

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт Кибернетики

Направление подготовки (специальность) 15.04.01 «Машиностроение»

Кафедра «Технология автоматизированного машиностроительного производства»

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

| Тема работы                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Исследование процесса алмазного выглаживания отверстий малого диаметра и разработка оснастки для их обработки</b> |

УДК 621.7

Студент

| Группа | ФИО                   | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------|---------|------|
| 8ЛМ41  | Рыжов Сергей Игоревич |         |      |

Руководитель

| Должность        | ФИО         | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|-------------|------------------------|---------|------|
| Доцент каф. ТАМП | Червач Ю.Б. | К.Т.Н.                 |         |      |

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность          | ФИО            | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--------------------|----------------|------------------------|---------|------|
| Ассистент каф. МЕН | Шулинина Ю. И. |                        |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность       | ФИО                | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------|--------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент каф. ЭБЖ | Пустовойтова М. И. | К.Х.Н.                 |         |      |

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

| Зав. кафедрой | ФИО          | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|---------------|--------------|------------------------|---------|------|
| ТАМП          | Арляпов А.Ю. | К.Т.Н.                 |         |      |

## Планируемые результаты обучения по программе

| Код<br>результата                   | Результат обучения<br>(выпускник должен быть готов)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |  |
|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>Профессиональные компетенции</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |  |
| P1                                  | Способность выбирать аналитические и численные методы при разработке математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов в машиностроении                                                                                                                                                                                                                      |  |
| P2                                  | Способность подготавливать технические задания на разработку проектных решений, разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты технических разработок с использованием средств автоматизации проектирования и передового опыта разработки конкурентоспособных изделий, участвовать в рассмотрении различной технической документации, подготавливать необходимые обзоры, отзывы, заключения |  |
| P3                                  | Способность изучать и анализировать необходимую информацию, технические данные, показатели и результаты работы, систематизировать их и обобщать                                                                                                                                                                                                                                                    |  |
| P5                                  | Способность получать и обрабатывать информацию из различных источников с использованием современных информационных технологий, уметь применять прикладные программные средства при решении практических вопросов с использованием персональных компьютеров с применением программных средств общего и специального назначения, в том числе в режиме удаленного доступа                             |  |
| <b>Общекультурные компетенции</b>   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |  |
| P6                                  | Способность выбирать оптимальные решения при создании продукции с учетом требований качества, надежности и стоимости, а также сроков исполнения, безопасности жизнедеятельности и экологической чистоты производства                                                                                                                                                                               |  |
| P7                                  | Способность самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля, для приобретения новых знаний и умений.                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт Кибернетики

Направление подготовки (специальность) 15.04.01 «Машиностроение»

Кафедра «Технология автоматизированного машиностроительного производства»

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

Арляпов А. Ю.

\_\_\_\_\_  
(Подпись)

\_\_\_\_\_  
(Дата)

\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

| Группа | ФИО                   |
|--------|-----------------------|
| 8ЛМ41  | Рыжов Сергей Игоревич |

Тема работы:

|                                                                                         |                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| <b>Исследование точности толстостенных втулок, обработанных реверсивным дорнованием</b> |                    |
| Утверждена приказом директора (дата, номер)                                             | 18.02.2016, №947/с |

|                                          |  |
|------------------------------------------|--|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: |  |
|------------------------------------------|--|

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

|                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Исходные данные к работе</b>                                               | Объектом исследования является – процесс алмазного выглаживания внутренних фасонных поверхностей и отверстий малого диаметра.<br>Задача: спроектировать оправку, для обработки выглаживанием внутренних фасонных поверхностей и отверстий малого диаметра, с постоянным усилием выглаживания. |
| <b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> | 1. Обзор литературы и задачи исследования<br>2. Краткая характеристика и область применения процесса выглаживания. Схемы приспособлений.<br>3. Проектирование приспособления, для обработки выглаживанием отверстий малого диаметра.                                                          |

|                                                                                         |                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                         | 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение<br>5. Социальная ответственность |
| <b>Перечень графического материала</b>                                                  | Демонстрационный материал (презентация в MS Power Point);                                           |
| <b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>                       |                                                                                                     |
| <b>Раздел</b>                                                                           | <b>Консультант</b>                                                                                  |
| Исследовательский                                                                       | Червач Ю.Б.                                                                                         |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение                         | Шулинина Ю. И.                                                                                      |
| Социальная ответственность                                                              | Пустовойтова М. И.                                                                                  |
| Исследовательский (на англ. яз.)                                                        | Степура С. Н.                                                                                       |
| <b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b> |                                                                                                     |
| Исследовательский раздел                                                                |                                                                                                     |

|                                                                                                 |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b> |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

**Задание выдал руководитель:**

| Должность        | ФИО         | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|-------------|------------------------|---------|------|
| Доцент каф. ТАМП | Червач Ю.Б. | К.Т.Н.                 |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                   | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------|---------|------|
| 8ЛМ41  | Рыжов Сергей Игоревич |         |      |

## Оглавление

|                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение.....                                                                                                                            | 6  |
| 1. Литературный обзор.....                                                                                                               | 7  |
| 1.1 Оправка с силовым элементом в виде винтовой пружины.....                                                                             | 7  |
| 1.2 Оправка с силовым элементом в виде плоской пружины.....                                                                              | 11 |
| 1.3 Оправка с силовым элементом в виде пневматической пружины.....                                                                       | 17 |
| 1.4 Оправка с силовым элементом в виде пневматической пружины и гибкой опорой.....                                                       | 19 |
| 1.5 Оправка динамометрическая для выглаживания отверстий.....                                                                            | 23 |
| 1.6 Оправка с силовым элементом в виде винтовой пружины для обработки отверстий.....                                                     | 26 |
| 1.7 Двух алмазная оправка для внутреннего выглаживания.....                                                                              | 28 |
| 1.8 Оправка для выглаживания фасонных конических поверхностей.....                                                                       | 30 |
| 2. Проектирование оснастки, для обработки отверстий малого диаметра...32                                                                 |    |
| 2.1 Описание приспособления, для обработки отверстий малого диаметра.                                                                    | 32 |
| 2.2 Выбор оптимальных конструктивных элементов.....                                                                                      | 33 |
| 2.3 Схема изделия.....                                                                                                                   | 37 |
| 2.4 Ход разработки.....                                                                                                                  | 39 |
| 2.5 Технология сборки приспособления.....                                                                                                | 50 |
| 2.6 Тарировка оправки.....                                                                                                               | 54 |
| 2.7 Измерение силы выглаживания $P$ , при обработке заготовки приспособлением, для алмазного выглаживания отверстий малого диаметра..... | 56 |
| 3. Заключение.....                                                                                                                       | 59 |

## **Введение.**

Алмазное выглаживание является наиболее простым и эффективным методом упрочняющей обработки деталей поверхностным пластическим деформированием. Обработка производится с помощью алмазных наконечников из синтетических алмазов со сферической или цилиндрической поверхностью, вмонтированных в оправку. Процесс, как правило, выполняется на обычных токарно-винторезных станках. Выглаживающий инструмент поджимается к обрабатываемой детали с определенным усилием. Под давлением алмаза микронеровности поверхности деформируются и степень шероховатости уменьшается, а поверхностный слой упрочняется. Для получения требуемой шероховатости и степени упрочнения необходимо поддерживать усилие в довольно узком диапазоне. Отклонение силы выглаживания приводят либо к недостаточной величине упрочнения, либо к перу упрочнению поверхностного слоя, а также к увеличению шероховатости поверхности.

На данный момент применяются две принципиальные схемы закрепления индентора: жесткая и гибкая. Жесткая подразумевает не подвижность алмазного индентора, относительно резцедержателя станка, при этом погрешности формы и установки детали приводят к значительным колебаниям усилия выглаживания, приводя к неоднородности твердости и шероховатости поверхностного слоя. Гибкое закрепление индентора позволяет избежать значительного колебания усилия, при изменении радиуса обрабатываемой детали.

Наиболее широкое распространение в промышленности получило выглаживание с упругим закреплением инструмента. При выглаживании фасонных поверхностей деталей используют оправки, которые поддерживают

постоянную силу выглаживания в результате упругого контакта выглаживателя с обрабатываемой деталью. Различают следующие виды конструкции оправок: динамометрические (в качестве силового элемента используется плоская пружина); пружинные (силовой элемент - винтовая пружина); гидравлические (силовой элемент – энергия сжатой жидкости в гидроцилиндре); пневматические (силовой элемент – энергия сжатого воздуха) и другие.

При этом большая часть оправок не позволяет обеспечить постоянное усилие выглаживания. А также большая часть приспособлений с гибким закреплением индентора из-за малого хода выглаживателя не позволяет обрабатывать фасонные поверхности. Задача заключается в значительном снижении колебаний усилия выглаживания, при обработке отверстий и фасонных поверхностей.

## **1. Литературный обзор.**

### **1.1 Оправка с силовым элементом в виде винтовой пружины.**

Оправка для алмазного выглаживания с силовым элементом в виде плоской пружины предназначена для обработки наружных цилиндрических поверхностей деталей и их торцов, с учетом погрешностей установки детали и её формы.

Конструктив оправки включает в себя алмазный индентор, установленный на подпружиненной плунжерной втулке. Тип используемой пружины – винтовая. Винтовая пружина установлена в цилиндрическом корпусе. Регулировка пружины осуществляется регулировочным винтом, установленном позади пружины в корпусе. Ввинчивание регулировочного винта приводит к сжатию пружины, тем самым повышая давление алмаза индентора, подпираемого пружиной к заготовке через цилиндрическую втулку. После установки детали на станок с пружинной оправкой перед

началом процесса обработки необходимо создать предварительный натяг. Величину нагружения пружины можно определить при помощи индикаторной головки часового типа, жестко закреплённой на корпусе. Шток индикаторной головки часового типа соединен с втулкой, движущейся внутри корпуса, под действием реакционной силы обрабатываемой заготовки и винтовой пружины.

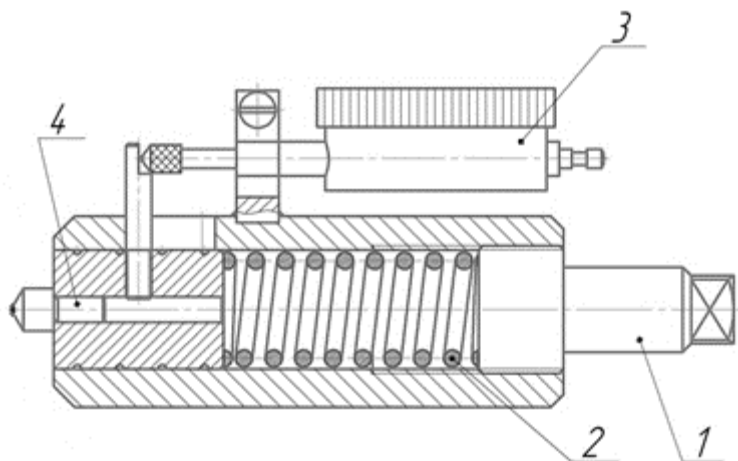


Рис. 1.1. Чертеж оправки с силовым элементом в виде винтовой пружины.

Элементы конструкции оправки с винтовой пружиной включают в себя: регулировочный винт (1), винтовую пружину (2), индикаторную головку часового типа (3) и алмазный индентор во втулке (4).

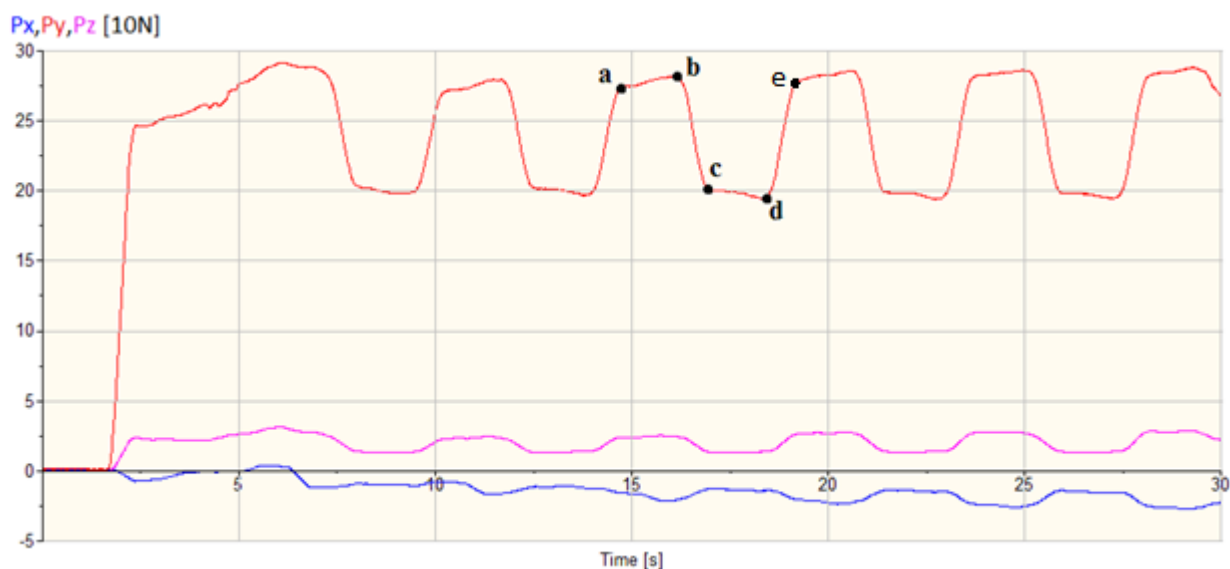


Рис. 1.2. График сил.

Исходя из анализа конструкции приспособление имеет два конструктивных элемента, которые могут влиять на стабильность усилия выглаживания. Прецизионная возвратно- поступательная пара при возвратно- поступательном линейном движении имеет переменную силу трения. Это происходит в результате перехода силы трения скольжения в силу трения покоя и наоборот. Так же каждый виток винтовой пружины соприкасается с цилиндрической направляющей, это взаимодействие имеет тот же характер, что и у прецизионной возвратно-поступательной плунжерной пары. Вторым недостатком конструкции, приводящий к колебанию радиальной силы  $P_y$  заключается в изменении усилия создаваемого пружиной, в зависимости от величины деформации. Однако, в отличие от анализированных выше оправок в данном случае оба недостатка совместно приводят к значительным колебаниям радиальной силы  $P$ . На графике это выражается в «пилообразный» вид кривой силы  $P_y$ . Колебания достигают 33% от среднего значения на участке стабильного процесса выглаживания, это приведет к значительной разнице свойств близ расположенных участков поверхности обработанной детали. В результате эксцентриситета, образовавшегося в следствии

погрешности установки обрабатываемой детали в патрон токарного станка, вращение обрабатываемой детали приводит к циклическому изменению её радиуса.

