

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени академика С. П. КОРОЛЕВА»

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ГТД**

САМАРА 2006

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени академика С. П. КОРОЛЕВА»

# СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ГТД

*Учебное пособие*



**Инновационная образовательная программа  
«Развитие центра компетенции  
и подготовка специалистов мирового уровня  
в области аэрокосмических  
и геоинформационных технологий»**

САМАРА 2006

**Учебное издание**

*Демин Феликс Ильич*

*Анипченко Леонид Алексеевич*

*Мещеряков Александр Викторович*

*Смирнов Геннадий Владиславович*

*Крашенинников Константин Петрович*

*Карякина Ирина Ивановна*

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ГТД**

*Учебное пособие*

Самарский государственный аэрокосмический  
университет имени академика С. П. Королева.

443086 Самара, Московское шоссе, 34.

## Содержание:

### 1. Теоретические основы технологических процессов:

**1.1.** Влияние жесткости технологической системы на точность формы обрабатываемой заготовки.

1.1.1. Жесткость технологической системы.

1.1.2. Содержание работы.

1.1.3. Порядок выполнения работы.

1.1.4. Обработка результатов опытов. Составление отчета.

**1.2.** Исследование точности обработки на токарном станке статистическим методом.

1.2.1. Общие понятия о точности.

1.2.2. Порядок выполнения работы.

1.2.3. Содержание отчета.

**1.3.** Исследование точности центрирования заготовки в токарном трехкулачковом патроне.

1.3.1. Кулачковые патроны к станкам токарного типа.

1.3.2. Точность центрирования.

1.3.3. Содержание работы.

1.3.4. Последовательность выполнения работы.

**1.4.** Влияние размерного износа инструмента на точность обработки заготовок.

1.4.1. Размерный износ режущего инструмента.

1.4.2. Влияние размерного износа инструмента на точность обработки.

1.4.3. Содержание работы.

1.4.4. Обработка результатов опытов и составление отчета.

### 2. Методы обработки. Обработка сложных поверхностей.

**2.1.** Исследование отдельных параметров струйной гидроабразивной обработки (ГАО).

2.1.1. Общие сведения о методе струйной гидроабразивной обработки.

2.1.2. Исследование зависимости производительности от давления воздуха на входе в активное сопло.

2.1.3. Исследование равномерности съема металла с обрабатываемой поверхности.

2.1.4. Выбор параметров и схемы обработки заготовки «валик».

2.1.5. Описание конструкции лабораторной установки.

2.1.6. Порядок выполнения лабораторной работы.

**2.2** Исследование технологических возможностей лазерной обработки отверстий.

2.2.1. Общие сведения.

2.2.2. Работа и устройство лазерной технологической установки с излучателем на твердом теле.

2.2.3. Закономерности образования отверстий.

2.2.4. Содержание работы.

2.2.5. Порядок выполнения работы.

2.2.6. Отчет.

2.2.7. Техника безопасности при работе с лазерной технологической установкой.

### 3. Технология изготовления деталей ГТД.

**3.1.** Определение точности при нарезании зубьев цилиндрических шестерен на зубодолбежных станках.

3.1.1. Источники погрешностей зубообработки.

3.1.2. Определение погрешности расположения делительной окружности колеса.

3.1.3. Порядок выполнения работы.

3.1.4. Отчет.

**3.2.** Анализ точности технологического процесса детали «кольцо».

- 3.2.1. Общие сведения.
- 3.2.2. Содержание работы.
- 3.2.3. Необходимые данные для проведения расчетов.
- 3.2.4. Основные понятия и принципы определения характеристик точности технологического процесса.

#### **4. Проектирование технологической оснастки.**

Изучение конструкции и силовых параметров пневмокамеры.

- 4.1.1. Общие сведения о конструкциях пневмоприводов.
- 4.1.2. Расчет силы зажима, развиваемой пневмокамерой.
- 4.1.3. Описание лабораторной установки.
- 4.1.4. Порядок выполнения работы.

#### **5. Технология изготовления деталей ГТД из композиционных материалов.**

**5.1.** Исследование результатов механической обработки – фрезерования и сверления композиционных материалов.

- 5.1.1. Особенности механической обработки композиционных материалов.
- 5.1.2. Содержание работы.
- 5.1.3. Порядок выполнения работы.
- 5.1.4. Отчет по лабораторной работе.

**5.2.** Разработка ТП изготовления лопаток ГТД из композиционных материалов.

- 5.2.1. Конструкционные особенности лопаток ГТД из КМ.
- 5.2.2. Сведения о технологических процессах изготовления лопаток из КМ.
- 5.2.3. Оборудование для изготовления лопатки из КМ.
- 5.2.4. Содержание работы.
- 5.2.5. Порядок выполнения работы.
- 5.2.6. Отчет по лабораторной работе.

#### **Приложение**

## **АННОТАЦИЯ**

Рассмотрены основные лабораторные работы по курсу «Технология производства двигателей летательных аппаратов» для основных разделов: теоретические основы технологических процессов; обработка сложных поверхностей; технология изготовления деталей ГТД; проектирование технологической оснастки; технология изготовления деталей ГТД из композиционных материалов. Изложены элементы расчетов основных параметров технологических процессов и отдельных операций. Представлены примеры выполнения расчетов и выбора возможных вариантов.

Учебное пособие предназначено для студентов факультета «Авиационные двигатели», обучающихся по специальности «Технология производства двигателей летательных аппаратов».

# **1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

## **1.1. ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ТОЧНОСТЬ ФОРМЫ ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

Цель работы - изучить влияние жесткости технологической системы станок - приспособление - инструмент - заготовка на точность формы заготовки в продольном сечении при обработке ее на токарном станке с закреплением в патроне.



### 1.1.1. Жесткость технологической системы

Жесткостью технологической системы называют способность этой системы оказывать сопротивление действию деформирующих ее сил. Количественно жесткость  $j$  системы в Н/мкм обычно выражают отношением нормальной составляющей  $P_y$  силы резания к суммарному смещению  $y$  лезвия режущего инструмента относительно обрабатываемой заготовки, измеренному в направлении нормали к этой поверхности, т.е.

$$j = P_y / y \quad (1)$$

При расчете погрешностей обработки, связанных с упругими деформациями системы, удобно пользоваться понятием податливости. Податливость системы (в мкм/Н) - величина, обратная жесткости. Численно податливость выражается уравнением

$$W = \frac{1}{j} = \frac{y}{P_y} \quad (2)$$

Для перевода значений податливости из ранее употреблявшейся системы единиц мкм/кгс в новую и наоборот можно использовать следующие переводные приближенные формулы:

$$W(\text{мкм} / \text{Н}) = 0,1 \cdot W(\text{мкм} / \text{кгс}), \quad (3)$$

$$W(\text{мкм} / \text{кгс}) = 10 \cdot W(\text{мкм} / \text{Н}). \quad (4)$$

Хотя в уравнениях (1) и (2) при определении жесткости  $j$  и податливости  $W$  учитывается действие только нормальной составляющей силы резания  $P_y$ , в действительности на величину деформации системы влияют также тангенциальная  $P_z$  и осевая  $P_x$  составляющие. Это учитывается тем, что при экспериментальном определении жесткости система нагружается не одной силой  $P_y$ , а силами  $P_z$  и  $P_x$ . При определении  $j$  для случая закрепления заготовок типа дисков система нагружается силами  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$ . Соотношение их выбирают таким, какое реально возникает при резании (обычно  $P_z:P_y:P_x = 1:0,6:0,4$ ).

Жесткость технологической системы зависит от способа закрепления заготовки, ее размеров, жесткости узлов станка (для токарного станка-шпинделя, суппорта, задней бабки), жесткости приспособления и инструмента. Для случая обтачивания заготовки велика на токарном станке с консольным закреплением в патроне ([рис.1.1](#)) податливость  $W^l$  системы на расстоянии  $l$  от места приложения силы резания до торца кулачков будет равна

$$W^l = W_c + W_{\text{шп}}^l + W_n^l + W_{\text{заг}}^l, \quad (5)$$

где

$W_c, W_{\text{шп}}^l, W_n^l, W_{\text{заг}}^l$  - податливость соответственно суппорта, шпинделя, патрона и заготовки. При неизменной величине  $P_y$  с увеличением  $l$  будет возрастать нагрузка (изгибающий момент) на шпиндель, патрон и заготовку. Вследствие этого увеличатся деформации и значения податливости шпинделя  $W_{\text{шп}}^l$ , патрона  $W_n^l$ , и заготовки  $W_{\text{заг}}^l$  следовательно, возрастает и податливость системы  $W^l$ . Отсюда следует, что податливость системы при консольном закреплении валика в патроне токарного станка является переменной величиной: наибольшей в начале обработки резанием (на конце заготовки) и наименьшей в конце обработки (у патрона). Изменение жесткости приводит к появлению погрешности формы в

продольном сечении обточенной поверхности. Механизм образования такой погрешности рассмотрим на примере ([рис.1.2](#)).

Пусть перед началом обработки резец установлен на размере  $d_0$ . Если бы система была абсолютно жесткой (т.е. не деформировалась бы под действием сил резания), то после обточки мы могли бы получить валик строго цилиндрической формы размером  $d_0$ . Но система обладает податливостью. Деформация системы в сечениях А-А, Б-Б и В-В в соответствии с уравнением (2) будет равна

$$y_A = P_y W^A; \quad y_B = P_y W^B; \quad y_C = P_y W^C.$$

Так как

$$W^A < W^B < W^C,$$

то

$$y^A < y^B < y^C.$$

Действительные размеры заготовки после обточки в сечениях А, Б и В будут равны соответственно:

$$\left. \begin{aligned} d^A &= d_0 + 2y^A, \\ d^B &= d_0 + 2y^B, \\ d^C &= d_0 + 2y^C. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Так как

$$y^A < y^B < y^C,$$

то

$d^A < d^B < d^C$  ([рис.1.2](#)). Пренебрегая кривизной образующей обработанной поверхности, можно считать полученную погрешность формы как конусность величиною

$$\omega_\phi = d^B - d^A.$$

Подставляя вместо  $d^B$  и  $d^A$  их значения по (6), после преобразования получим

$$\omega_\phi = 2(y^B - y^A).$$

Заменяя  $y^B$  и  $y^A$  на их значения, приведенные выше, получим ракетное уравнение для определения погрешности формы:

$$\omega_\phi = 2P_y (W^B - W^A). \quad (7)$$

### 1.1.2. Содержание работы

Работа состоит из двух частей: определение податливости технологической системы и изменения податливости по длине обрабатываемой заготовки; определение погрешности формы заготовки.

Податливость системы измеряется в статическом состоянии по схеме, приведенной на [рис.1.3](#). Заготовка 1 закреплена в трехкулачковом патроне. Нагружение системы осуществляется через динамометр 7, закрепленный в резцедержателе 4 суппорта станка. Для создания нагрузки вращают винт 5. При этом через шток 6 усилие  $P$  передается на заготовку 1, а через него на патрон и шпиндель. Такая же по величине, но обратная по направлению сила  $P$  (точнее - реакция) передается через динамометр и резцедержатель на суппорт станка. Величина, силы нагружения  $P$  регистрируется с помощью токовихревого датчика 3. При принятом, направлении действия силы  $P$  под углом  $30^\circ$  к вертикали получаем соотношение составляющих силы резания  $P_z:P_y=1,0:0,57$ , что весьма близко соответствует общепринятому при точении  $P_z:P_y=1:0,6$ . При этом будет  $P_y=0,5P$ , а  $P_z=0,87P$ .

При нагружении системы происходит деформация ее элементов (шпинделя, патрона, заготовки, суппорта). Суммарная относительная деформация системы  $y$  измеряется с помощью токовихревого датчика 2, закрепленного на кронштейне 8, который жестко связан с державкой динамометра.

В чисто механических схемах и устройствах экспериментального определения податливости измеряют и регистрируют величину силы нагружения  $P_y$  по заданным ступеням нагружения и соответствующие каждой ступени значения деформации системы  $y$ . После окончания измерений вычисляют значения податливости  $W=y_i/P_{yi}$ . Затем находят податливость системы  $W$  (путем осреднения, линеаризации).

В данной работе в схеме измерений использован микропроцессор, осуществляющий непрерывное вычисление податливости  $W$  по измеренным значениям  $P_y$  и  $y$ . В заданном диапазоне нагружения (от нуля до  $P_{y\max}$ ) – может быть зафиксировано любое число точек измерения  $W$ .

Принципиальная электрическая блок-схема измерительного устройства приведена на [рис.1.4](#). Электрические сигналы от датчиков силы нагружения ДС и датчика перемещений ДП поступают в блок преобразования БП. Из блока БП электрические сигналы, соответствующие величине силы нагружения  $P_y$  и перемещения  $y$ , поступают в вычислительное устройство (ВУ). По значениям  $P_y$  и  $y$  в ВУ происходит вычисление податливости  $W=y/P_y$ , значение которой регистрируется на блоке цифровой индикации (БЦИ). Там же регистрируются значения  $y$  и  $P_y$ .

Для определения зависимости  $W=f(l)$  измерение податливости производится в трех сечениях подлине детали на расстояниях 35, 85 и 135 мм от торца кулачков.

Исследованиями установлено, что деформация системы, а значит и ее податливость, зависят от направления действия силы по отношению к расположению кулачков патрона. Если сила  $P$  направлена на кулачок (рис. 1.5 а) деформация технологической системы будет меньше, при действии силы  $P$  в направлении между кулачками (рис. 1.5 б) - больше. В связи с этим измерение податливости в каждом сечении следует производить для двух возможных угловых положений патрона.

Определение податливости системы производится при нагружении ее силой  $P$  от 0 до 1500 Н ступенями через 500 Н. При этом составляющая  $P_y$  будет изменяться от 0 до 750 Н ступенями через 250 Н.

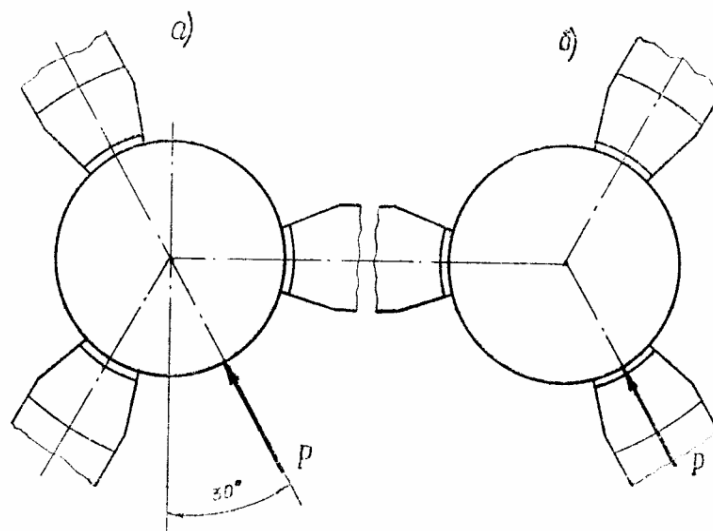


Рис. 1.5. Схема расположения силы  $P$  по отношению к кулачкам:  
 а - на кулачок, б - между кулачками

Для исключения влияния зазоров в системе на величину измеряемой податливости перед проведением эксперимента в каждом сечении по длине и для каждого углового положения патрона необходимо «спрессовать» систему, т. е. нагрузить ее силой  $P=1000-1200$  Н, снять нагрузку и только после этого установив показания индикатора деформации на нуль.

По результатам измерений определяют величину податливости для каждого сечения (вылета) по методике, излагаемой в п. 1.1.3 настоящей инструкции.

Во второй части работы необходимо определить действительную и расчетную погрешность обработки (погрешность формы в продольном сечении), обусловленную влиянием изменения податливости системы по длине обработки. Для определения действительной погрешности сначала производят предварительное обтачивание всех трех поясков заготовки с одного прохода при легких режимах резания  $t=1,0$  мм и  $S=0,1$  мм/об. Цель этого обтачивания - устранить возможные погрешности формы и расположения поверхностей заготовки с тем, чтобы они не могли повлиять на результаты эксперимента. Затем выполняется основное обтачивание всех поясков на режимах ориентировочно  $t=1,0$  мм и  $S=0,3$  мм/об, а далее вычисляют фактическую погрешность формы

$$\omega_{\phi} = d_3 - d_1,$$

где  $d_3$  и  $d_1$  - размеры третьего и первого поясков.

Расчетная или ожидаемая погрешность определяется по уравнению

$$\omega_{расч} = 2P_y (W_3 - W_1) \quad (8)$$

Составляющую  $P_y$  следует определить по формуле

$$P_y = C_{py} t^{X_{py}} S^{Y_{py}} \quad (9)$$

при значениях  $t$  и  $S$ , которые были приняты при основном обтачивании. В качестве  $W_3$  и  $W_1$  следует принимать значения податливостей соответственно при  $l_3 = 135$  и  $l_1 = 35$  мм, полученные экспериментально в первой части работы.

### 1.1.3. Порядок выполнения работы

1. Установить заготовку в патроне так, чтобы расстояние от торца кулачков до середины первого бурта заготовки было  $l=35$  мм. Закрепить заготовку ключом последовательно через все шестеренки патрона, постепенно наращивая крутящий момент на ключе, доведя его в последнем круге до  $M_{кр} = 120-140$  Нм (12-14 кгсм). Проследить за тем, чтобы биение заготовки при проворачивании, замеряемое индикатором на крайнем бурте, было не более 0,1 мм.

2. Установить державку с динамометром в резцедержатель суппорта. При установке должно обеспечиваться совпадение оси датчика 2 перемещений ([рис.1.3](#)) с горизонтальной плоскостью, проходящей через ось заготовки. Это достигается подбором прокладок под державку.

Закрепить державку в резцедержателе. При этом во избежание перекоса крепление производить многократным завертыванием винтов резцедержателя при постепенном последовательном наращивании усилия на ключе.

3. Отвести суппорт в сторону задней бабки. Вставить в отверстие скобы динамометра центроискатель ([рис.1.6](#)) и перемещая суппорт в поперечном направлении и установить его в такое положение, чтобы ось центроискателя проходила через линию центров станка. Тем самым будет обеспечено действие силы нагружения  $P$  по направлению, проходящему через ось вращения шпинделя с заготовкой. До окончания измерения податливости суппорт в поперечном направлении не перемещать.

4. Вынуть центроискатель и установить в отверстие скобы динамометра шток 6 ([рис.1.3](#)). Переместить суппорт в продольном направлении и установить его в положение для замера податливости на  $l=35$  мм (первый буртик). При перемещении суппорта ни шток 6, ни датчик 2 не должны касаться буртиков заготовки.

5. Повернуть патрон с заготовкой в положение, показанное на рис. 1.5 а (направление действия силы нагружения  $P$  на кулачок). Проверить, чтобы цифровой индикатор нагрузки в БЦИ показывал нуль. Если при этом на БЦИ величина силы отлична от 0, но не превышает 10 Н, то вращая ручку «настройка» измерительного прибора, привести стрелку к положению, когда  $P=0$ . Если величина  $P > 10$  Н, то - перемещением датчика привести систему к положению, когда  $P < 10$  Н, и далее настройкой установить на БЦИ  $P=0$ .

6. Для устранения влияния зазоров и неплотности стыков на точность измерения провести предварительное нагружение системы силой  $P = 1000...1200$  Н ( $P_y = 500...600$  Н), снять нагрузку.

7. Проверить показания цифрового индикатора перемещений в БЦИ. Если они отличаются от нуля, то вращая ручку «настройка» прибора индикатора перемещений, приводим БЦИ в нулевое состояние. Нагружая систему, замерить податливость системы при  $P_y = 250, 500$  и  $750$  Н (при  $P = 500, 1000$  и  $1500$  Н). Указанные значения  $P_y$  и соответствующие им значения податливости  $W$  по показаниям БЦИ занести в протокол.

8. Снять нагрузку, повернуть патрон против часовой стрелки на  $60^\circ$  с тем, чтобы привести его в положение, показанное на рис. 1.5 б.

9. Повторить переходы, указанные в пп. 6 и 7. Произвести измерение податливости при нагружении «от кулачка» и занести полученные при измерении значения  $W$  в протокол.

10. Снять нагрузку, переместить суппорт в продольном направлении в положение для измерения податливости при  $l=85$  мм (по второму буртику).

11. Повторить переходы, указанные в пп. 6, 7, 8 и 9. Провести измерение податливости на  $l=85$  мм для двух угловых положений патрона.

12. Снять нагрузку, переместить суппорт в продольном направлении в положение для

измерения податливости при  $l=135$  мм (по правому крайнему бурту).

13. Повторить переходы; указанные в пп. 6, 7, 8 и 9. Произвести измерение податливости на  $l=135$  мм для двух угловых положений патрона.

14. Предъявить преподавателю занесенные в протокол результаты измерения податливости. При утверждении результатов снять со станка динамометр и выключить систему измерения. Если при проведении эксперимента получены неудовлетворительные результаты, то согласно указанию преподавателя повторить эксперимент.

15. Установить в резцедержателе станка проходной резец. Проточить все пояски предварительно на режиме  $t=0,1$  мм и  $S=0,1$  мм/об. Замерить диаметры поясков и занести результаты измерения в протокол.

16. Произвести основную проточку всех поясков с одного прохода на режиме  $t=1,0$  мм,  $S=0,3$  мм/об. Замерить размеры поясков и результаты измерения записать в протокол.

17. Предъявить преподавателю результаты проточки поясков.

При удовлетворительных результатах сдать рабочее место учебному мастеру лаборатории. Если результаты признаны преподавателем неудовлетворительными, обточку поясков следует повторить.

#### 1.1.4. Обработка результатов опытов. Составление отчета

1. По результатам замеров нагрузки и податливости установить зависимость податливости системы от нагрузки  $W=f(P)$  и от вылета  $W=f(l)$ , для этого:

1.1. Для каждого сечения 35, 85 и 135 мм и для каждой ступени нагружения  $P_y = 250, 500$  и 750 Н вычислить значения податливости как среднее значение из замеренных для двух угловых положений патрона.

1.2. В бланке отчета по лабораторной работе построить график зависимости  $W = f(l)$  для всех ступеней нагружения ([рис.1.7](#)).

2. Определить фактическую (действительную) погрешность формы по уравнению

$$\omega_\phi = d_3 - d_1,$$

где  $d_3$  и  $d_1$  - значения диаметра поясков (буртиков), замеренные после основного обтачивания.

3. Определить расчетную погрешность формы, для этого:

3.1. Вычислить фактическое (действительное) значение глубины резания  $t_\phi$  основного обтачивания по уравнению

$$t_\phi = \frac{d_{предв} - d_{осн}}{2},$$

где  $d_{предв}$  и  $d_{осн}$  - размеры пояска после предварительного и окончательного обтачивания.

3.2. Вычислить силу резания по уравнению

$$P_y = C_{py} t_\phi^{X_{py}} S^{Y_{py}}$$

При этом следует принять  $C_{py}=243$ ,  $X_{py}=0,9$ ,  $Y_{py}=0,6$ .

3.3. По кривой  $W=f(l)$  в отчете установить значения податливости системы  $W_3$  для  $l=135$  мм и  $W_1$  для  $l=35$  мм. Если значения податливости для  $P_y=250, 500$  и 750 Н не совпадают, принимать за расчетное следует значение податливости при значении нагрузки, близкой к вычисленному в п. 3.2 значению  $P_y$ .

3.4. Вычислить расчетную погрешность формы

$$\omega_p = 2P_y (W_3 - W_1).$$

4. Сопоставить значения  $\omega_\phi$  и  $\omega_p$  и объяснить причины несовпадения.

5. Оформить отчет по лабораторной работе.



## Вопросы для самоконтроля

1. Из чего складывается жесткость технологической системы?
2. Какая из составляющих жесткости является доминирующей при обработке длинных деталей, ажурных деталей?
3. Какая связь между жесткостью и податливостью?
4. Как осуществляется суммирование жесткостей технологической системы?
5. Каким образом измеряется жесткость технологической системы?
6. Какими способами можно повысить жесткость технологической системы?
7. Как использовать закономерности изменения жесткости, полученные в результате экспериментальных исследований при механической обработке деталей низкой жесткости?

## **1.2. ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ НА ТОКАРНОМ СТАНКЕ СТАТИСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

Цель работы – освоение методики статистического исследования точности обработки при обточке валиков на настроенном токарном станке.

### 1.2.1. Общие понятия о точности

Под точностью обработки понимают степень соответствия действительных, полученных после обработки геометрических параметров деталей, заданным геометрическим параметрам.

К понятию «геометрические параметры» относятся размеры, форма и взаимное расположение поверхностей деталей.

В данной работе рассматривается точность размера-диаметра валика после обточки.

Определение точности обработки является сложной задачей. Для ее решения применяют расчетно-аналитический и статистический методы. Расчетно-аналитический, метод базируется на исследовании факторов, вызывающих первичные погрешности, установление между ними функциональной зависимости, расчете каждой составляющей погрешности и суммировании их для определения погрешности обработки. Достоинством этого метода является то, что можно выявить факторы, вызывающие первичные погрешности, и наметить пути их уменьшения.

Статистический метод позволяет оценить действие в данной операции сразу всей совокупности факторов. При этом нет необходимости проводить эксперименты по выявлению влияния отдельных факторов на точность обработки; достаточно на основе непосредственного наблюдения на производстве по данному геометрическому параметру измерить партию деталей.

Каждый из этих методов имеет свою область применения, и они не исключают, а, наоборот, дополняют друг друга.

### 1.2.2. Порядок выполнения работы

1. Произвести настройку стайка на размер:  $X=0,12$  мм.
2. Обработать 40-50 деталей согласно операционной карте (по одному пояску на каждой детали).
3. Измерить обработанные пояски микрометром с ценой деления 0,01 мм. Результаты занести в [табл.1.1](#).
4. Обработка результатов измерения деталей.  
Этот этап включает в себя решение ряда задач:  
Определение результирующей погрешности обработки.
5. Рабочее место, оснастку и инструмент привести в порядок и сдать лаборанту.

Настройка станка производится по заранее рассчитанному настроечному размеру  $X$  н. р. методом пробных проходов и промеров. Для этого у первой детали на небольшой длине обтачивается поясок на размер, превышающий  $X$  н. р., и делается промер.

Промеры и проходы повторяются до тех пор, пока не будет достигнут размер, близкий к настроечному. При этом замечают деление лимба винта поперечной подачи, устанавливая по нему резец и обтачивают 3-4 пробные детали. Средний размер этих деталей не должен отклоняться от  $X$  н. р. на величину  $(1/5 \text{ ч } 1/6)$  от допуска, на размер  $(\delta)$ , т. е. на  $0,02 \div 0,025$  мм.

