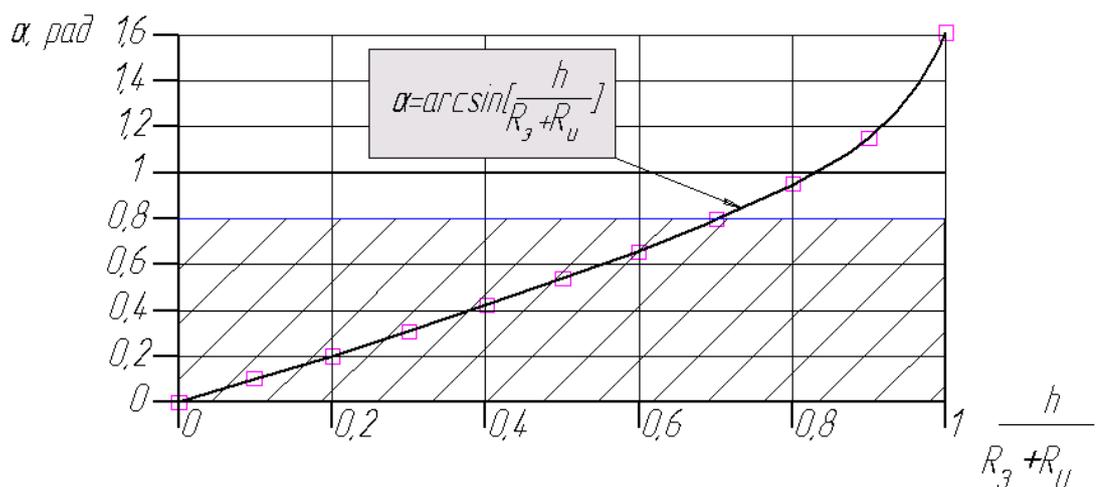


Рисунок 2.12. Зависимость вида $\alpha = f\left(\frac{h}{R_3 + R_u}\right)$

Полагаем, что обработка при настройке приспособления, обеспечивающая угол α свыше 45° ($0,8rad$) неэффективна. Следовательно, кривую $\arcsin\left(\frac{h}{R_3 + R_u}\right)$ на участке $\alpha = (0...0,8rad)$ аппроксимируем прямой (рис. 2.13) с уравнением:

$$\alpha = 1,1 \times \left(\frac{h}{R_3 + R_u}\right) \tag{2.11}$$

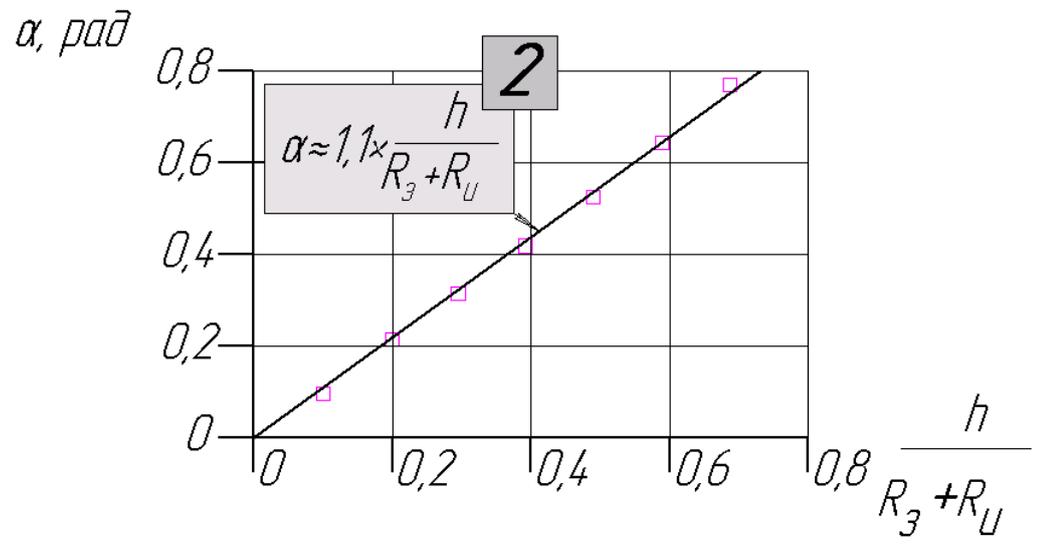


Рисунок 2.13. Аппроксимированный участок зависимости $\alpha = f\left(\frac{h}{R_3 + R_u}\right)$

Формулу (2.8) приведем к виду:

$$\frac{P_p}{P_y} = [(\cos\alpha \cdot \cos(40^\circ - \alpha) + 0,9 \cdot \sin(40^\circ - \alpha))]; \quad (2.12)$$

Преобразуя (2.12), получим:

$$\frac{P_p}{P_y} = 0,76(1 - \sin^2 \alpha) + 0,57 \cos \alpha - 0,12 \sin \alpha \quad (2.13)$$

Для практических расчетов, использование формулы (4.13) нецелесообразно, поэтому получим более простой вид зависимости, устанавливающей связь P_p с P_y , R_u и R_o настроечной величиной h приспособления. Для этого построим зависимость отношения сил $\frac{P_p}{P_y}$ от угла

α , т.е. $\frac{P_p}{P_y} = f(\alpha)$, (рис. 2.14)