Рассмотрим колебание радиальной составляющей силы  $P$  на участке установившегося процесса алмазного выглаживания. На участке «a-b» графика сил выглаживания (Рис. 1.1) радиальная сила  $P_y$  возрастает практически линейно, это обусловлено линейным ростом реакционной силы пружины оправки, из-за увеличения её деформации. Этот участок соответствует увеличению радиального размера обрабатываемой детали. Постоянное движение без рывков прецизионной возвратно-поступательной пары практически не оказывает влияния на кривую радиальной силы  $P_y$ . Следующий участок «b-c» характеризует момент прохождения наибольшего радиуса обрабатываемой детали. Кратковременная остановка движения плунжера возвратно-поступательной прецизионной пары приводит к появлению силы трения покоя, вместо силы трения скольжения, величина которой меньше. Срыв и начало движения плунжера приводят к скачкообразному уменьшению радиальной силы  $P_y$ . Изменение деформации винтовой пружины на этом участке не значительно и практически не оказывает влияния на колебания радиальной составляющей силы  $P$ . Участок «c-d» характеризуется постоянным уменьшением радиуса обрабатываемой детали. В связи с этим непрерывное движение плунжера в возвратно-поступательной прецизионной паре, а также скольжение витков винтовой пружины по направляющей не вызывает значительного колебания радиальной силы  $P_y$ . Уменьшение радиуса обрабатываемой детали приводит к уменьшению величины деформации винтовой пружины, что в свою очередь приводит к уменьшению радиальной составляющей силы  $P$ . Далее на участке «d-e» наблюдается момент прохождения наименьшего радиуса выглаживаемой детали. Кратковременная остановка движения плунжера по направляющей

прецизионной плунжерной пары приводит к появлению силы трения покоя, вместо силы трения скольжения. Срыв и начало движения плунжера приводят к скачкообразному уменьшению радиальной силы  $P_y$ . Изменение деформации вантовой пружины на этом участке не значительно и практически не оказывает влияния на колебания радиальной составляющей силы  $P$ .

Исходя из кривой изменения радиальной составляющей силы выглаживания  $P$  оправка с силовым элементом в виде винтовой пружины и возвратно-поступательной плунжерной парой не обеспечивает постоянство усилия выглаживания. Оба ключевых элемента необходимо исключить из конструкции оправки, с постоянным усилием выглаживания.

### **1.2 Оправка с силовым элементом в виде плоской пружины.**

Оправка для алмазного выглаживания с силовым элементом в виде плоской пружины предназначена для обработки наружных цилиндрических поверхностей деталей и их торцов, с учетом погрешностей установки детали и её формы.

В данной оправке алмазный индентор установлен на пружинной опоре, это позволяет индентору перемещаться относительно резцедержателя, в котором закреплена оправка. Пружинная опора так же является основным силовым элементом - деформация плоских пружин в ней создает усилие выглаживания. Регулирование усилия осуществляется изменением расстояния, на которое подводится резцедержатель с оправкой, после контакта алмаза индентора с поверхностью обрабатываемой заготовки. Для получения зависимости перемещения от силы необходимо произвести тарировку. Для этого необходим эталонный динамометр, который позволяет определить точное значение реакционной силы, в зависимости от того на сколько переместился индентор относительно резцедержателя. Динамометр при этом устанавливается на станок при помощи оправки, вместо заготовки, а

тарируемая оправка устанавливается в резцедержатель, таким же образом, как и во время процесса обработки. Величину перемещения можно отследить по показаниям индикаторной головки часового типа, шток которой проходит через корпус оправки, закрепленный в резцедержателе, отверстие в демпфере и упирается в крепление алмазного индентора к стойке пружинной опоры. Демпфер, установленный между стоек выполнен из эластичного пенополиуретана. Необходим для гашения колебаний, возникающих от движения алмазного индентора по поверхности обрабатываемой детали. Демпфер так же выполняет роль вторичного силового элемента.

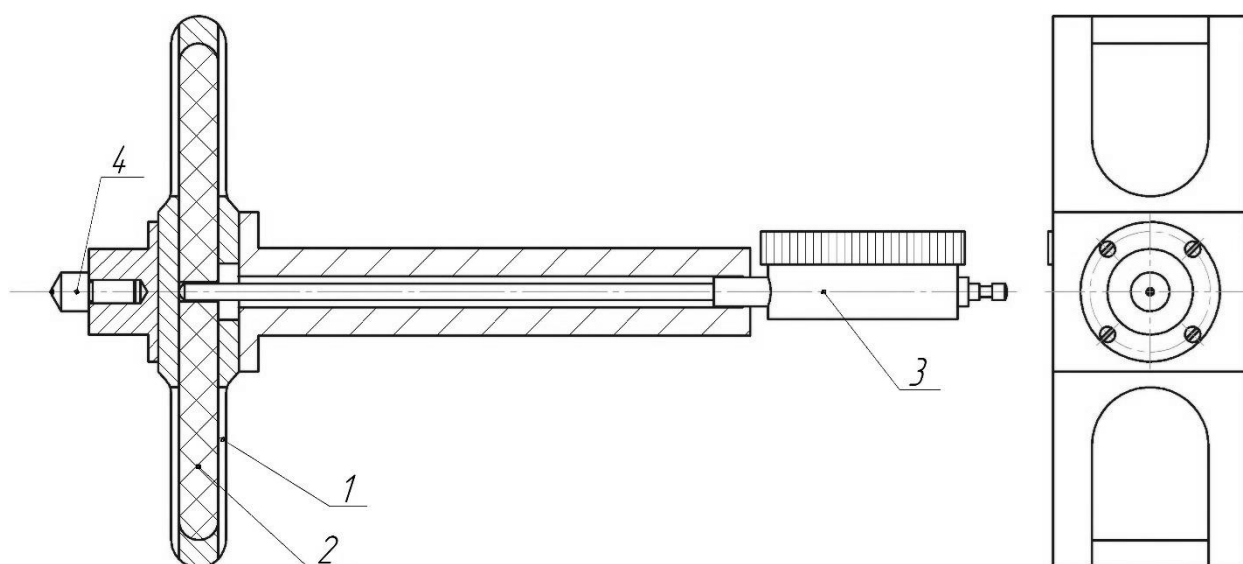


Рис. 1.3. Чертеж оправки с силовым элементом в виде плоской пружины.

Конструкция оправки: плоская пружина упругой опоры (1), пенополиуретановый демпфер (2), индикаторная головка часового типа (3), алмазный индентор.

Пружинная опора представляет собой сборку из восьми плоских пружин. Они располагаются между двумя стойками по четыре пружины с каждой стороны. При нагружении опоры пружины работают на изгиб. При этом данная конструкция позволяет перемещаться не только линейно вдоль

оси индентора, и при поворачивании это при этом одна половина опоры сжимается, а другая растягивается. Так же возможен сдвиг стоек друг относительно друга. Это то свойство представляет собой существенный недостаток данной опоры при использовании оправках для крепления алмазного индентора, так как это приводит к перекосам индентора.

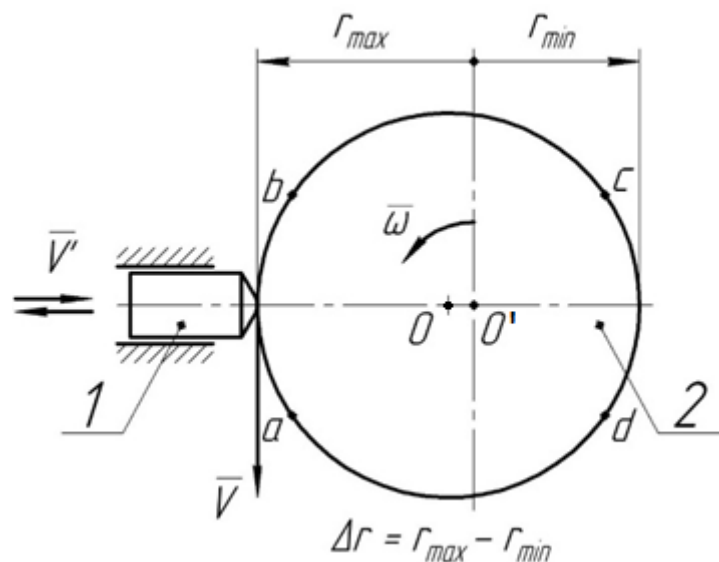


Рис. 1.4. Движение индентора по поверхности с радиальным биением.

1 – индентор;

2 – обрабатываемая поверхность;

$V$  – скорость выглаживания, м/с;

$V'$  – скорость перемещения индентора с плунжером относительно корпуса оправки;

$\omega$  – угловая скорость детали,  $s^{-1}$ ;

$O'$  – ось патрона станка;

$O$  – ось детали.

Технология обработки зачастую не позволяет производить алмазное выглаживание обработанной поверхности сразу же после её токарной или токарно-фрезерной обработки. В основе этого лежат экономические причины – после предварительной токарной обработки поверхности под выглаживание на универсальных токарных станках необходимо произвести установку в резцедержатель оправки. В следствии этого эффективнее установить деталь на станок с уже установленной оправкой. При использовании станков с ЧПУ, для

предварительной обработки поверхности под выглаживание так же не выгодно производить дальнейшую обработку выглаживанием в следствии низкой скорости процесса и последовательном перемещении только по двум осям, что противоречит экономически целесообразному способу использования станков с ЧПУ.

При установке детали в патрон токарного неизбежно возникает радиальное биение детали, вызванное эксцентриситетом осей обрабатываемой детали и оси шпинделя станка. Величина радиального биения в два раза больше эксцентриситета. Во время обработки радиальное биение приводит к изменению радиуса обрабатываемой детали и как следствие к деформациям силового элемента – плоской пружины. При этом алмазный индентор, по средству предварительно деформированной упругой опоры всегда оказывает давление на поверхность детали. Как следствие давление алмаза на поверхность должно быть постоянно.

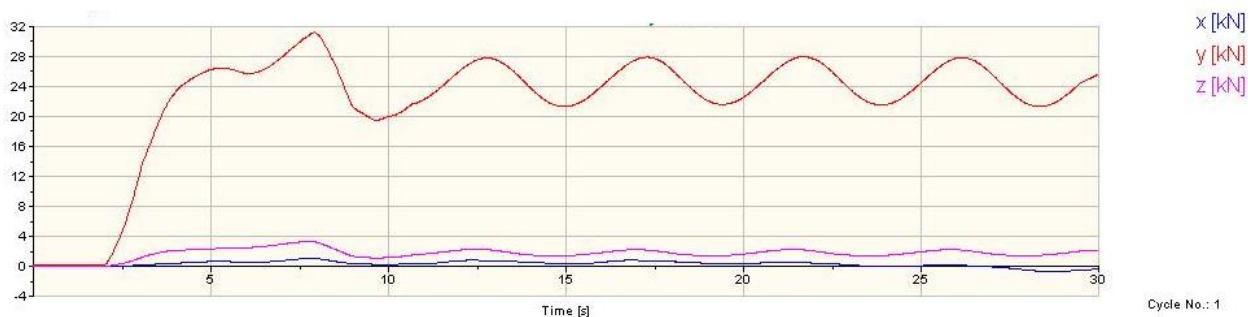


Рис. 1.5. Силы, при обработке детали.

Радиальная сила  $P_y$  на графике, полученный при обработке оправкой с силовым элементом в виде плоской пружины имеет синусоидальный вид, это обусловлено изменением силы плоской пружины при различных величинах деформации. Тарировочный график отображает эту зависимость. Радиальное биение заготовки приводит к продольным перемещениям алмазного индентора, который в свою очередь деформирует упругую опору, на которой он закреплен. Изгиб пружин в опоре согласно тарировочному графику

приводит к изменению силы. Характер перемещений циклический – деталь вращаясь постоянно приближается и отдаляется от резцедержателя. При этом приближение и отдаление постепенное, что и обуславливает синусоидальный характер изменения радиальной силы  $P_y$ . Колебания силы достигают 29% от среднего значения радиальной силы  $P_y$  на участке стабильного процесса выглаживания.

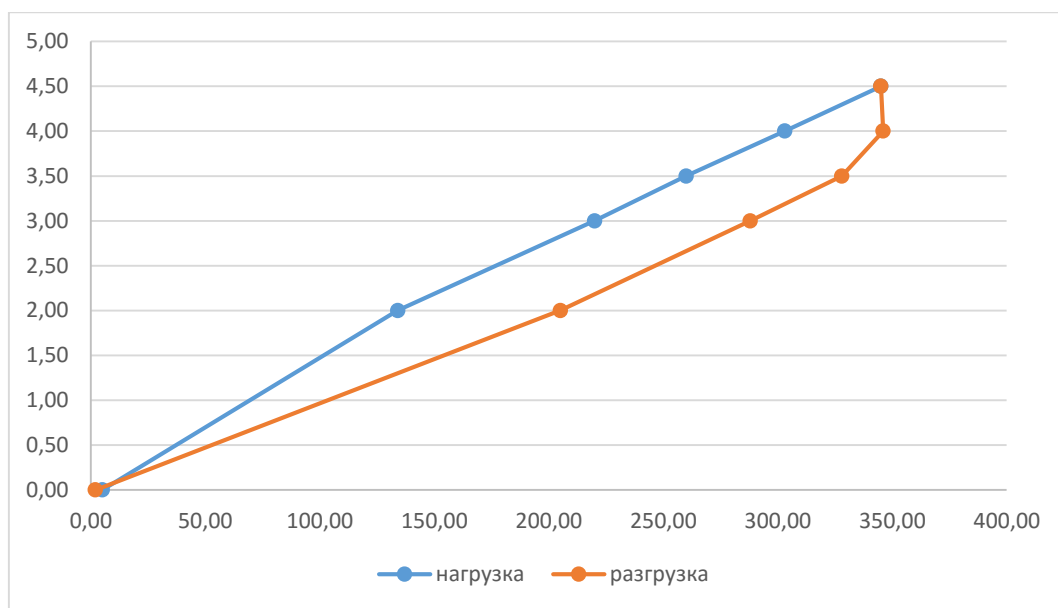


Рис. 1.6. Тарировочный график пружин.

Исходя из тарировочного графика следует, что для стабилизации силы необходимо уменьшить наклон кривой – то есть уменьшить жесткость пружины. Однако это невозможно, так как приведет к уменьшению усилия выглаживания.

Исходя из графика сил – данная упругая опора не может быть использована, как силовой элемент в оправке со стабильной силой выглаживания. Основное требование – стабильное усилие не достижимо с использованием плоских пружин, как силовых элементов.

### **1.3 Оправка с силовым элементом в виде пневматической пружины.**

Оправка для алмазного выглаживания с силовым элементом в виде пневматической пружины предназначена для обработки наружных цилиндрических поверхностей деталей и их торцов, с учетом погрешностей установки детали и её формы.

Элементы конструкции оправки с силовым элементом в виде пневматической пружины включают в себя ресивер, который обеспечивает сжатым воздухом силовой элемент оправки – сильфон, представляющий собой металлическую гофру. Постоянное давление воздуха в сильфоне дает постоянную силу прижатия рабочего элемента оправки к поверхности заготовки. Постоянное давление достигается многократным превышением объема воздуха в ресивере, по сравнению с объемом воздуха в сильфоне, тем самым позволяет избегать значительных изменения давления воздуха в сильфоне из-за сжатия сильфона и уменьшения объема воздуха. Это должно уменьшить величину колебаний усилия силового элемента, по сравнению с величиной создаваемого им усилия. Для контроля давления в системе используется манометр. По тарировочному графику давления определяется необходимое давление в системе, для достижения определенного усилия выглаживания. Тарировка осуществляется установкой оправки и эталонного динамометра на станок. Повышение давления в системе увеличивает усилие, величина которого измеряется динамометром. Тарировочный график строится на основе показаний эталонного динамометра и показаний манометра. Алмазный индентор расположен на плунжере прецизионной возвратно-поступательной пары. Оправка позволяет использовать любой доступный ресивер, способный выдержать нужное давление, и имеющий необходимый объем.