Если отклонение превосходит указанное значение, делают поднастройку станка, затем обрабатывают всю партию деталей и производят измерения. Погрешность измерения согласно ГОСТу не должна превышать (15-20%) от  $\delta$ .

Решение приведенных выше задач рассмотрим на примере для случая  $X = \varnothing 20$  мм, при объеме партии  $N = 40$  шт.

В качестве настроечного размера принят средний размер поля допуска

$$X_{н.р.} = X_{\text{ср}} = 19,94 \text{ мм.}$$

Измерение деталей осуществлялось по мере снятия их со станка, микрометром с ценой деления 0,01 мм.

Результаты измерения представлены в протоколе наблюдений ([табл.1.1](#)).

В [табл.1.1](#) отмечаются наибольший ( $X_{\text{max}}$ ) и наименьший ( $X_{\text{min}}$ ) размеры и определяется размах варьирования ( $R$ ).

$$R = X_{\text{max}} - X_{\text{min}} = 19,99 - 19,86 = 0,13 \text{ мм}$$

Для упрощения расчетов и построения кривых распределения  $R$  делят на интервалы. Число интервалов ( $K$ ) зависит от количества деталей ( $N$ ), взятых для статистического анализа:

при  $N < 50$  рекомендуется  $K = 5 \div 7$

$N = 50 \div 100$  рекомендуется  $K = 7 \div 9$

$N > 100$  рекомендуется  $K = 9 \div 12$

Величина интервала  $C = R/K$  должна быть больше цены деления шкалы измерительного инструмента и округлена до числа с минимумом значащих цифр. Например, при  $C_p = 0,0189$  (полученным из расчета) принять  $C = 0,02$ , при  $C_p = 0,0211$   $C = 0,02$  и т. д.

В соответствии с рекомендациями принимаем  $K = 7$ .

Тогда

$$C = \frac{R}{K} = \frac{0,13}{7} = 0,0186 \approx 0,02 \text{ мм.}$$

Образование интервалов производят в следующем порядке:

а) нижняя граница первого интервала берется равной действительному наименьшему размеру детали  $X_{\min} = 19,86$  мм. Верхняя граница определяется как сумма

$$X_{\min} + C = 19,86 + 0,02 = 19,88 \text{ мм.}$$

Второй интервал образуется путем прибавления  $C = 0,02$  к размеру 19,88 мм и т. д.

Полученные интервалы сводятся в [табл.1.2](#) (графа 2).

б) вычисляется среднее значение каждого интервала (графа 3);

в) в графе 4 производится подсчет количества случаев. Для этого просматриваются все измерения в порядке их написания в [табл.1.1](#) и для каждого размера ([табл.1.2](#), графа 4) делается заметка против соответствующего ему интервала.

При подсчете случаев условно принимается, что значения размеров, равных верхним границам интервалов, входят в каждый последующий интервал, т. е. 19,88 мм, во второй 19,90 мм, в третий интервал и т. д.;

г) количество деталей подсчитывается и проставляется в графе

5 [табл.1.2](#). Сумма чисел этого столбца должна равняться количеству деталей партии  $N = 40$ ;

д) частость (графа 6) определяется делением числа деталей, находящихся в пределах каждого интервала -  $n_i$  на общее количество деталей партии  $N$ .

По данным  $X_{i\text{ср}}$  и  $n_i/N$  (или  $n_i$ ) строится практическая кривая распределения ([рис.1.8 а](#)).

По оси абсцисс в определенном масштабе откладываются средние значения интервалов. Масштаб выбирается произвольно. Например,  $M=750:1$  ( $a_{\text{пр}}=750$ ), т. е. Интервал  $C = 0,02$  мм соответствует пятнадцати миллиметрам ( $0,02 \times 750 = 15$  мм, [рис.1.8 б](#)). Масштаб ординаты также выбирается произвольно. Например,  $b_{\text{пр}} = 300$ , тогда ординаты находятся по зависимости  $(n_i/N)b_{\text{пр}}$  (для первого интервала  $0,05 \times 300 = 15$  мм).

Для более точной оценки точности обработки практические кривые распределения заменяются теоретическими, изображающими вполне определенные законы распределения случайных величин. Так, при обработке деталей на станке по способу автоматического получения размеров используется закон нормального распределения, выражаемый уравнением

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}},$$

где  $X = X_{i\text{ср}} - X_{\text{ср}}$ .

Следовательно, для построения теоретической кривой необходимо по данным опыта вычислять две характеристики:  $X_{\text{ср}}$  и  $\sigma$

$$X_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n X_{i\text{ср}} \cdot n_i}{N} = \frac{19,87 \times 2 + 19,87 \times 5 + 19,91 \times 9 + \dots + 19,99 \times 1}{40} = 19,93 \text{ мм} \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{icp} - X_{cp})^2 \cdot n_i}{N - 1}} = \sqrt{\frac{(19,93 - 19,87)^2 \cdot 2 + (19,93 - 19,89)^2 \cdot 5 + \dots + (19,93 - 19,99)^2 \cdot 1}{39}} = 0,029 \text{ мм} \quad (2)$$

Теоретическая кривая строится по осям X и Y ([рис.1.8 а](#)). Начало координат  $X_0 = 0$  размещается в точке  $X_{cp} = 19,93$  ([рис.1.8 в](#)). По оси абсцисс от  $X_0$  (вправо и влево) откладываются  $X_1 = \pm \sigma$ ;

$X_2 = \pm 2\sigma$ ;  $X_3 = \pm 3\sigma$ . Масштаб теоретической и практической кривой для значений  $S$  и  $\sigma$  принимается одинаковый:  $a_m = a_{пр} = 750$ , тогда на абсциссе графика будет отложена величина  $\sigma = 0,029 \times 750 = 21,7$  мм.

Для нахождения ординат «Y», соответствующих значениям  $X_0$ ,  $X_1$ ,  $X_2$  и  $X_3$ , пользуются [табл.1.3](#) (функция Лапласа).

Табличные значения  $Y_m$  умножают на  $b_m$ , вычисленное из условия равенства площадей под практической и теоретической кривой

$$b_m = b_{пр} \cdot \frac{c}{\sigma} = 300 \cdot \frac{0,02}{0,029} = 207.$$

Так, точке  $X_0=0$  соответствует ордината

$$y_0 = y_m \times b_m = 0,399 \times 207 = 82,6.$$

Результаты вычислений сведены в графу 3, [табл.1.3](#).

Из теории вероятностей известно, что в пределах  $\pm 3\sigma$  под кривой нормального распределения заключено 99,73% всей ее площади, поэтому погрешность от случайных и закономерно изменяющихся факторов составляет  $\omega_p = 6\sigma = 6 \times 0,029 = 0,174$ .

Постоянная систематическая погрешность в данном случае вызывается неточностью настройки станка  $\omega_n$ , т. е. несовпадением среднего размера поля рассеяния ( $X_{cp}$ ) со средним значением поля допуска ( $X_{\delta cp}$ )

$$\omega_n = X_{\delta cp} - X_{cp} = 19,94 - 19,93 = 0,01 \text{ (мм)}$$

На абсциссе ([рис.1.8 а](#)) наносится средний размер поля допуска  $X_{\delta cp} = 19,94$  и границы поля допуска  $\pm \sigma/2 = 0,06$ . В данном примере средняя линия поля допуска сдвинута от средней линии поля рассеяния в сторону увеличения размера на расстояние  $\omega_n = 0,01$ , что соответствует 7,5 мм ( $X_{cp} < X_{\delta cp}$ ).

С такой же вероятностью можно предположить, что при проведении следующего опыта  $X_{cp}$  будет больше  $X_{\delta cp}$  на ту же величину.

Тогда в общем случае постоянная погрешность будет равна

$$\omega_n = 2\omega_n = 2(X_{\delta cp} - X_{cp}) = 2 \cdot 0,01 = 0,02 \quad (\text{мм})$$

а результирующая операционная погрешность определится как сумма  $\omega_p$  и  $\omega_n$

$$\omega_{\Sigma} = \omega_p + \omega_n = 6\sigma + 2\omega_n = 0,174 + 0,02 = 0,194 \quad (\text{мм})$$

### **1.2.3. Содержание отчета**

1. Сведения о станке (технические характеристики).
2. Результаты расчета параметров кривой нормального распределения, построение практической и теоретической кривой распределения погрешностей, расчет суммарной погрешности обработки;
3. Выводы.

## Вопросы для самоконтроля

1. Понятие точности обработки.
2. Понятие погрешности обработки.
3. Что относится к геометрическим параметрам?
4. Какие применяются методы для определения точности обработки?
5. Что такое математическое ожидание и среднее квадратичное отклонение?
6. Что такое систематическая погрешность?



## Литература

1. Фираго В. П. Основы проектирования технологических процессов и приспособлений. Методы обработки поверхностей. - М.: Машиностроение, 1973.
2. Корсаков В. С. Основы технологии машиностроения. - М.: Высш. шк., 1974.
3. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. - М.: Гос. изд. физ.-мат. лит., 1962.

### **1.3. ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ЦЕНТРИРОВАНИЯ ЗАГОТОВКИ В ТОКАРНОМ ТРЕХКУЛАЧКОВОМ ПАТРОНЕ**

Цель работы – изучение конструкции токарных патронов и исследование точности центрирования при установке заготовок типа: валиков.

### 1.3.1. Кулачковые патроны к станкам токарного типа

Патроны служат для установки коротких заготовок ( $l \leq (5..6)d$ ) при обработке их на станках токарного типа. Патроны бывают двух-, трех- и четырехкулачковые. Перемещение кулачков осуществляется вручную или механизировано с помощью привода. По конструкции механизма перемещения кулачков патроны разделяются на спирально-реечные, клиновые, рычажные, рычажно-клиновые, винтовые.

Патроны могут иметь одновременное перемещение всех кулачков - самоцентрирующие патроны или независимое перемещение каждого кулачка.

По специализации патроны разделяются на универсальные, специализированные и специальные.

В практике наиболее распространенными являются трехкулачковые самоцентрирующие универсальные патроны. Самоцентрирующие патроны позволяют одновременно базировать и закреплять заготовку. Согласно ГОСТ 1654-71 патроны изготавливаются различных размеров по четырем классам точности:

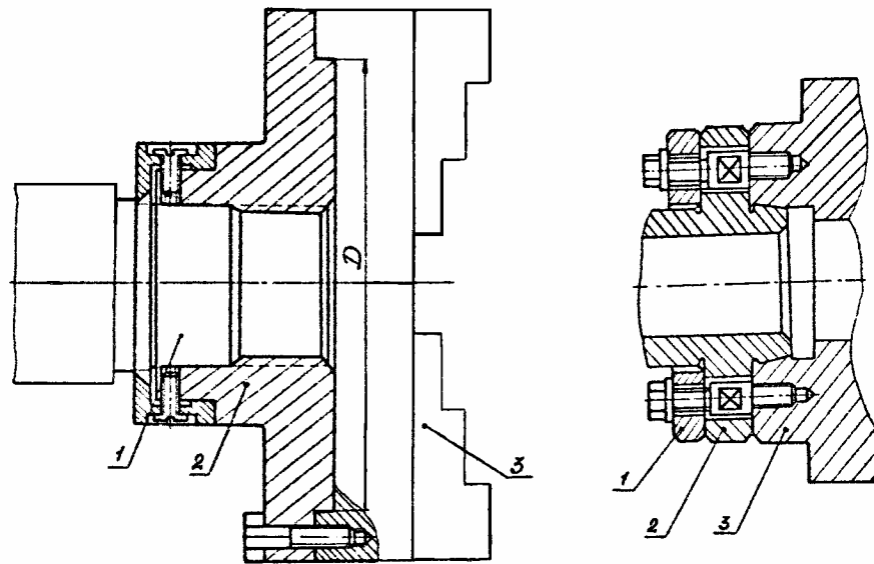
- Н - нормальная точность;
- П - повышенная точность;
- В - высокая точность;
- А - особо высокая точность.

Классы точности установлены в зависимости от величины допускаемой неуравновешенности (дисбаланса), предельных отклонений от геометрической формы и расположения рабочих поверхностей деталей патронов. Например, радиальное биение контрольного (центрирующего) пояса у нового самоцентрирующего патрона диаметром до 630 мм не должно превышать для классов точности:

А и В - 10 мкм; Н и П - 20 мкм.

Для каждого типоразмера и класса патрона назначаются свои допуски на точность центрирования, которая контролируется на заводе-изготовителе патронов. Однако следует иметь в виду, что при эксплуатации рабочие поверхности патронов изнашиваются, и точность центрирования снижается.

Патроны соединяются со шпинделем станка с помощью фланца промежуточного (планшайба) ГОСТ 3389-71. В зависимости от конца шпинделя соединение патрона может осуществляться, как показано на рис.1.9 а, б.



а)

б)

Рис. 1.9 Установка патрона:

а - через переходной фланец на резьбовой конец шпинделя: 1-шпиндель, 2-переходный фланец, 3-патрон; б - на фланцевом шпинделе станка: 1-кольцо, 2-шпиндель, 3-патрон.

### 1.3.2. Точность центрирования

Под точностью центрирования при установке заготовки в токарном патроне понимают степень совмещения оси кулачков (установочной базы заготовки) с осью вращения шпинделя (заготовки). Точность центрирования характеризуется погрешностью центрирования, которая определяется путем измерения биения контрольного пояска валика, закрепленного в патроне. Измерение осуществляется индикатором на расстоянии 10 мм от торца кулачков.

Погрешность центрирования (смещение оси контрольного валика) будет равна половине биения (рис. 1.10):  $\omega_y = 2\omega_1$ .

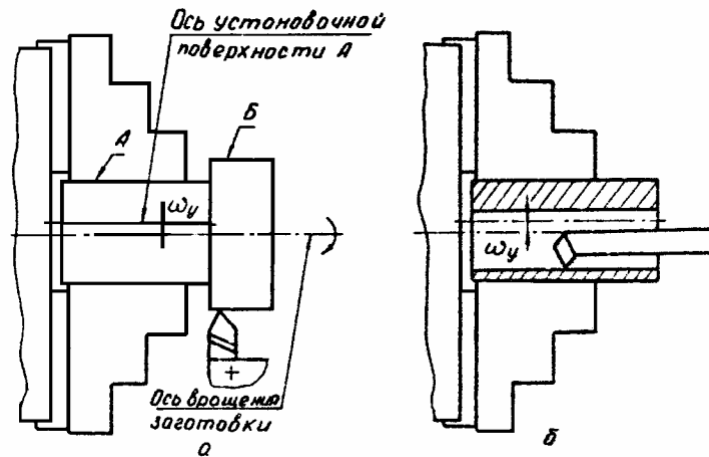


Рис. 1.10. Неконцентричность поверхности, вызванная погрешностью центрирования в патроне:  
а - при обработке наружной поверхности;  
б - при обработке внутренней поверхности

Наличие погрешности центрирования приводит к тому, что обработанная поверхность заготовки не будет концентрична установочной базе А. Биение поверхности Б относительно А равно  $2\omega_1$ . Если эта погрешность возникает на предварительной операции, то она может быть исправлена последующей обработкой этих поверхностей заготовки. Однако для этого необходимо увеличить припуск под окончательную обработку на величину неконцентричности, т.е. на  $2\omega_1$ . Если выполняется окончательная операция, то неконцентричность не должна превышать заданного допуска на этот геометрический параметр, в противном случае заготовка будет забракована.

Основными составляющими погрешности центрирования (установки) заготовки в патроне  $\omega_y$  являются:

$\omega_{yП}$  - погрешность, вызванная неточностью установки патрона на шпинделе, т.е. не совмещением оси вращения шпинделя с осью центрирующего пояска патрона;

$\omega_{yИЗГ}$  - погрешность, обусловленная смещением кулачков при их установке относительно оси центрирующего пояска патрона и неточностью изготовления механизма перемещения кулачков;

$\omega_{yС}$  - погрешность, зависящая от формы и колебания размеров базовой установочной поверхности заготовки;

$\omega_{yД}$  - погрешность, вызванная смещением и деформацией кулачков и других деталей

патрона при закреплении обрабатываемой заготовки;

$\omega_{\text{ИЗН}}$  - погрешность, появляющаяся вследствие износа рабочих поверхностей патрона;

$\omega_{\text{П}}$  - погрешность перекоса осей вращения патрона и заготовки.

Первые две составляющие погрешности возникают на стадии изготовления деталей, сборки и установки патрона на станок. Результатом их действия является появление систематических составляющих погрешностей установки, которые имеют приблизительно постоянные величину и направление при обработке соответствующей партии заготовок за одну настройку станка.

Остальные составляющие погрешности установки, носящие как случайный, так и систематический характер, изменяются по величине и направлению от заготовки к заготовке внутри партии.

Однако расчетным путем определить в общем случае  $\omega_y$  как сумму составляющих весьма затруднительно, так как не представляется возможным выявить конкретные значения составляющих погрешностей  $\omega_{\sigma}$ ,  $\omega_{\text{Д}}$ ,  $\omega_{\text{ИЗН}}$ ,  $\omega_{\text{П}}$ . Эти погрешности проявляются одновременно при установке заготовки. Поэтому погрешность установки в производственных условиях определяют непосредственным замером (статистическим методом) и по приближенным формулам, полученным на основании статистического анализа.

Профессор И.А. Иващенко предложил расчет погрешности центрирования заготовок при установке в трех кулачковых самоцентрирующих патронах проводить по приближенной эмпирической формуле

$$\omega_y = a \sqrt{T_y (1 + bz)} \quad (1)$$

где  $T_y$  - допуск на установочную базу заготовки (рис.1.10);

$Z$  - вылет заготовки от торцов кулачков;

$a$  и  $b$  - коэффициенты зависящие от вида обработки и износа патрона (см. [табл.](#)).

В практике повышение точности центрирования патронов достигают следующими способами:

1. Путем расточки зажимных поверхностей сырых кулачков и шлифовки закаленных кулачков непосредственно на станке на размер, соответствующий диаметру установочной поверхности закрепляемой заготовки.

Перед выполнением этой обработки кулачки нагружают так, чтобы они занимали такое же положение, как при закреплении заготовки.

При этом способе повышения точности центрирования систематические погрешности  $\omega_{\text{ИЗГ}}$  и  $\omega_{\text{УП}}$  будут уменьшены до минимума. Кроме того, уменьшаются и составляющие погрешности установки  $\omega_{\text{Д}}$  и  $\omega_{\text{ИЗН}}$ , так как обработка зажимных поверхностей кулачков происходит в нагруженном состоянии, соответствующем усилиям закрепления заготовки, например, до расточки кулачков. Биение контрольного валика, закрепленного в среднеизношенном патроне, составила 0,15...0,25 мм, а после расточки - 0,04...0,06 мм.

2. Обеспечением стабильности зажима заготовки кулачками патрона. При применении патронов с механизированным зажимом устанавливают устройства, которые стабилизируют потребную силу зажима заготовки. При ручном зажиме применяют динамометрические ключи, оттарированные на величину потребной силы закрепления заготовки. Стабилизация величины силы зажима способствует тому, что деформация различных элементов патрона в пределах партии заготовок будет примерно одинакова, а следовательно, уменьшается  $\omega_{\text{Д}}$ .

3. При применении патронов спирально-реечного типа (рис. 1.11) рекомендуется закреплять заготовки через одну и ту же малую коническую шестерню, обеспечивавшую минимальное биение. В этом случае создается идентичность закрепления заготовок, а следовательно, уменьшение погрешности установки. Обычно токарь помечает такую шестерню.

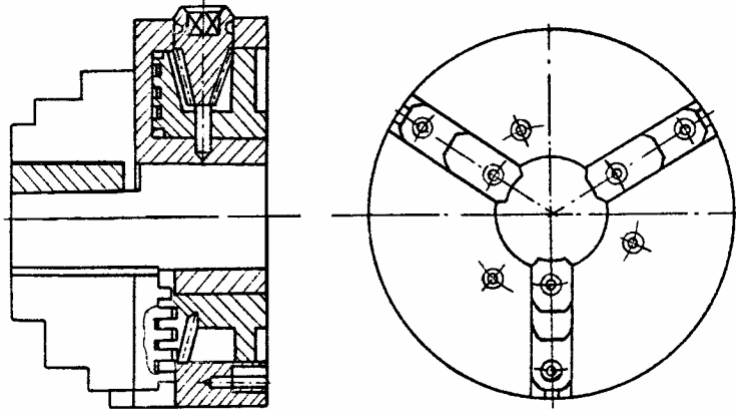


Рис.1.11. Токарный патрон спирально-реечного типа

Итак, для достижения более высокой точности центрирования в патронах с механизированным приводом применяют расточку или шлифовку кулачков, в патронах с ручным зажимом кроме расточки используют динамометрические ключи и закрепление через одну и ту же шестерню.

### **1.3.3. Содержание работы**

Работа выполняется в три этапа. На первом - изучаются конструкции патронов по альбому чертежей и натурным экспонатам. Каждый студент по одному из патронов самостоятельно производит анализ составляющих погрешностей центрирования. На втором этапе проводятся экспериментальные исследования точности центрирования заготовок в закаленных и сырых кулачках патрона спирально-реечного типа, установленного на токарном станке 1616, а также влияние точности центрирования на точность взаимного расположения поверхности.

По результатам исследования делается заключение о точности центрирования заготовок в данном патроне. На третьем этапе оформляется отчет о работе.



### 1.3.4. Последовательность выполнения работы

1. Получить вводный инструктаж по технике безопасности при выполнении данной работы.

2. Изучить инструкцию выполнения лабораторной работы.

3. Изучить конструкцию и работу заданного токарного патрона по чертежам и натурному экспонату. При этом необходимо определить:

а) схему центрирования и крепления корпуса патрона на переходном фланце и соединение переходного фланца на шпинделе станка (см. рис. 1.9);

б) конструкцию механизма, перемещающего кулачки, и применяемый силовой привод;

в) преимущества и недостатки патрона;

г) причины, вызывающие погрешность центрирования заготовки в патроне. Для этого необходимо дать схему изучаемого патрона и схему составляющих погрешности центрирования.

4. Установить на патрон закаленные кулачки:

а) закрепить в закаленных кулачках контрольный валик (рис.1.12) и, проворачивая вручную патрон, замерить с помощью индикатора биения на расстоянии  $l = 50$  мм от торцов кулачков (рис.1.13). При этом закрепление валика проводят через шестерню I, затем II и III (нумерацию шестерен выполнить мелом). Каждый опыт повторить 6 раз;

б) по результатам замера определить среднеарифметическое значение биений валика (погрешность установки) при закреплении через размерные шестерни.

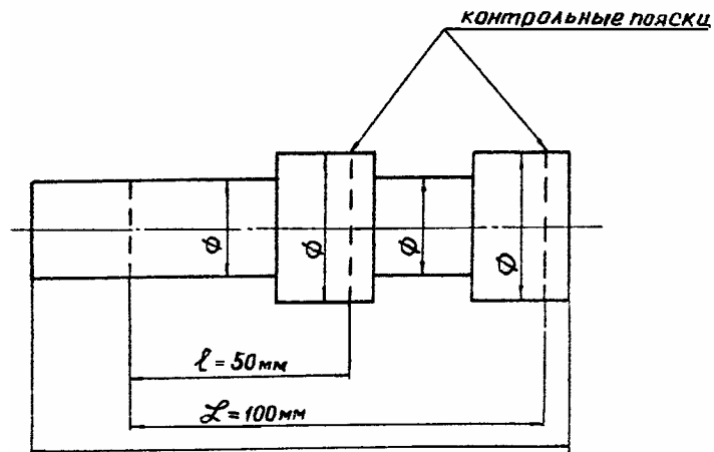


Рис. 1.12. Эскиз контрольного валика

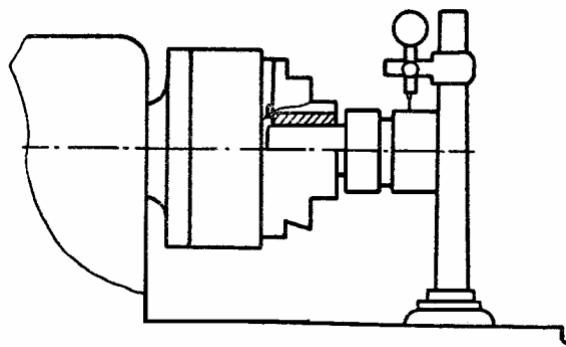


Рис. 1.13. Схема измерения биения контрольного валика, закрепленного в патроне

Шестерню, при закреплении которой было получено наименьшее биение контрольного валика, пометить мелом. При дальнейших исследованиях закрепление образцов осуществлять через эту шестерню динамометрическим ключом  $M = 105 \text{ НМ}$ ;

в) установить в патронах образец и закрепить через отмеченную шестерню. Обточить поверхность "Б" на режимах  $S \leq 0,1 \text{ мм/об}$ ;

$t = 0,5 \text{ мм}$ ;  $\Pi = 120 \text{ об/мин}$ . После проточки измерить биение поверхности Б относительно А (рис.1.13). Полученную величину биения сравнить со среднеарифметическим биением контрольного валика и объяснить причины несовпадения значений погрешностей.

5. Снять закаленные кулачки и установить сырые кулачки:

а) расточить сырые кулачки патрона по схеме, показанной на рис.1.14, на режимах:

$\Pi = 40 \dots 50 \text{ об/мин}$ ;  $S \leq 0,1 \text{ мм/об}$ ;  $t \leq 0,15 \text{ мм}$ .

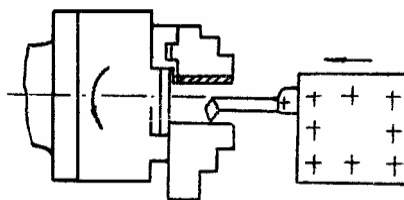


Рис. 1.14. Схема расточки сырых кулачков

Перед расточкой зажимают распорное кольцо, чтобы создать такое напряженное состояние в механизме зажима, которое будет соответствовать условиям обработки заготовок. Размер распорного кольца должен быть подобран так, чтобы расточка кулачков соответствовала среднему диаметру контрольного валика  $d_{ТД}$  и образца;

б) установить в патрон контрольный валик и измерить биение на длине  $l=50 \text{ мм}$  и  $l=100 \text{ мм}$  (см. рис. 1.13). Опыты повторить 6 раз;

в) определить среднеарифметическое значение биения. Биение на длине  $l=50 \text{ мм}$  сравнить со значением биения контрольного валика в закаленных кулачках;

г) полученные биения на длине  $l=100 \text{ мм}$  сравнить с результатами расчета по формуле (1);

д) сделать заключение по результатам сравнения;

е) установить образец в патроне, закрепить и проточить на указанном выше режиме, установив валик в контрольной призме, измерить биение пов. Б относительно А (рис .1.15).