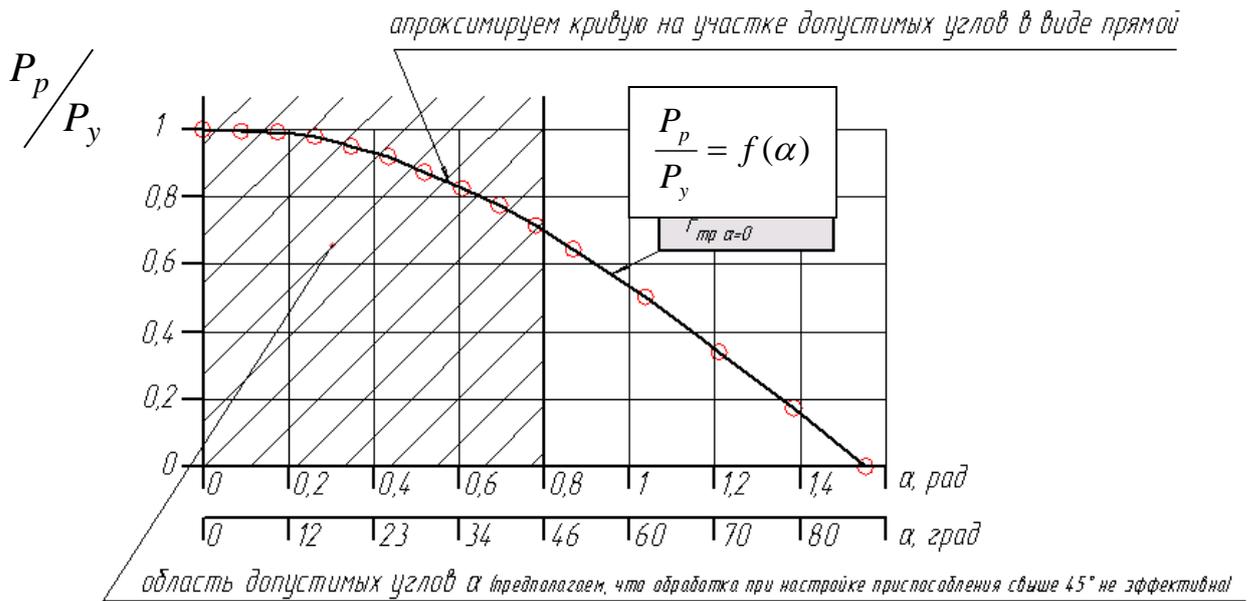


Рисунок 2.14 График зависимости $\frac{P_p}{P_y} = f(\alpha)$

На рис. 2.14 изображен график $\frac{P_p}{P_y} = f(\alpha)$ при α , изменяющемся от

$0 \dots 90^\circ$ ($0 \dots 1,6 \text{ рад}$). Поскольку, как было сказано выше, область допустимых

углов α от 0 до 45° , следовательно, по аналогии с аппроксимацией зависимости $\alpha = f\left(\frac{h}{R_\delta + R_u}\right)$, получим прямую (рис. 2.15) с уравнением:

$$\frac{P_p}{P_y} = 1,4 - 0,84 \cdot \alpha \quad (2.14)$$

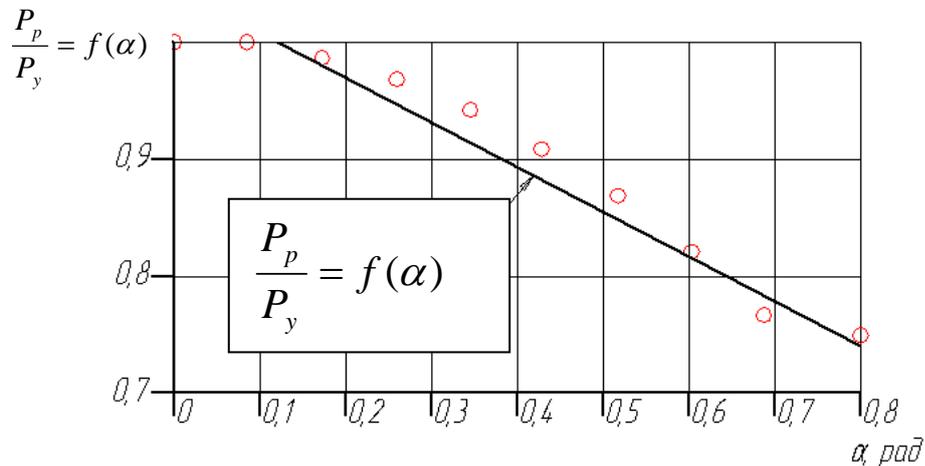


Рисунок 2.15 Аппроксимированный участок кривой $\frac{F_{mp(h)}}{F_{mp(h=0)}} = f(\alpha)$

Подставим в формулу (4.13) угол α :

$\alpha = 1,1 \times \left(\frac{h}{R_\delta + R_u}\right)$; в результате получим:

$$\frac{P_p}{P_y} = 1,4 - 0,9 \cdot \left(\frac{h}{R_\delta + R_u}\right) \quad (2.15)$$