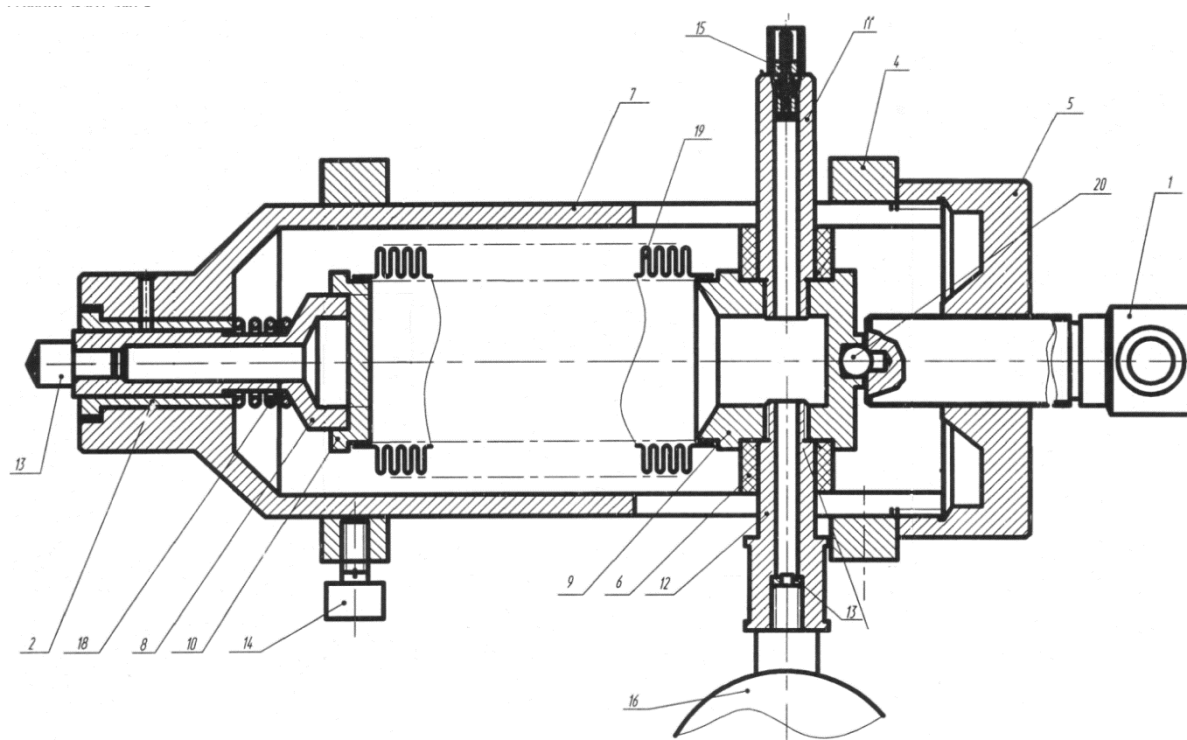


Рис. 1.7. Чертеж оправки с пневматической пружиной.

Основные элементы конструкции оправки с силовым элементом в виде пневматической пружины: алмазный индентор (13), пневматический сильфон (13), манометр низкого давления (16).

Цель оправки – получение стабильного усилия выглаживания должна достигаться использованием одного из основных свойств сильфона: сохранение практически постоянного усилия, вне зависимости от степени деформации.

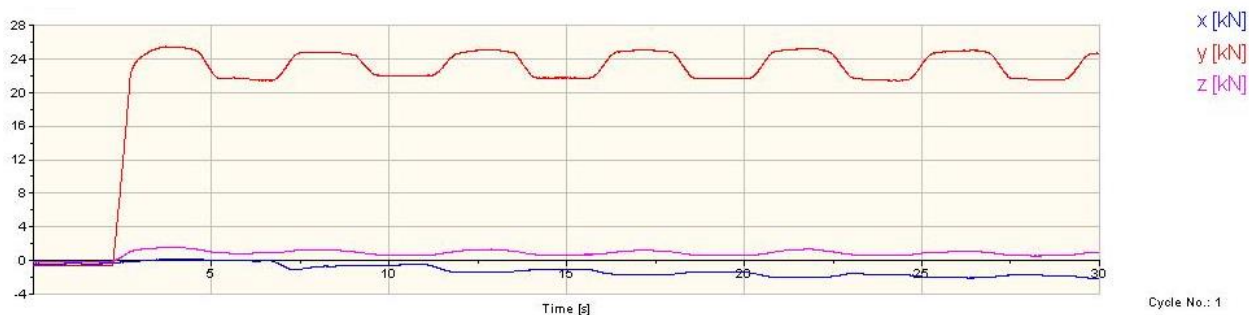


Рис. 1.8. График сил.

Однако, как следует из графика радиальная сила  $P_y$  не постоянна, колебания достигают 16,6% от величины средней величины радиальной силы  $P_y$  на участке стабильного процесса выглаживания. Исходя из свойств силфона его влияние на радиальную силу выглаживания можно исключить. Характер изменения силы позволяет предположить, что характер трения плунжера в возвратно-поступательной прецизионной паре при изменении направления поступательного движения изменяется с трение скольжения на трение покоя. Это приводит к кратковременным остановкам алмазного индентора при достижении минимального радиуса и максимального радиуса заготовки в следствии эксцентриситета заготовки относительно кулачкового патрона станка, из-за погрешностей установки детали в патроне станка. В момент достижения максимального радиуса обрабатываемой детали при её повороте плунжер останавливается и переходит в состояния трения покоя с направляющей. При дальнейшем повороте обрабатываемой детали её радиус уменьшается, и плунжер под действием силфона должен начать движение, прижимаясь к поверхности обрабатываемой детали. Но так как сила трения покоя выше силы трения скольжения, то при прохождении максимального или минимального радиуса плунжер с закрепленным на нем алмазным индентором останавливается. Это длится до момента, пока возрастающая сила от силфона значительно не превысит снижающуюся реакционную силу от деформации поверхности обрабатываемой детали. После чего происходит срыв и скачок радиальной силы  $P_y$ , который и отражен в графике сил.

#### **1.4 Оправка с силовым элементом в виде пневматической пружины и гибкой опорой.**

Оправка для алмазного выглаживания с силовым элементом в виде пневматической пружины и гибкой пружинной опорой предназначена для обработки наружных цилиндрических и фасонных поверхностей деталей, а также поверхностей деталей, установленных с эксцентриситетом.

Конструкция оправки включает в себя: алмазный индентор закрепленный во втулке, которая в свою очередь жестко закреплена на пружинной опоре. Пружинная опора представляет собой четыре плоские пружины, усиленные пластинами, чтобы избежать прогиба пружины и соприкосновения подвижной части оправки и её корпуса. Данная опора позволяет перемещаться с малой амплитудой около начальной точки:  $\pm 3\text{мм}$ . Усилие выглаживания обеспечивает полая металлическая гофра – пневматический сильфон. Постоянное давление воздуха в сильфоне дает постоянную силу прижатия рабочего элемента оправки к поверхности заготовки. Постоянное давление достигается многократным превышением объема воздуха в ресивере, по сравнению с объемом воздуха в сильфоне, тем самым позволяет избегать значительных изменения давления воздуха в сильфоне из-за сжатия сильфона и уменьшения объема воздуха. Это должно уменьшить величину колебаний усилия силового элемента, по сравнению с величиной создаваемого им усилия. Для контроля давления в системе на ресивере установлен манометр. Использование сильфона предполагает тарировку всей системы в сборе, с целью определения соотношения давления воздуха в системе и усилия, обеспечиваемого алмазным индентором на поверхность обрабатываемой детали. Тарировка заключается в установке системы на станок, и эталонного динамометра вместо заготовки. Показания эталонного динамометра и манометра ресивера образуют тарировочный график.

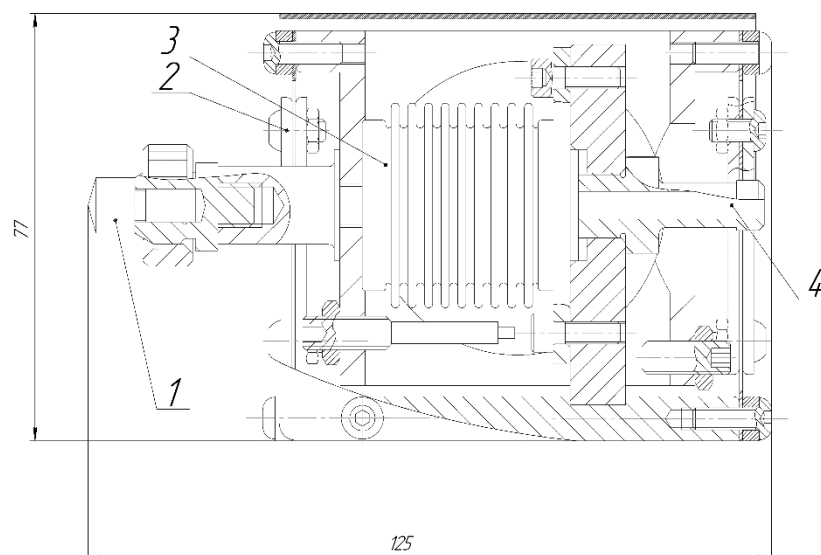


Рис. 1.9. Чертеж оправки

Конструкция оправки с силовым элементом в виде пневматической пружины и гибкой опорой: алмазный индентор, во втулке (1), гибкая пружинная опора (2), пневматический сильфон (3), подвод давления от сильфона (4).

Использование плоски пружин на малых перемещениях позволяет предположить отсутствие значительных колебаний силы выглаживания. Сильфон обладает подобным свойством вне зависимости от степени деформации.

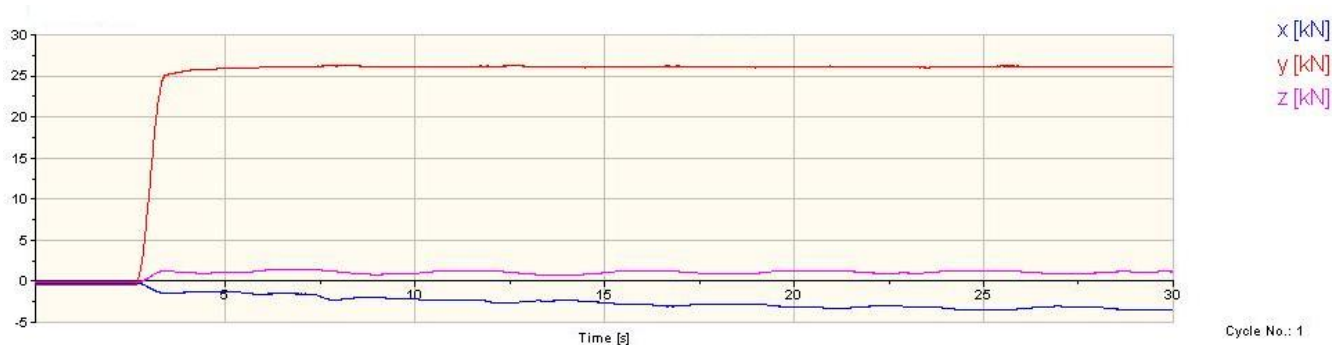


Рис. 1.10. График сил.

Исходя из анализа графика колебания радиальной составляющей силы выглаживания  $P$  незначительны по сравнению со средним значением. Рассмотрим участок установившейся радиальной силы выглаживания  $P_y$ : возвратно-поступательное перемещение алмазного индентора в процессе выглаживания вызывает деформацию гибкой пружинной опоры. Исходя из свойств плоской пружины при изгибе: увеличение степени деформации приводит к увеличению реакционной силы противодействия пружины деформации. Однако, изменение усилия тем больше, чем больше номинальная величина реакционной силы, следовательно, использование пружин с низким номинальным усилием в совокупности с малыми перемещениями в качестве гибкой пружинной опоры приводит к минимальным колебаниям радиальной составляющей силы выглаживания  $P$ . Это возможно благодаря использованию пневматической пружины - сильфона в качестве силового элемента. Это возможно благодаря одному из основных его свойств – сохранению практически постоянного усилия, вне зависимости от степени деформации, колебания силы не значительны по сравнению с номинальным значением, и вызваны сопротивлением гофры изгибу. Полное исключение поступательных пар в креплении и направлении втулки алмазного индентора позволило избавиться от скачков силы в следствии возвратно-поступательного характера движения втулки с закрепленным алмазным индентором. Отсутствие контакта па всем пути движения подвижной части оправки позволило избавиться от паразитного трения, которое привело бы к колебанию силы выглаживания.

Исходя из анализа графика сил выглаживания, приведенного выше, следует, что использование упругой пружинной опоры на плоских пружинах с малым номинальным усилием на малых перемещениях позволяет избежать колебаний радиальной составляющей силы выглаживания  $P$ . В совокупности с использованием пневматического сильфона в качестве силового элемента, а

также исключением любого контакта подвижных поверхностей с остальными частями оправки.

### **1.5 Оправка динамометрическая для выглаживания отверстий.**

Динамометрическая оправка для алмазного выглаживания предназначена для обработки внутренних цилиндрических поверхностей деталей.

Данная оправка была сконструирована с целью оценки достижения поставленных задач, при разработке оснастке, для выглаживания отверстий малого диаметра.

Основной элемент динамометрической оправки представляет собой корпус с упругой рабочей частью, по сути являющийся градуированным динамометром. Корпус с упругой частью изготовлен из стали 20. Регулировка жесткости динамометрической оправки регулируется толщиной рабочей части корпуса, ослабление балки приводит к снижению её жесткости. Градирование – т.е. тарировка динамометрической оправки осуществляется эталонным динамометром, который позволяет определить точное значение реакционной силы, в зависимости от того на сколько переместился алмазный индентор относительно резцедержателя. Динамометр при этом устанавливается на станок при помощи оправки, вместо заготовки, а тарируемая оправка устанавливается в резцедержатель, таким же образом, как и во время процесса обработки. Величину перемещения можно отследить по показаниям индикаторной головки часового типа, шток которой проходит через корпус оправки, закрепленный в резцедержателе и упирается в балку, с закрепленным в ней алмазным индентором.

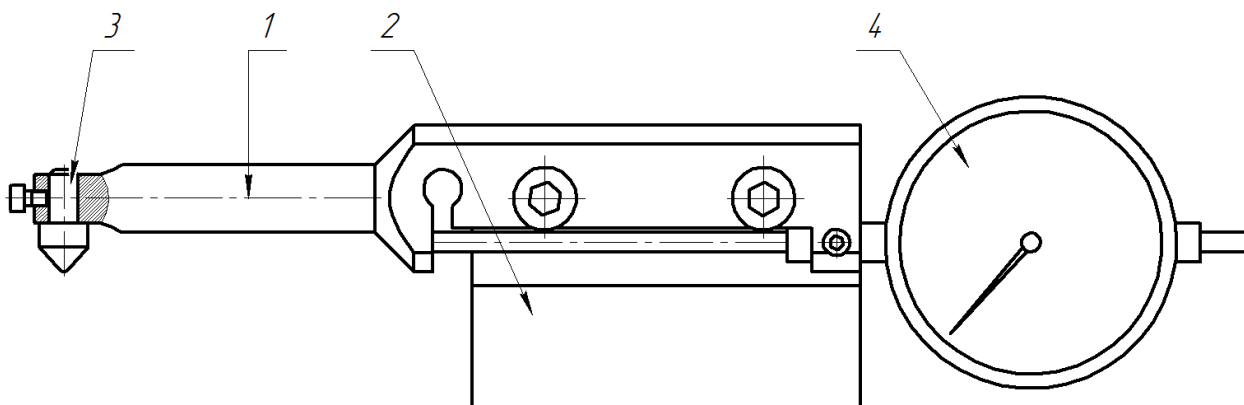


Рис. 1.11. Конструкция жесткой оправки.