6. Составить отчет о работе.

В отчете приводится:

а) основные сведения о патроне, изучаемом по заданию преподавателя, схема патрона и составляющие погрешности центрирования в данном патроне;

б) результаты измерения биения контрольного валика, закрепляемого в закаленных кулачках, и среднеарифметические значения погрешности центрирования;

в) погрешность расположения поверхности А в Б, заверенная после обточки образца в расточных кулачках.

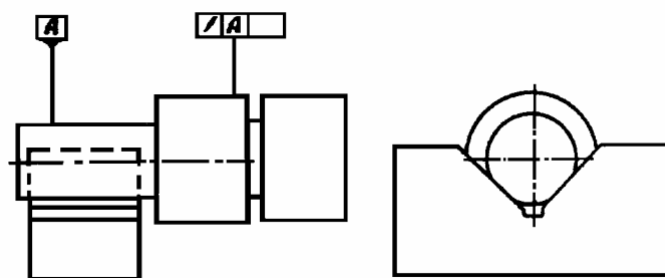


Рис. 1.15. Схема измерения биения поверхности «Б» относительно поверхности «А»

г) результаты измерения биения контрольного валика, установленного в расточных кулачках, и среднеарифметические значения при замере на  $l=50$  мм и  $l=100$  мм;

д) погрешность расположения поверхностей Б и А, замеренная после обточки образца в расточных кулачках;

е) результаты сравнения погрешности установки, замеренной на  $l=100$  мм и рассчитанных по формуле (1);

ж) выводы и заключения, в которых необходимо указать особенности конструкции изучаемого патрона, анализ результатов исследования точности центрирования, объяснение причины, вызывающей колебание точности центрирования заготовки при передаче движения кулачками от различных шестерен, а также отразить изменение погрешности центрирования при расточке кулачков и дать заключение о степени соответствия расчетной погрешности по формуле полученной по данным замера.

После окончания работы рабочее место привести в порядок и сдать учебному мастеру.

## Вопросы для самоконтроля

1. Как Вы понимаете термин «центрирование»?
2. Какие существуют способы крепления патрона к шпинделю станка?
3. Какова конструкция механизма, перемещающего кулачки?
4. В чем заключаются преимущества и недостатки изучаемого токарного патрона?
5. Перечислить причины, вызывающие погрешность центрирования заготовки в патроне.
6. Составить схему составляющих погрешности центрирования.
7. Какие существуют способы снижения погрешности центрирования?
8. На каких этапах обработки заготовок используются различные способы снижения погрешности центрирования?

#### **1.4. ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРНОГО ИЗНОСА ИНТСРУМЕНТА НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК**

Цель работы - изучить влияние размерного износа режущего инструмента на точность формы и размеров обрабатываемых заготовок.

### 1.4.1. Размерный износ режущего инструмента

Размерным называют износ инструмента, измеряемый по нормали к обрабатываемой поверхности. Применительно к токарной обработке размерный износ - это радиальный износ (рис .1.16).

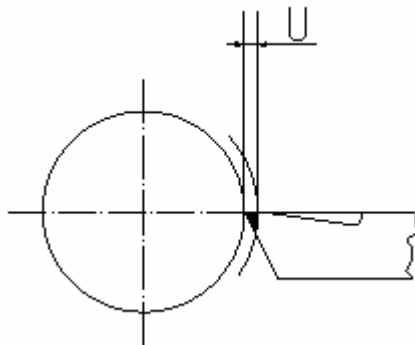


Рис. 1.16. Размерный износ резца при точении

Размерный износ  $U$  измеряется в мкм и исследуется как функция пути резания  $L_{рез}$ .

$$U=f(L_{рез}), \text{ м} \quad (1)$$

Путь резания, например для точения:  $L_{рез} = \frac{\pi * D * l * i}{S * 1000}$ , м (2)

$i$  - число проходов

$D$  и  $l$  - диаметр и длина обрабатываемой поверхности в мм

$s$  - продольная подача мм/об

На [рис.1.17](#) показана зависимость  $U=f(L_{рез})$  для случаев обработки конструкционной стали из твёрдых сплавов Т15К6, Т30К4.

На каждой из кривых можно выделить три характерных участка: А - участок начального износа; Б - участок нормального износа; В - участок ускоренного износа (разрушения). Для многих случаев обработки зависимость износа на главном участке Б носит линейный характер. Это позволяет ввести удобную для расчета характеристику износа - относительный или удельный износ  $U_0$ . Условились, что удельный износ - это за путь резания в 1000 м (1 км).

$$U_0=1000 \cdot U / L_{рез} \quad (3)$$

По экспериментальным данным при обработке конструкционной стали, значение  $U_0$  составляет 5-6 мкм для резцов с пластинками Т30К4.

### 1.4.2. Влияние размерного износа инструмента на точность обработки

Влияние размерного износа проявляется в том, что размер диаметра обрабатываемой заготовки в конце обработки  $D_k$  будет больше, чем в начале  $D_n$  на  $2U_i$ , где  $U_i$  - износ за время обработки цилиндрической поверхности. Возникшая при этом погрешность формы - конусообразность будет равна (рис. 1.18):

$$\omega_{\phi} = D_k - D_n = 2U_i$$

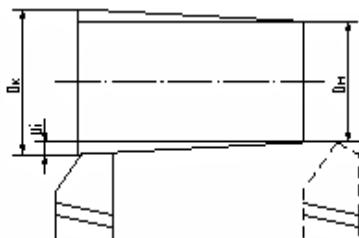


Рис. 1.18. Погрешность формы заготовки (конусность) как следствие размерного износа резца

Влияние износа на точность размера проявляется по-разному в зависимости от способа выдерживания размера. При обработке способом пробных проходов и промеров погрешность размера  $\omega_p$  будет находиться в пределах погрешности формы, т.е.:

$$\omega_p = \omega_{\phi} = 2U_i$$

При обточке малогабаритных деталей износ за время обточки одной заготовки будет незначительным, и поэтому погрешности от износа инструмента будут незначительными и поэтому погрешности от износа инструмента будут близки к нулю.

При обработке партии заготовок любых габаритов по настройке измерения размера вследствие износа будет накапливаться. Если размер 1-й заготовки партии будет  $D_1$ , то

$$\text{размер 2-й заготовки: } D_2 = D_1 + 2U_i$$

$$\text{размер 3-й заготовки: } D_3 = D_1 + 2*2U_i$$

$$\text{размер n-й заготовки: } D_n = D_1 + (n-1)* 2U_i \dots\dots (4)$$

$$\text{разность } D_n - D_1 = (n-1)2U_i \dots\dots (5)$$

И будет составлять погрешность обработки партии  $n$  заготовок от влияния размерного износа инструмента.

Если предположить, что на точность обработки влияет только размерный износ, а остальные погрешности отсутствуют, то зависимость размеров последовательно обработанных заготовок от времени обработки или от порядка обработки носит линейный характер: на точечной диаграмме (рис. 1.19) размеры последовательно обработанных заготовок расположились бы на одной прямой. В действительности в процессе обработки заготовок действуют много других производственных факторов, и возникает много других первичных погрешностей обработки.

Рассмотрим такой пример. Производится замер наружного диаметра валов после обтачивания их на токарном станке с ЧПУ (1). Значения последовательно обработанных валов занесены в табл.1.4.

По этим значениям построена точечная диаграмма (рис. 1.20 а). Она показывает, как в результате влияния многих случайных погрешностей наблюдается разброс (рассеяние) размеров и влияние износа на точность обработки (на измерение размеров) по такой диаграмме проследить трудно.

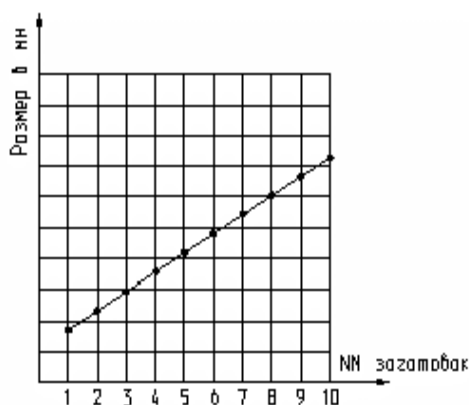


Рис. 1.19. Точностная диаграмма размеров заготовок построенная на предположении отсутствия всех прочих факторов, кроме износа

Выявление влияния размерного износа инструмента и других закономерно-изменяющихся факторов можно осуществить, построив диаграмму групповых средних, которая показана на рис. 1.20 б.

Линия 1 соединяет точки, соответствующие средним значениям групп размеров  $x_i$ , также приведенных в табл. 1.4.

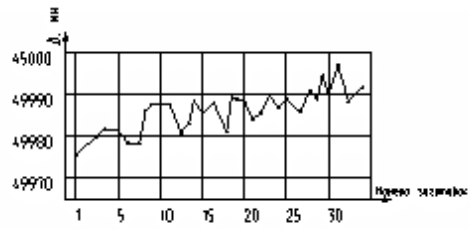
Очевидно, значение

$$x_8 - \bar{x} = 49,996 - 49,979 = 0,017 \text{ мм} = \omega_{3,4}$$

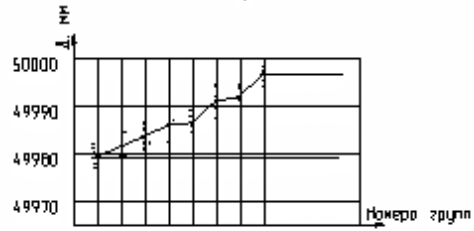
и будет характеризовать силу (степень) влияния закономерно-изменяющихся факторов (в данном случае - размерного износа инструмента) на точность обработки партии заготовок.

Для полноты картины на рис. 1.20 б кроме точек, соответствующих (групповые средние), нанесены точками значения размеров каждой детали группы. В результате стало более наглядным влияние случайных факторов (по степени разброса, называемым часто мгновенным рассеянием).





а)



б)

Рис. 1.20. Точностные диаграммы  
 а) точечная точностная диаграмма;  
 б) точностная диаграмма групповых средних

### 1.4.3. Содержание работы

С целью сокращения затрат времени и материалов (образцов), исследование будет выполняться по сокращенной и упрощенной схеме. Например, для получения зависимости  $U = f(L_{рез})$  следовало бы в каждом опыте обточить несколько заготовок до полного использования возможностей работы инструмента на участках А и Б по кривым на рис.1.17, при этом периодически (после каждой заготовки или после прохождения  $L_{рез} = 1-2$  тыс. м) измерить износ резца. Для получения достоверных данных опыт следует повторить с другими экземплярами инструмента такой же марки. В данной работе, как отмечалось выше, принята упрощенная схема исследования.

Необходимо произвести обтачивание заготовки с размерами обрабатываемой поверхности  $D = 100-150$  мм и  $l = 300-500$  мм так, чтобы путь резания был бы больше 1000м. Величину износа можно определить либо как разность размера резца  $l_p$  до и после обработки, либо величине конусообразности обточенной заготовки:

$U = (D_k - D_i)/2$ , где  $D_k$  и  $D_i$  то же, что на рис. 1.18. Зная величину износа и вычислив путь резания по формуле (1) определим удельный износ  $U_o$  по уравнению (2).

Далее при проведении эксперимента по полной схеме следовало бы обточить партию заготовок (например, колец или валиков). Разумеется, инструмент (резцы), материал заготовок, режим обработки и т.д. должны быть такими же, как и при обтачивании заготовок с целью определения износа инструмента. При принятой в работе сокращенной схеме следует измерить размеры ранее обточенных образцов (колец). Номера на торцах колец обозначают последовательность их получения - в таком порядке у них следует измерять диаметр наружной цилиндрической поверхности и результаты измерений занести в таблицу, подобную [табл.1.4](#).

#### 1.4.4. Обработка результатов опытов и составление отчета

1. Внести в отчёт условия и результаты опыта по определению размерного износа инструмента:  $d$  и  $l$  обточенной поверхности образца, режим обтачивания, материал резца, материал и механические свойства заготовки (болванки). Замерить износ инструмента на приборе по рис. 1.18 или путём измерения  $D_k$  и  $D_{и}$  обточенной заготовки. Вычислить удельный износ  $U_o$  и сравнить со справочными или литературными данными для подобных условий обработки.

2. По приведенным выше уравнениям и применительно к заданным размерам и количеству колец, условиям их обработки, вычислить ожидаемый износ инструмента, а затем определить ожидаемую погрешность обработки партии заготовок за счёт размерного износа инструмента.

3. Составить бланк по форме [табл.1.4](#), занести туда результаты измерений 20 образцов (колец). Разбить заготовки на группы по 4-5 заготовок и вычислить средний размер каждой группы.

4. Построить точечную диаграмму (по образцу диаграммы на рис. 1.20 а) и диаграмму групповых средних (по примеру диаграммы рис. 1.20 б).

5. Определить погрешность от размерного износа инструмента, как это показано на рис. 1.20 б. Сравнить полученное значение с рассчитанным в п. 2.

6. Предъявить отчёт руководителю занятия.

### Вопросы для самоконтроля

1. Почему относительный износ вычисляется как функция времени резания, а размерный износ – как функция пути резания?
2. Что является основанием для введения понятия «удельный или относительный» размерный износ? Для чего введена эта характеристика износа?
3. Как проявляется влияние размерного износа на точность обработки при работе по способу пробных проходов и промеров и по способу настройки?
4. Какие выводы можно сделать на основе анализа точечной диаграммы групповых средних?

## Литература

1. Гжиров Г. И., Серебеницкий П. П. Программирование и обработка на станках с ЧПУ: Справочник. Л.: Машиностроение, 1990. – 590с.
2. Иващенко И. А. Проектирование технологических процессов производства ДЛА.- М.: Машиностроение, 1981. – 224 с.

**2. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ.  
ОБРАБОТКА СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

## **2.1. ИССЛЕДОВАНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТРУЙНОЙ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ (ГАО)**

Цель работы – изучение технологических возможностей метода струйной гидроабразивной обработки (ГАО) и экспериментальные исследования влияния технологических параметров на производительность и равномерность съёма металла.

### **Содержание работы**

1. Изучение основных закономерностей процесса струйной ГАО, конструкции применяемого оборудования и технологической оснастки.
2. Исследование влияния давления воздуха на входе в активное сопло струйного аппарата на производительность обработки.
3. Исследование равномерности съёма металла с поверхности заготовки типа "вал".

### 2.1.1. Общие сведения о методе струйной гидроабразивной обработки

Струйная гидроабразивная обработка представляет собой процесс ударного воздействия на поверхность высокоскоростной гидроабразивной струи, состоящей из жидкости и абразива (суспензии). В результате такой обработки образуются матовые поверхности без направленных рисок, характерных для обычных методов механической обработки.

Удар гидроабразивной струи о поверхность является комплексным процессом, который сопровождается сложными явлениями, происходящими в зоне контакта абразивных частиц с поверхностью. В общем случае удар одиночной частицы о поверхность приводит к образованию кратера, при этом вытесненный из кратера материал течёт в направлении падения частицы с образованием наплывов в виде валика. При ударах под углом, близким к 90 градусам, валик располагается по бокам кратера и по направлению движения частиц. Кроме того, за счёт вращения частицы, может происходить процесс микрорезания, который производится только вершинами абразивных зерен. При струйной ГАО имеет место многократное ударное воздействия абразивных частиц на поверхность. Удаление материала происходит, главным образом, за счёт последовательных ударов в материал валика.

Характер деформации, а значит и результаты обработки, зависят от глубины внедрения абразивных частиц в поверхность, которая, прежде всего, определяется скоростью, массой, углом соударения (углом атаки) и физико-механическими характеристиками обрабатываемого материала и абразивных частиц.

Для осуществления процесса струйной ГАО используются специальные установки ([рис.2.1](#)), которые могут быть классифицированы следующим образом:

- по способу разгона гидроабразивной суспензии;
- по способу её подачи к разгонному устройству.

Разгон суспензии может осуществляться: в струйных аппаратах ([рис.2.1](#) а, б, в, д); в специальных насадках ([рис.2.1](#) г) или многолопастным ротором ([рис.2.1](#) е).

**По способу подачи суспензии** установки для струйной ГАО делятся следующим образом:  
- с подачей суспензии за счёт эжекции сжатым воздухом ([рис.2.1](#) а); для поддержания абразивных частиц в жидкости во взвешенном состоянии резервуар 1 оборудован пропеллерной мешалкой 2, которая вращается электродвигателем 3.

Суспензия по шлангу 4 подается к струйному аппарату 5 за счёт эжекции её сжатым воздухом и направляется на обрабатываемую заготовку 6. Суспензия стекает в нижнюю часть камеры 7 и самотеком возвращается в резервуар 1.

- с подачей суспензии к струйному аппарату самотеком ([рис.2.1](#) б); насосом 1 суспензия подается по трубе 2 в бак 4, расположенный в верхней части рабочей камеры установки. Из бака 4 суспензия стекает к струйному аппарату 3 и выбрасывается на обрабатываемую заготовку 7 сжатым воздухом. Более 50% суспензии, подаваемой насосом в бак 4, сливается по трубе 5 в нижнюю часть камеры, чем обеспечивается интенсивное перемешивание абразивных частиц в жидкости. Суспензия, прошедшая через струйный аппарат сквозь перфорированный стол 6, также возвращается в нижнюю часть камеры.

- с подачей суспензии за счёт давления сжатого воздуха ([рис.2.1](#) в, г); в установке ([рис.2.1](#) в) суспензия находится в герметически закрытом баке 1, давление в котором поддерживается автоматически в пределах 0,12...0,2 МПа. Сжатый воздух в бак проводится по трубе 10. Под действием этого давления суспензия по трубе 8 поступает к струйному аппарату 7, в котором разгоняется сжатым воздухом с давлением 0,4...0,6 МПа, и направляется на обрабатываемую заготовку 6. Отработавшая суспензия через перфорированный стол 5 попадает в нижнюю часть камеры 4. Жидкость и абразивные частицы перемешиваются в баке 1 мешалкой 2, приводимой во вращение электродвигателем



9. Недостатком таких установок является прерывистость процесса вследствие необходимости перезарядки (перепуск суспензии из рабочей камеры 4 в бак 1 через вентиль 3).

В установке (рис.2.1 г) суспензия в баке 1 находится под давлением сжатого воздуха, который поступает по трубе 9. Суспензия перемешивается пропеллерной мешалкой 2, приводимой во вращение электродвигателем 4, и подается по шлангу 3 через сопло (насадок) 8 на обрабатываемую заготовку 7 без эжекции. Отработавшая суспензия стекает в нижнюю часть камеры 6 и потом при перерыве в работе установки через вентиль 5 перепускается в бак 1. Если в конструкции установки предусмотрено два бака, то они работают поочередно и перерыва для их перезарядки не требуется. Эти установки обеспечивают весьма низкую производительность обработки.

- с принудительной подачей суспензии насосом (рис.2.1 д, е); в установке (рис.2.1 д) суспензия подается из бака 1 насосом 7 по трубопроводу 6 к струйному аппарату 5. В струйном аппарате суспензия ускоряется сжатым воздухом и выбрасывается на обрабатываемую поверхность заготовки 4. Отработавшая суспензия стекает из камеры в бак, где абразивные частицы поддерживаются во взвешенном состоянии мешалкой 2, приводимой во вращение электродвигателем 3. Процесс протекает эффективнее, если насос подает суспензию под давлением, равным или почти равным давлению эжектирующего воздуха (0,4...0,6 МПа).

В установке (рис.2.1 е) суспензия подается из бака насосом 1 по трубопроводу 2 к вращающемуся с большой скоростью многолопастному ротору 3 и направляется на заготовку 4.

Наиболее эффективным являются установки с принудительной подачей суспензии насосом и последующим разгоном её в специальном струйном аппарате (рис. 2.2).

Основными технологическими параметрами, от которых зависят результаты процесса струйной ГАО, являются: размеры абразивных частиц (зернистость абразива) ( $N$ , мкм); концентрация абразива в суспензии

( $K$ , %); давление воздуха на входе в активное сопло ( $P_v$ , МПа); расстояние от среза сопла до обрабатываемой поверхности

( $L$ , мм); угол атаки

( $\alpha$ , град); форма смесительного и активного сопел (круглая, щелевая) и их размеры (для круглых - диаметры смесительного  $d_c$  и активного  $d_a$  сопел; для щелевых - высота  $h$  и ширина  $l$ ); отношение площадей смесительного и активного сопел ( $S_c / S_a$ ); время обработки ( $T$ , мин.).

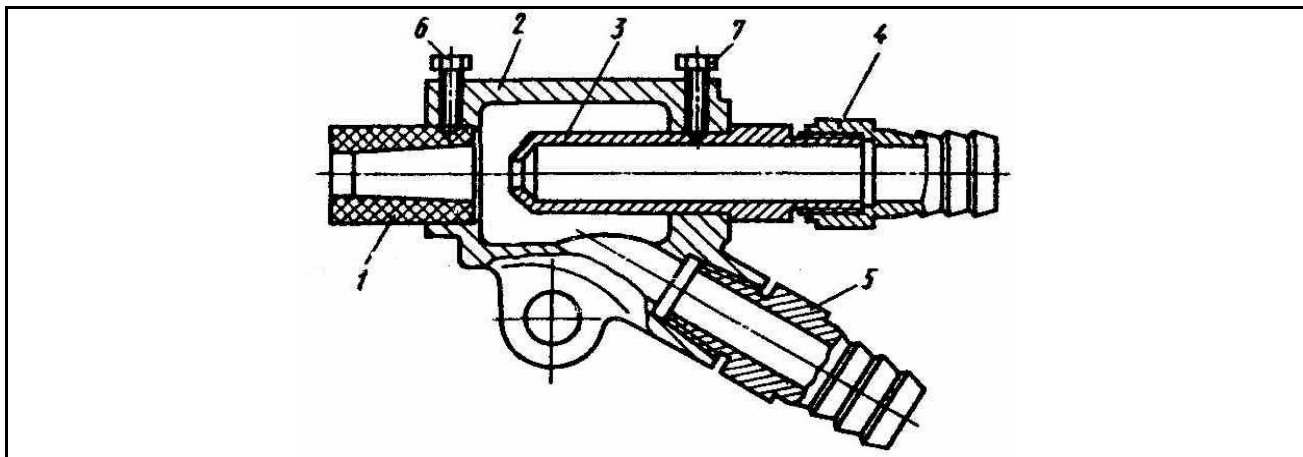


Рис. 2.2. Конструкция струйного аппарата

1-смесительное сопло; 2- корпус; 3-активное сопло; 4, 5- штуцер; 6, 7 -болт

Каждый из этих параметров может изменяться в широких пределах и позволяет осуществлять контроль его значений.

Для оценки эффективности струйной ГАО служат следующие показатели: производительность обработки, состояние поверхностного слоя (шероховатость, остаточные напряжения, наклёп) и равномерность удаления металла с обрабатываемой поверхности.

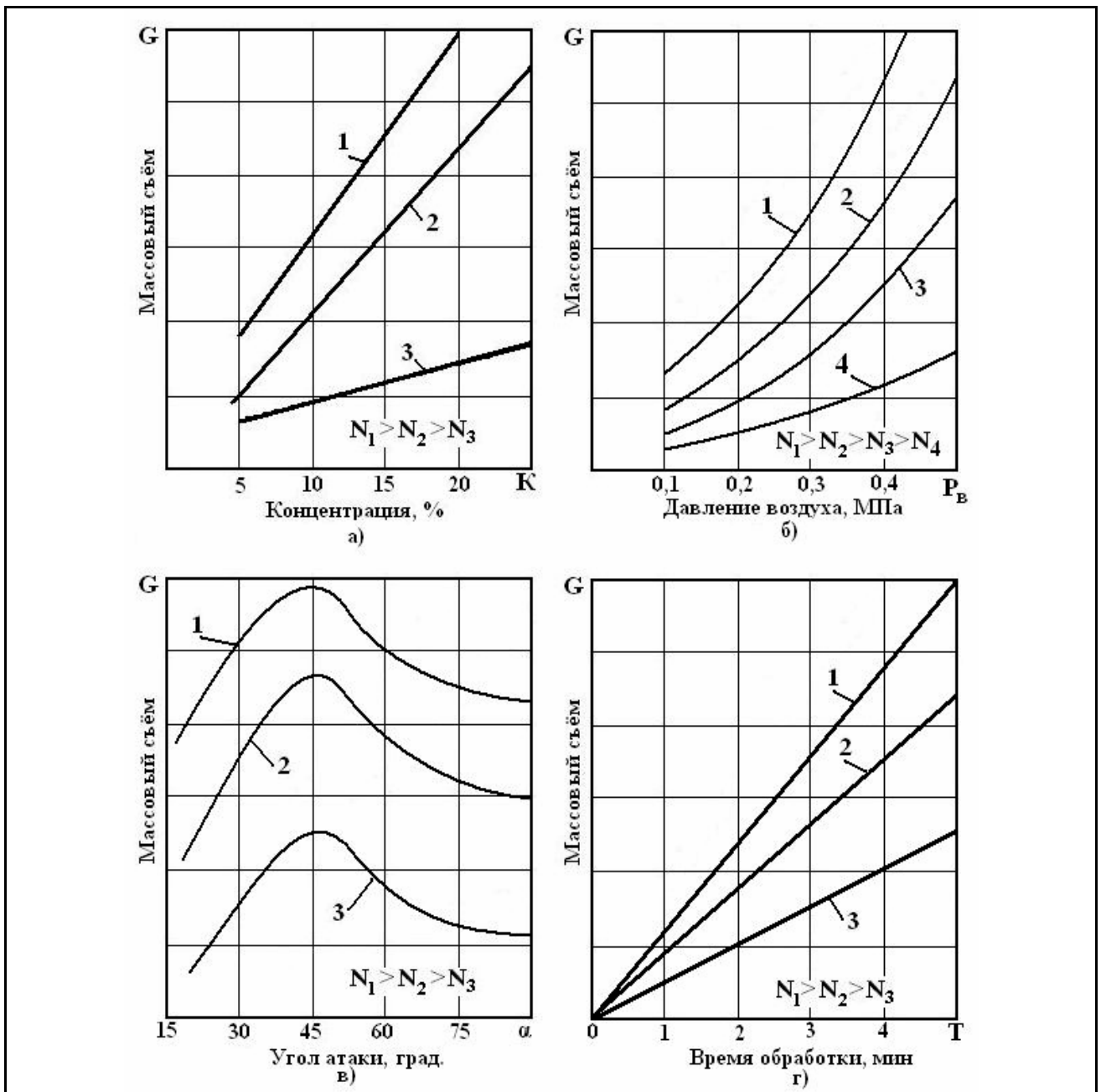


Рис. 2.3. Зависимости массового съёма от параметров обработки

**Производительность** струйной ГАО определяется временем, необходимым для удаления припуска заданной величины с поверхности заготовки, или временем, в течение которого достигается требуемая шероховатость. Для количественной оценки производительности служит величина массового съёма металла в единицу времени (**G**).