Выполним расчет для значений:

$$R_u = 1 \text{ мм}$$

$$R_\delta = 30 \text{ мм}$$

$$h_{\min} = 4 \text{ мм}$$

Найдем силу, действующую на резьбу:

$$\frac{P_p}{P_y} = 1,4 - 0,9 \cdot \frac{4}{31};$$

$$P_p = \left(1,4 - \frac{4}{31}\right) \cdot 350;$$

$$P_p = 1,27 \cdot 350 = 444,5 \text{ (H)} .$$

2.3.3. Расчет пружины сжатия

Пользуясь справочными данными [10] для класса пружин, убеждаемся, что при заданной выносливости пружину следует отнести ко II классу. По формуле [10], пользуясь интервалом значений δ от 0,05 до 0,25 формулы,

$$\text{находим граничные значения силы: } P_3 = \frac{P_2}{1-0,05} \div \frac{P_2}{1-0,25} = 36,8 \div 46,6 \text{ кгс}$$

Исходя из заданного диаметра и стремления обеспечить наибольшую критическую скорость останавливаемся на витке со следующими данными (номер пружины 485):

$$P_3 = 45 \text{ кгс}; d = 4 \text{ мм}; D = 25 \text{ мм}; z_1 = 27,640 \text{ кгс/мм}; f_3 = 1,628 \text{ мм},$$

где d - диаметр проволоки, мм

D - наружный диаметр пружины, мм

z_1 - жесткость одного витка, кгс/мм

f_3 - наибольший прогиб одного витка, мм

Учитывая, что для пружин II класса норма напряжений $\tau_3 = 0,5\sigma_s$ (табл.2. Разряды пружин), находим, что для найденного диаметра проволоки расчетное напряжение $\tau_3 = 0,5\sigma_s = 0,5 \cdot 190 = 95 \text{ кгс/мм}^2$. Принадлежность ко II

классу проверяем путем определения отношения $\frac{V_0}{V_{кр}}$, для чего

предварительно находим критическую скорость по формуле [12] при

$$\delta = 0,23:$$

$$V_{кр} = \frac{\tau_3 \left(1 - \frac{P_2}{P_3}\right)}{3,58} = \frac{95 \cdot 0,23}{3,58} = 6,1 \text{ м/с} \quad \text{и} \quad \frac{V_0}{V_{кр}} = \frac{5}{6,1} = 0,82 < 1.$$

Полученная величина свидетельствует о том, что, у этой пружины создается большой запас на несоударяемость витков.

Остальные размеры определяем по формулам:

$$\text{Индекс пружины: } c = \frac{D_0}{d} = \frac{25}{4} = 6,25$$

$$\text{Жесткость пружины: } z = \frac{P_2 - P_1}{h} = \frac{35 - 5}{15} = 2 \text{ кгс/мм}$$

Число рабочих витков пружины: $n = \frac{z_1}{z} = \frac{27,640}{2} = 13,82 \approx 13,5$

Уточненная жесткость: $z = \frac{z_1}{n} = \frac{27,640}{13,5} = 2,04 \approx 2 \text{ кгс} / \text{мм}$

При полутора нерабочих витках полное число витков: $n_1 = n + n_2 = 13,5 + 1,5 = 15$,

где n_2 – число опорных витков, принимаем $n_2 = 1,5$

Средний диаметр пружины: $D_0 = D - d = 25 - 4 = 21 \text{ мм}$

Внутренний диаметр: $D_1 = D - 2d = 25 - 2 \cdot 4 = 17 \text{ мм}$

Вычисляем деформации, высоты и шаг пружины:

Предварительная деформация: $F_1 = \frac{P_1}{z} = \frac{5}{2} = 2,5 \text{ мм}$

Рабочая деформация: $F_2 = \frac{P_2}{z} = \frac{35}{2} = 17,5 \text{ мм}$

Максимальная деформация: $F_3 = \frac{P_3}{z} = \frac{45}{2} = 22,5 \text{ мм}$

Высота пружины при максимальной деформации:

$$H_3 = (n_1 + 1 - n_3) \cdot d = (15 + 1 - 1,2) \cdot 4 = 59,2 \text{ мм},$$

где n_3 - число зашлифованных витков, $n_3 = 1,2$

Высота пружины в свободном состоянии: $H_0 = H_3 + F_3 = 59,2 + 22,5 = 81,7 \text{ мм}$

Высота пружины при предварительной деформации:

$$H_1 = H_0 - F_1 = 81,7 - 2,5 = 79,2 \text{ мм}$$

Высота пружины при рабочей деформации: $H_2 = H_0 - F_2 = 81,7 - 17,5 = 64,2 \text{ мм}$

Шаг пружины: $t = f_3 + d = 1,628 + 4 = 4,6 \text{ мм}$

Напряжение в пружине при предварительной

деформации: $U_1 = (P_1/P_3) \cdot \tau_3 = (5/45) \cdot 95 = 10,5 \text{ кгс} / \text{мм}^2$

Напряжение в пружине при рабочей деформации:

$$U_2 = (P_2/P_3) \cdot \tau_3 = (35/45) \cdot 95 = 73,8 \text{ кгс} / \text{мм}^2$$