Конструктив оправки включает в себя: балка (1), держатель оправки (2), алмазный индентор (3) и индикаторная головка часового типа (4).

Высокая жесткость ослабленной части балки оправки не предполагает использование динамометрической оправки, при обработке заготовок с эксцентриситетом. Так же погрешности установки детали, приводящие к радиальному биению и эксцентриситету, оказывают значительное влияние на силу выглаживания  $P$ .

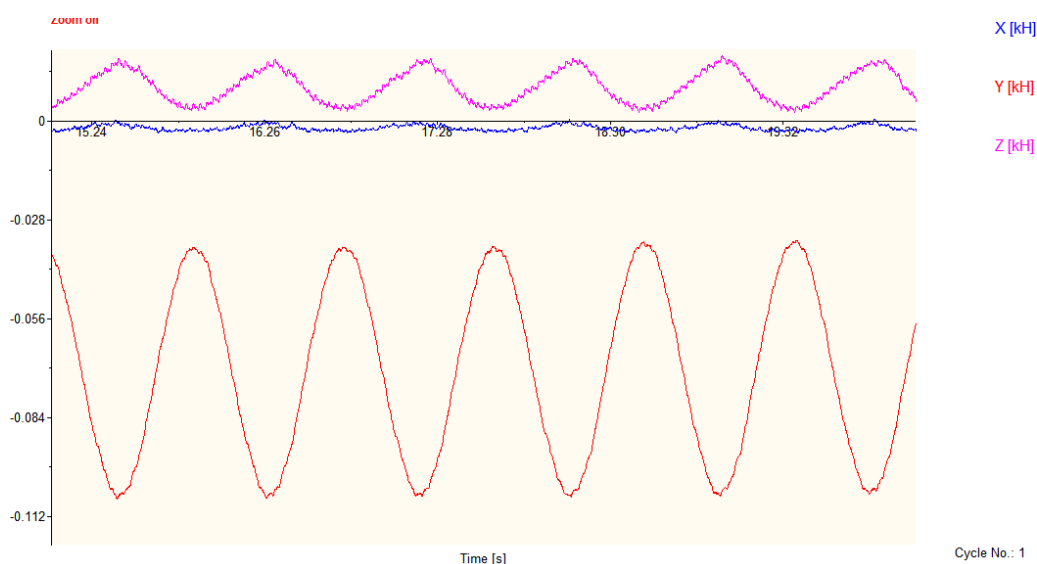


Рис. 1.12. График сил.

Рассмотрим график сил выглаживания детали, предварительно не обработанной на станке с установленной динамометрической оправкой. На

участке установившегося процесса алмазного выглаживания наблюдается значительное колебание радиальной составляющей силы выглаживания  $P_r$ . Колебания достигают 85% от номинального значения силы, это приведет к значительной разнице свойств близ расположенных участков поверхности обработанной детали. В результате эксцентриситета, образовавшегося в следствии погрешности установки обрабатываемой детали в патрон токарного станка, вращение обрабатываемой детали приводит к циклическому изменению её радиуса. Это происходит в следствии высокой жесткости оправки. Незначительное изменение радиуса в следствии биения обрабатываемой детали приводит к значительным колебаниям реакционной силы упругого элемента оправки, эта характеристика оправки отображена на тарировочном графике. Как видно из графика (Рис 1.1) колебания радиальной составляющей силы выглаживания  $P_r$  можно соотнести с биением через тарировочный график. Амплитуда колебаний радиальной силы выглаживания  $P_y$  соответствует перемещению в 3 мм, следовательно, эксцентриситет равен 6 мм.

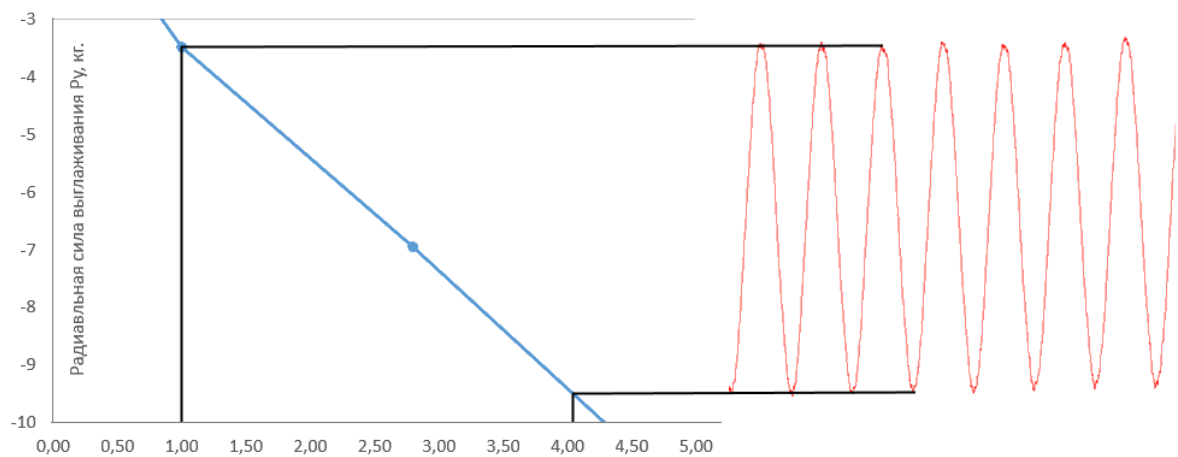


Рис. 1.13. Зависимость между тарировочным графиком и графиком радиальной силы выглаживания.

Исходя из графика сил выглаживания динамометрической оправкой, её конструкция не подходит для обработки отверстий с эксцентриситетом и внутренних фасонных поверхностей.

### **1.6 Оправка с силовым элементом в виде винтовой пружины для обработки отверстий.**

Оправка с силовым элементом в виде винтовой пружины для алмазного выглаживания предназначена для обработки внутренних цилиндрических поверхностей деталей.

Конструкция данной оправки для выглаживания отверстий неподвижных деталей была предложена В.М. Торбило.

Конструктив оправки включает в себя алмазный индентор, закрепленный винтом в подпружиненной балке, закрепленной на оси. Тип используемой пружины – винтовая. Винтовая пружина установлена под углом к оси в цилиндрической балке. Регулировка натяжения пружины осуществляется регулировочной гайкой, установленной позади пружины в корпусе. Откручивание регулировочной гайки приводит к растяжению пружины, тем самым понижая давление алмаза индентора, подпираемого пружиной к заготовке. После установки детали на станок с пружинной оправкой перед началом процесса обработки необходимо создать предварительный натяг. Величина создаваемого натяга не контролируется, в связи с невозможностью установки индикаторной головки часового типа. Регулировка натяга возможна только по лимбу суппорта станка. В процессе работы выглаживатель – балка, с закрепленным на ней алмазным индентором совершает возвратно-вращательное движение вокруг оси, под действием реакционной силы выглаживания от деформации обрабатываемой детали и силы винтовой пружины.

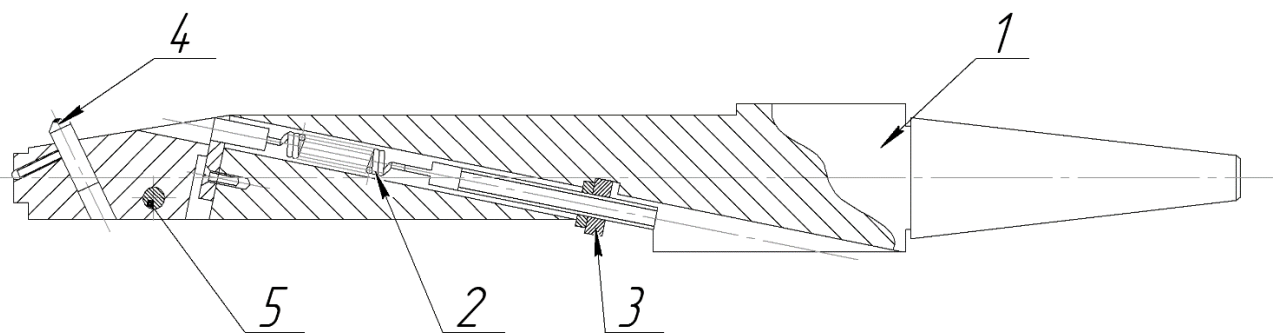


Рис. 1.14. Чертеж оправки для обработки отверстий.

Конструкция оправки с силовым элементом в виде винтовой пружины для обработки отверстий включает в себя: корпус, с конусом Морзе (1), винтовую пружину (2) регулировочная гайка (3), алмазный индентор (4), ось выглаживателя (5).

Исходя из анализа графика сил оправки с силовым элементом в виде винтовой пружины, предназначенной для выглаживания наружных поверхностей и динамометрической оправки с возвратно-поступательными парами скольжения данная оправка, включая основные элементы конструкции выше указанных оправок имеет те же недостатки. Прецизионная возвратно-вращательная пара при возвратно-вращательном движении имеет переменную силу трения. Это происходит в результате перехода силы трения скольжения в силу трения покоя и наоборот. Так же каждый виток винтовой пружины соприкасается с цилиндрической направляющей, это взаимодействие имеет тот же характер, что и у прецизионной возвратно-поступательной плунжерной пары. Винтовая пружина так же имеет не постоянно усилие при различной степени деформации, колебания радиальной силы выглаживания  $P_y$  оправки с винтовой пружиной достигают 33% от среднего значения радиальной составляющей усилия выглаживания  $P$ .

Исходя из этого стабильное усилие выглаживания на оправке с силовым элементом в виде винтовой пружины недостижимо.

### 1.7 Двух алмазная оправка для внутреннего выравнивания.

Оправка с силовым элементом в виде винтовой пружины и рычажным механизмом передачи усилия предназначена для выравнивания отверстий, с учетом погрешности формы и установки заготовки. Данная оправка обладает повышенной производительностью, за счет большего числа рабочих элементов. Основные недостатки заключаются в крайне высокой сложности изготовления, что в совокупности с узким диапазоном переналадки (не более десятых долей миллиметра) делают эту конструкцию мало предпочтительной.

В данной оправке пара алмазных инденторов закреплена на двух рычагах, передающих усилие от винтовой пружины через шток, с шайбами. Шток необходим для увеличения длины обрабатываемого отверстия, находится внутри цилиндрической направляющей, контакт с направляющей происходит по двум шайбам на каждом конце. Шайбы служат для минимизации площади контакта подвижных элементов в направляющей. Рычаги передают возвратно-поступательное движение штока от пружины, прижимая алмазные инденторы к поверхности обрабатываемого отверстия. Контакт рычагов со штоком осуществляется по шайбе, в месте контакта рычаги имеют сферическую форму. Регулировка на обрабатываемый диаметр осуществляется перемещением профильной шайбы, которая ограничивает ход втулки, соединяющей винтовую пружину со штоком, через шайбу.

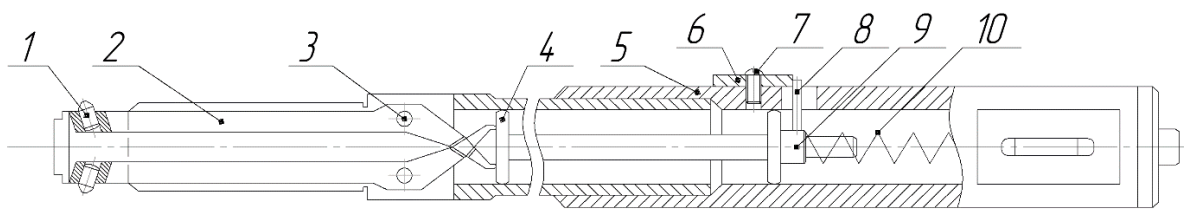


Рис. 1.15. Чертеж двух алмазной оправки, с силовым элементом в виде винтовой пружины, предназначенной для обработки отверстий.

Основные конструктивные элементы рычажной оправки: алмазный индентор (1), рычаги (2), оси рычагов (3), шток с двумя шайбами (4), корпус (5), профильная шайба (6), регулировочный винт профильной шайбы (7), упор (8), втулка (9), винтовая пружина (10).

Исходя из анализа графиков оправок с силовыми элементами в виде плоской и пневматической пружин данная, можно сделать вывод, о том, что оправка имеет недостатки конструкции обоих вышеуказанных оправок. Возвратно- поступательная пара, образованная штоком с шайбами при возвратно-поступательном линейном движении, имеет переменную силу трения. Это происходит в результате перехода силы трения скольжения в силу трения покоя и наоборот. Так же тот же характер взаимодействия можно наблюдать в месте контакта шайбы штока с рычагами, передающими усилие на алмазные инденторы, при чем в этой области трение гораздо выше, так как на этот контакт приходится всё усилие, создаваемое пружиной, и реакционная сила, отжимающая инденторы от деформируемой поверхности. Вторым недостатком конструкции, приводящий к колебанию радиальной силы  $P_y$  заключается в изменении усилия создаваемого пружиной, в зависимости от величины деформации. Однако, в отличие от анализированных выше оправок в данном случае оба недостатка совместно приводят к значительным колебаниям радиальной силы  $P$ . На графике выше рассмотренных оправок это выражается в «пилообразный» вид кривой силы  $P_y$ . Колебания достигают 33% от среднего значения на участке стабильного процесса выглаживания, это приведет к значительной разнице свойств близ расположенных участков поверхности обработанной детали.

Исходя из анализа оправок с подобными конструктивными элементами можно сделать вывод, о неприемлемости использования данной конструкции для выглаживания отверстий с постоянным усилием. Также малый диапазон настройки и хода алмазных инденторов не позволяет использовать данную

оправку, для обработки фасонных поверхностей и деталей, установленных с эксцентриситетом. К тому же передаточное отношение рычагов  $1/3$  значительно ограничивает усилие выглаживания.

### 1.8 Оправка для выглаживания фасонных конических поверхностей.

Оправка предназначена для выглаживания фасонных, конических наружных поверхностей.

Конструкция оправки представляет собой систему блоков, для передачи вертикальной силы к горизонтально расположенному плунжеру, с закрепленным на нем плунжером. В данной оправке груз обеспечивает усилие выглаживания, благодаря системе блоков тросом связан с плунжером. Плунжер, с закрепленным на нем алмазным индентором совершает возвратно-поступательное движение на оси центров станка, повторяя контур фасонной поверхности обрабатываемой детали. Система блоков позволяет обеспечить практически любую величину хода плунжера относительно направляющей – корпуса, установленного в резцедержатель. Это достигается выносом груза, за пределы зоны обработки станка, тем самым обеспечивая достаточную свободную высоту, для движения груза. Для предотвращения повреждения алмазы, при выходе выглаживателя с обработанной поверхности.

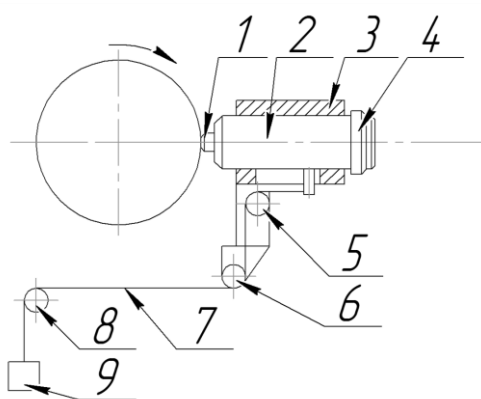


Рис. 1.16. Схема оправки для выглаживания фасонных поверхностей.