На рисунке 2.3 приведены общие зависимости массового съёма от технологических параметров обработки. Съём металла увеличивается с увеличением  $K$ ,  $N$ ,  $P_v$ ,  $T$ . Максимум съёма наблюдается при углах атаки  $\alpha$  близких к  $45^\circ$ . С увеличением расстояния  $L$  до обрабатываемой поверхности от 50 до 130 мм массовый съём металла уменьшается. На расстояниях менее 50 мм массовый съём также уменьшается, хотя скорость гидроабразивной струи возрастает. Снижение производительности происходит из-за того, что площадь, охватываемая гидроабразивной струёй, мала и вследствие эффекта "экранирования" не все частицы контактируют с обрабатываемой поверхностью.

**Микрорельеф поверхности** после струйной ГАО представляет собой совокупность следов, оставляемых на поверхности частицами абразива. Результаты исследований показывают, что шероховатость поверхности, прежде всего, определяется зернистостью абразива и зависит от давления воздуха на входе в активное сопло, угла атаки, исходной шероховатости и времени обработки (рис. 2.4).

Шероховатость поверхности увеличивается с увеличением  $N$  и  $P_v$  (рис. 2.4 а, б). С увеличением угла  $\alpha$  от  $15^\circ$  до  $45^\circ$  шероховатость поверхности возрастает, а дальнейшее увеличение  $\alpha$  практически не приводит к изменению шероховатости (рис. 2.4 в).

При выборе зернистости абразива необходимо учитывать исходную шероховатость обрабатываемой поверхности (рис. 2.4 г). Грубые поверхности следует обрабатывать последовательно, применяя абразивы различной зернистости.

Снижение шероховатости в больших диапазонах за один переход не всегда целесообразно из-за увеличения времени обработки и возможности искажения геометрической формы заготовки. Необходимо также учитывать, что для каждой зернистости существует максимально достижимая (при данных условиях обработки) шероховатость поверхности ([табл.2.1](#)). Кроме того, одна и та же шероховатость может быть получена при различных сочетаниях технологических параметров

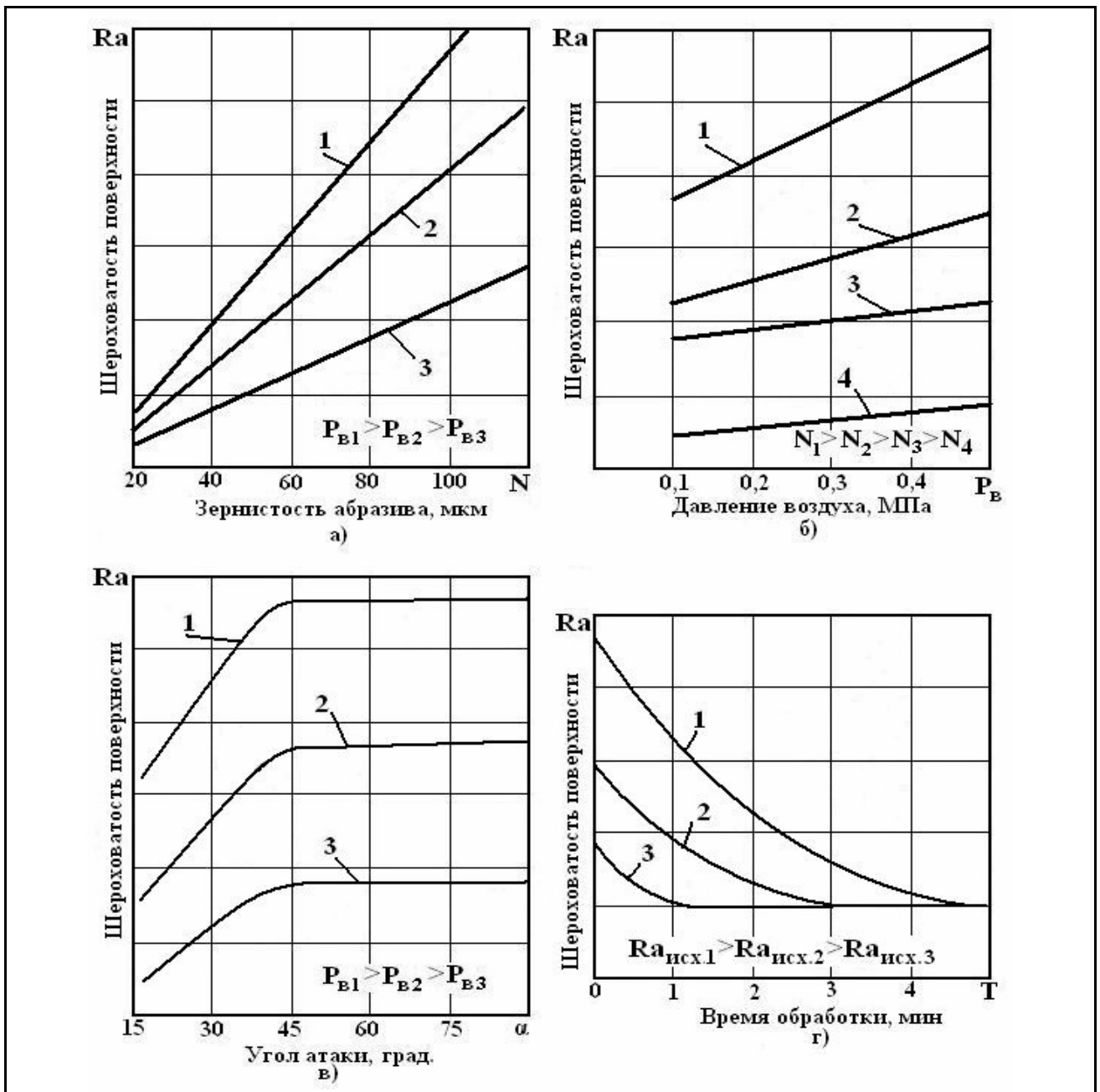


Рис. 2.4. Зависимости шероховатости поверхности

При струйной ГАО в поверхностном слое формируются **остаточные напряжения сжатия**. Величина и глубина залегания остаточных напряжений увеличивается с увеличением  $K, N, P_v$  ([рис.2.5](#)).

Основным недостатком струйной ГАО является неравномерный съём металла при обработке неподвижным одиночным струйным аппаратом. На поверхности образуется лунка (рис. 2.6 а, б) форма и размеры которой зависят от параметров обработки.

Для получения равномерного съёма металла (удаление припуска заданной величины со всей обрабатываемой поверхности), предусматривают движение струйного аппарата и обрабатываемой поверхности друг относительно друга по заданному закону, а также разрабатывают схемы расположения струйных аппаратов, которые обеспечивали бы перекрытие зон обработки отдельных аппаратов (рис. 2.6 в). Равномерность съёма может

быть улучшена за счёт выбора формы сопел, например, щелевые сопла обеспечивают более равномерный съём металла с поверхности.

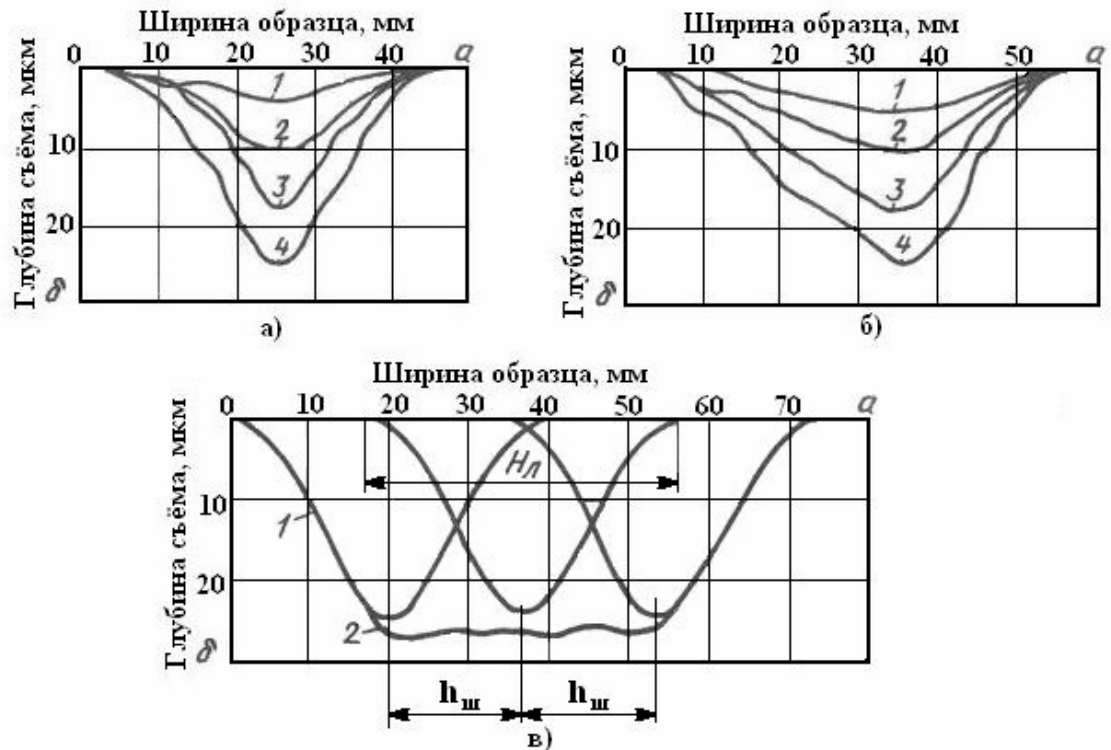


Рис. 2.6. Профили лунок после обработки одиночным струйным аппаратом  
а) перемещение в направлении движения струи; б) перемещение в направлении перпендикулярном движению струи; в) суммарный профиль лунки

## 2.1.2. Исследование зависимости производительности от давления воздуха на входе в активное сопло

Удаление металла при ГАО сопровождается сложными явлениями, происходящими в зоне контакта абразивных частиц с обрабатываемой поверхностью, поэтому теоретический расчёт производительности обработки и показателей состояния поверхностного слоя также достаточно сложен. Для инженерных расчётов, выполняемых при разработке технологических операций, часто используют эмпирические зависимости, которые получают при математической обработке экспериментальных данных.

Подбор эмпирических зависимостей осуществляется следующим образом. Проводится обработка специальных образцов на заданных режимах. Определяется массовый съём металла с каждого образца. По графику, построенному по экспериментальным точкам, подбирают вид формулы, а затем с помощью метода наименьших квадратов, либо метода средних, определяют входящие в неё неизвестные коэффициенты. Так как число параметров, оказывающих влияние на производительность и качество поверхностного слоя достаточно велико, для получения эмпирических зависимостей часто используют методы теории планирования эксперимента.

В производственных условиях регулирование интенсивности съёма металла, в большинстве случаев, осуществляют за счёт изменения **давления воздуха на входе в активное сопло**. Зависимость массового съёма от давления воздуха (см. рис. 2.3 а) может быть описана степенной функцией вида:

$$G = cP_{\text{в}}^n, \quad (1)$$

где  $c$  и  $n$  - коэффициенты.

Преобразуя это уравнение к виду  $\lg G = \lg c + n \lg P_{\text{в}}$ , определяем коэффициенты  $c$  и  $n$ , решая систему уравнений, полученную методом наименьших квадратов:

$$\begin{cases} k \lg c + n \sum_{i=1}^k \lg P_{\text{в}i} = \sum_{i=1}^k \lg G_i \\ \lg c \sum_{i=1}^k \lg P_{\text{в}i} + n \sum_{i=1}^k (\lg P_{\text{в}i})^2 = \sum_{i=1}^k \lg P_{\text{в}i} \lg G_i \end{cases} \quad (2)$$

где  $k$  - общее число опытов.

Аналогичным образом могут быть подобраны формулы для определения массового съёма и шероховатости поверхности при изменении других параметров обработки.

### 2.1.3. Исследование равномерности съема металла с обрабатываемой поверхности

Равномерность съема металла оценивается по следующей формуле:

$$\varepsilon_p = \frac{\delta_{\max} - \delta_{\min}}{\delta_{\max}} 100\%$$

где  $\varepsilon_p$  - степень неравномерности съема металла;

$\delta_{\max}$ ,  $\delta_{\min}$  - максимальная и минимальная глубина лунки.

При обработке неподвижным струйным аппаратом с круглым смесительным соплом гидроабразивная струя оставляет на поверхности след, который имеет форму эллипса (рис. 2.7).

Полуоси эллипса могут быть определены по формулам:

$$a = \frac{r_{ct} L^2 \sin \alpha}{L^2 \sin^2 \alpha - \cos^2 \alpha (r_{ct} - r_c)^2}, \quad b = \frac{r_{ct} L \sin \alpha}{\sqrt{L^2 \sin^2 \alpha - \cos^2 \alpha (r_{ct} - r_c)^2}} \quad (3)$$

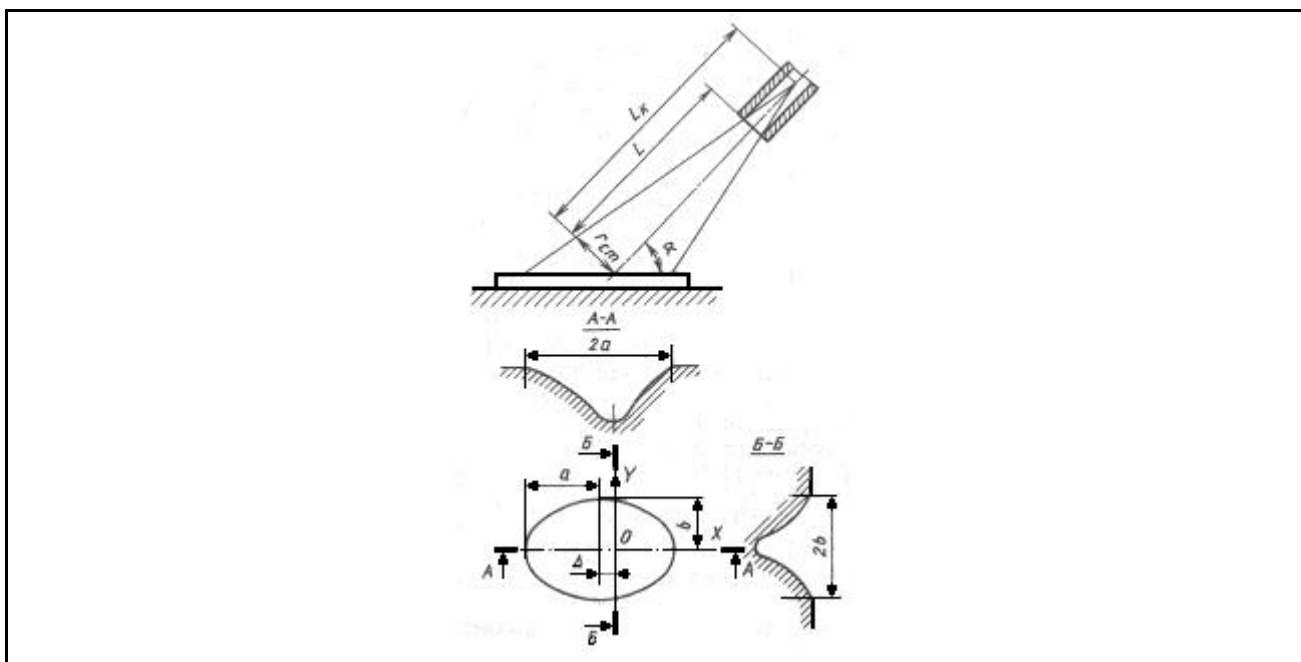


Рис. 2.7. Схема взаимодействия гидроабразивной струи с поверхностью

где  $r_c$  - радиус смесительного сопла;

$r_{ct} = r_c + L \operatorname{tg} \beta/2$  - радиус струи на расстоянии  $L$  от смесительного сопла;

$\beta$  - угол распыла струи из струйного аппарата ( $\beta=8^\circ \dots 12^\circ$ ).

Максимальная глубина лунки не совпадает с центром эллипса, а находится в точке пересечения оси струи с поверхностью. На рис. 2.7 показаны профили лунки в сечении А-А и сечении Б-Б. Поэтому при движении струйного аппарата в направлении оси  $Y$  на поверхности образуется обработанная полоса с шириной равной  $2a$ . При движении в



направлении оси X ширина полосы равна  $2b$ .

Расстояние от точки O до центра эллипса определяется по формуле:

$$\Delta = \frac{r_{ст} (r_{ст} - r_c) L \sin \alpha}{L^2 \sin^2 \alpha - \cos^2 \alpha (r_{ст} - r_c)^2}$$

(4)

Профили лунок могут быть с достаточной степенью точности описаны следующими уравнениями:

- движение по оси X

- движение по оси Y

При ГАО одиночным струйным аппаратом для получения равномерного съема металла с поверхности необходимо при каждом проходе смещать аппарат на величину шага  $h_{ш}$  (см. рис. 2.6 б). При движении струйного аппарата в направлении оси X величина шага должна быть равна  $h_{ш} = 0,88b$  ( $\epsilon_p = 2,7\%$ ), а при движении в направлении оси Y -  $h_{ш} = a - \Delta$  ( $\epsilon_p = 9\%$ ).

#### 2.1.4. Выбор параметров и схемы обработки заготовки «валик»

Выбор схемы обработки деталей в каждом конкретном случае определяется постановкой задачи. Рассмотрим выбор условий обработки при струйной ГАО заготовки "валик". Цель обработки - удаление поверхностного слоя (припуска) на глубину  $\delta$ .

Из условия обеспечения заданной шероховатости поверхности при максимальной производительности, выбираются параметры обработки  $K$ ,  $N$ ,  $P_B$ ,  $L$ ,  $\alpha$ ,  $d_c$ ,  $d_a$ . По имеющимся зависимостям массового съёма от параметров обработки определяется производительность струйного аппарата  $G_{ca}$ . Масса металла, которую необходимо удалить с поверхности валика и время обработки, определяются по формулам:

$$G = \pi D \delta H \rho; \quad T = k_H G / G_{ca}, \quad (5)$$

где  $D$  - диаметр валика;

$H$  - высота обрабатываемой поверхности;

$\rho$  - плотность обрабатываемого материала;

$k_H$  - коэффициент, учитывающий непопадание части гидроабразивной струи на обрабатываемую поверхность ( $k_H = 0,7 \dots 0,9$ ).

Для валика может быть предложено несколько схем обработки. Наилучшие результаты даёт схема, показанная на рисунке 2.8, при которой валик вращается, а струйный аппарат перемещается вдоль образующей с шагом смещения за один оборот  $h_{ш}$ .

Число оборотов валика и скорость перемещения струйного аппарата вдоль образующей за время  $T$  определяются по формулам:

$$n_{об} = H / h_{ш}; \quad C_{ca} = H / T. \quad (6)$$

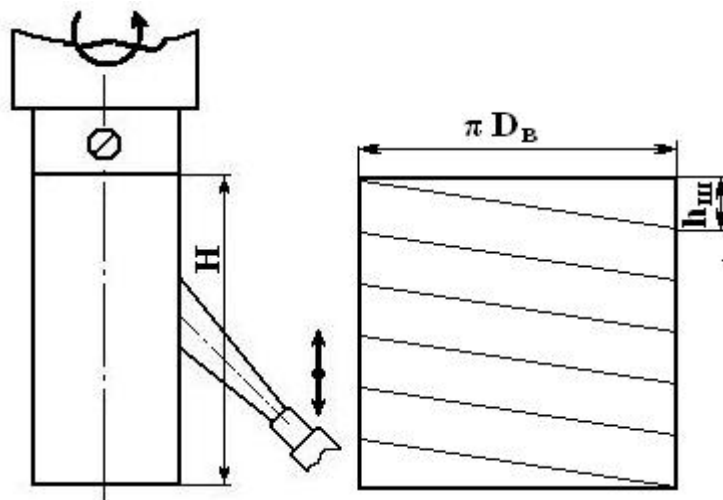


Рис. 2.8. Схема обработки валика

### 2.1.5. Описание конструкции лабораторной установки

Принципиальная схема установки приведена на рисунке 2.9. Установка работает следующим образом. Сжатый воздух через регулировочный вентиль 10 и кран 9 подаётся в активное сопло струйного аппарата 3, установленного в камере 1 (в установке используется струйный аппарат, конструкция которого приведена на рис. 2.9;

$d_c=9$  мм,  $d_a=6$  мм). Для контроля давления воздуха служит манометр 12. Из бака 2 насосом 6 к струйному аппарату подается суспензия. Часть суспензии через вентиль 11 возвращается в бак для осуществления её перемешивания. Струйный аппарат может совершать возвратно-поступательные движения с помощью механизма 5, а обрабатываемая заготовка 13 приводится во вращение редуктором 4. Кран 8 и бак 7 служат для слива суспензии.

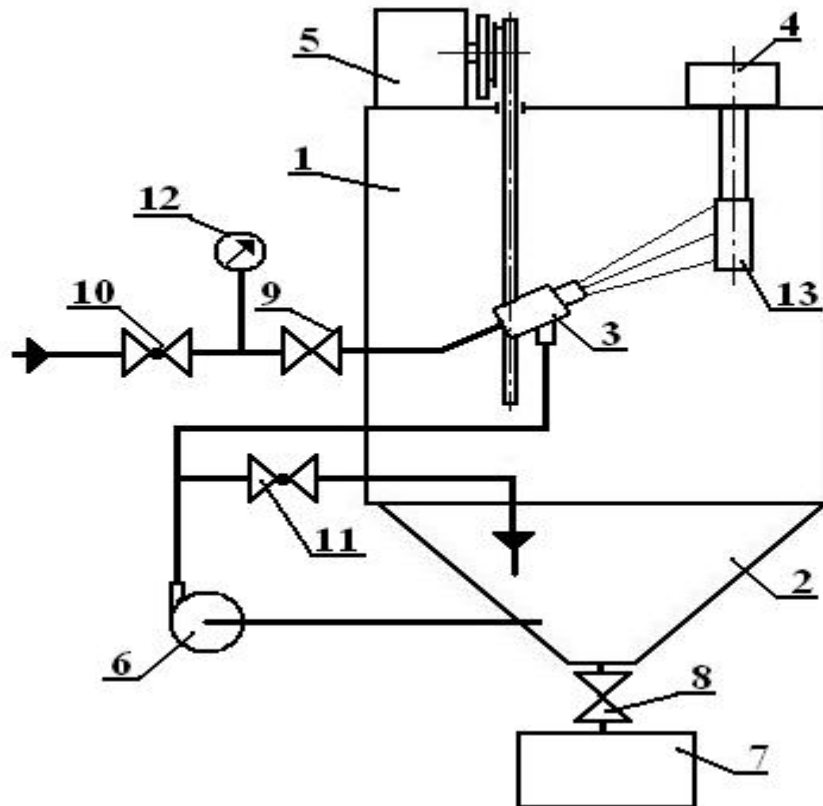


Рис. 2.9. Схема лабораторной установки

### 2.1.6. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить конструкцию установки для ГАО (рис. 2.9).
2. Замаркировать и взвесить образцы до обработки.
3. Подготовить установку к работе, установив заданные преподавателем значения технологических параметров (рекомендуемые значения: абразив - электрокорунд зернистости 10,  $K=20\%$ ,  $L=100$  мм,  $\alpha=45^\circ$ ).
4. Обработать образцы при давлениях воздуха  $P_B = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4$  МПа. Время обработки  $T=2$  мин.
5. Взвесить образцы после обработки и определить величину массового съёма металла. По формулам 1, 2 определить коэффициенты  $c$  и  $n$  и построить график зависимости  $G=f(P_B)$ .
6. По заданным значениям  $\delta$  и  $P_B$  по формулам 3...6 определить величины  $a$ ,  $b$ ,  $\Delta$ ,  $h_{ш}$ ,  $T$ ,  $n_{об}$ ,  $C_{са}$ .
7. Установить валик в центра и измерить биение поверхности валика до обработки в четырёх сечениях по схеме, показанной на рисунке 10. Положение валика относительно базовых поверхностей центров отметить рискуй.
8. Подготовить установку к работе и провести обработку валика.

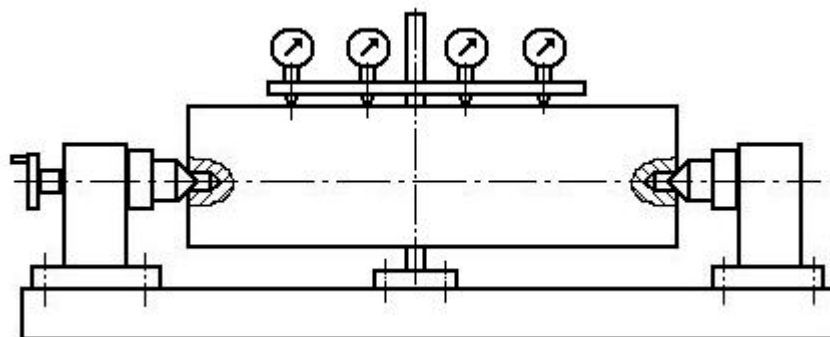


Рис. 2.10. Схема измерения линейного съёма металла с поверхности валика

9. Установить валик в центра по риску и измерить биение поверхности валика после обработки (рис. 2.10). Определить линейный съём металла с поверхности валика.
10. Определить степень неравномерности съёма металла.
11. Сделать выводы. Оформить отчёт по выполненной работе.

## Вопросы для самоконтроля

1. Что представляет собой процесс струйной гидроабразивной обработки?
2. Какие явления происходят при ударе одиночной абразивной частицы о поверхность?
3. Классификация установок для осуществления процесса струйной ГАО?
4. Какие установки являются наиболее эффективными?
5. Для чего нужен струйный аппарат?
6. Назовите основные технологические параметры, от которых зависят результаты процесса струйной ГАО?
7. Как оценивается производительность струйной ГАО?
8. Как оценивается равномерность съёма металла при струйной ГАО?
9. Каким образом можно обеспечить равномерное удаление материала с поверхности заготовки при струйной ГАО?