Максимальная энергия, накапливаемая

пружиной: $E = (P_3 \cdot F_3) / 2 = 45 \cdot 22,5 / 2 = 506,25 \text{ кДж}$

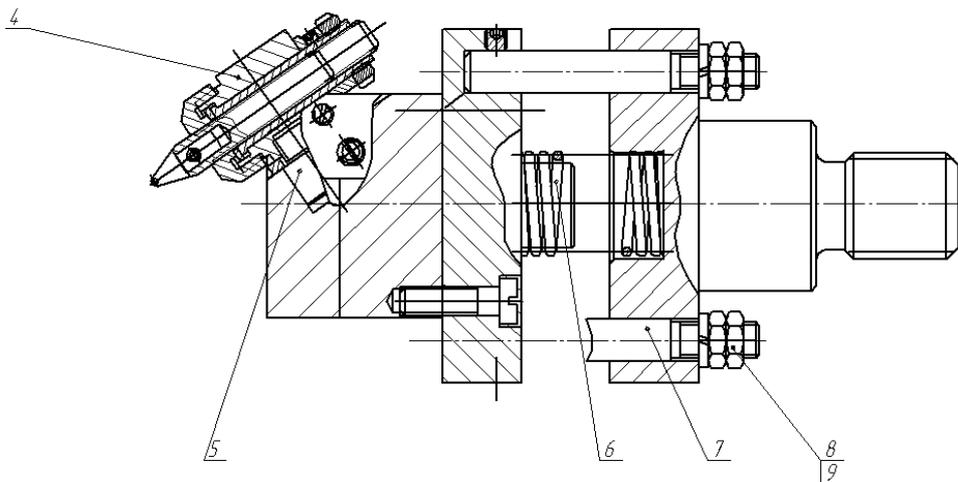
Длина развернутой пружины: $L \approx 3,2 D_0 n_1 = 3,2 \cdot 21 \cdot 15 = 1008 \text{ мм}$

Масса пружины: $Q \approx 19,25 \cdot 10^{-6} D_0 d^2 n_1 = 19,25 \cdot 10^{-6} \cdot 21 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 15 = 0,097 \text{ кг}$

Объем, занимаемый пружиной: $W = 0,758 D^2 H_1 = 0,758 \cdot 25^2 \cdot 79,2 = 37521 \text{ мм}^3$

3 Разработка способа обработки кулачков распределительного вала на токарном станке и устройства для его осуществления

В работе разработан способ обработки выглаживанием с помощью которого можно упрочнять неравномерный профиль поверхностей типа тел вращения. Для реализации этой возможности в работе, на базе разработанного устройства спроектировано универсальное приспособление, позволяющее обрабатывать не только цилиндрические поверхности, но и кулачки. Кроме того, с помощью представленного приспособления можно проводить совмещенную обработку выглаживания и тонкого точения. Спроектированное приспособление представлено на рис. 3.1.



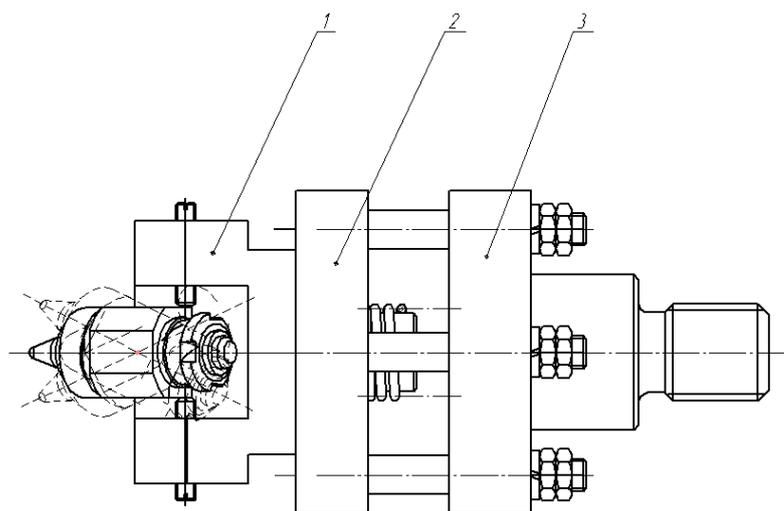


Рисунок 3.1 – Универсальное приспособление

Приспособление (рис. 3.1.) состоит из корпуса 1, к которому прикреплены диски 2 и 3. В отверстие корпуса 1 устанавливается выглаживающая державка 4 с винчиным в нее пальцем 5. Между дисками расположена тарированная пружина сжатия 6, левый конец которой базируется на выступе левого диска 2, а правый конец в отверстии правого диска 3. Диски соединены друг с другом с помощью направляющих скалок 7. Гайки с шайбами 8, 9 служат для обеспечения предварительного натяга пружины. Положение выглаживающей державки фиксируется установочными винтами.

Приспособление работает следующим образом. С помощью специального винта ослабляется положение пальца 5 в корпусе приспособления, в результате чего выглаживающую державку можно установить под различными углами к оси приспособления, для чего служат два (с каждой стороны по одному) установочных винта). После установки требуемого положения державки, специальный винт фиксирует положение пальца в корпусе. Устройство, установленное на суппорте станка, подводится к обрабатываемой поверхности. В момент соприкосновения инструмента с обрабатываемой поверхностью, корпус приспособления с левым диском останутся, правый диск будет продолжать движение по направляющим

скалкам в направлении к обрабатываемой поверхности, пружина начнет сжиматься.