Основные элементы оправки: алмазный индентор – выглаживатель (1), шток плунжер (2), корпус – направляющая (3), стопорное кольцо (4), система блоков (5,6,8), трос (7), груз (9).

Исходя из анализа графика сил оправки с силовым элементом в виде пневматической пружины, приведенного выше, следует, что характер трения плунжера в возвратно-поступательной паре при изменении направления поступательного движения изменяется с трение скольжения на трение покоя. Это приводит к кратковременным остановкам алмазного индентора при достижении минимального радиуса и максимального радиуса заготовки. В момент достижения максимального радиуса обрабатываемой детали при её повороте плунжер останавливается и переходит в состояния трения покоя с направляющей. При дальнейшем повороте обрабатываемой детали её радиус уменьшается, и плунжер под действием веса груза, переданного через систему блоков, должен начать движение, прижимаясь к поверхности обрабатываемой детали. Но так как сила трения покоя выше силы трения скольжения, то при прохождении максимального или минимального радиуса плунжер с закрепленным на нем алмазным индентором останавливается. Это длится до момента, пока возрастающая сила прижатия от груза значительно не превысит снижающуюся реакционную силу от деформации поверхности обрабатываемой детали. После чего происходит срыв и скачок радиальной силы  $P_y$ . Помимо трения в плунжерной паре на нестабильность усилия влияет высокая инерционность груза, и чем большее усилие необходимо обеспечить, тем больше будет инерция.

Исходя из рассмотренных недостатков конструкции данной оправки из проектируемой оправки постоянного усилия выглаживания следует исключить компоненты с большой инерцией, так же, как и соприкосновение подвижных частей с корпусом.

## **2. Проектирование оснастки, для обработки отверстий малого диаметра.**

### **2.1 Описание приспособления, для обработки отверстий малого диаметра.**

Оправка для прецизионного алмазного выглаживания внутренних цилиндрических и фасонных поверхностей.

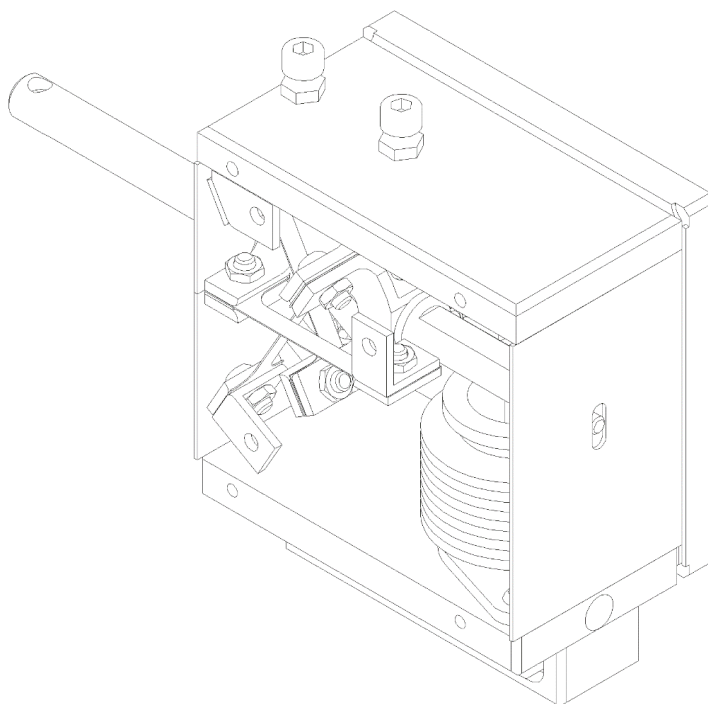


Рис. 2.1. Общий вид приспособления, для обработки отверстий малого диаметра.

Оправка предназначена для прецизионного алмазного выглаживания с постоянным усилием фасонных наружных и внутренних поверхностей деталей. Принцип получения стабильного усилия выглаживания основан на исключении поступательной пары трения между элементами оправок и в использовании в качестве силового элемента пневматической пружины, а также плоских пружин в качестве поступательных пар.

Схема работы изделия:

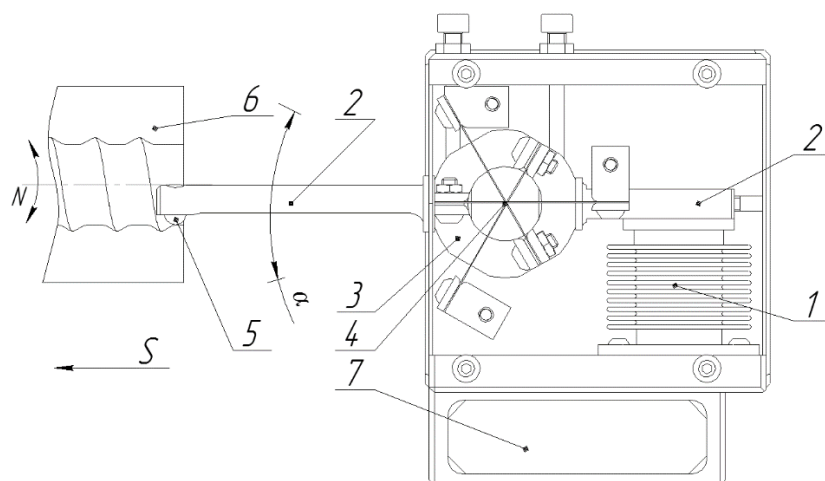


Рис. 2.2. Схема работы приспособления.

Держатель оправки (7) устанавливается в резцедержатель токарного станка, деталь (6) в шпиндель станка. При включении оборотов  $N$  и подачи  $S$  индентор (5), отклоняясь на углы  $\alpha$  выглаживает фасонную поверхность детали (6). Усилие выглаживания создает сильфон (1), передавая его на балку (2), на которой закреплён индентор (5). Балка (2) закреплена в кольце (3), которое через систему пружин (4) соединена с корпусом оправки. Система пружин (4) с кольцом (1) образуют пружинную опору, позволяющую совершать повороты балке (2) с малой амплитудой, и препятствующей другим перемещениям.

## 2.2 Выбор оптимальных конструктивных элементов.

Рассмотрим конструктивные особенности выше представленных оправок. Конструктивные элементы каждой из оправок различными образом влияют на силу выглаживания. Необходимо определить оптимальный силовой элемент, с постоянным усилием, вне зависимости от перемещения. А также подвес, для создания траектории движения алмазного индентора, при обработке поверхности заготовки.

Рассмотрим способы создания усилия выглаживания или иначе — силовые элементы, применяемые в приспособлениях для алмазного выглаживания.

1. Плоская пружина. Рассмотрим плоскую пружину в качестве силового элемента. При больших перемещениях при условии и высокой жесткости пружины, которая необходима для создания усилия выглаживания колебания создаваемого пружинной усилия достигают 29% от радиальной составляющей силы выглаживания  $P$ . Колебание является прямым следствием свойства пружины – усилие, создаваемое пружинной, зависит от величины её деформации. Исходя из вышеуказанного данный силовой элемент следует исключить из конструкции.
2. Винтовая пружина. Исходя из анализа графика радиальной составляющей силы выглаживания  $P$ , колебания при использовании винтовой пружины в качестве силового элемента достигают 33% от среднего значения радиальной силы  $P_y$ . Это колебание является прямым следствием свойства пружины – усилие, создаваемое пружинной, зависит от величины её деформации. Исходя из вышеуказанного данный силовой элемент следует исключить из конструкции.
3. Система грузов и блоков. Груз, достаточной массы, для создания усилия обладает высокой инерцией, что приведет помимо очевидной неспособности обеспечить постоянство усилия к быстрому выходу приспособления из строя, из-за значительных знакопеременных нагрузок. Передача усилия по средствам троса имеет ряд недостатков: при реверсе направления движения трос провисает из-за неспособности сопротивляться сжатию. Система блоков, необходимая для работы приспособления, имеет значительное трение, приводящее к скачкам силы. А также значительные габариты. Исходя из вышеуказанного данный силовой элемент следует исключить из конструкции.
4. Сильфон. Пневматическая пружина, или сильфон, исходя из анализа графика сил выглаживания обеспечивает стабильное усилие, вне

зависимости от степени деформации. То есть обладает главным качеством, необходимым силовому элементу. Однако, для работы необходимо дополнительное оборудование – ресивер, без использования которого стабильное усилие не достижимо. В отличие от системы блоков и грузов ресивер имеет гораздо большую свободу расположения, и его габариты существенно меньше габаритов системы грузов и блоков. Исходя из вышеуказанного данный силовой элемент следует использовать в приспособлении, как единственный из рассмотренных вариантов обеспечивающий стабильное усилие.

Так же необходимо определить наиболее подходящий конструктивный элемент, для использования в качестве опоры подвижной части приспособления:

1. Возвратно-поступательная пара трения. В возвратно-поступательной паре при изменении направления поступательного движения изменяется с трение скольжения на трение покоя. Это происходит в момент остановки движения алмаза. При достижении максимального радиуса обрабатываемой детали выглаживатель останавливается и переходит в состояния трения покоя с направляющей. При дальнейшем повороте обрабатываемой детали её радиус уменьшается, и плунжер под действием силового элемента должен начать движение, прижимаясь к поверхности обрабатываемой детали. Но так как сила трения покоя выше силы трения скольжения, то при прохождении максимального или минимального радиуса выглаживатель останавливается. Это длится до момента, пока возрастающая сила от силового элемента значительно не превысит снижающуюся реакционную силу от деформации поверхности обрабатываемой детали. После чего происходит срыв и скачок радиальной силы  $R_y$ . Исходя из вышеуказанного данную опору следует исключить из конструкции.

2. Опора с телами качения. К данным опорам можно отнести подшипники с телами качения. Низкая эффективность подшипниковых опор в оправках обусловлена характером нагрузки – возвратно-вращательным. Подшипники рассчитаны на работу при постоянном вращении, при постоянной смене направления вращения и нагрузке только небольшого сектора кольца подшипника приводит к его ускоренному выходу из строя. Так же имеется негативное влияние на процесс выглаживания, связанный с наличием зазоров в сепараторе, при возвратно-вращательном движении это приведет к не равномерной скорости вращения. Подшипники с телами качения имеют существенную большую массу и габариты, по сравнению с опорами на основе пар трения. Большая масса негативно сказывается на процессе выглаживания, создавая дополнительное усилие, противодействующее усилие выглаживания. Исходя из вышеуказанного данную опору следует исключить из конструкции.
3. Сайлентблоки. Сайлентблок представляет собой пару концентрических металлических втулок, соединенных эластомером. Одна из важнейших особенностей данной опоры – отсутствие трения, при возвратно-вращательном движении. Так же при малых углах поворота колебания реакционной силы опоры – не значительны. Однако опора в пределах малых смещений и углов поворота позволяет свободно перемещаться втулкам друг относительно друга. Это приведет к повороту алмазного индентора на не допустимый, для обработки угол, либо произойдет смещение относительно оси центров обрабатываемой детали. Данный тип опор имеет потенциал использования в оправках, однако это невозможно, без решения проблемы перемещения и поворота подвижной части. Исходя из вышеуказанного данную опору следует исключить из конструкции.

4. Плоские пружины. Рассмотрим плоские пружины, в качестве упругой опоры, для приспособления. Плоские пружины обладают малой жесткостью на изгиб в одной плоскости и кручение, при этом высокой жёсткостью в остальных направлениях. Отсутствие необходимости создавать усилие выглаживания позволяет уменьшить толщину пружин, тем самым уменьшить колебания усилия, при деформации. При малых перемещениях это позволяет достичь не значительных колебаний усилия, создаваемого приспособлением, при использовании силового элемента, с постоянным усилием. При использовании в качестве опоры необходимо оставить лишь одну степень свободы подвижного элемента опоры, для этого необходимо использовать несколько пружин, жестко связанных между собой, установленных под углом друг к другу для обеспечения только вращения вокруг одной оси, либо в ряд для обеспечения возвратно-поступательного линейного движения. Исходя из вышеуказанного данную опору допустимо применить в конструкции.

### 2.3 Схема изделия.

Для обеспечения подвода алмазного индентора ко внутренней поверхности заготовки была выбрана принципиальная схема рычажного приспособления, на одном конце которого закреплен алмазный индентор. Усилие, необходимое для процесса выглаживания обеспечивает закрепленный на противоположном конце силовой элемент.

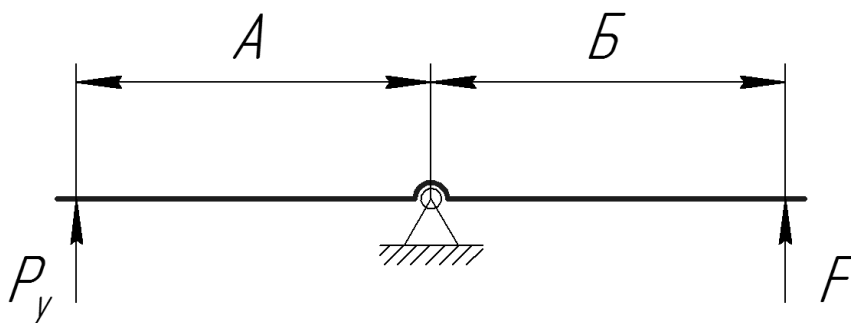


Рис. 2.1. Принципиальная схема оправки для внутреннего выглаживания.

Исходя из выше приведенного анализа конструктивных элементов приспособлений, для алмазного выглаживания в качестве силового элемента выбран сильфон, так как данный элемент обеспечивает постоянную силу, вне зависимости от степени деформации. Колебаниями усилия, относительно оказываемого давления можно пренебречь. Опора балки приспособления должна обеспечивать возвратно-вращательное движение вокруг одной оси, и ограничивать остальные степени свободы. Использование подшипников с телами качения не целесообразно в связи с малым необходимым углом поворота, и реверсивным движением, подшипник скольжения обладают слишком большим трением, и не подходят при реверсивном движении. Исходя из анализа оправки с силовым элементом в виде пневматической пружины и гибкой опорой был выбран приемлемый вид опоры – гибкая опора на плоских пружинах. Однако для обеспечения вращения требуется другая конструкция.

Если закрепить балку на одной пружине, то помимо поворота балка будет смещаться. Для исключения смещения были использованы три пружины, установленные под углом  $120^\circ$  друг к другу, образуя при пересечении ось поворота опоры. Для смещения оси пересечения пружин, и соответственно оси балки в этом случае подвергнуть растяжению одну или две пружины, в зависимости от направления приложения силы. Однако, пружины обладают высокой прочностью и жесткостью на растяжение. Для того что бы лишить двух из трех вращательных степеней свободы балку необходимо задать ось вращения, в данном случае она совпадает с осью пересечения пружин. Для уменьшения противодействия изгибающему моменту опоры необходимо минимизировать толщину пружин, но это приведет к уменьшению сопротивления кручению, так как уменьшит устойчивость пружин. Что бы этого избежать необходимо установить вторую такую же опору на оси, с противоположной стороны балки. Полученная конструкция приведена на рис. 1.1.