## **Литература**

Шманёв В.А. и др. Струйная гидроабразивная обработка деталей ГТД - М.:  
Машиностроение, 1995. - 144с.:ил.

## **2.2. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ**

Цель работы – практическое ознакомление с лазерной технологической установкой с излучателем на твердом теле и изучение технологических возможностей лазера при получении микроотверстий.

### **2.2.1. Общие сведения**

Получение микроотверстий – одна из трудоемких операций в изготовлении деталей авиадвигателей. Для получения микроотверстий используются лазеры импульсного действия с излучателем на твердом теле.

С помощью лазера можно получать отверстия в твердых и жаропрочных материалах. Минимальные диаметры отверстий составляют десятки микрон и изготовить их другими методами практически невозможно.

Достоинством метода является также получение глубоких микроотверстий под углом к поверхности с отношением глубины к диаметру до 100.



## 2.2.2. Работа и устройство лазерной технологической установки с излучателем на твердом теле

Лазерная установка "КВАНТ-15", используемая в работе, представляет собой комплекс оптико-механических и электрических устройств, основным звеном которого является оптический квантовый генератор-лазер с активным элементом из кристалла алюмината иттрия, легированного нердимом.

Принцип действия лазера основан на явлении индуцированного излучения световой энергии кристалла активного элемента под действием облучения импульсной лампой.

Для увеличения мощности индуцированного излучения используется эффект многократного прохождения излучения через кристалл активного элемента вследствие отражения от зеркальных поверхностей оптического резонатора. Для создания необходимой плотности энергии световой луч фокусируется на поверхности обрабатываемого изделия системой линз. Импульсная лампа и кристалл охлаждаются водой. Структурная схема установки приведена на рис. 2.11.

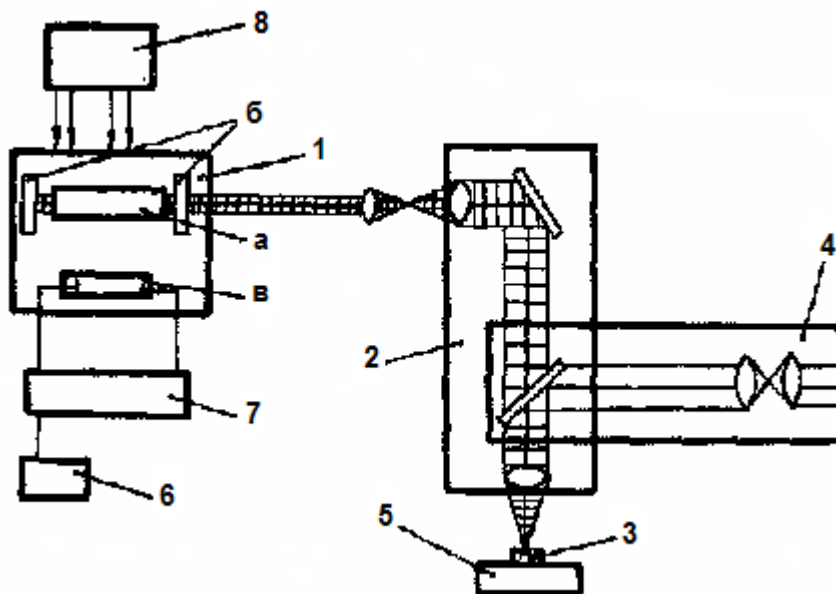


Рис. 2.11. Структурная схема установки: 1 - излучатель (а - кристалл алюмоиттрия; б - зеркало оптического резонатора; в - импульсная лампа); 2 - оптическая система канала фокусировки излучения; 3 - образец; 4 - оптическая система канала визуального наблюдения; 5 - стол; 6 - система управления работой установки; 7 - система питания лампы вспышки; 8 - блок охлаждения.

### 2.2.3. Закономерности образования отверстий

Основными процессами, приводящими к образованию отверстия в материале под действием мощного импульса излучения, являются испарение и плавление вещества. При этом лунка растет в глубину в основном за счет испарения, а по диаметру за счет плавления стенок и вытеснения жидкости избыточным давлением паров.

К моменту окончания импульса образуется отверстие диаметром

$$d = \sqrt[3]{\frac{3}{4} \cdot \frac{W(1-R)}{L}}, \quad (1)$$

где  $L$  - теплота испарения материала, Вт/мм<sup>3</sup>;

$W$  - энергия излучения, Вт;

$R$  - коэффициент отражения материала.

Если диаметр отверстия  $d$  значительно превышает размер светового пятна, то формула (1) упрощается:

$$d \approx \sqrt[3]{W \cdot (1-R)}, \quad (2)$$

т. е. диаметр лунки в основном от энергии излучения.

#### 2.2.4. Содержание работы

1. Ознакомление с принципом работы лазера на кристалле алюмоиттрия, устройством лазерной технологической установки и требованиями техники безопасности при работе на ней.
2. Изучение характера изменения размеров отверстия в зависимости от энергии излучения.
3. Практическая работа на лазерной технологической установке. Получение зависимостей размеров отверстия от энергии излучения и характеристик обрабатываемого материала.
4. Измерение диаметров отверстий.
5. Сравнение расчетных и экспериментальных данных.
6. Оборудование и материалы: лазерная технологическая установка "КВАНТ-15"; образцы стальной и латунной фольги толщиной 0,3...0,4 мм; измерительный микроскоп.

## 2.2.5. Порядок выполнения работы

1. Установить образец (стальная фольга) на рабочий стол, определить положение фокальной плоскости объектива и провести лазерную обработку при различных значениях энергии излучения.

Для этого необходимо:

а) установить образец в фокус оптической системы установки и закрепить его на приспособлении. Вращением винта вертикального перемещения стола добиться изображения поверхности в окуляре;

б) открыть воду;

в) включить тумблер общей установки;

г) включить силовой блок;

д) установить величину напряжения "накопителя";

е) по достижении заданного напряжения на конденсаторах нажатием ножной педали на установке подать импульс излучения;

ж) переместить стол в плоскости обработки вращением винта и получить микроотверстия для каждого из четырех заданных значений энергии:  $W = (3,0; 2,4; 1,8; 1,2)$  Дж.

2. Произвести измерения диаметров отверстий для каждого значения  $W$ .

3. Выполнить операции, изложенные в пп. 1 и 2 для латунной фольги.

4. По результатам измерений построить экспериментальные зависимости для различных материалов  $d_{\text{эксп}} = f(W)$ .

5. Сравнить результаты с теоретической зависимостью по формулам (1) и (2). При расчете  $d_{\text{теор}}$  принять:  $R$  стали = 0,5;  $R$  латуни = 0,8;  
 $L$  стали =  $5,5 \cdot 10^4$  Дж/мм<sup>3</sup>;  $L$  латуни =  $4,4 \cdot 10^4$  Дж/мм<sup>3</sup>;

$$r = \frac{\alpha f}{2}; \quad \text{tg}\gamma = \frac{D}{f},$$

где  $\alpha = 10$  с - угол расхождения пучка;

$f = 100$  мм - фокусное расстояние объектива;

$D = 7$  мм - диаметр пучка излучения.

### 2.2.6. Отчет

1. Начертить структурную оптическую схему лазерной технологической установки.
2. Провести расчет теоретического диаметра отверстия  $d_{\text{теор}}$  по формуле (1).
3. Построить экспериментальную и теоретическую зависимость  $d=f(W)$  для обоих материалов.
4. Выводы.

### **2.2.7. Техника безопасности при работе с лазерной технологической установкой**

При работе с лазерной технологической установкой имеются два источника опасности – высокое напряжение и лазерное излучение. Для безопасной работы необходимо выполнять следующие требования:

1. Запрещается работать на установке, источник питания которой не имеет блокирующих систем и заземления.
2. Запрещается вскрывать установку до полного разряда конденсаторных батарей.
3. Необходимо избегать попадания как прямого, так и отраженного излучения лазера в глаза или на кожу

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Принцип действия лазера.
2. Под действием каких процессов происходит образование отверстий?
3. От какого фактора происходит изменение размеров отверстия?

## **Литература**

1. Вейко В.П., Либенсон М.Н. Лазерная обработка. - Л.: Лениздат, 1973.
2. Лазеры в технологии /Под ред. М.Ф. Стелмаха. - М.: Энергия, 1975.



### 3. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ГТД

### **3.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРИ НАРЕЗАНИИ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ШЕСТЕРЕН НА ЗУБОДОЛБЕЖНЫХ СТАНКАХ**

Цель работы:

- ознакомление с методикой оценки точности геометрических параметров нарезаемой шестерни;
- изучение конструкции зубодолбежного станка, его наладка и особенности настройки станка на размер;
- экспериментальная проверка расчетных данных погрешностей обрабатываемой шестерни;
- контроль биения делительной окружности шестерни относительно установочной базовой поверхности;
- контроль точности выполнения средней длины общей нормали «блочного размера»;
- закрепление теоретических знаний студентов в области технологии производства деталей авиационных двигателей;
- закрепление знаний студентов, полученных в процессе второй производственной практики.

### 3.1.1. Источники погрешностей зубообработки

Погрешности в протекании кинематического процесса зубообработки сочетаются с неточностями изготовления инструмента и его установки, геометрическими неточностями станка и установки заготовки в технологической системе.

Совокупность этих неточностей порождает погрешности формы и размеров обрабатываемых зубчатых колес.

При последующей работе зубчатого колеса в качестве элемента машины эти неточности формы и размеров колес вызывают неравномерность движения, сопровождающуюся возникновением динамических нагрузок и шума при работе передачи; они приводят также к неравномерному распределению нагрузки на боковых поверхностях зубьев.

Отдельные ошибки, возникающие при зубообработке (рис. 3.1) можно свести к четырем видам:

1. Изменение радиального расстояния между инструментом и обрабатываемым зубчатым колесом - радиальные ошибки обкатки.
2. Нарушение обката инструмента и изделия - тангенциальные ошибки обработки.
3. Погрешности перемещения инструмента вдоль оси изделия - осевые ошибки обработки.
4. Отклонение производящей поверхности зубообрабатывающего инструмента - ошибки производящей поверхности.

Радиальные ошибки (1) зубообработки возникают из-за погрешностей базирования заготовки на станке, радиального биения инструмента и периодических колебаний положения шпинделя (качания стола) или инструмента. Для радиальных ошибок обработки характерно, что они остаются постоянными в любом сечении колеса. Радиальные погрешности базирования заготовки на зуборезном станке создают в изделии геометрический эксцентриситет, который проявляется как погрешность угла профиля зуба на делительной окружности шестерни. При зубонарезании возможно появление как чисто радиального биения, так и перекоса оси режущего инструмента относительно геометрической оси вращения оправки. При зубодолблении биение долбяка и его перекоп относительно оси вращения ползуна целиком переносится на изделие и, кроме того, вызывает погрешность в зоне смыкания. Типичный дефект зубодолбленных колес, выражающийся в ступе на одном зубе, является результатом погрешности обработки в зоне смыкания.

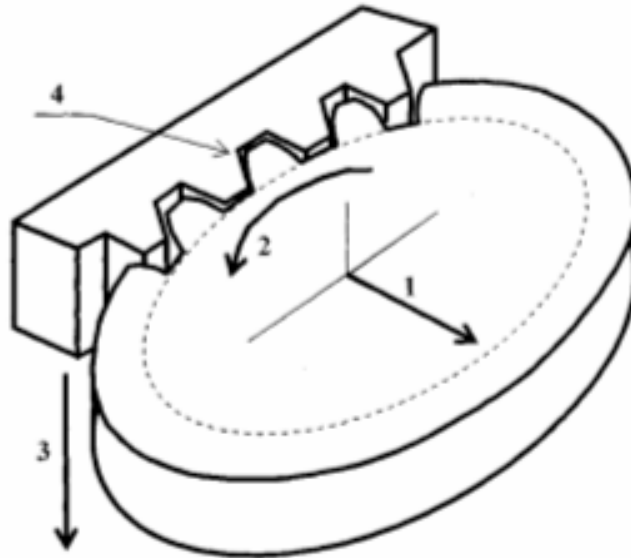


Рис. 3.1. Четыре вида погрешностей при зубообработке

Тангенциальные ошибки (2) возникают в основном из-за нарушения обката инструмента и заготовки. Источником этих погрешностей являются ошибки звеньев кинематической цепи станков. Кинематическая погрешность делительного колеса станка вызывает дополнительный поворот заготовки в процессе формообразования зуба. Погрешность обкатки полностью определяется при тангенциальных измерениях колеса, т. е. при однопрофильном комплексном контроле, при контроле накопленной погрешности окружного шага, а также при проверке колебания длины общей нормали.

Осевые ошибки (3) зубообработки возникают в основном из-за неточностей направляющих станка, перекоса осей заготовки, а в некоторых случаях - кинематической цепи станка. Эти погрешности вызывают нарушение продольного контакта зубьев. Значительное влияние на нарушение продольного контакта зубьев оказывает торцевое биение базового торца заготовки, что создает перекося осей заготовки относительно зубообрабатывающего станка. В этом случае при работе колеса пятно контакта будет перемещаться по поверхности зубьев от одного торца к другому.

Погрешности производящей поверхности (4) инструмента возникают вследствие применения приближенных методов профилирования инструмента или же погрешностей его изготовления и заточки. Помимо этих погрешностей сюда должны быть отнесены также и неточности колеса, связанные с влиянием прерывистости процесса резания из-за подачи и конечности числа режущих граней инструмента. Всякое отступление формы производящей поверхности инструмента от точной поверхности создает на заготовке погрешность профиля зуба.

В работе исследуются точность расположения делительной окружности и погрешности окружного шага проверкой колебания длины общей нормали (групповой размер).

Нарезание зубчатых колес производится по способу обкатки при помощи инструмента-долбяка ([рис.3.2](#)) Долбяк во время работы получает возвратно-поступательное движение параллельно оси заготовки (движение резания) и одновременно вращается вокруг своей оси (круговая подача). В начале обработки долбяк автоматически перемещается в направлении к оси изделия (радиальная подача) на требуемую высоту зуба. Нарезаемое колесо совершает обкаточное движение.

Возвратно-поступательное движение (движение резания) долбяка осуществляется следующим образом: от электродвигателя мощностью 2,8 квт, при  $n = 1420$  об/мин через клиноременную передачу со шкивами 1 - 11 получает вращение вал III. Переключением рычагов коробки скоростей вводятся в зацепление различные пары зубчатых колес (1 - 5, 2 - 6, 3 - 7, 4 - 8), что дает четыре скорости движения долбяка. Вал IV приводит в движение рейку 10 с помощью кривошипного устройства с изменяемым радиусом эксцентриситета  $E$ . Вращение шестерен 11 и 13, сидящих на валу V создает возвратно-поступательное движение долбяка VI.

В верхней части суппорта находится буферная пружина VII, поглощающая толчки и выбирающая люфты в реечных и шлицевых передачах механизмов главного движения.

Величина хода долбяка должна быть больше высоты заготовки не менее чем на 4 мм. Это условие обеспечивается за счет регулирования радиуса эксцентриситета  $E$  (рис. 3.3). Гайка 1 отпускается и производится вращение винта 2 ключом до тех пор, пока стрелка указателя не покажет необходимое деление на шкале.

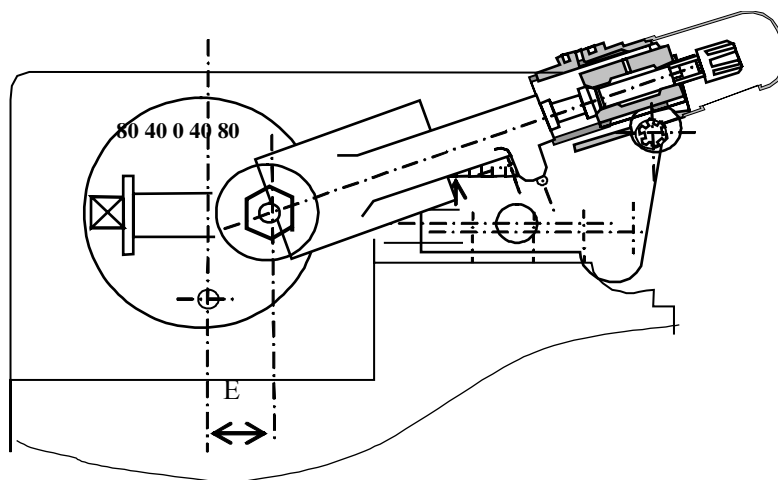


Рис. 3.3. Регулировка хода долбяка

От вала IV через цепную передачу VIII (звездочки 15-16) получает вращение вал IX, на котором находится 3-х заходный червяк 17, зацепляющийся с червячным колесом 18 (рис.3.2). Вал X через коническую пару 19-21 (реверсивный механизм, меняющий направление вращения долбяка) приводит во вращение вал XI и через гитару круговых подач XII вращает вал XIII. Это вращение передается на шпиндель долбяка через червячную пару 22-23 и специальные направляющие втулки, установленные внутри делительного червячного колеса. Одна из этих втулок соединена с червячным колесом, а другая со шпинделем. При долблении прямых зубьев обе втулки имеют прямые направляющие, обеспечивающие прямолинейное, возвратно-поступательное движение долбяка. При долблении зубчатых колес с косыми зубьями устанавливаются втулки с винтовыми направляющими. Вследствие этого, при вертикальном ходе долбяк получает дополнительное вращательное движение вокруг своей оси. Долбяк при этом имеет также косые зубья.

Через конические пары 24-25, 26-27 и гитару деления XIV получает вращение вал XV, который через 1-заходный червяк 29 и червячную шестерню 30 приводит в движение стол станка.

Качательное движение стола осуществляется кулачковым механизмом XII коробки скоростей, кинематически связанными со столом станка системой рычагов.

Станок имеет автоматическое устройство, которое управляет механизмом врезания зубьев долбяка в тело нарезаемого зубчатого колеса. При достижении требуемой глубины врезания, автоматически включается радиальная подача и включается счетный механизм станка, контролирующий число полных оборотов шпинделя станка. Это число оборотов связано с кулачком XVII, который может быть одно-, двух- и трех-профильным. После поворота на указанное число оборотов, суппорт автоматически отводится от заготовки и станок останавливается.

Рассмотрим, как это осуществляется: ролик XVIII всегда прижимается к кулачку пружинной. В начале врезания ролик находится во впадине кулачка. При вращении кулачка ролик катится по его возрастающей кривой, перемещая вал XXI, а вместе с ним и суппорт вправо, т. е. врезая долбяк в заготовку. Кулачек получает вращение от вала IX через сменные зубчатые колеса 31-32, коническую передачу 33-34 и червяк 35, передается червячному колесу 36 с зубчатой муфтой на торце, свободно сидящей на валу XIX.

При включении муфты вправо, вращение передается червячной передаче 37-38 и кулачку XVII. Перед началом вращения рычаг, посредством которого перемещается муфта, должен быть переведен в правое крайнее положение под выступ фиксатора. Муфта включена. Одновременно с этим сухарь поднимает собачку 39 и удерживает ее от соприкосновения с храповым колесом 40. Как только кончится врезание, под действием пружины освободится рычаг, включит муфту и освободит собачку 39 храпового механизма, которая упадет под действием собственного веса, и храповое колесо 40 начнет поворачиваться вследствие качательного движения сектора XX, несущего собачку 39. При каждом качении собачки храповое колесо поворачивается на один зуб, и через вал XIX и червячную пару 37-38 передает вращение кулачку XVII. Качательное движение сектора XX сообщается от эксцентрика на валу червяка делительной червячной передаче шпинделя стола.

После периода врезания ролик XVIII не будет перемещаться, так как радиус-вектор кривой кулачка останется постоянным, а, следовательно, и стол станка также не будет перемещаться.

По окончании полного цикла обработки ролик XVII снова упадет во впадину кулачка, переместится вместе с суппортом влево и, нажав на концевой выключатель, остановит станок.

### 3.1.2. Определение погрешности расположения делительной окружности колеса

Суммарная погрешность расположения делительной окружности зубчатого венца колеса относительно базового отверстия шестерни рассчитывается с помощью размерных цепей (рис. 3.4), в которой замыкающим звеном является искомый векторный параметр  $\vec{\Delta}_{\Sigma}$ .

В общем, виде суммарная погрешность расположения делительной окружности имеет

вид: 
$$\vec{\Delta}_{\Sigma} = \vec{\Delta}_y + \vec{\Delta}_o,$$

где  $\vec{\Delta}_y$  - погрешность установки заготовки на станке;

$\vec{\Delta}_o$  - остаточная погрешность, связанная с методом обработки.

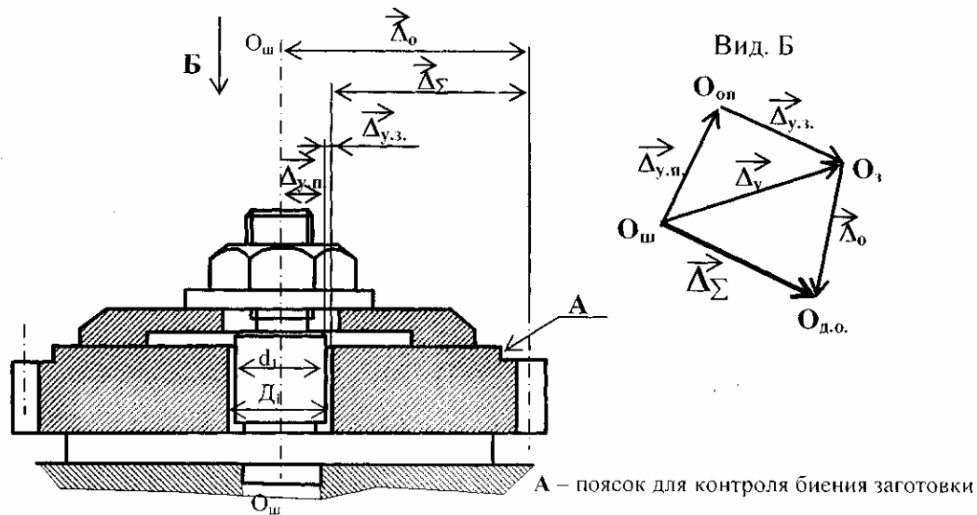


Рис. 3.4. Суммарная погрешность расположения делительной окружности

Погрешность установки ( $\vec{\Delta}_y$ ) заготовки представляет собой смещение оси установочной поверхности заготовки (шестерни) относительно шпинделя станка.

$$\vec{\Delta}_y = \vec{\Delta}_{y.п.} + \vec{\Delta}_{y.з.},$$

где  $\vec{\Delta}_{y.п.}$  - погрешность расположения установочного элемента приспособления (установочной оправы) относительно оси шпинделя станка  $O_{ш}O_{ш}$ ;

$\vec{\Delta}_{y.з.}$  - погрешность расположения установочной поверхности заготовки относительно установочного элемента приспособления.

Погрешность установки заготовки  $|\vec{\Delta}_{y.з.}|$  определяется как разность диаметров отверстия в заготовке и диаметра оправки. При этом максимально возможный зазор между заготовкой и оправкой будет иметь место при условии:

$$Z_{\max} = D_{1\max} - d_{1\min},$$

где  $D_1$  - диаметр установочного отверстия заготовки;  
 $d_1$  - диаметр установочного элемента оправки.



Остаточная погрешность, связанная с методом обработки  $\bar{\Delta}_o$  зависит от множества причин. Например: от геометрической точности станка; от кинематической погрешности станка; от деформации технологической системы под действием усилия резания; от размерного износа режущего инструмента; от действия температурных явлений и других факторов.

Значительная величина остаточной погрешности, связанная с процессом обработки вызвана устройством врезания и обкатки станка. На рис. 3.5 представлена схема врезания и круговой обкатки заготовки при зубодолблении.

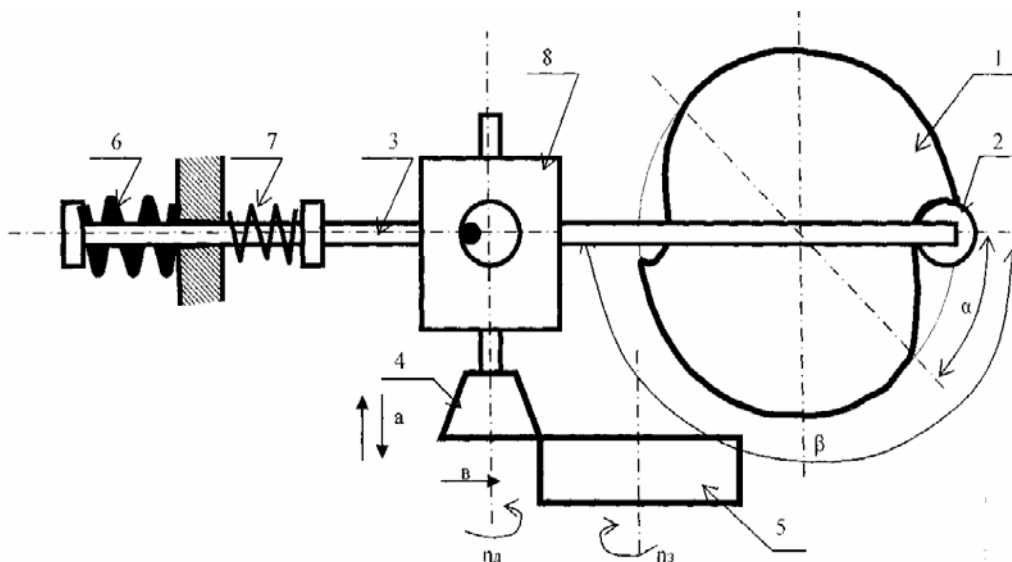


Рис. 3.5. Схема обеспечения врезания и круговой обкатки при зубодолблении заготовки

При вращении профилированного кулачка 1, ролик 2, соединенный с тягой 3 перемещает рабочую головку и долбяк 4 в поперечном направлении. При этом долбяк 4 врезается в заготовку на полную глубину зуба шестерни. Это происходит на участке контакта ролика 2 с профилированным кулачком 1 и определяется углом  $\alpha$ .