Рассчитаем необходимое усилие, обеспечивающее неподвижное положение державки при обработке. Державка закрепляется в корпусе посредством специального винта, фиксирующего положение пальца (рис. 3.2.)

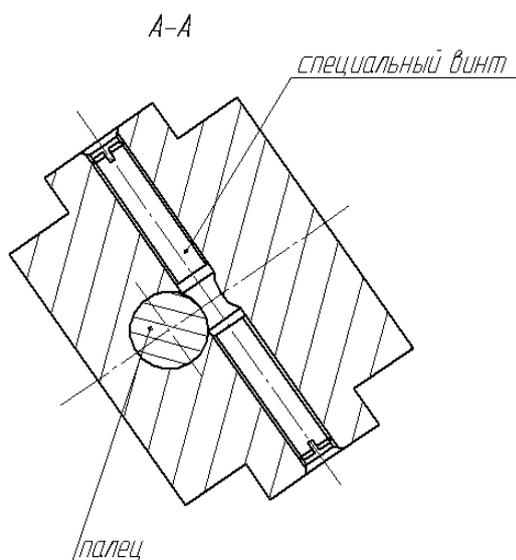


Рисунок 3.2 Схема фиксирования державки в корпусе

Рассмотрим схему сил, действующих на части приспособления в процессе обработки (рис. 3.3.)

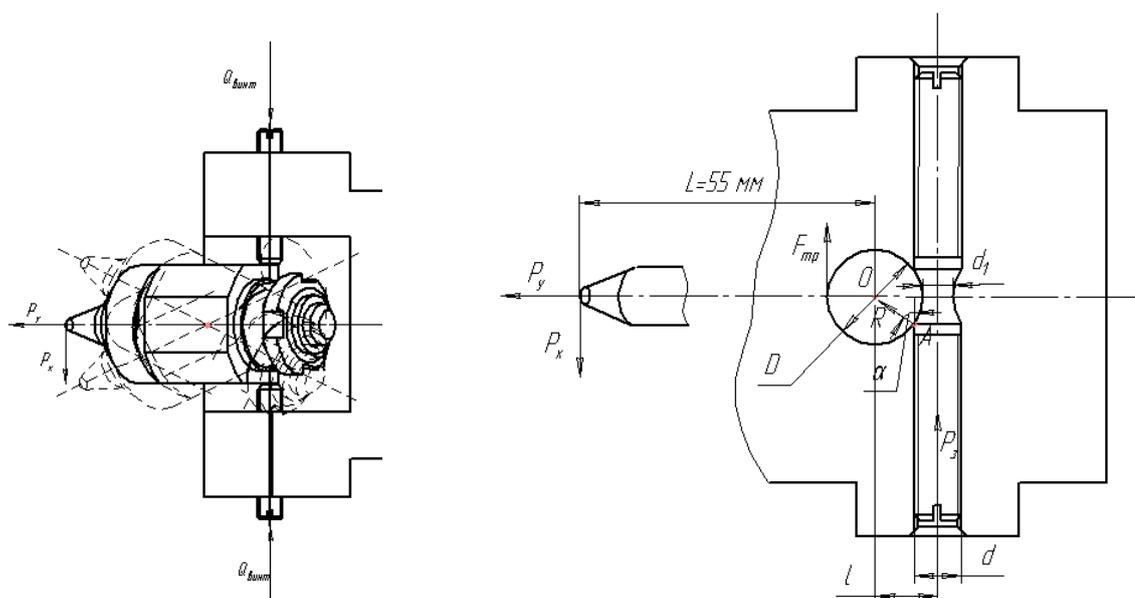


Рисунок 3.4 Схема сил, действующих на элементы приспособления

В процессе обработки, возникающий момент составляющей силы выглаживания P_x пытается повернуть выглаживающую державку вокруг точки О (рис. 3.4.). Повороту державки препятствует момент силы реакции R , возникающей при зажиме пальца специальным винтом, а также момент от силы зажима установочных винтов $Q_{винт}$. Запишем уравнение моментов от действия каждой сил вокруг точки О:

$$M_{P_x} = P_x \cdot L - \text{момент силы } P_x \quad (3.1)$$

$$M_R = [R \cdot \cos \alpha] \cdot \left(l - \frac{d}{2} \right) - \text{момент силы реакции } R \quad (3.2)$$

$$M_{Q_{винт}} = Q_{винт} \cdot l - \text{момент сил зажима установочных винтов } Q_{винт} \quad (3.3)$$

Таким образом, для обеспечения неподвижного положения державки в процессе обработки необходимо, чтобы момент от действия составляющей силы выглаживания P_x уравновешивался моментами от действия силы реакции R и сил зажима винтов $Q_{винт}$:

$$P_x \cdot L = [R \cdot \cos \alpha] \cdot \left(l - \frac{d}{2} \right) + Q_{винт} \cdot l, \quad (3.4.)$$