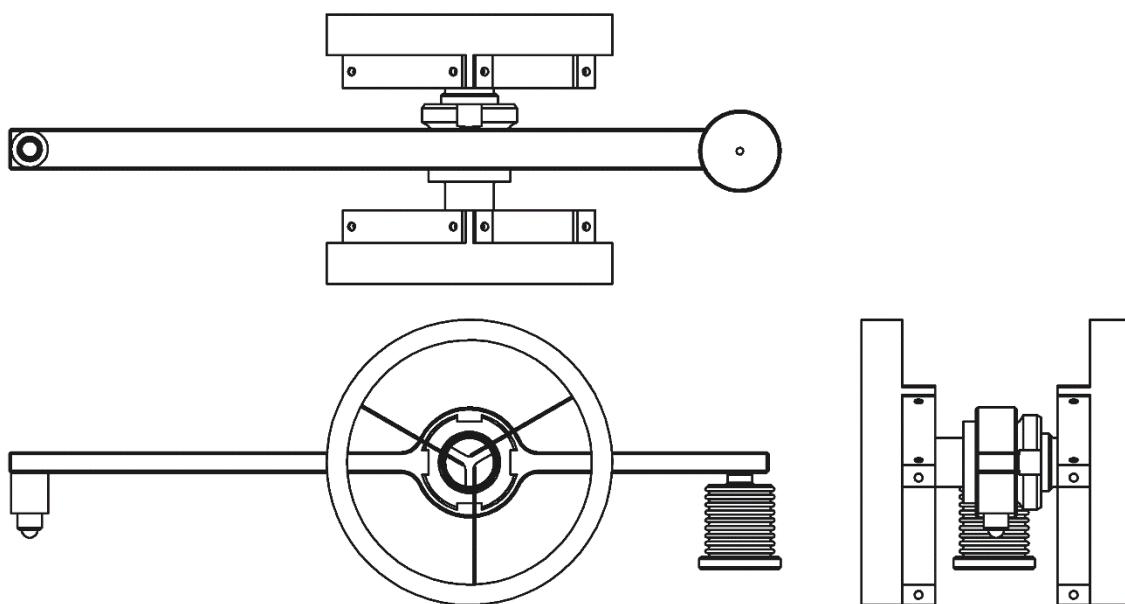


Рис. 2.2. Первоначальный вариант конструкции.

При данной схеме расположения пружин для поворота балки оправки каждая пружина работает на растяжение, вместо изгиба. Это ограничивает возможный угол поворота баки, и снижает ресурс пружин, так как они подвергаются нагрузкам, на испытание которых они не рассчитаны.

#### 2.4 Ход разработки.

С целью обеспечения работы пружин опор на изгиб была применена схема крепления, при которой пружины перекрещивались.

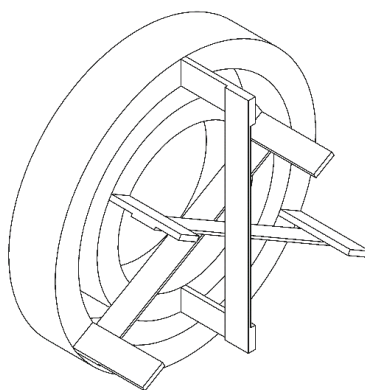


Рис. 2.3. Упругая опора.

Благодаря этому каждая пружина изгибалась на оси перекрещивания пружин, а не растягивалась, при повороте балки. На основе этой схемы конструкция оправки была изменена.

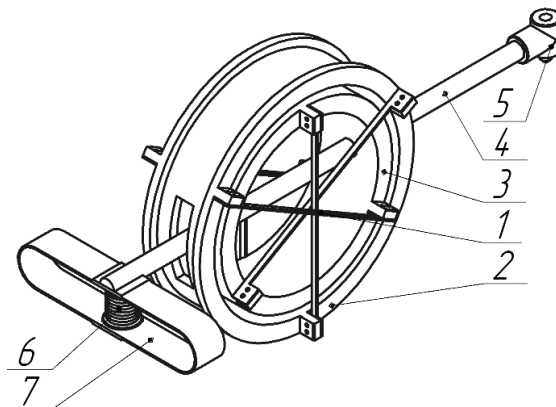


Рис. 2.4. Конструкция оправки.

Индентор (5) закреплен на балке (4), которая в свою очередь закреплена во внутреннем кольце (3), которое по средству пружин (1), образующих упругую опору соединено с кольцом (2), являющимся корпусом изделия. Усилие выглаживания обеспечивает сильфон (6), закрепленный внутри пружины (7).

В данной конструкции с целью уменьшения габаритов использованы пружины минимальной толщины по всей длине. Тонкие пружины не способны сопротивляться повороту балки вокруг продольной оси. Для предотвращения поворота, который может привести к поломке оправки была добавлена пружина (7). Для нормальной работы пружины (7) её ширина должна превышать габариты оправки, с толщиной пружин, препятствующей кручению балки.

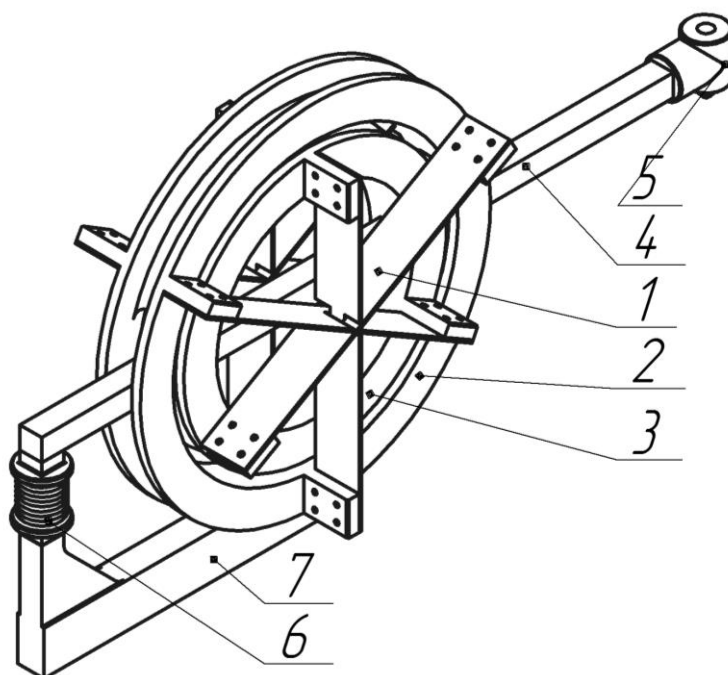


Рис. 2.5. Конструкция оправки.

Изменение формы пружин (1) позволило отказаться от дополнительной пружины, упростив конструкцию и минимизировав её ширину. Держатель (7) выполняет роль корпуса, соединяя сильфон (6) с кольцом (2).

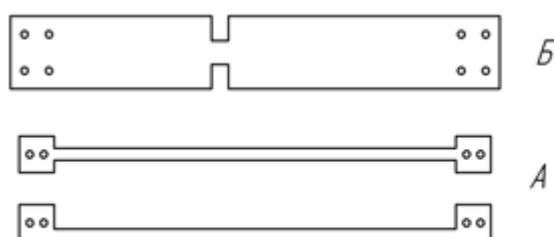


Рис. 2.6. Форма пружин.

На рисунке 6 представлено изменение формы пружины, вместо тонкой ленты с утолщениями на краях для крепления (А) была предложена форма (Б). Лента пружинной стали с вырезами в месте пересечения пружин позволила

исключить скручивание пружин, так как сужение происходило на длине  $\approx 3$  мм. Пересечение пружин позволило сохранить минимальную ширину оправки.

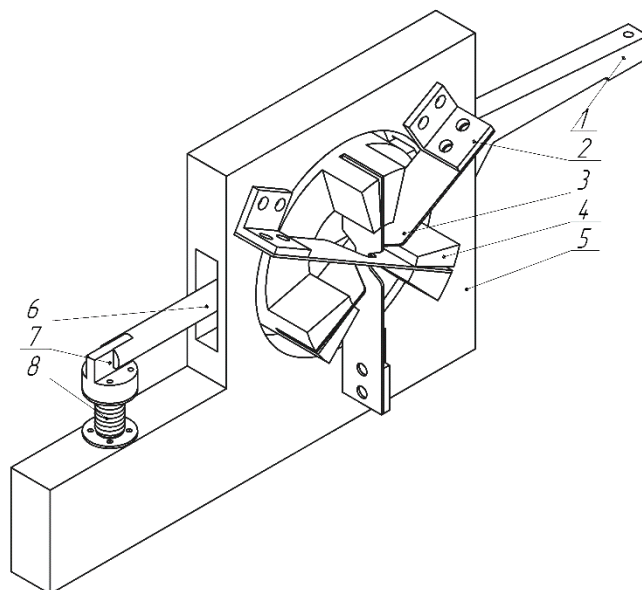


Рис. 2.7. Конструкция оправки.

Корпус (5) объединен с кольцом с целью повышения технологичности, крепление пластин (3) к корпусу, устанавливаемом в резцедержатель (5) при помощи уголков (2) крепление осуществляется двумя болтами, что исключает приворот пластин или уголков. Пластины (3) вставляются во внутренне кольцо (4) в пазы, и закрепляются клиньями. Балка (1) служит для закрепления алмазного индентора, и крепится к кольцу (4). Новая форма балки позволяет уменьшить минимальный диаметр обрабатываемых отверстий за счет углубления индентора в балку.

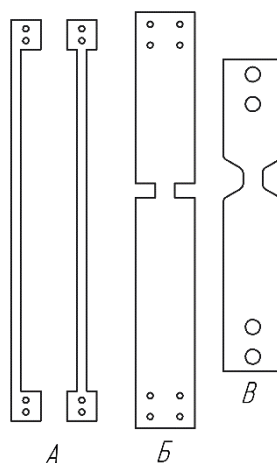


Рис. 2.8. Форма пластин.

Изменена форма пластин, для исключения концентраторов напряжения, а также уменьшена общая длина за счет уменьшения габаритов корпуса.

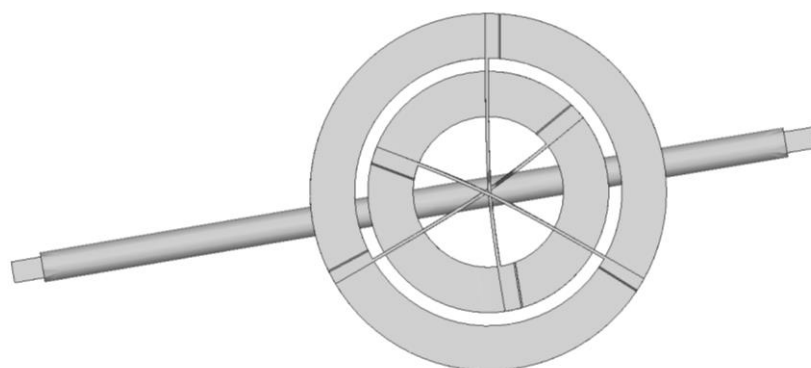


Рис. 2.9. Изгиб пластин.

Симуляция нагружения в среде SolidWorks позволила подтвердить работоспособность упругой опоры на плоских пружинах. Ось пересечения пружин при нагружении не смещается. Т.е. опора успешно заменяет вал на подшипниках, в качестве подвижного шарнира.

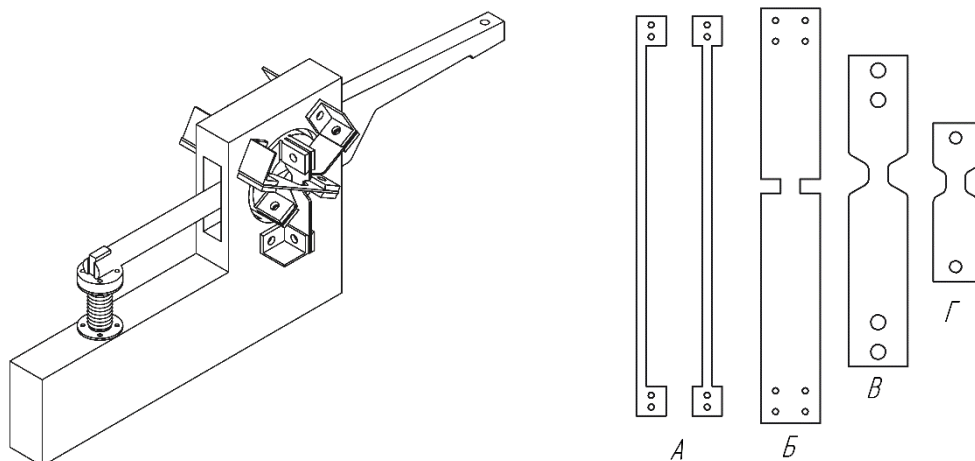


Рис. 2.10. Конструкция оправки, и форма пружин

Изменена форма корпуса, для закрепления в резцедержатель. Уменьшены габариты пружинной опоры, за счет уменьшения уголков, это достигнуто благодаря введению подкладок, увеличенная площадь контакта позволила отказаться от второго болта на каждом из уголков, для исключения проворота. Так же изменена форма пластин: уменьшены габариты и в два раза уменьшено количество отверстий под крепежные элементы.

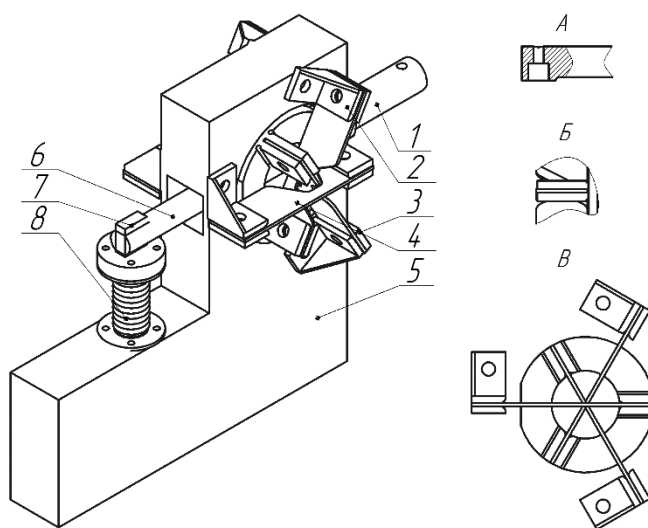


Рис. 2.11. Конструкция оправки.

С целью дальнейшего уменьшения габаритов упругой опоры был изменён угол крепления уголков (3) пружин (4) к корпусу (5), поворот

составил  $90^\circ$ . Для повышения технологичности балка (1), изготовление которой предполагалось на фрезерном станке заменена на деталь типа вал, для изготовления на токарно-фрезерном станке. Так же в балке сделано углубление под алмазный индентор, это необходимо, чтобы уменьшить минимальный диаметр обрабатываемого отверстия, индентор полностью помещается в балку. Диаметр обрабатываемого отверстия не менее 10 мм.

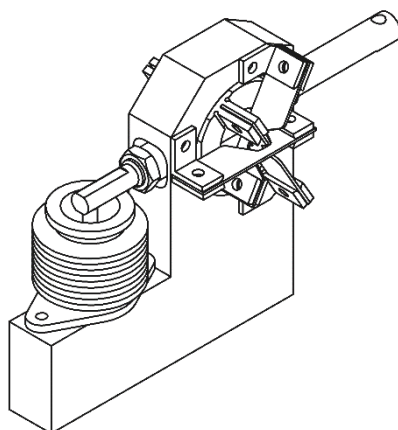


Рис. 2.12. Конструкция оправки.

Был выбран новый сильфон, позволяющий минимизировать габариты держателя, и изменена длина рычага от силового элемента до центра вращения. Балки крепится в кольцо посредством резьбового соединения, и поджимаются гайками. Форма уголков изменена для уменьшения массы держателя, это позволило сделать скосы.