На этом участке радиус кулачка переменный. Он создает плавное врезание долбяка в заготовку. Одновременно с этим движением, происходит круговая обкатка долбяка 4 относительно заготовки 5. Для создания плотного контакта между роликом 2 и образующей поверхностью кулачка 1, тяга 3 прижимается с помощью пружинного устройства 6, 7. После завершения круговой обкатки по участку  $(\beta - \alpha)$ , где радиус кулачка постоянный, ролик 2 попадает во впадину кулачка 1 и пружинное устройство 6, 7 отводит рабочую головку и долбяк в крайнее положение.

Наличие большого количества соединений и отклонение профиля кулачка 1 от номинального значения приводит к формированию остаточной погрешности обработки  $\bar{\Delta}_o$ .

В данной лабораторной работе погрешности определяются расчетным и экспериментальным путем.

Суммарная ожидаемая расчетная погрешность определяется по формуле:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_y^2 + \Delta_o^2}$$

(1)

Погрешность установки заготовки определяется по формуле:

$$\Delta_y = \Delta_{y.n.} + \Delta_{y.z.}$$

(2)

Погрешность расположения установочной поверхности заготовки относительно установочного элемента приспособления (оправки) определяется как разность диаметров  $D_1$  и  $d_1$ .

$$\Delta_{y.z.} = D_1 - d_1$$

(3)

### 3.1.3. Порядок выполнения работы

1. Протереть стол станка и оправку салфеткой.
2. Замерить диаметр  $d_1$  оправки микрометром.
3. Проверить биение оправки  $B_o$  относительно оси вращения шпинделя станка индикатором.

Проверку биения оправки необходимо производить при ускоренном вращении стола, которое осуществляется специальным электродвигателем ХХ11. Перед проверкой биения необходимо расцепить шестерни гитары деления, включить собачку храпового механизма и переключатель на пульте управления повернуть в положение «наладка».

4. Замерить диаметр установочного отверстия  $D_1$  в заготовке (прил. 1).
5. Установить и закрепить заготовку на столе станка.
6. Замерить биение заготовки по специальному пояску А относительно оси вращения стола.
7. По формуле (3) подсчитать погрешность расположения установочных поверхностей заготовки и приспособления  $\Delta_{у.п.}$ .
8. По формуле (2) подсчитать погрешность установки заготовки  $\Delta_{уз.}$ . Замеренные и подсчитанные величины записать в сводную таблицу отчета.
9. Нарезать зубья одной шестерни согласно технологической карте (прил. 2). Число зубьев задается преподавателем.
10. Проверить биение делительной окружности нарезанной шестерни  $\Delta_o$  относительно оси шпинделя стола станка, не снимая шестерни с приспособления. Данные измерения записать в отчет.

Примечание:

- а) Замеры биения произвести по всем впадинам шестерни индикатором с помощью ролика, диаметр ( $d_p$ ) которого определяется по формуле:

$$d_p = S_x = \frac{D_o \times \sin 90^\circ}{z},$$

где  $S_x$  - толщина зуба по хорде делительной окружности в мм,

$D_p$  - диаметр делительной окружности,

$z$  - число зубьев нарезаемой шестерни.

Чертеж ролика представлен в прил. 3;

- б) погрешностями формы пренебрегаем;

в) проверку биения производить при расцепленных шестернях гитары деления и выключенной собачке храпового механизма.

Вращение шпинделя станка производить вручную с помощью рукоятки  $P_1$ , установленной на валу XV (см. рис. 3.2).

11. Снять нарезанную шестерню с приспособления.

12. Замерить биение делительной окружности нарезанной шестерни относительно оси отверстия заготовки, т. е. суммарную погрешность делительной окружности зубчатого венца шестерни относительно оси отверстия колеса  $\Delta_\Sigma$  на горизонтальных центрах (см. рис. 3.6 и прил. 3, 4). Замеры производить аналогично описанному в п. 2.

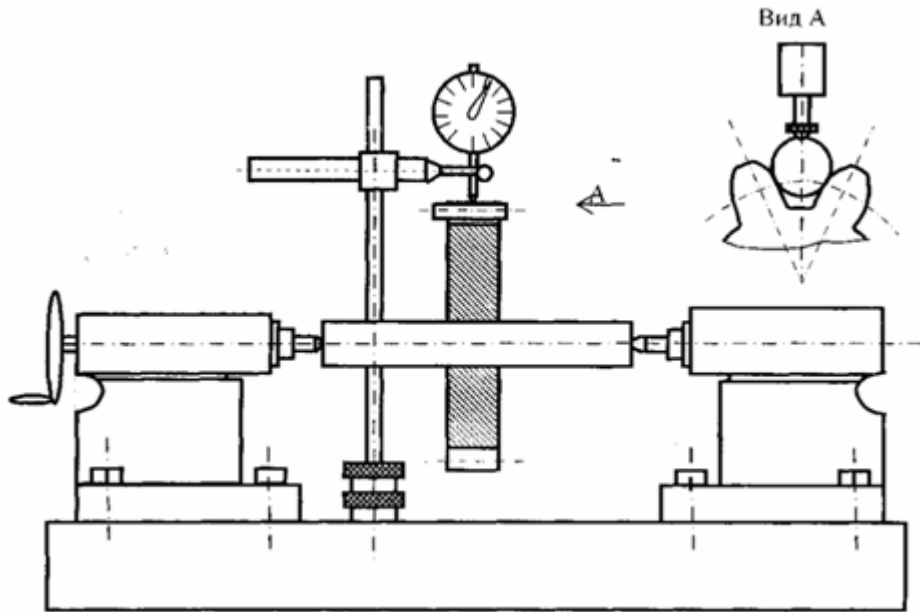


Рис. 6. Схема измерения суммарной погрешности на горизонтальных центрах

Показания индикатора записать в отчет.

Проанализировав значение  $\Delta_{\Sigma}$ , установить наибольшее биение делительной окружности нарезанной шестерни относительно оси отверстия колеса.

Значение  $\Delta_{\Sigma_{\max}}$  записать в сводную таблицу отчета.

13. По формуле (1) подсчитать значение  $\Delta_{\Sigma}$  и записать его значение в сводную таблицу отчета.

14. Замерить длину общей нормали (групповой размер) нарезанной шестерни зубомером или штангенциркулем. Размер  $L$  замерить через шесть зубьев по окружности колеса и данные записать в отчет. Проанализировать значения размеров  $L$ , установить наибольшее и наименьшее значения  $L$ .

15. По окончании работы тщательно убрать станок и сдать его лаборанту.

### 3.1.4. Отчет

1. Сравнив значения замеренного на станке  $\Delta_{у.з.}$ , рассчитанного по формуле (2)  $\Delta_{у.з.}$  и заданного в операционной карте  $\delta_y$ , дать заключение о погрешности установки заготовки в приспособлении и указать пути уменьшения этой погрешности.
2. Сравнив значения замеренного на горизонтальных центрах  $\Delta_{\Sigma}$  рассчитанного по формуле (1)  $\Delta_{\Sigma}$  и заданного в операционной карте  $\delta_6$ , дать заключение о суммарной погрешности расположения делительной окружности нарезанной шестерни относительно оси отверстия колеса и указать пути уменьшения этой погрешности.
3. Сравнив значения замеренных  $L_{max}$  и  $L_{min}$  с заданными значениями в операционной карте  $L$  ( $T_L$ ), дать заключение о точности группового размера  $L$  нарезанной шестерни.
4. В выводах указать, соответствует ли точность нарезанной шестерни техническим условиям операционной карты.

В выводах по работе на основе сравнения экспериментальных, расчетных и заданных в операционной карте значений дать заключение о точности выполнения технических условий и группового размера  $L$ .

Указать пути уменьшения погрешностей.

## Вопросы для самоконтроля

1. Какие движения технологической системы выполняются, чтобы осуществить обкатку при долблении зубчатого венца шестерни?
2. Перечислить основные параметры зубчатого венца шестерни.
3. Как задается расположение зубчатого венца шестерни относительно конструкторских поверхностей?
4. Перечислить основные погрешности, которые определяют смещение профиля зубчатого венца шестерни относительно базовых установочных поверхностей?
5. Перечислить основные причины, вызывающие остаточные погрешности, связанные с процессом обработки заготовки.
6. Как выполнить контроль смещения профиля зубчатого венца относительно конструкторских поверхностей?
7. Исходя из каких условий рассчитывается диаметр ролика при измерении расположения зубчатого венца шестерни?
8. Как настраивается ход долбяка при нарезании цилиндрических прямозубых шестерен?

### **3.2. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ «КОЛЬЦО»**

Цель работы:

- проведение анализа качественных характеристик заготовок, согласно существующему технологическому процессу;
- оценка выполнения заданных характеристик при изготовлении партии заготовок;
- закрепление теоретических знаний студентов в области технологии производства деталей авиационных двигателей;
- закрепление знаний студентов, полученных в процессе второй производственной практики.

### 3.2.1. Общие сведения

Выполнение качественных характеристик заготовок является первым и обязательным условием производства. Отклонение качественных характеристик (точности, шероховатости поверхностей, состояния поверхностного слоя заготовки и т. п.) от заданных параметров в чертеже детали недопустимо.

При разработке технологического процесса, являющегося законом для производства, могут быть применены различные пути для достижения этой цели.

Выбор варианта технологического процесса предусматривает выполнение качественных характеристик заготовок при оптимальных затратах и минимальных сроках освоения производства. Это в большой степени зависит от создания технологических процессов, предусматривающих выполнение качественных характеристик заготовок в автоматическом или в полуавтоматическом цикле обработки на настроенном оборудовании.

В связи с этими задачами анализа существующего технологического процесса являются:

1. Оценка правильности построения технологического процесса.
2. Оценка качественных характеристик деталей.
3. Анализ применяемых технологических схем обработки.
4. Анализ возможности выполнения операций технологического процесса на настроенном оборудовании в автоматическом цикле.

Анализ технологического процесса проводится в двух аспектах:

1. Оценивается правильность разработки документации (технологического процесса, чертежей оснастки, оборудования, назначения операционных размеров, технических требований и т. п.) для изготовления качественных деталей.
2. Оценивается выполнение заданных требований технологии в процессе изготовления партии заготовок.

При проведении анализа технологического процесса можно использовать два метода:

1. Расчетно-аналитический.
2. Статистический.

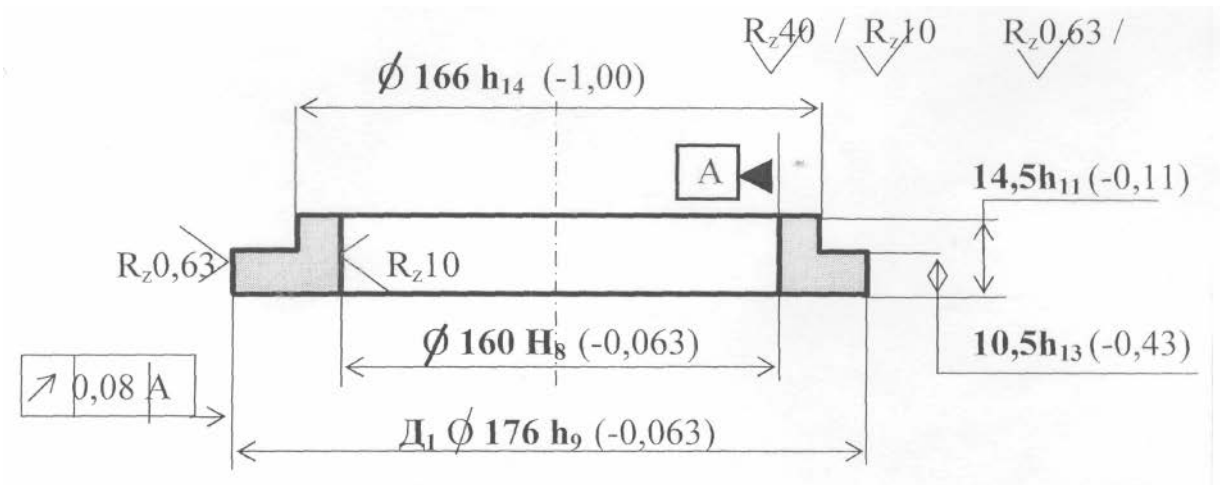
В данной лабораторной работе студенты рассматривают часть вопросов по анализу технологического процесса.

Задание по анализу технологического процесса для каждого студента назначает преподаватель, проводящий лабораторную работу.

Варианты технологических процессов изготовления детали «кольцо» (рис. 3.7.) представлены в таблице 3.1.

Чертеж детали «кольцо»



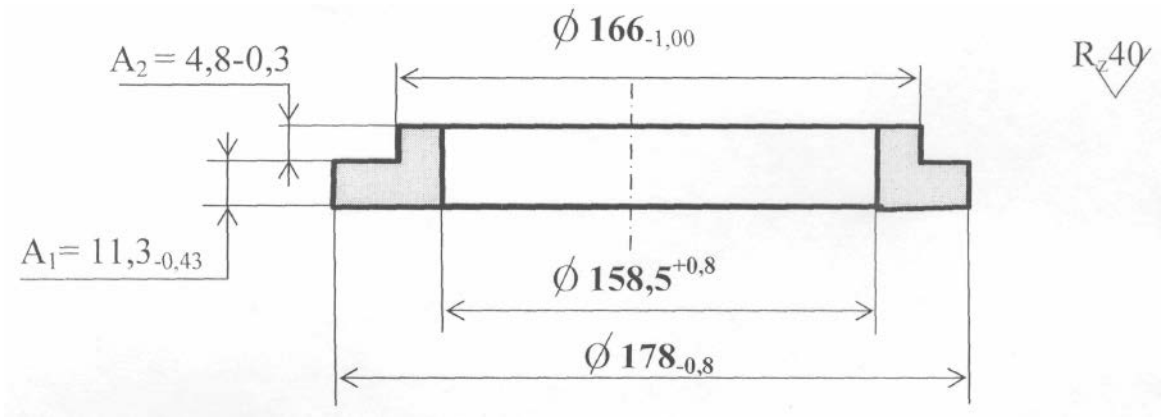


1. На поверхности  $D_1$  создать сжимающие напряжения.
  2. Материал Сталь ШХ-15.
- Рис. 3.7. «Кольцо»

На основании чертежа (рис. 3.7.) разработаны девять вариантов технологического процесса изготовления детали.

Во всех вариантах предусмотрено пять операций:

Операция № 5. «Заготовка»



В технологическом процессе механической обработки детали «кольцо» в операциях № 10 и №15 представлено несколько линейных операционных размеров (в операции № 10 -  $A_3$ ,  $A_4$ ,  $A_5$ , а в операции № 15 -  $A_6$ ,  $A_7$ ,  $A_8$  ).

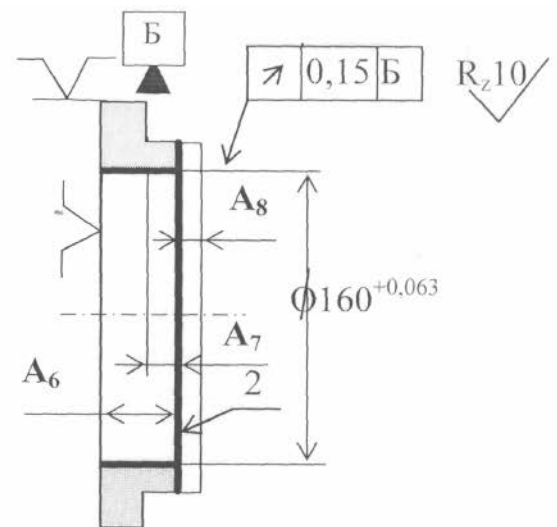
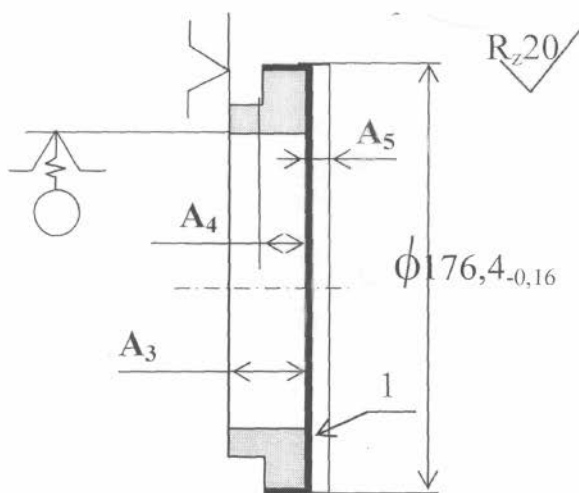
Технологический процесс механической обработки детали «кольцо»

Операция № 10 Токарная

Операция № 15 Токарная

обработка 1-й стороны

обработка 2-й стороны

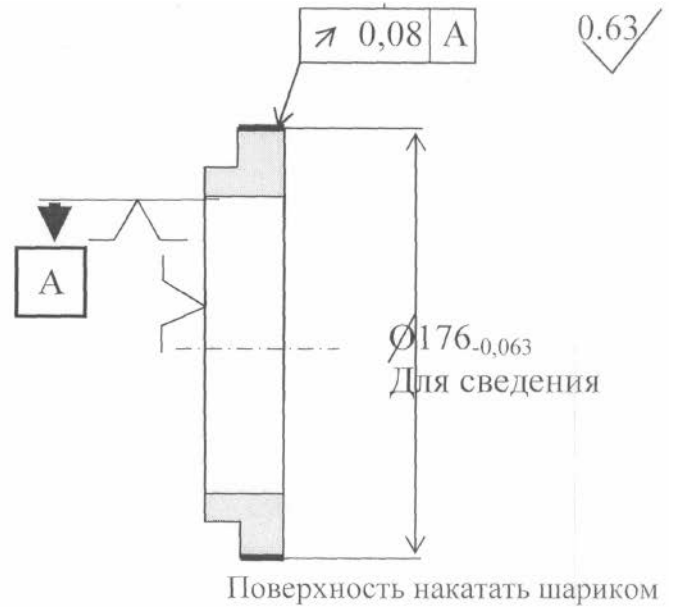
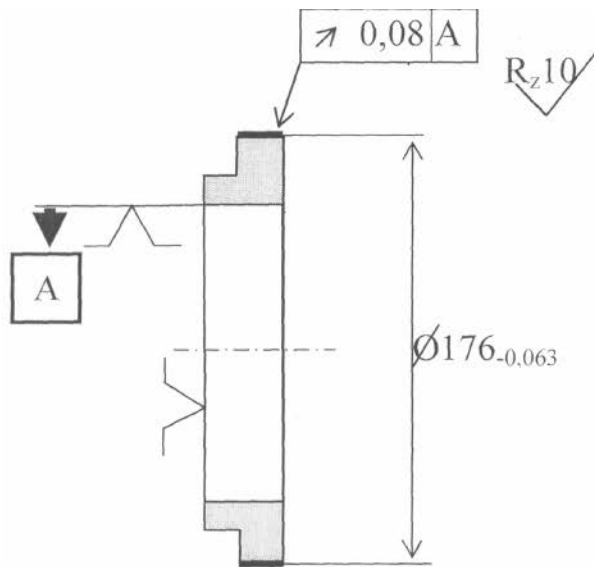


Операция № 25

Упрочнение

Операция № 20

Чистовое точение верха



Такого количества линейных операционных размеров для выполнения данных операций не нужно. Для выполнения перехода по подрезке торца на этих операциях необходим только один линейный размер.

При выполнении размеров  $A_5$ ,  $A_8$  в технологической карте записывается условие: «снять припуск равный размеру  $A_5$  с поверхности 1», или «снять припуск равный размеру  $A_8$  с поверхности 2».

Значение необходимых линейных размеров для операций студент выберет из [таб.3.1.](#) (таблица вариантов технологического процесса).

### 3.2.2. Содержание работы

Работа состоит из трех частей.

В 1-й части (1 а) каждым студентом индивидуально проводится:

1. Анализ выполнения заданных параметров чертежа детали (рис. 3.7.) согласно одного из вариантов технологического процесса (табл. 3.1).
2. Анализ величин припусков предусмотренных для обработки поверхностей заготовок на различных этапах обработки.

В 1-й части (1 б) студентом проводится:

1. Определение технологических схем обработки поверхностей заготовок при выполнении линейных операционных размеров (операции № 10 и 15) технологического процесса.
2. Анализ возможности выполнения операционных размеров (операции № 10 и 15) в автоматическом режиме на настроенном оборудовании.

При установлении возможности проведения операции на настроенном оборудовании проводится расчет настроечных размеров.

На основании анализа технологического процесса (часть 1 а) каждый студент подготавливает выводы и дает заключение о приемлемости варианта технологического процесса. Эти данные студент заносит в отчет (прил. 5).

На основании анализа различных вариантов технологических процессов (часть 1а) студенты группы выбирают наиболее правильный вариант.

Используя анализ части 1б, студенты группы выбирают наиболее производительный вариант технологического процесса, который позволяет производить обработку заготовок на операциях № 10 и № 15 в автоматическом режиме на настроенном оборудовании. Полученные данные анализа 1 части работы студенты заносят в отчет (прил. 5).

Во 2-й части работы, на основании обоснованного выбора студентами группы одного варианта технологического процесса проводится:

1. Наладка станка для выполнения последовательно операций № 10, 15 и 20.
2. После наладки операции производится обработка партии заготовок из двух колец.
3. Контроль качественных характеристик заготовок на операциях.
4. Сопоставление полученных результатов контроля качественных характеристик заготовок с заданными значениями в технологическом процессе и чертеже детали.

На основании полученных результатов контроля деталей делаются выводы, и подготавливается заключение о проведенном этапе работы. Результаты заносятся в отчет (прил. 5).

В 3-й части работы выполняется операция № 25 для одной заготовки из партии. После выполнения этой операции осуществляется контроль геометрических параметров и шероховатости поверхности.

Результат заносится в отчет (прил. 5).

Характер напряжений в поверхностном слое детали после выполнения операции № 25 определяется по размерам ширины паза, полученного после разрезки двух колец на электроискровом станке одним электродом-инструментом.

Результат заносится в отчет (прил. 5). По результатам анализа отдельных вариантов технологических процессов и на основании контроля качественных характеристик деталей для различных этапов обработки группой студентов формулируются основные общие выводы и предложения по проведенной работе.



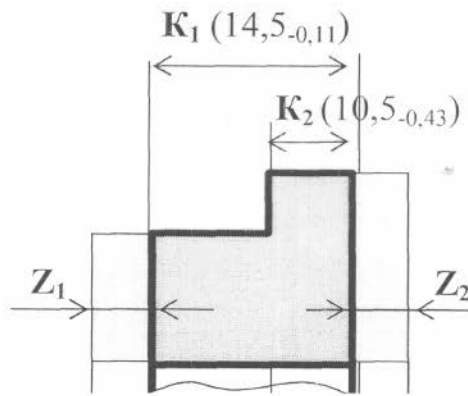
### 3.2.3. Необходимые данные для проведения расчетов

1. Конструкторские размеры детали принимаются согласно чертежу (рис. 3.7).
2. Величины минимальных припусков для обработки торцевых поверхностей на операциях № 10, 15 принимаем равными 0,2 мм.
3. Точность установки заготовки в осевом направлении на операциях № 10, 15, согласно статистическим данным принимаем равными  $a_y = 0^{+0,05}$  мм.
4. Размер осевого отжата режущего инструмента в технологической системе, согласно статистическим данным принимаем равными  $a_{отж} = 0,15^{+0,05}$  мм.
5. Размер электрода инструмента для разрезки колец на электроискровом станке равен  $h = 1$  мм.

### **3.2.4. Основные понятия и принципы определения характеристик точности технологического процесса**

При выполнении 1-й части лабораторной работы для анализа точности технологического процесса используется теория размерных цепей и нормативные материалы, полученные на основании расчетных, статистических и экспериментальных данных производства основных деталей авиационных двигателей.

Для анализа точности технологического процесса строится комплексная схема размерных цепей (рис. 3.8).



КОМПЛЕКСНАЯ СХЕМА  
РАЗМЕРНЫХ СВЯЗЕЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Операция № 15 Токарная обработка	$A_8$ $\leftrightarrow$			$A_8 = 0,3^{+0,14}$
Операция № 10 Токарная обработка		$A_3$ $\leftarrow \rightarrow$		$A_3 = 15_{-0,11}$
Операция № 5 Исходная заготовка		$A_2$ $\leftarrow \rightarrow$	$A_1$ $\leftarrow \rightarrow$	$A_2 = 4,8_{-0,3}$ $A_1 = 11,3_{-0,43}$

РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

			АНАЛИЗИРУЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЦЕПЕЙ
Цепь №1	$A_8$ $Z_1$ $\rightarrow \leftarrow$		$Z_1$ общие уравнения размерных цепей $Z_1 - A_8 = 0;$
Цепь №2	$A_8$ $K_1$ $A_3$ $\leftarrow \rightarrow$		$K_1$ $K_1 - A_3 + A_8 = 0;$
Цепь №3	$A_2$ $K_2$ $A_3$ $\leftarrow \rightarrow$		$K_2$ $K_2 - A_3 + A_2 = 0;$
Цепь №4	$A_3$ $Z_1$ $A_1$ $A_2$ $\leftarrow \rightarrow$		$Z_1$ $Z_1 - A_1 - A_2 + A_3 = 0;$

Рис. 3.8. Комплексная схема линейных размерных цепей технологического процесса детали «кольцо»



Эта схема формируется при совмещении операционных эскизов технологического процесса на одном общем эскизе. Такое совмещение позволяет найти взаимосвязи между операциями всего технологического процесса и выявить все связи операционных размеров.

Построение комплексной схемы размерных цепей производится с последней операции технологического процесса. На этой, последней операции, заготовка должна иметь размеры, которые равны значениям, заданным в чертеже детали.

При построении графической схемы производится «наслаивание» припусков для каждой из ступеней обработки заготовки на операциях и производится простановка операционных размеров. Такое построение позволяет создать взаимосвязанную комплексную схему размерных связей всего технологического процесса, включая исходную заготовку.

Для выполнения части 1 а лабораторной работы каждый студент в соответствии с заданным вариантом технологического процесса разрабатывает комплексную схему размерных связей.

В качестве примера на рис. 3.7 представлена комплексная схема размерных связей для 3-го варианта (табл. 3.1) технологического процесса.

На рис. 3.8 также показаны размерные цепи, которые позволяют произвести анализ выполнения заданных в чертеже (рис. 3.7) конструкторских размеров, а также оценить величины удаляемых припусков ( $Z_i$ ) на операциях технологического процесса. Это позволяет произвести сравнение расчетных значений припусков с рекомендуемыми значениями.