где L - максимальное расстояние от точки контакта инструмента с деталью до точки О, равное (из конструкторских соображений 55 мм);

l - расстояние от оси винта до точки О, равное 8 мм

d - диаметр винта, равный 8 мм

Из рисунка 5.4. следует, что величина $[R \cdot \cos \alpha]$ соответствует усилию зажима винта P_3 . Таким образом необходимое усилие зажима, обеспечивающее неподвижное положение державки можно определить из уравнения:

$$P_3 = \frac{2 \cdot (P_x \cdot L - Q_{винт} \cdot l)}{2l - d} \quad (3.5)$$

Усилие установочных винтов определим из выражения []:

$$Q_{винт} = \frac{d_{уст}^2 \cdot [\sigma_p]}{c^2}, \quad (3.6)$$

где $d_{уст}$ - диаметр установочных винтов, равный 6 мм

$[\sigma_p]$ - допускаемое напряжение материала винта, МПа (для материала винта – стали 40Х, термообработка – закалка по данным [1]) $[\sigma_p] = 110$ МПа

c - коэффициент, для метрических резьб по [1] $c = 1,4$.

Таким образом, по формуле (5.6.) определим усилие зажима, создаваемое установочными винтами:

$$Q_{\text{винт}} = \frac{6^2 \cdot 110}{1,4^2} = 2000H$$

По таблице, представленной в [1] определяем допускаемое усилие

$[Q_{\text{винт}}] = 2200H$, следовательно условие $Q_{\text{винт}} \leq [Q_{\text{винт}}]$ выполняется.

По формуле (5) рассчитаем необходимое усилие зажима пальца с державкой, полагая, что $P_x = 0,8 \div 0,9P_y$, а максимальное усилие обеспечиваемое приспособлением принято $P_y = 350H$.

$$P_z = \frac{2 \cdot (0,9 \cdot 350 \cdot 55 - 2000 \cdot 8)}{2 \cdot 8 - 8} = 331,25H$$

Рассчитаем, необходимое усилие зажима без учета действия усилия зажима установочных винтов:

$$P_z = \frac{2 \cdot (0,9 \cdot 350 \cdot 55)}{2 \cdot 8 - 8} = 4331H$$

Предлагаемое приспособление реализует упругую схему взаимодействия инструмента с обрабатываемой поверхностью.

4 Безопасность и экологичность технического объекта

4.1 Конструктивно-технологическая характеристика объекта

4.1.1 Наименование технического объекта выпускной квалификационной работы

Технический объект – технологический процесс восстановления и упрочнения распределительного вала. Технологический паспорт объекта представлен в таблице 4.1

Технологический паспорт объекта

Таблица 4.1

№ п/п	Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию ³	Оборудование, устройство, приспособление	Материалы, вещества
1	Технологический процесс восстановления вала распределительного	операция 10: мойка детали	оператор	установка для мойки	Моющие растворы, присадки
		операция 20: контрольная, дефектовка. На данной операции осуществляется входной контроль	контроллер	Стол контрольный, мерительный инструмент	Ветошь
		операция 30: токарная На данной операции осуществляется токарная обработка изношенной поверхности вала	Токарь	Токарный станок 16К20, Патрон, резцы	
		операция 40: наплавка	слесарь	Горелка универсальная,	

		внутренняя канавка. На операции выполняется наплавка изношенного слоя		балон СО, установка для наплавки	
		операция 50: шлифовальная. На операции осуществляется круглое наружное предварительное шлифование	шлифовщик	Круглошлифовальный станок, Специальная разжимная оправка, центра, шлифовальные круги	эмульсия ВЕЛС 5%
		операция 60: окончательное шлифование поверхностей.	шлифовщик	Круглошлифовальный станок, Специальная разжимная оправка, центра, шлифовальные круги	эмульсия ВЕЛС 5%
		операция 70: выглаживание и упрочнение восстановленных поверхностей	Токарь	Токарный станок 16К20	

4.2 Идентификация производственно-технологических и эксплуатационных профессиональных рисков

Идентификация профессиональных рисков

Таблица 4.2

№ п/п	Производственно-технологическая и/или эксплуатационно-технологическая операция, вид выполняемых работ	Опасный и /или вредный производственный фактор	Источник опасного и /или вредного производственного фактора
1	операция 10: мойка детали	«движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; повышенный уровень шума на рабочем месте; повышенный уровень вибрации;	Установка для мойки
2	операция 20: контрольная, дефектовка. На данной операции осуществляется входной контроль		Стол слесарный
3	операция 30: токарная На данной операции осуществляется токарная обработка изношенной поверхности вала	статические физические перегрузки монотонность труда; эмоциональные перегрузки» [30]	Токарный станок 16К20 кулачковый патрон, центр задний
4	операция 40: наплавка внутренняя канавка. На операции выполняется наплавка изношенного слоя		Универсальная установка для наплавки, горелка, балон
5	операция 50: шлифовальная. На операции осуществляется круглое наружное предварительное шлифование		Круглошлифовальный станок, Специальная разжимная оправка, центра

6	операция 60: окончательное шлифование поверхностей.		Круглошлифовальный станок, Специальная разжимная оправка, центра
7	операция 70: выглаживание и упрочнение восстановленных поверхностей		Токарный станок 16К20, патрон трехкулачковый, центр задний, приспособление для выглаживания

4.3. Методы и технические средства снижения профессиональных рисков

Методы и средства снижения воздействия опасных и вредных производственных факторов