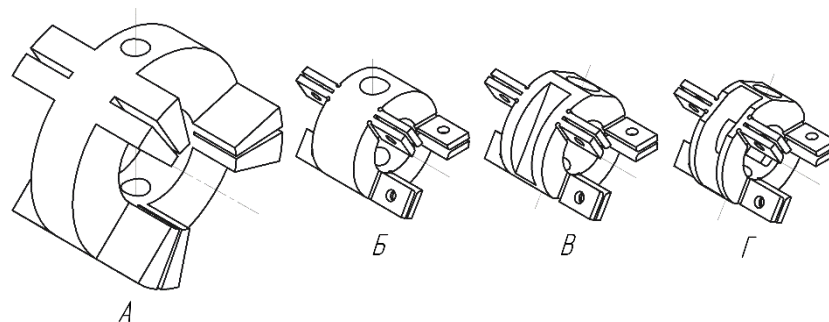


Рис. 2.13. Изменения в конструкции внутреннего кольца.

Внутренне кольцо претерпело существенные изменения, по сравнению с ранними версиями. Уменьшен диаметр, подобран оптимальный диаметр. Для уменьшения массы подвижной части были добавлены пазы. На основе симуляции в среде SolidWorks была выбрана оптимальная толщина стенок кольца – 5мм. После изменения способа крепления пружин с клинового на хомутовый зажим, были добавлены вырезы для ослабления зажимов. Клиновой зажим обладает значительной массой, его замена на хомутовый зажим позволила значительно уменьшить массу подвижного кольца, следовательно, уменьшить инерцию подвижной части приспособления. Форма паза выбрана, для получения ребра жесткости сопротивлению моменту вращения.

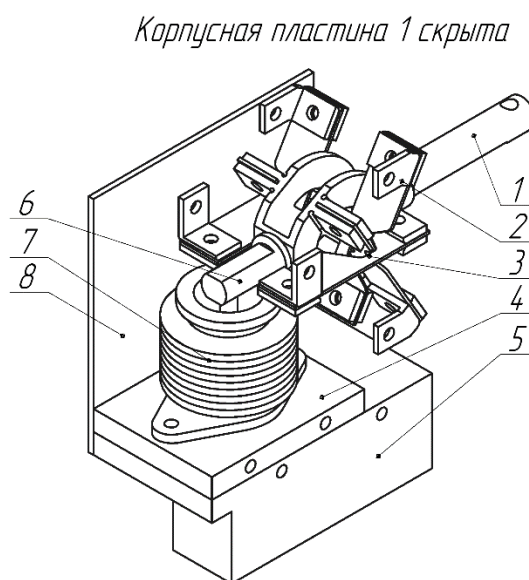


Рис. 2.12. Конструкция оправки.

С целью снизить массу оправки, для повышения эргономичности было принято решение изменить корпус. Монолитный корпус, с креплением к нему всех элементов устанавливался в резцедержатель. Вместо этого были использованы корпусные пластины (8), меньшей чем корпус толщины, что позволило снизить массу, а также защитить от механических повреждений функциональные узлы приспособления. Корпусные пластины (8) соединяются

болтами с держателем (5), закрепляющимся в резцедержателе станка. Уголки (2), с закрепленными пружинами (3). Подкладка (4) сильфона (7) имеет канал, для подвода воздуха от ресивера.

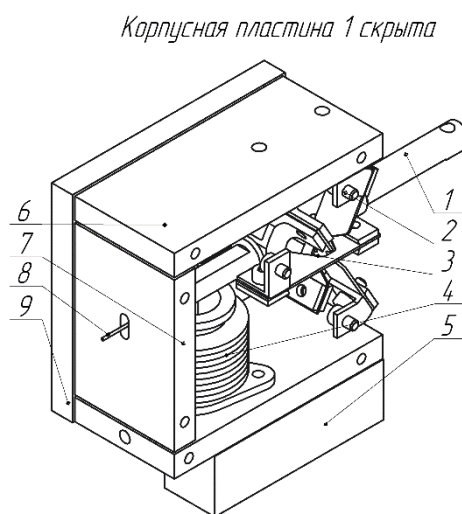


Рис. 2.13. Конструкция оправки.

В процессе подготовки к работе оправки необходимо контролировать углы поворота балки, во время обработки. Для этого был добавлен указатель (8), который проходит через паз в задней крышке (7), закрепляемой на корпусных пластинах (9). По разметке рядом с пазом можно определить не выходит ли за допустимые углы поворота балка (1), так же по нему в процессе подготовки к обработке можно определить нейтральную плоскость, детали установленной с биением. Верхняя крышка (6) и задняя крышка (8) позволяют защитить от механических повреждений функциональные узлы приспособления, и предотвратить их загрязнение. Канал для подвода воздуха к сильфону (4) от ресивера был размещен в держателе (5), это позволило сократить массу и габариты оправки.

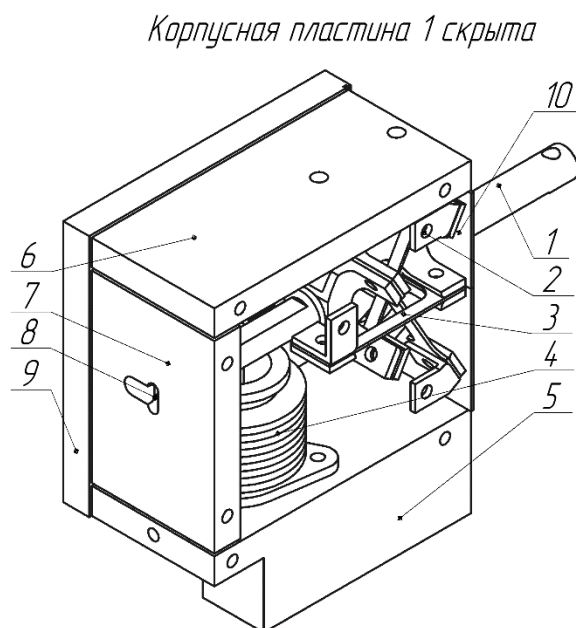


Рис. 2.13. Конструкция оправки.

Дополнительно была установлена составная передняя крышка (10), позволившая полностью исключить попадание крупных посторонних объектов в механизм приспособления. Крышка устанавливается в пазы корпусных пластин (9).

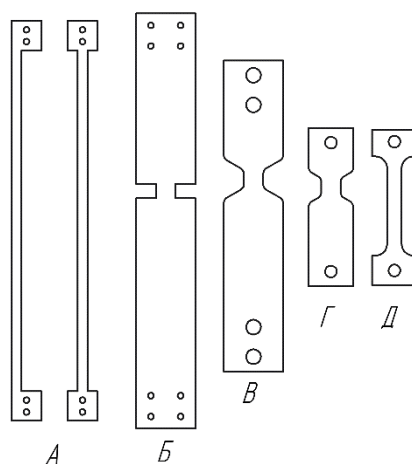


Рис. 2.14. Форма пружин упругой опоры.

Изменению подверглась форма пластин, благодаря симуляции нагружения в среде SolidWorks была достигнута оптимальная форма пластин, при которой не происходила потеря устойчивости (Рис. 2.14).

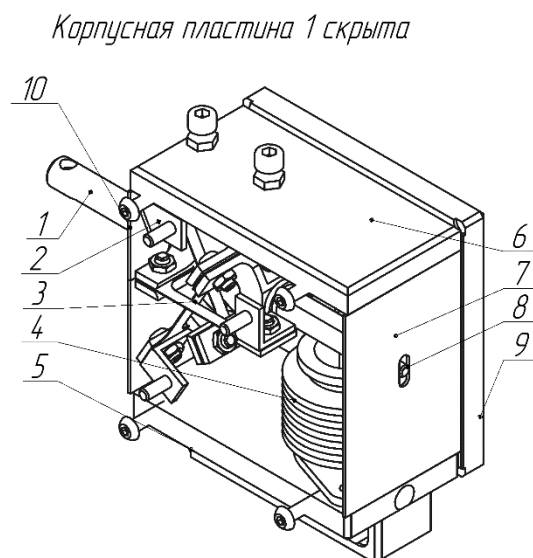


Рис. 2.15. Конструкция оправки.

Изменению подверглись уголки (2), для упрощения изготовления четыре из шести уголков имеют одинаковую форму. Пружины (3) имеют равную ширину, так же была исключена любая возможность трения между пружинами, что крайне важно, для исключения скачков усилия выглаживания. Так же добавлены скругления, и определен способ изготовления – вырезка всего комплекта пружин на проволочном электроэрозионном станке из одного листа пружинной стали, с получением отверстий, что значительно повысило точность установки пружин. Держатель (5) выполнен из алюминия, для исключения вдавливания болтов, при закреплении добавлена стальная пластина, в месте контакта. Внутренне кольцо с целью повышения технологичности было переработано: были добавлены базовые поверхности, для получения пазов, под пружины на электроэрозионном станке, ослабления лепестков хомутового зажима были, получаемые радиальным сверлением, заменены на скругления, получаемые радиусом фрезы, при обработке лепестков.

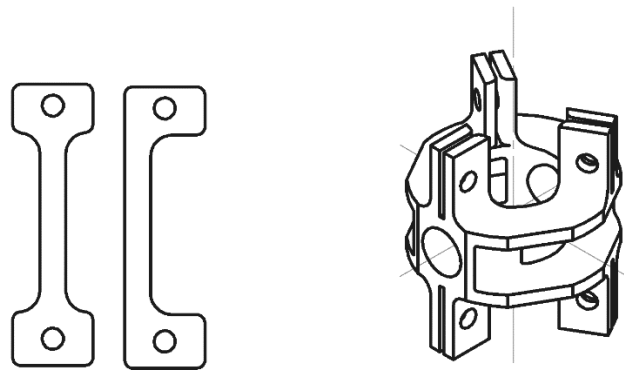


Рис. 2.16. Геометрия пружины и модель внутреннего кольца.

## 2.5 Технология сборки приспособления.

Для приспособления была разработана технология сборки.

### Маршрутный технологический процесс сборки:

| № операции | Наименование операции             | Содержание операции и переходов                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 005        | Установка плоских пружин в кольцо | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. В паз кольца 1 установить пружину 13, с подкладкой 17.</li> <li>2. В паз кольца 1 установить пружину 11, с подкладкой 17.</li> <li>3. В паз кольца 1 установить пружину 12, с подкладкой 17.</li> <li>4. Закрепить пружины 11, 12, 13 и подкладки 17 болтами 23 с гайками 26.</li> </ol> |
| 010        | Сборка корпусных пластин          | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. На пластину 2 установить уголки 10 и 9.</li> <li>2. Закрепить уголки 10, 9 винтами 24 на пластине 2.</li> </ol>                                                                                                                                                                          |
| 015        | Сборка пластин с кольцом          | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установить на уголки 10 и 9 пластины 18.</li> <li>2. Закрепить уголки 10 и 9, пластины 18 и пружины 11, 12, 13 винтами 22 с гайками 26.</li> </ol>                                                                                                                                       |

|     |                                     |                                                                                                                                                              |
|-----|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 020 | Установка<br>балок                  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Закрепить балку 6 в кольце 1.</li> <li>2. Закрепить балку 7 в кольце 1.</li> </ol>                                 |
| 025 | Установка<br>крышек                 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установить крышки 15 и 16 в пазы пластин 2.</li> <li>2. Установить крышку 14 в пазы пластин 2.</li> </ol>          |
| 030 | Установка<br>сильфона               | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установить сильфон 27 на держатель 4.</li> <li>2. Закрепить сильфон 27 винтами 23.</li> </ol>                      |
| 035 | Сборка<br>корпуса                   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установить держатель 4 и крышу 3 на пластины 2.</li> <li>2. Закрепить держатель 4 и крышу 3 винтами 25.</li> </ol> |
| 040 | Установка<br>стопора и<br>указателя | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установить винт 20 с гайкой 19 в крышку 3.</li> <li>2. Закрепить указатель 8 в балке 7.</li> </ol>                 |

Таблица 2.1 Маршрут технологического процесса сборки.

### Расчет норм времени:

Расчеты проводятся следующих соображений: производство единичное; все сборочные операции будут производиться вручную; сам станок уже установлен на место, а все необходимые для сборки детали и узлы – в пределах 5 м от рабочего места.

Общее время сборки изделия, состоящей из нескольких операций:

$$T_{\text{ш}} = T_{\text{ш1}} + T_{\text{ш2}} + T_{\text{ш3}} \dots + T_{\text{шn}} \text{ мин}$$

Время выполнения отдельной сборочной операции:

$$T_{\text{шn}} = t_{\text{ш1}} + t_{\text{ш2}} + t_{\text{ш3}} \dots + t_{\text{шn}} \text{ мин}$$

### Операция 005:

1-3. Установка пружин 11, 12, 13 и подкладок 17 в пазы кольца 1 с пригонкой.

$$t_{\text{ш1}} * 3 = 3,3 * 3 = 9,9 \text{ мин}$$

4. После установки пружин 11, 12, 13 и подкладок 17 в пазы кольца 1 устанавливаются винты 23 и закручиваются гайки 26, окончательная затяжка производится ключом.  $t_{\text{ш2}} = 0,2 * 3 * 2 = 1,2 \text{ мин}$

$$T_{\text{ш1}} = t_{\text{ш1}} + t_{\text{ш2}} = 9,9 + 1,2 = 11,1 \text{ мин}$$

### Операция 010:

1. Установка уголков 10, 12 на пластину 2.  $t_{\text{ш1}} = 0,04 * 3 * 2 = 0,24 \text{ мин}$

2. Закрепление винтами 24 уголков 10, 9.  $t_{\text{ш4}} = 0,2 * 3 * 2 = 1,2 \text{ мин}$

$$T_{\text{ш2}} = t_{\text{ш1}} + t_{\text{ш2}} = 0,24 + 1,2 = 1,44 \text{ мин}$$

### Операция 015:

1. Установка на уголки 10 и 9 пластин 18.  $t_{\text{ш1}} = 0,04 * 3 * 2 = 0,24 \text{ мин}$

2. Закрепление уголков 10 и 9, пластин 18 и пружин 11, 12, 13 винтами 22 с гайками 26 окончательная затяжка производится ключом.  $t_{ш2} = 0,2 * 3 * 2 = 1,2$  мин

$$T_{ш3} = t_{ш1} + t_{ш2} = 0,24 + 1,2 = 1,44 \text{ мин}$$

#### **Операция 020:**

1. Ввернуть балку 6 в резьбу кольца 1.  $t_{ш1} = 0,33$  мин

2. Ввернуть балку 7 в резьбу кольца 1.  $t_{ш1} = 0,33$  мин

$$T_{ш4} = t_{ш1} + t_{ш2} = 0,33 + 0,33 = 0,66 \text{ мин}$$

#### **Операция 025:**

1. Установка крышек 16, 17 в пазы корпусных пластин 2.  $t_{ш3} = 0,09 * 2 = 0,18$  мин

2. Установка крышки 14 в пазы корпусных пластин 2.  $t_{ш3} = 0,09 = 0,09$  мин

$$T_{ш5} = t_{ш1} + t_{ш2} = 0,18 + 0,09 = 0,27 \text{ мин}$$

#### **Операция 030:**

1. Установка сильфона 27 в паз держателя 4.  $t_{ш3} = 0,09 = 0,09$  мин

2. Закрепление сильфона 27 винтами 25, окончательная затяжка производится ключом.  $t_{ш2} = 0,2 * 2 = 0,4$  мин

$$T_{ш6} = t_{ш1} + t_{ш2} = 0,09 + 0,4 = 0,49 \text{ мин}$$

#### **Операция 035:**

1. Установка держателя 4 и верхней крышки 3 между пластин 2.  $t_{ш3} = 0,135 * 2 = 0,27$  мин