Произведем расчет геометрических параметров технологического процесса (вариант 3) и определим значения припусков на торцевых поверхностях 1 и 2 заготовки (операция № 10, 15), а также оценим выполнение заданных в чертеже (рис. 3.7) линейных размеров  $K_1$  и  $K_2$ .

В соответствии с четырьмя размерными цепями (рис. 3.8) выполним расчеты.

**Цепь № 1.** Анализируемый параметр - припуск  $Z_1$ .

Рекомендуемое нормативное значение минимального припуска  $Z_{\min} = 0,2$  мм.

Общее уравнение размерной цепи № 1 имеет вид:  $A_8 - Z_1 = 0$ ;

Тогда уравнение замыкающего звена имеет вид:  $Z_1 = A_8$ .

Возможные предельные значения анализируемого параметра соответственно будет иметь значения:

$$Z_{1\min} = 0,3 \text{ мм}, \quad Z_{1\max} = 0.44 \text{ мм}.$$

Исходя из полученных расчетных, возможных значений припуска  $Z_1$  и рекомендуемого  $Z_{\min} = 0,2$  мм приходим к выводу:

1. величина минимального расчетного припуска несколько завышена (на 0,1 мм), по сравнению с рекомендуемой величиной;
2. фактическая величина припуска вполне достаточна для обеспечения качественной обработки торца 2 заготовки.

**Цепь № 2.** Анализируемый параметр - конструкторский размер  $K_1$ .

Заданные значения размера  $K_1$ , согласно чертежу (рис. 3.7) равны:

$$K_{1\min} = 14,39 \text{ мм}, \quad K_{1\max} = 14.50 \text{ мм}.$$

Общее уравнение размерной цепи № 2 имеет вид:

$$A_3 - K_1 - A_8 = 0;$$

Тогда уравнение замыкающего звена имеет вид:  $K_1 = A_3 - A_8$ .

Возможные предельные значения анализируемого параметра соответственно будет иметь значения:

$$K_{1\min} = A_{3\min} - A_{8\max} = 14,39 - 0,49 = 14,45 \text{ мм}.$$

$$K_{1\max} = A_{3\max} - A_{8\min} = 15,00 - 0,30 = 14,70 \text{ мм}.$$

Исходя из полученных расчетных, возможных значений конструкторского размера  $K_1$  и заданных значений, приходим к выводу:

1. Фактические расчетные значения анализируемого параметра  $K_1$  не обеспечивают заданных в чертеже детали (рис. 3.7)

$$K_{1 \text{ факт}} = 14,7_{-0,25} \text{ мм}, \quad K_{1 \text{ зад}} = 14,7_{-0,11} \text{ мм}.$$

2. 3-й вариант технологического процесса неприемлем для изготовления детали «кольцо».

**Цепь № 3.** Анализируемый параметр - конструкторский размер  $K_2$ .

Заданные значения размера  $K_2$ , согласно чертежу (рис. 3.7) равны:

$$K_{2 \text{ max}} = 10,50 \text{ мм}, \quad K_{2 \text{ min}} = 10,07 \text{ мм}.$$

Общее уравнение размерной цепи № 3 имеет вид:

$$A_2 + K_2 - A_3 = 0.$$

Тогда уравнение замыкающего звена имеет вид:  $K_2 = A_3 - A_2$ .

Возможные фактические предельные значения анализируемого параметра соответственно будет иметь значения:

$$K_{2 \text{ max}} = A_{3 \text{ max}} - A_{2 \text{ min}} = 15,00 - 4,50 = 10,50 \text{ мм}.$$

$$K_{2 \text{ min}} = A_{3 \text{ min}} - A_{2 \text{ max}} = 14,89 - 4,80 = 10,09 \text{ мм}.$$

Исходя из полученных расчетных, возможных значений конструкторского размера  $K_1$  и заданных значений приходим к выводу:

1. Фактические расчетные значения анализируемого параметра  $K_2$  находится в пределах заданных значений конструкторского размера детали (рис. 3.7)

$$K_{2 \text{ факт}} = 10,5_{-0,41} \text{ мм}, \quad K_{2 \text{ зад}} = 10,50_{-0,43} \text{ мм}.$$

2. Но 3-й вариант технологического процесса неприемлем для изготовления детали «кольцо» т. к, создает брак.

**Цепь № 4.** Анализируемый параметр - припуск  $Z_2$ .

Рекомендуемое нормативное значение минимального припуска  $Z_{\text{min}} = 0,2$  мм.

Общее уравнение размерной цепи № 1 имеет вид:

$$A_1 - Z_2 - A_3 + A_2 = 0;$$

Тогда уравнение замыкающего звена имеет вид:

$$Z_2 = A_1 - A_3 + A_2.$$

Возможные предельные значения анализируемого параметра соответственно будет иметь значения:

$$Z_{2 \text{ max}} = A_{1 \text{ max}} - A_{3 \text{ min}} + A_{2 \text{ max}} = 11,32 - 14,89 + 4,80 = 1,21 \text{ мм}.$$

$$Z_{2 \text{ min}} = A_{1 \text{ min}} - A_{3 \text{ max}} + A_{2 \text{ min}} = 10,87 - 15,00 + 4,50 = 0,37 \text{ мм}.$$

Исходя из полученных расчетных, возможных значений припуска  $Z_2$  и рекомендуемого  $Z_{\text{min}} = 0,2$  мм приходим к выводу:

1. Величина минимального расчетного припуска на операции № 10 несколько завышена (на 0,17 мм), по сравнению с рекомендуемой величиной, но фактическая величина припуска достаточная для обеспечения качественной обработки торца 1 заготовки.

2. Фактическая величина припуска вполне достаточна для обеспечения качественной обработки торца 1 заготовки.

3. Имеет место значительная неравномерность удаляемого припуска  $Z_2$ .

Общие выводы по анализу 3-го варианта технологического процесса показывают:

1. Не обеспечивается заданный конструкторский размер  $K_1$ .

2. Припуск для обработки торцевых поверхностей 1 и 2 распределен неравномерно:

$$Z_{1 \text{ max}} = 0,44 \text{ мм} \quad Z_{1 \text{ min}} = 0,3 \text{ мм},$$

$$Z_{2 \max} = 1,21 \text{ мм}$$

$$Z_{2 \min} = 0,37 \text{ мм.}$$

3. Данный технологический процесс неприемлем.

Полученные данные по анализу 3-го варианта можно использовать при выборе оптимального технологического процесса. В выборе лучшего варианта используются расчетные данные всех студентов, которые выполняют данную лабораторную работу.

Для выполнения части 1 б лабораторной работы при анализе технологических схем [4] и расчете настроечных размеров на операциях технологического процесса также используется теория размерных цепей. В этом случае рассматриваются размерные цепи на уровне технологической системы, т. е., при расчетах учитываются изменения, происходящие при установке и обработке заготовок на станке. В этом случае, при анализе технологических схем, в качестве замыкающих звеньев размерных цепей выступают операционные размеры. При расчете настроечных размеров в качестве замыкающих звеньев используются размеры, зависящие от процессов обработки.

В качестве примера выполним расчет части 1 б лабораторной работы для 3-го варианта технологического процесса (табл. 3.1), несмотря на то, что выводы по части 1 а показали неприемлемость данного варианта (см. выводы по части 1 а).

Расчеты в этой части работы проведем в два этапа.

На первом этапе построим технологическую схему точности и определим возможность выполнения анализируемого операционного размера на настроенном станке в автоматическом цикле.

### **Проведем анализ на операции № 10**

На рисунке 3.9 представлена технологическая схема точности выполнения операционного размера  $A_3$  в операции № 10. В качестве составляющих звеньев размерной цепи выступают размеры, зависящие от установки заготовки в технологической системе и от обработки поверхности принятым методом в этой операции.

Общее уравнение размерной цепи в этом случае имеет вид:

$$A_3 - a_0 + a_y = 0.$$

В данном уравнении составляющие элементы определяют:

$A_3$  - операционный размер (замыкающее звено размерной цепи).

$a_0$  - размер, определяющий положение обрабатываемой поверхности 1 заготовки относительно установочной поверхности приспособления Е.

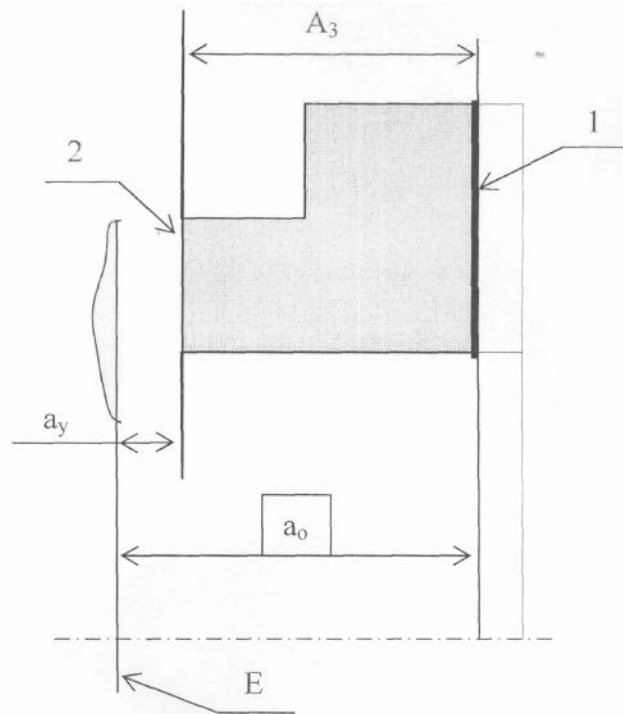


Рис. 3.9. Технологическая схема обработки заготовки на операции № 10 (вариант №3)

$a_y$  - размер, определяющий положение установочной поверхности 2-й заготовки относительно установочной поверхности E приспособления.

Уравнение замыкающего звена имеет вид:  $A_3 = a_0 - a_y$ .

Согласно основному правилу линейной размерной цепи имеем:  $\Delta A_3 = \Delta a_0 + \Delta a_y$ , т. е. погрешность замыкающего звена размерной цепи равна сумме погрешностей составляющих звеньев.

Соответственно поле рассеивания погрешности замыкающего звена равно сумме полей рассеивания составляющих звеньев:

$$\omega_{A_3} = \omega_{a_0} + \omega_{a_y} \leq T_{A_3}$$

Сумма составляющих полей рассеивания должна быть равна или меньше заданного значения допуска замыкающего звена. Исходя из этого, можно сделать вывод.

Если поле рассеивания на обработку ( $\omega_{a_0}$ ) имеет положительное значение, т. е.  $\omega_{a_0} > 0$ , то процесс обработки на настроенном станке возможен.

В случае, если поле рассеивания на обработку имеет отрицательное значение ( $\omega_{a_0} < 0$ ), то процесс обработки на настроенном станке выполнить не удастся.

В нашем случае, в соответствии с заданными значениями составляющих звеньев и допуском на операционный размер  $A_3$  (операция № 10) имеем:

$$A_3 = 15_{-0,11}, \quad a_y = 0^{+0,05},$$

тогда имеем:

$$T_{A_3} = 0,11 \text{ мм}, \quad \omega_{a_y} = 0,05 \text{ мм}.$$

$$\omega_{a_0} = T_{A_3} - \omega_{a_y} = 0,11 - 0,05 = 0,06 \text{ мм}.$$

Отсюда можно сделать заключение, что выполнение размера  $A_3$  в операции № 10 технологического процесса можно выполнить на настроенном станке. Поле рассеивания, в котором должен «проходить резец при обработке» составляет величину 0,06 мм.

Числовые значения предельных размеров  $a_0$  рассчитаем из уравнений:

Т. к.

$$A_{3 \min} = a_{o \max} - a_{y \max}, \text{ и } A_{3 \max} = a_{o \min} - a_{y \min},$$

то

$$a_{o \max} = A_{3 \min} + a_{y \max}, \text{ и } a_{o \min} = A_{3 \max} + a_{y \min}.$$

тогда:

$$a_{o \max} = 15,00 + 0 = 15,00 \text{ мм. и } a_{o \min} = 14,89 + 0,05$$

14,94 мм.

$$a_o = 14,94^{+0,06} \text{ мм.}$$

$$\omega a_o = a_{o \max} - a_{o \min} = 15,00 - 14,94 = 0,06 \text{ мм.}$$

Проведем анализ операции № 15 для варианта № 3.

На рис. 3.10 представлены размерные связи в технологической системе для операции № 15. Необходимо отметить, что в этой операции имеет место несовпадение измерительной и установочной баз заготовки

. При обработке поверхности 2 заготовки устанавливаются относительно поверхности 1, а операционный размер  $A_8$  и его контроль должен выполняться относительно поверхности 3. В технологической схеме имеет место не совмещение технологических баз.

В связи с этим, для возможности проведения данной операции на настроенном станке необходимо произвести оценку какое дополнительное звено и соответствующее поле рассеивания погрешностей будет иметь место в технологической системе. Это звено Б должно быть выявлено из комплексной схемы размерных цепей технологического процесса «кольцо» рис. 1.7.

В нашем случае размер Б определяется суммой двух операционных размеров  $A_1$  и  $A_2$ , т. е.

$$B = A_1 + A_2 ;$$

$$B = 11,3_{-0,43} + 4,8_{-0,3} =$$

16,1 - 0,73 мм.

В этом случае общее уравнение размерной цепи будет иметь вид:  $A_8 - B - a_y + a_o = 0$ .

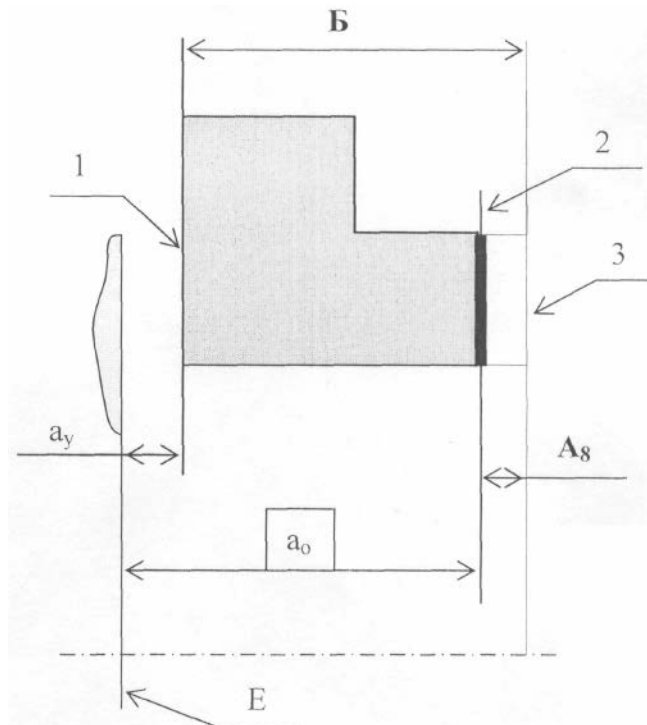


Рис. 3.10. Технологическая схема обработки заготовки на операции № 15 (вариант № 3)

Уравнение замыкающего звена размерной цепи примет вид:

$$A_8 = B + a_y - a_o$$

Тогда  $A_{8 \min} = B_{\min} + a_{y \min} - a_{o \max}$ ,  $A_{8 \max} = B_{\max} + a_{y \max} - a_{o \min}$ ;  
 или  $a_{o \max} = B_{\min} - A_{8 \min} + a_{y \min}$ ,  $a_{o \min} = B_{\max} - A_{8 \max} + a_{y \max}$ .  
 Тогда  $a_{o \max} = 15,37 - 0 + 0 = 15,37$  мм.  $a_{o \min} = 16,1 - 0,14 + 0,15 = 16,39$  мм.

$$a_o = 15,37^{+1,02} \text{ мм.}$$

$$\omega a_o = a_{o \max} - a_{o \min} = 15,37 - 16,39 = -1,02 \text{ мм.}$$

Знак «минус» показывает, что обработку операционного размера  $A_8$  на операции № 15 произвести на настроенном станке невозможно. Выполнение этого размера можно обеспечить только методом пробных проходов.

Полученные результаты расчетов отмечаются в отчете по лабораторной работе.

На втором этапе части 1 б лабораторной работы произведем расчет настроенного размера, позволяющего произвести наладку операции, а в случае использования станка с ЧПУ в управляющую программу станка ввести необходимые значения размеров, которые определяют траекторию движения инструмента в технологической системе.

Настройка станка на размер заключается в правильном расположении режущего инструмента относительно поверхности Е (рис. 3.9, рис 3.10, рис 3.11). Эта поверхность определяет начало координатной системы станка. В этой системе можно произвести анализ и определить настроенный размер, который учитывает производственные погрешности, возникающие в процессе наладки операции и обработки первой заготовки.

На основании статической наладки операции и получения фактических значений размеров заготовок можно произвести дополнительную подналадку и учесть динамические погрешности обработки.

Настроечным размером называется размер, определяющий положение режущей грани инструмента относительно установочного элемента станка или приспособления.

Расположение режущего инструмента в технологической системе должно быть наивыгоднейшим. Положение инструмента должно учитывать изменения, происходящие в технологической системе и обеспечивать изготовление наибольшего количества заготовок без применения подналадок операции.

На рис. 3.11 представлена схема расположения режущего инструмента в технологической системе и показана размерная связей при обработке торца 1.

Размерные связи, представленные на рис. 3.11 определяют взаимосвязь геометрических параметров в технологической системе. Эти размерные связи позволяют рассчитать настроечные размеры для проведения статической наладки операции. В представленной схеме учитываются возможные изменения параметров наладки операции, вызванные податливостью технологической системы в процессе обработки торца 1 заготовки.

Общее уравнение размерной цепи имеет вид:

$$a_0 - a_{отж} - A_{н.р.} = 0$$

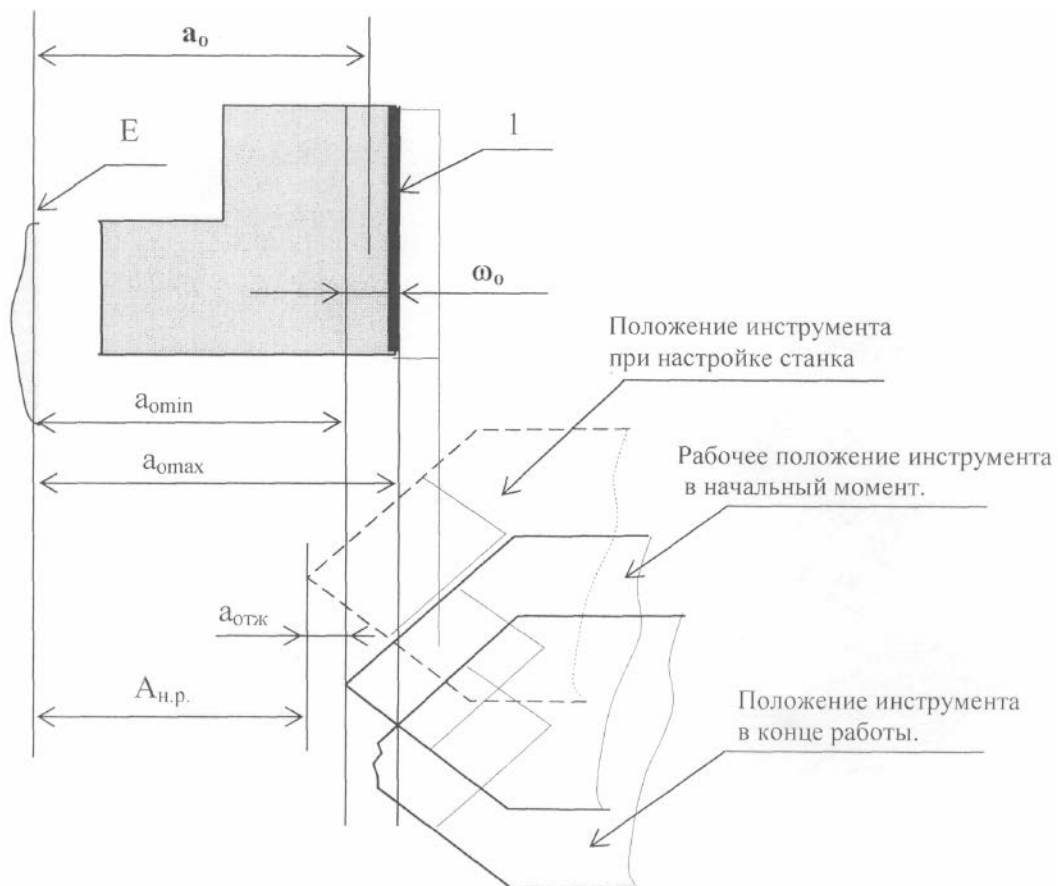


Рис. 3.11. Схема расположения режущего инструмента в технологической системе

В данном уравнении составляющие элементы размерной цепи определяют:



$a_o$  - размер, зависящий от изменений происходящих в процессе обработки торца 1 для партии обрабатываемых заготовок на настроенном станке. Величина этого размера и поле возможного рассеивания представлены выше;

$a_{отж}$  - размер, определяющий возможное отжатие режущего инструмента в процессе обработки партии заготовок;

$A_{н.р.}$  - настроечный размер.

В представленном уравнении, в качестве замыкающего звена этой цепи является размер  $a_o$ , который для нашего примера рассчитан выше (на операции № 10 размер  $a_o = 14,94^{+0,06}$  мм).

Уравнение замыкающего звена размерной цепи имеет вид:

$$a_o = A_{н.р.} + a_{отж},$$

или 
$$a_{o\min} = A_{н.р.\min} + a_{отж\min},$$

тогда 
$$A_{н.р.\min} = a_{o\min} - a_{отж\min}.$$

Для нашего примера (операция № 10, вариант № 3) имеем:

$$a_o = 14,94^{+0,06} \text{ мм (см. расчетные данные),}$$

$$a_{отж} = 0,15^{+0,05} \text{ мм (см. исходные данные).}$$

Тогда получим  $A_{н.р.\min} = a_{o\min} - a_{отж\min} = 14,94 - 0,15 = 14,76$  мм.

Допуск на настроечный размер определим по формуле:

$$T_{н.р.} = \omega_{a_o} \times k,$$

где  $k = 0,1 \dots 0,3$ .

Принимая  $k = 0,2$ , получим:

$$T_{н.р.} = \omega_{a_o} \times k = 0,06 \times 0,2 = 0,012 \text{ мм.}$$

Таким образом

$$A_{н.р.} = 14,76^{+0,012} \text{ мм.}$$

Этот размер выполнен на специальном приспособлении, которое используется для проведения 3-й части лабораторной работы. Он определяет положение габаритного элемента для настройки режущего инструмента в технологической системе относительно установочной поверхности приспособления. (см. конструкцию специального приспособления).

Полученные расчетные данные по 1-й части лабораторной работы студенты группы предъявляют преподавателю.

Используя расчетные данные выбранного варианта технологического процесса, студенты приступают к выполнению 2-й части лабораторной работы.

Совместно с лаборантом по принятым расчетным значениям студенты выполняют настройку токарного станка для операций № 10, 15, 20.

Лаборант изготавливает две заготовки, размеры которых контролируют студенты. Полученные фактические значения заносятся в отчет.

На основании полученных результатов дается оценка качеству проведения операций технологического процесса.

Третья часть лабораторной работы заключается в выполнении операций № 25 «упрочнение» для одной из заготовок, полученных при выполнении второй части лабораторной работы. Результаты, полученные на этом этапе лабораторной работы, также заносятся в отчет.

После разрезки, лаборантом двух заготовок на электроискровом станке, студенты делают оценку о наличии сжимающих напряжений в поверхностном слое заготовок полученных после проведения операции № 25. Эта оценка производится на основании

сравнения ширины пазов полученных при разрезке заготовок.

Результаты заносятся в отчет.

На основании расчетных данных и фактических значений полученных при обработке заготовок делаются общие выводы по представленному технологическому процессу.

На основании полученных результатов студенты отчитываются, о проделанной работе перед преподавателем.

## Вопросы для самоконтроля

1. Что такое комплексная схема размерных связей технологического процесса ?
2. Как построить комплексную схему технологического процесса?
3. Как проверить правильность построения комплексной схемы размерных связей технологического процесса?
4. Что называется замыкающим звеном размерной цепи?
5. Какие параметры в комплексной схеме являются искомыми, при решении задач синтеза и анализа технологического процесса ?
6. Дать определение замыкающего и составляющего звеньев комплексной схемы размерных связей технологического процесса.
7. Дать определение настроечного размера.
8. Что такое динамическая настройка станка?
9. Показать, при каких условиях возможна обработка партии заготовок на настроенном станке в автоматическом или полуавтоматическом режиме.
10. Перечислить, что необходимо иметь наладчику при выполнении настройки станков различных видов (включая универсальное оборудование).
11. Как сказывается несоответствие установочной и измерительной технологической базы на процесс обработки заготовок на настроенном оборудовании?
12. Перечислить, и дайте определения методов достижения точности при обработке на металлообрабатывающем оборудовании.
13. Какие изменения качественных показателей заготовки происходит при проведении операции «упрочнение»?
14. Как выбрать контрольно-измерительное устройство для проверки геометрических параметров заготовок?
15. Дать определение производственной погрешности.
16. Дать определение поля рассеивания производственных погрешностей.
17. Раскрыть состав и причины появления производственных погрешностей при обработке.
18. Что называется коэффициентом точности и коэффициентом запаса точности при оценке производства заготовок?
19. Какие рекомендации по коэффициенту точности необходимо знать, чтобы оценить происходящий процесс?
20. Какие изменения необходимо ввести в технологической системе, чтобы исправить нарушения, если они есть, при изготовлении заготовок по размерам 1-го и 2-го рода?
21. Дать определение операции, перехода, позиции и прохода.

## **4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ**

#### **4.1. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПНЕВМОКАМЕРЫ**

Цель работы – ознакомиться с конструкциями пневмоприводов для зажимных элементов приспособлений. Изучить методику расчёта силовых параметров пневмокамеры. Экспериментально исследовать зависимость развиваемого усилия от хода штока пневмокамеры.

#### 4.1.1. Общие сведения о конструкциях пневмоприводов

Основным назначением силового привода в приспособлении является создание исходного усилия, необходимого для закрепления заготовки. Силовые приводы используют также: для механизации и автоматизации загрузки, выгрузки и транспортирования заготовок; поворота приспособлений; включения и выключения станков; удаления стружки и т.п.

Силовой агрегат привода представляет собой преобразователь какого-либо вида энергии в механическую энергию, необходимую для работы зажимных механизмов. Поэтому в зависимости от вида используемой энергии приводы подразделяются на пневматические, гидравлические, пневмогидравлические, электрические, электромагнитные, магнитные, вакуумные, центробежно-инерционные и др.