Таблица 4.3

№ п/п	Опасный и / или вредный производственный фактор ¹	Организационные методы и технические средства защиты, снижения, устранения опасного и / или вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника ³
1	«движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; передвигающиеся изделия, заготовки, материалы» [30]	соприкосновения рук станочников с движущимися приспособлениями и инструментом при установке заготовок и снятии деталей должны быть автоматические устройства (механические руки, револьверные приспособления, бункеры и др.); Для защиты работающих на станке и людей, находящихся вблизи станка, от отлетающей стружки и СОЖ,	«Для защиты кожного покрова от воздействия СОЖ и пыли токсичных металлов должны применяться дерматологические защитные средства (профилактические пасты, мази, биологические перчатки) по ГОСТ 12.4.068. халаты; костюмы; полуботинки; перчатки;

		необходимо оснащать станки защитными устройствами, ограждающими зону обработки или ее часть, в которой осуществляется процесс резания.» [30]	очки защитные» [30]
2	«повышенный уровень шума на рабочем месте» [30]	«При применении сжатого воздуха для удаления отштампованных деталей, отходов и окалина должны быть приняты меры для локализации выделяемой пыли и снижения шума до норм по ГОСТ 12.1.003-83.» [30]	противошумные вкладыши
3	повышенный уровень вибрации		
4	статические физические перегрузки монотонность труда		
5	эмоциональные перегрузки		

4.4 Обеспечение пожарной и техногенной безопасности рассматриваемого технического объекта (производственно-технологических эксплуатационных и утилизационных процессов)

4.4.1 Идентификация опасных факторов пожара.

Идентификация классов и опасных факторов пожара

Таблица 4.4

№ п/п	Участок, подразделение	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
1.	Ремонтный участок	Металлорежущие станки,	А	«пламя и искры; тепловой поток; повышенная температура	вынос (замыкание) высокого электрического напряжения на

		установки для мойки		окружающей среды; повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения; пониженная концентрация кислорода» [30]	токопроводящие части технологических установок, оборудования, агрегатов, изделий и иного имущества; опасные факторы взрыва, возникающие вследствие происшедшего пожара; термохимические воздействия используемых при пожаре огнетушащих веществ на предметы и людей. [30]
--	--	---------------------	--	--	---

4.4.2 Разработка технических средств и организационных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности технического объекта

Технические средства обеспечения пожарной безопасности

Таблица 4.5

Первичные средства пожаротушения	Мобильные средства пожаротушения	Стационарные установки системы пожаротушения	Средства пожарной автоматики	Пожарное оборудование	Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный)	Пожарные сигнализация, связь и оповещение.
Порошковые огнетушители типа ОП; Углекислотные огнетушители (УО-2)	-	-	извещатели	-	средства индивидуальной защиты средства защиты кожных покровов	пожарный топор, лом, крюк	

4.5. Организационные (организационно-технические) мероприятия по предотвращению пожара.

Организационные (организационно-технические) мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Таблица 4.6

Наименование технологического процесса	Наименование видов реализуемых организационных (организационно-технических) мероприятий	Предъявляемые требования по обеспечению пожарной безопасности, реализуемые эффекты
Технологический процесс восстановления распределительного вала	Составление паспортов на материалы, вещества, оборудования; Обучение правилам пожарной безопасности; Мероприятия и инструкции о работе с пожароопасными веществами и материалами;	Проведение инструктажей под роспись

4.6. Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технического объекта

4.6.1 Идентификация экологических факторов технического объекта

Таблица 4.7

Наименование технического объекта, технологического процесса	Структурные составляющие технологического процесса, технологические операции, оборудование	Воздействие технического объекта на атмосферу (вредные и опасные выбросы в окружающую среду)	Воздействие технического объекта на гидросферу (образующие сточные воды, забор воды из источников водоснабжения)	Воздействие технического объекта на литосферу (почву, растительный покров, недра) (образование отходов, выемка плодородного слоя почвы, отчуждение земель, нарушение и загрязнение растительного покрова и т.д.)
Технологический процесс восстановления распределительного вала	операция 10: мойка детали	Моющие вещества	СОЖ, смазки, нефтепродукты	Твердые и жидкие отходы производства
	операция 20: контрольная, дефектовка. На данной операции осуществляется входной контроль	-		
	операция 30: токарная На данной операции осуществляется токарная обработка изношенной поверхности вала	СОЖ, масла, стружка		
	операция 40: наплавка внутренняя канавка. На операции выполняется	Пары СОЖ, масел, твердые частицы, стружка	СОЖ, смазки, нефтепродукты	

	наплавка изношенного слоя			
	операция 50: шлифовальная. На операции осуществляется круглое наружное предварительное шлифование	Выброс химических элементов		
	операция 60: окончательное шлифование поверхностей.	Пары СОЖ, масел, твердые частицы, шлифовальный шлам		
	операция 70: выглаживание и упрочнение восстановленных поверхностей	Пары СОЖ, масел, твердые частицы, шлифовальный шлам		

4.6.2 Разработка мероприятий по снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду рассматриваемого технического объекта

Разработанные организационно-технические мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия технического объекта на окружающую среду

Таблица 4.8

Наименование технического объекта	Технологический процесс восстановления распределительного вала
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу	1) использование исправной техники, 2) регулярный профилактический осмотр и регулировка гидравлической и пневматической аппаратуры станочного парка и других технологических установок
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на гидросферу	1) установка специальных поддонов
Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу	1) регулярный профилактический осмотр и регулировка гидравлической и пневматической аппаратуры станочного парка и других технологических установок

4.7 Заключение по разделу

В разделе «Безопасность и экологичность технического объекта» приведена характеристика технологического процесса восстановления вала распределительного, перечислены технологические операции, работники, применяемое оборудование, приспособления и инструмент (таблица 4.1).