2. Закрепление держателя 4 и верхней крышки 3 винтами 23, окончательная затяжка производится ключом.  $t_{ш7} = 0,2 * 4 * 2 = 1,6$  мин

$$T_{ш8} = t_{ш1} + t_{ш2} = 0,27 + 1,6 = 1,87 \text{ мин}$$

#### **Операция 040:**

1. Установка винтов 20 с гайками 19 окончательная затяжка производится ключом.  $t_{ш2} = 0,2 * 2 = 0,4$  мин
2. Установка указателя 8 в резьбе балки 7.  $t_{ш1} = 0,33$  мин

$$T_{ш3} = t_{ш1} + t_{ш2} = 0,4 + 0,33 = 0,73 \text{ мин}$$

#### **Общее время сборки приспособления:**

$$\begin{aligned} T_{ш} &= T_{ш1} + T_{ш2} + T_{ш3} + T_{ш4} + T_{ш5} + T_{ш6} + T_{ш7} + T_{ш8} = \\ &= 11,1 + 1,44 + 1,44 + 0,66 + 0,27 + 0,49 + 1,87 + 0,73 = 18 \text{ мин} \end{aligned}$$

### **2.6 Тарировка оправки.**

С целью переделить реакционную силу сопротивления механизма приспособления возвратно-вращательному рабочему движению была проведена тарировка оправки. Тарировка осуществлялась закреплением оправки в положении, при котором плоскость вращения балки совпадала с вертикалью. Далее был установлен индикатор часового типа на стойке, для определения величины перемещения индентора, в зависимости от нагрузки. Нагружение производилось грузами постепенно, с постоянным увеличением нагрузки. Показания снимались после добавления каждого груза, а также при разгрузке, то есть обратном порядке нагружения. Тарировка проведена как для вращения балки по часовой стрелке, при нагружении, так и при вращении против часовой стрелки. Это позволило построить петлю Гистерезиса. Она характеризует способность системы сохранять деформацию, при разрежении. Результаты приведены в таблице 2.2, график приведен на рис. 2.17:

| № опыта | Сжатие сальфона                  |           |                                 |           |                 |          |
|---------|----------------------------------|-----------|---------------------------------|-----------|-----------------|----------|
|         | Пок. индик. на 52 от края кольца |           | Перем. инден. 94 мм от оси (мм) |           | Масса груза (г) | сила (Н) |
|         | нагрузка                         | разгрузка | нагрузка                        | разгрузка |                 |          |
| 1       | 0,00                             | 1,00      | 0,58                            | 0,59      | 100,00          | 1,00     |
| 2       | 83,00                            | 90,00     | 1,68                            | 1,77      | 200,00          | 2,00     |
| 3       | 129,00                           | 132,00    | 2,29                            | 2,33      | 250,00          | 2,50     |
| 4       | 169,00                           | 173,00    | 2,82                            | 2,87      | 300,00          | 3,00     |
| 5       | 209,00                           | 212,00    | 3,35                            | 3,39      | 350,00          | 3,50     |
| 6       | 289,00                           | 289,00    | 4,41                            | 4,41      | 550,00          | 5,50     |
|         | Растяжение сальфона              |           |                                 |           |                 |          |
|         | Пок. индик. на 52 от края кольца |           | Перем. инден. 94 мм от оси (мм) |           | Масса груза (г) | сила (Н) |
|         | нагрузка                         | разгрузка | нагрузка                        | разгрузка |                 |          |
| 7       | 0,00                             | 0,00      | 0,50                            | 0,50      | 100,00          | 1,00     |
| 8       | 82,00                            | 84,00     | 1,59                            | 1,61      | 200,00          | 2,00     |
| 9       | 124,00                           | 126,00    | 2,14                            | 2,17      | 250,00          | 2,50     |
| 10      | 164,00                           | 167,00    | 2,67                            | 2,71      | 300,00          | 3,00     |
| 11      | 200,00                           | 201,00    | 3,15                            | 3,16      | 350,00          | 3,50     |
| 12      | 335,00                           | 335,00    | 4,94                            | 4,94      | 550,00          | 5,50     |

Таблица 2.2. Зависимость величины нагрузки на инденторе и перемещения индентора оправки.

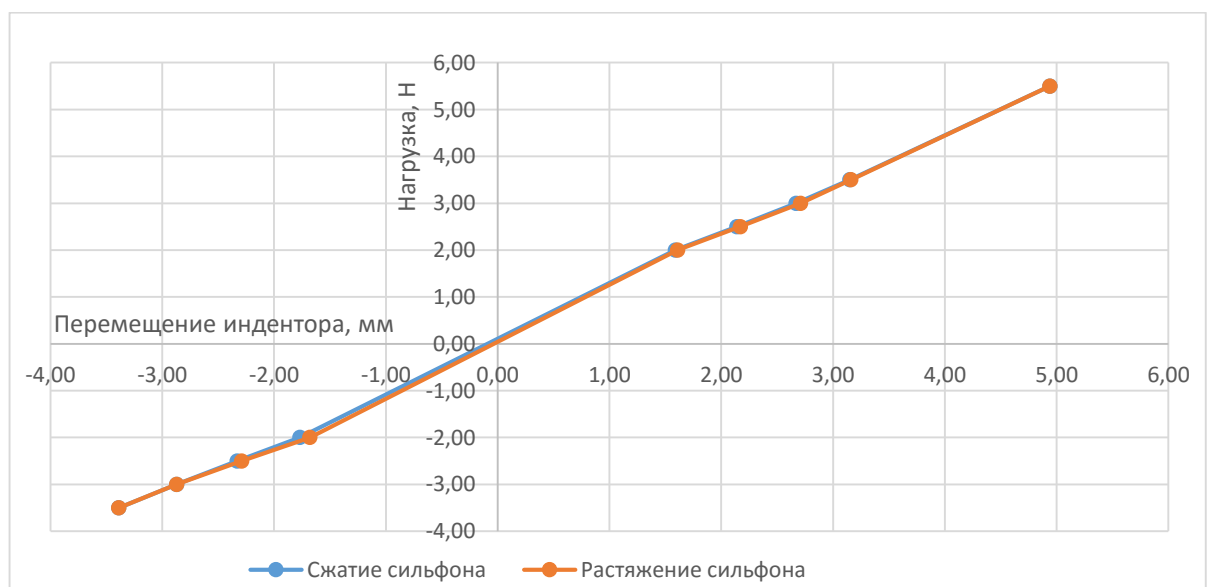


Рис. 2.17. Тарировочный график приспособления, для обработки отверстий малого диаметра.

Исходя из тарифовочного графика рис 2.17 система приспособления, состоящая из сильфона и упругой опоры, имеет не значительный разброс силы при циклическом увеличении и уменьшении нагрузки. А также имеет малую реакционную силу сопротивления деформациям: для отклонения балки из не нагруженного состояния до крайнего положения необходимо приложить усилие в 5 Н, при рабочей нагрузке в процессе выглаживания до 400 Н. На основе чего можно сделать предположение о высокой стабильности усилия выглаживания.

## **2.7 Измерение силы выглаживания Р, при обработке заготовки**

**приспособлением, для алмазного выглаживания отверстий малого диаметра.**

С целью определения степени успешности выполнения поставленных при проектировании задач были проведены сравнительные испытания. Оправка, для алмазного выглаживания отверстий малого диаметра бала установлена в резцедержатель универсального токарного станка, в рабочем положении, и была подключена к ресиверу. Заготовка установлена с радиальным биением 1,8 мм.

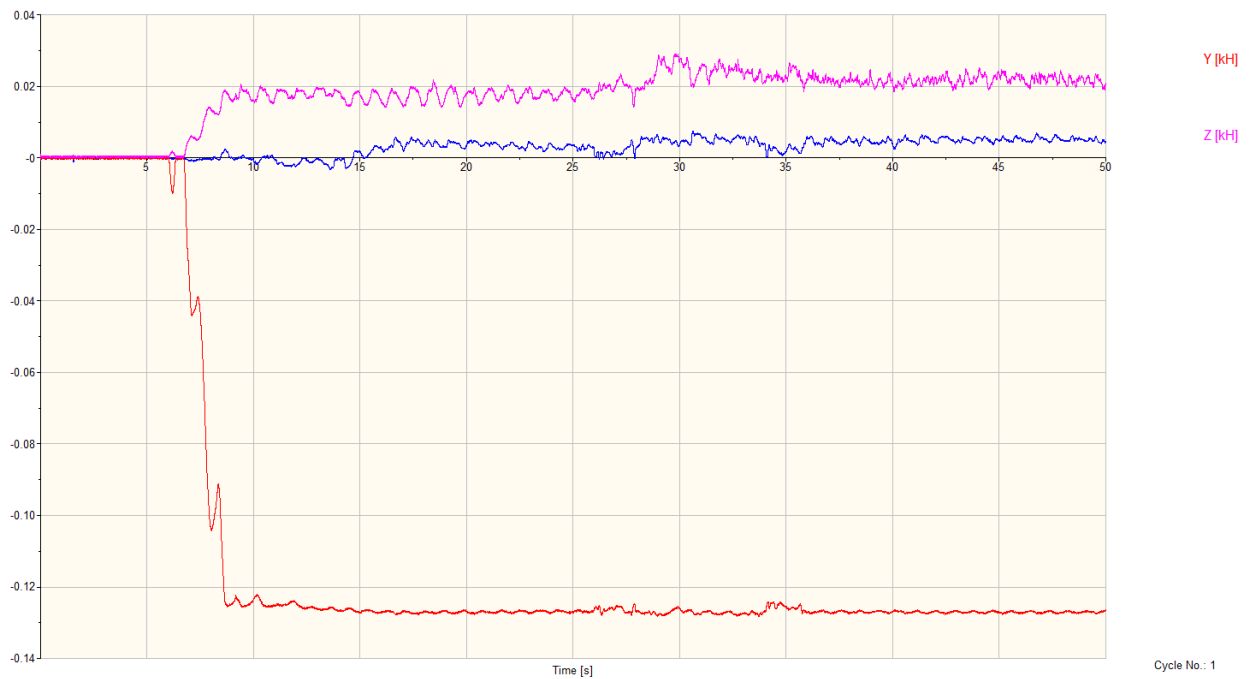


Рис. 2.18. График сил, при выглаживании детали, установленной с радиальным биением 1,8 мм.

Рассмотрим график сил выглаживания (Рис. 2.18): колебания радиальной составляющей силы выглаживания  $P$  ничтожно малы, по сравнению со средней величиной радиальной силы выглаживания  $P_y$ . Для определения величины колебаний рассмотрим участок стабильного процесса выглаживания с 15 по 25 секунды (Рис 2.19). Средняя величина радиальной силы выглаживания  $P_y$  составляет 127 Н. Минимальное и максимальное значение радиальной составляющей силы выглаживания  $P$  соответственно: 126,5 Н и 127,7 Н. Следовательно, колебания составляют 0,9%.

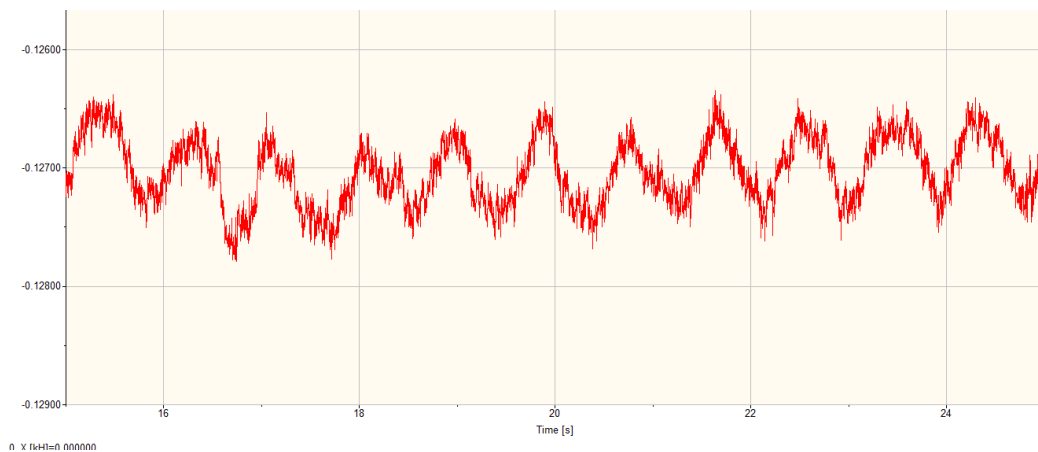
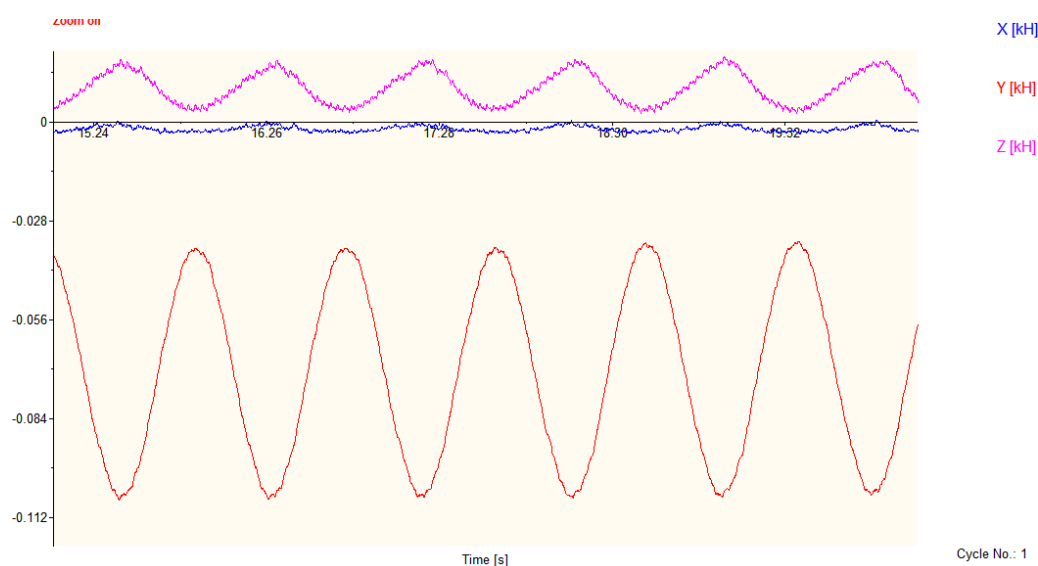


Рис. 2.19. Колебания радиальной силы выглаживания  $P_r$ , при обработке детали установленной с радиальным биением 1,8 мм.

Для сравнения эффективности работы оправки воспользуемся результатами измерения сил выглаживания динамометрической оправкой, установленной на тот же станок. Обработка производилась без снятия заготовки, то есть радиальное биение осталось тем же 1,8 мм. Результаты приведены на Рис. 2.20.



Рассмотрим участок установившегося процесса выглаживания. По аналогии с предыдущим измерением определим величину колебаний усилия, оно составляет 92%. Это значительно превосходит величину колебания

оправки, предназначенной для обработки поверхностей с постоянным усилием.

### **3. Заключение.**

Исходя из анализа графика сил, полученного при обработке детали, установленной с эксцентриситетом можно заключить следующее: была достигнута высокая стабильность усилия выглаживания (колебания до 0,9 %), а также была доказана возможность обработки фасонных поверхностей данной оправкой.