Выполнена идентификация профессиональных рисков, разработаны мероприятия по снижению профессиональных рисков. Выбраны средства индивидуальной защиты для работников.

Разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности технического объекта

Проведена идентификация экологических факторов и разработаны мероприятия по обеспечению экологической безопасности на техническом объекте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе разработан технологический процесс восстановления распределительного вала двигателя. На основе анализа литературы предложено в технологическом процессе восстановления распределительного вала использовать обработку ППД. Для реализации технологии ППД была разработана новая конструкция приспособления для обработки выглаживанием.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Новиков В. Г. Справочник. Инженерный журнал / В. Г. Новиков, А. А. Федоров, Д. О. Бытеев. // М.: Изд.дом «Спектр» - 2004. - № 7. - С. 24-31.
2. Канарчук В. Е. Курс восстановления автомобильных деталей: Технология и оборудование / Канарчук В. Е., Чигринец А. Д – М.: Транспорт, 1998, - 303 с.
3. Технология упрочнения и восстановления деталей машин электромагнитной наплавкой в постоянном магнитном поле: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.15 / Миранович А.В.; Белорусский национальный технический университет. - Минск: БНТУ, 2015. – 21 с.
4. А.с. 818838 СССР: МКИ В 24 В 39/04. Устройство для выглаживания поверхностей деталей.
5. А.с. 1242341 СССР: МКИ В 24 В 39/04. Способ выглаживания поверхностей деталей.
6. А.с. 1459903 СССР: МКИ В 24 В 39/00. Способ обработки поверхностей алмазным выглаживанием.
7. А.с. 878534 СССР: МКИ В 24 В 39/00. Способ алмазного выглаживания.
8. А.с. 795908 СССР: МКИ В 24 В 39/00. Способ алмазного выглаживания.
9. А.с. 290817 СССР: МКИ В 24 В 39/00. Способ алмазного выглаживания
10. А.с. 1162575 СССР: МКИ В 24 В 39/00. Способ обработки деталей алмазным выглаживанием.
11. Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностью – пластическим деформированием. – М.: Машиностроение, 1978.-152с. ил.
12. Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства с регулярным микрорельефом. – М.: Машиностроение., 1982.
13. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: Справочник. – М.: Машиностроение, 1987.- 328 с.

14. Барац Я.И. Финишная обработка металлов давлением. (Теплофизика и качество) Изд-во Саратов. Ун-та, 1982.-184 с.
15. Торбило В.М. Алмазное выглаживание / В.М.Торбило. - М.: Машиностроение, 1977. – 106 с.
16. Hard Turning vs. Grinding Which one is more economic? A literature survey Bertrand Hasser Ralph Hohenleitner The George W. Woodruff School of Mechanical Engineering Georgia Institute of Technology Atlanta, Georgia, 13 March, 2006
17. KorzyĔski, M., A model of smoothing slide ball-burnishing and an analysis of the parameter interaction, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 209, pp. 625–633, 2009.
18. Labuda, W., Starosta, R., Dyl, T., Estimation of the influence of burnishing parameters on steel X5CrNi18-10 surface layers strengthening and roughness changes, Journal of KONES Powertrain and Transport, Vol. 15, No. 3, pp. 259–267, 2008.
19. Yung-Chang Yen, M.S. MODELING OF METAL CUTTING AND BALL BURNISHING – PREDICTION OF TOOL WEAR AND SURFACE PROPERTIES / Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in the Graduate School of The Ohio State University. The Ohio State University, 2004, p. 254
20. Горохов В.А. Проектирование и расчет приспособлений: Учеб. Пособие для студентов вузов машиностроительных спец. – Мн.: Выш. шк., 1986. – 238 с.: ил.
21. Ануриев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. Т.1. – 8-е изд., перераб. И доп. под ред. И.Н.Жестковой. – М.: Машиностроение, 2001. – 920 с.
22. Ануриев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. Т.2. – 8-е изд., перераб. И доп. под ред. И.Н.Жестковой. – М.: Машиностроение, 2001. – 920 с.

23. Малкин В.С. Устройство и эксплуатация технологического оборудования предприятий автомобильного транспорта: учебно-методическое пособие к курсовому проекту бакалавров направления подготовки 190600.62 (23.03.03) «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», спец. «Автомобили и автомобильное хозяйство" / В. С. Малкин; ТГУ. - Тольяти : ТГУ, 2015. - 65 с. : ил.

25. Епишкин, В.Е. Проектирование станций технического обслуживания автомобилей: Учебное пособие по дисциплине «Проектирование предприятий автомобильного транспорта»: для студентов специальности 190601 «Автомобили и автомобильное хозяйство» / В.Е. Епишкин, А.П. Караченцев, В.Г. Остапец - Тольятти: ТГУ, 2012. - 285 с.