Наибольшее распространение в авиадвигателестроении получили пневмоприводы, использующие энергию сжатого воздуха. Широкое применение пневмопривода объясняется его быстродействием (скорость срабатывания - доли секунды), простотой конструкции, лёгкостью в управлении, надёжностью и стабильностью в работе. Вместе с тем пневмопривод имеет недостатки: неплавное перемещение штока, большие габаритные размеры силовых агрегатов из-за низкого давления воздуха, шум при сбросе давления воздуха.

Пневмопривод включает в себя следующие части: источник сжатого воздуха (обычно цеховая или заводская компрессорная установка); силовой агрегат-пневмодвигатель, преобразующий энергию сжатого воздуха в силу на штоке; пневмоаппаратура - контролирующие приборы, распределительные, предохранительные устройства, воздухопроводы и т.д.

Пневмодвигатель располагается, как правило, на корпусе приспособления. Пневмоаппаратура размещается вне приспособления и соединяется с пневмодвигателем при помощи воздухопроводов.

Наибольшее распространение получили пневмодвигатели двух типов: поршневые (пневмоцилиндры, рис. 4.1 а) и диафрагменные (пневмокамеры, рис. 4.1 б).

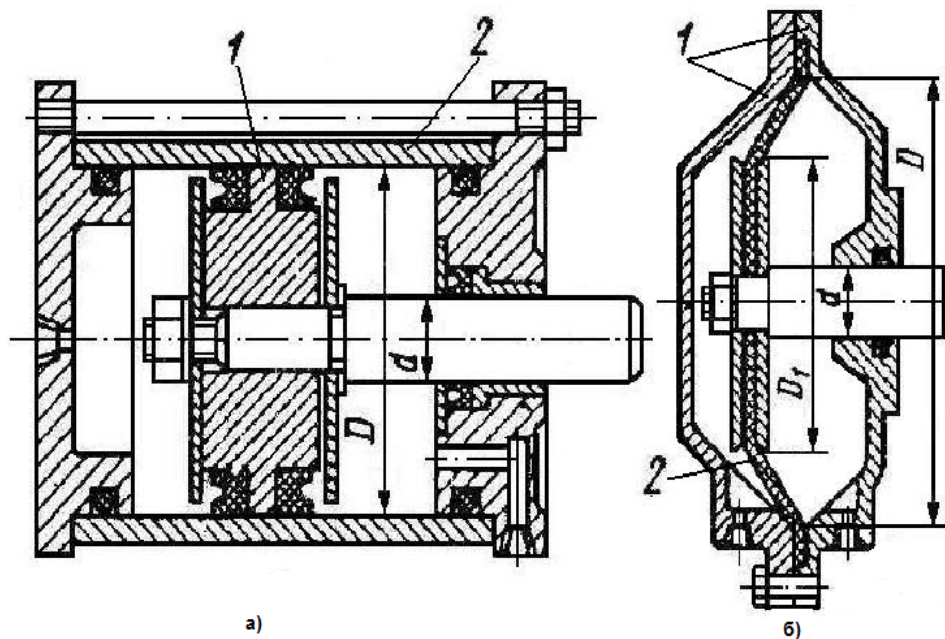


Рис. 4.1. Типы пневмодвигателей  
а - поршневой; б - диафрагменный

Основными деталями поршневого привода являются поршень 1 и цилиндр 2 (рис. 4.1 а). Поршневые приводы могут быть одностороннего и двустороннего действия. В приводе одностороннего действия рабочий ход производится сжатым воздухом, а холостой - усилием пружины. Они применяются, когда не требуется большой ход штока и когда при обратном ходе не требуется большой силы для отвода зажимных элементов в исходное положение. В приводе двустороннего действия и рабочий и холостой ход производится сжатым воздухом. Эти приводы применяют при больших ходах штока. Для герметизации рабочих полостей в пневмоцилиндре необходимы уплотнения на поршне и штоке, которые довольно быстро изнашиваются (обычно срок их службы не превышает 10 тыс. циклов срабатывания).

Пневмокамеры представляют собой конструкцию из двух литых или штампованных корпусов 1, между которыми зажата упругая диафрагма 2 из резины или прорезиненной ткани (рис. 4.1 б). В связи с этим рабочий ход штока пневмокамеры ограничен величиной возможной упругой деформации диафрагмы. Диафрагмы могут быть плоские и тарельчатые (рис. 4.2).

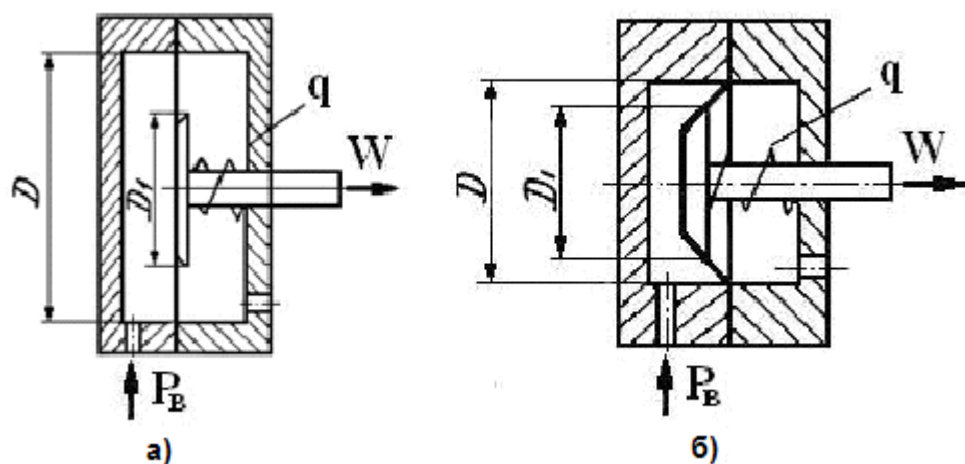


Рис. 4.2. Пневмокамеры с тарельчатой (а) и плоской (б) диафрагмой

Тарельчатые диафрагмы позволяют увеличить ход штока. Как и пневмоцилиндры, пневмокамеры могут быть одностороннего и двустороннего действия. Основным достоинством пневмокамеры является высокая долговечность (600 тыс. циклов срабатывания), что объясняется отсутствием трущихся уплотнений.

#### 4.1.2. Расчет силы зажима, развиваемой пневмокамерой

Расчётная схема пневмокамеры представлена на рис. 4.3.

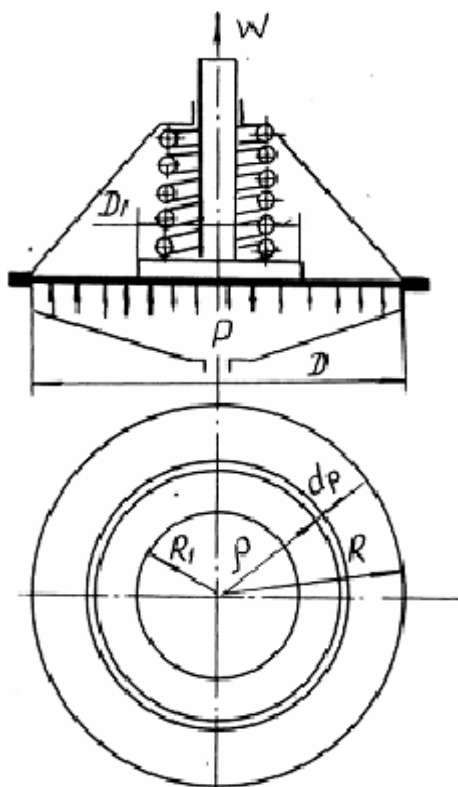


Рис. 4.3. Расчётная схема пневмокамеры

При расчёте силы на штоке пневмокамеры необходимо учитывать, что в связи с жёстким креплением диафрагмы в корпусе не вся сила сжатого воздуха передаётся на шток. Часть этой силы, приходящейся на кольцевую площадку  $0,5 \cdot (D - D_1)$ , передаётся корпусу. Поэтому полезное усилие  $W$  на штоке пневмокамеры можно представить состоящим из силы  $W_1$ , приходящейся на шайбу радиусом  $R_1 = 0,5 \cdot D_1$ , и силы  $W_2$ , приходящейся на кольцевую площадку, за вычетом силы  $q$ , необходимой для сжатия пружины:

$$W = W_1 + W_2 - q.$$

Сила  $W_1$  определяется по формуле:

$$W_1 = \frac{\pi D_1^2}{4} P_e = \pi R_1^2 P_e.$$

Силу  $W_2$  можно определить, пренебрегая упругостью материала диафрагмы. Для этого выделим элементарную кольцевую площадку на текущем радиусе  $r$  шириной  $dr$  (рис. 4.3). На эту площадку воздух действует с силой, равной  $2\pi P_v r dr$  (величиной  $(dr)^2$  можно пренебречь). Допустим, что на шток камеры будет передаваться только часть этой силы, пропорциональная отношению  $(R - r) / (R - R_1)$ , характеризующему положение элементарной кольцевой площадки тогда:



$$W_2 = \int_{R_1}^R \frac{R-\rho}{R-R_1} dW_2 = \frac{2\pi P_e}{R-R_1} \int_{R_1}^R (R\rho d\rho - \rho^2 d\rho) = \pi P_e \int_{R_1}^R \left( \frac{R\rho^2}{R-R_1} - \frac{2}{3} \frac{\rho^3}{R-R_1} \right) =$$

$$= \pi P_e \left[ R(R+R_1) - \frac{2}{3}(R^2 + RR_1 + R_1^2) \right] = \frac{\pi P_e}{3} (R^2 + RR_1 - 2R_1^2)$$

Подставив выражения для  $W_1$  и  $W_2$  в формулу для определения силы тяги, получим

$$W = \frac{\pi P_e}{3} (R^2 + RR_1 - 2R_1^2) - q$$

Величина силы  $W$  зависит от положения диафрагмы в камере, которое непрерывно изменяется при перемещении штока. Изменение силы  $W$  объясняется зависимостью величины  $q$  и упругого сопротивления материала мембраны от хода штока. На рис. 4.4 приведён график изменения усилия  $W$  в зависимости от хода штока  $L$  для нормализованной камеры диаметром 230 мм при давлении воздуха в сети  $P_b = 0,4$  МПа. Как видно из графика, кривая изменения силы имеет три характерных участка - в начале и конце рабочего хода сила резко уменьшается, в середине - стабилизируется. Поэтому при конструировании приспособлений с пневмокамерами рабочий ход следует выбирать таким образом, чтобы при закреплении заготовки диафрагма занимала примерно среднее положение (обеспечение постоянного усилия зажима).

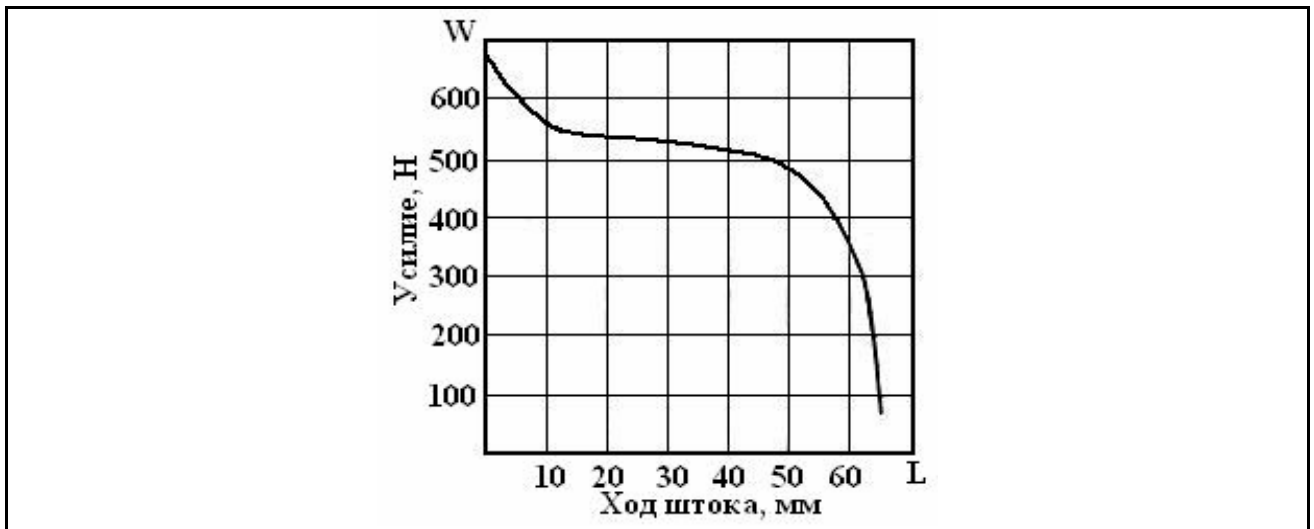


Рис. 4.4. График зависимости усилия от хода штока пневмокамеры

Расчёт величины усилия, развиваемого пневмокамерами, можно производить по формулам, представленным в [табл.4.1](#).

### 4.1.3. Описание лабораторной установки

Конструкция лабораторной установки представлена на рис. 4.5. На основании 1 закреплена пневмокамера 2, которая через рычаг 3, закреплённый в стойке 4, передаёт усилие на блок образцов 5. Блок образцов располагается на динамометре 6 марки ДОСМ-3-5. Величина усилия закрепления фиксируется индикатором 7. К основанию 1 снизу прикреплены четыре опорных элемента 8, выполненных из швеллера, с помощью которых установка располагается на рабочем столе. Величина хода штока пневмокамеры контролируется с помощью линейки 10 и жёстко закреплённой на нём стрелки 9. При работе усилие, создаваемое пневмокамерой 2 через рычаг 3 передаётся на блок образцов и динамометр. Рычаг является равноплечным, поэтому усилие создаваемое пневмокамерой без трансформации передаётся на динамометр.

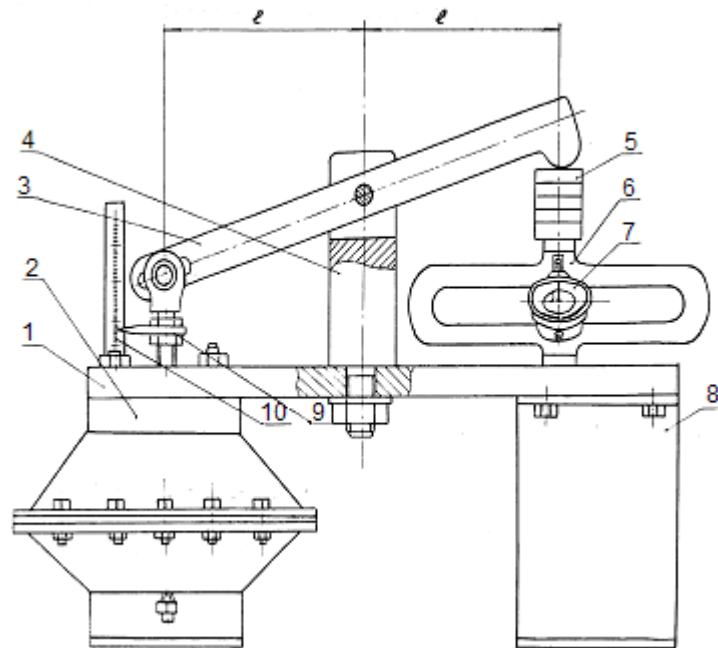


Рис. 4.5. Конструкция лабораторной установки

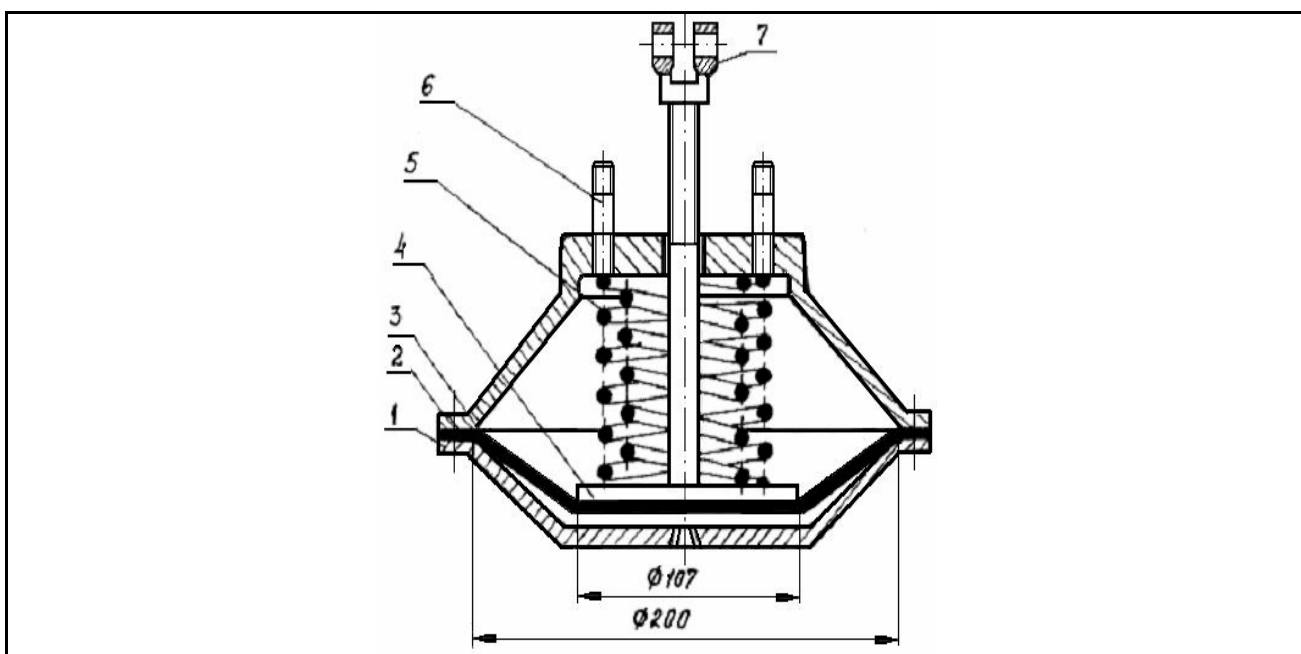


Рис. 4.6. Конструкция пневмокамеры

Между нижней 1 и верхней 2 чашками корпуса камеры закреплена резинотканевая тарельчатая диафрагма 3 с наружным диаметром 200мм, сверху над диафрагмой расположен шток 4, посредством которого передаётся развиваемое пневмокамерой усилие. Опорная поверхность штока имеет размер  $\varnothing 107$  мм. В эту поверхность упираются пружины 5, которые возвращают шток в исходное положение после стравливания воздуха из нижней полости пневмокамеры. Пружины развивают усилие сжатия 60...100 Н. С помощью шпилек 6 пневмокамера прикрепляется к основанию 1 (рис. 4.5). Вилка 7 навинчивается на резьбовой конец штока и служит для его соединения с рычагом.

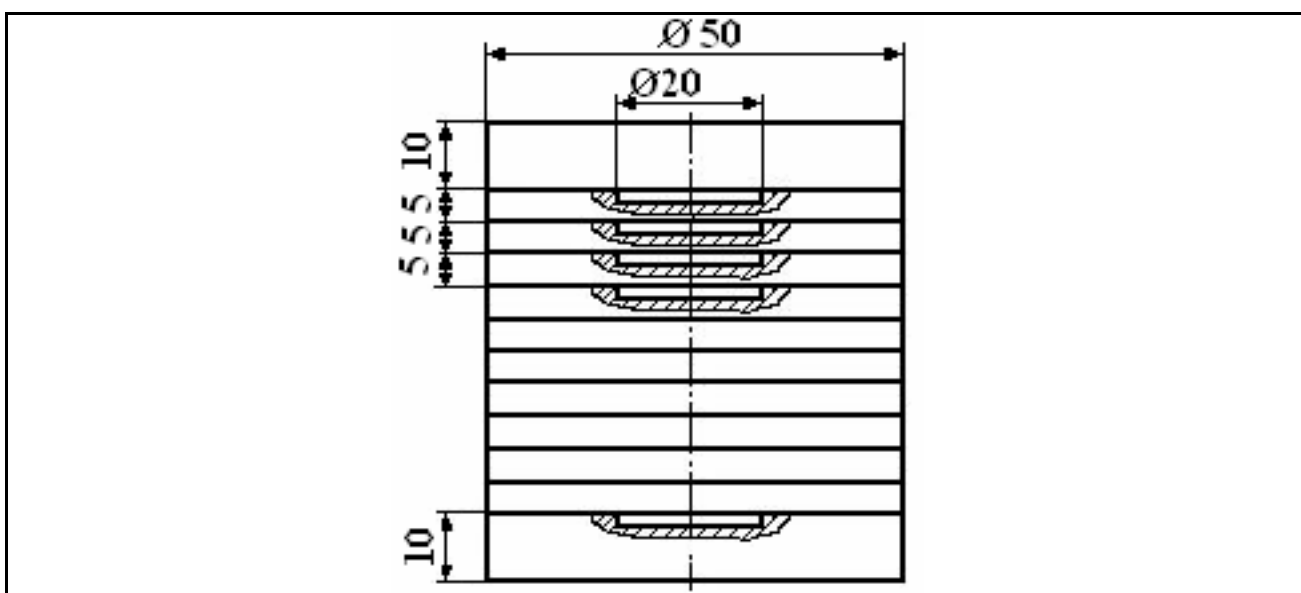


Рис. 4.7. Блок образцов

На рисунке 4.7 представлена конструкция блока образцов, в состав которого входят

два плоских опорных образца (верхний и нижний) толщиной 10 мм и десять образцов толщиной 5 мм. Диаметр образцов  $\varnothing 50$  мм. В комплект также входит один образец (верхний) толщиной 9 мм. Между собой образцы центрируются по цилиндрическим поясам  $\varnothing 20$  мм. Конструкция блока образцов позволяет изменять его высоту с интервалом в 5 мм и тем самым регулировать величину хода штока пневмокамеры.

#### 4.1.4. Порядок выполнения работы

1. Изучить конструкции пневмоприводов и конструкцию пневмокамеры, приведённую на рисунке 4.6.

2. Расчётным путём определить величину зажимного усилия, развиваемого пневмокамерой, в исходном положении штока и после его перемещения на расстояние  $0,3 D$  при давлениях воздуха  $P_B = 0,4$  МПа и  $P_B = 0,6$  МПа.

3. Экспериментально определить зависимость усилия закрепления от хода штока, для чего:

- установить блок образцов (высота блока 70 мм) на динамометр, что соответствует исходному положению штока;

- подать сжатый воздух в пневмокамеру последовательно при давлении  $P_B = 0,4$  МПа и  $P_B = 0,6$  МПа, фиксируя при этом в протоколе проведения экспериментальных исследований (табл. 4.2) показания индикатора динамометра 7 ([рис.4.8](#)) в мм;

Таблица 4.2

Протокол проведения экспериментальных исследований

Давление воздуха	Усилие		Ход штока L, мм													
			0	1	5	10	15	20	25	30	31	35	40	45		
$P_B = 0,4$ МПа	W	мм														
		Н														
$P_B = 0,6$ МПа	W	мм														
		Н														

- по тарировочному графику динамометра ДОСМ-3-5, представленному на рисунке 4.8 определить численное значение усилия закрепления в зависимости от показаний индикатора;

- из блока образцов удалить один из средних образцов толщиной 5 мм и повторить замеры усилия закрепления (величина хода штока 5 мм);

- повторить измерения при последовательном удалении средних образцов до хода штока соответствующего величине  $0,3 D$ ; - построить график зависимости усилия закрепления от величины хода штока пневмокамеры (см. [рис.4.4](#));

- провести сравнение экспериментальных данных с теоретическими расчётами;
- сделать выводы по полученным результатам.

4. Определить изменение сил закрепления при зажиме заготовок, имеющих допуск на установочную базовую поверхности в пределах  $1,0$  мм, для чего:

- в блоке образцов заменить верхний образец толщиной 10 мм на образец толщиной 9 мм, высота блока после этого составит 69 мм;

- установить блок образцов на динамометр и провести замер усилий при давлениях воздуха  $P_B = 0,4$  МПа и  $P_B = 0,6$  МПа;

- удалить шесть средних образцов, что будет соответствовать перемещению штока на 31 мм от исходного положения и повторить измерения;

- определить разброс усилий закрепления и сделать вывод.

5. Оформить отчёт по выполненной работе.

6. Сдать рабочее место учебному мастеру.

## Вопросы для самоконтроля

1. Каково назначение силового привода в приспособлении?
2. Достоинства и недостатки пневматических приводов?
3. Что входит в состав пневмопривода?
4. Какие типы пневмодвигателей используют в приспособлениях?
5. В чём достоинства и недостатки пневмокамер?
6. Какие типы диафрагм применяют в пневмокамерах?
7. Нарисуйте график зависимости усилия от хода штока пневмокамеры.
8. Каким образом экспериментально определяется усилие, развиваемое пневмокамерой при различных положениях штока?

## Литература

1. Шулепов А.П., Шманёв В.А., Шитарев И.Л. Проектирование технологической оснастки: Учебник. Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т., 1996.-332 с.
2. Станочные приспособления для станков с ЧПУ: Уч. пособие /В.Ф. Безъязычный и др.; Под. общ. ред. В.Ф. Безъязычного.- М.: Машиностроение, 2000.-147 с.
3. Станочные приспособления: Справочник. В 2 т. / Под ред. Б.Н. Вардашкина. - М.: Машиностроение, 1984.

## **5. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ГТД ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**



## **5.1. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ - ФРЕЗЕРОВАНИЯ И СВЕРЛЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Цель работы – ознакомить студентов с особенностями механической обработки композиционных материалов (КМ) путем сравнения ее результатов с результатами обработки традиционных материалов.

### 5.1.1. Особенности механической обработки композиционных материалов (КМ)

Одной из важных особенностей КМ является возможность, а часто и необходимость, совместить технологические процессы получения материала с изготовлением самого изделия. И хотя при этом изделие приобретает относительно высокие точность и качество поверхностей, все же в большинстве случаев оказывается необходимой окончательная доработка его средствами механической обработки резанием и холодной обработки давлением. Доработка может быть связана с удалением припусков и напусков, достижением требуемой точности поверхностей или конфигурации (пазов, канавок, выемок и т.п.), а также для оформления по месту присоединения при установке деталей в сборочную единицу (обработка под крепеж, склеивание). Необходимость доработки может быть вызвана и устранением дефектов материала или ремонтом изделия. Для получения окончательной формы, размеров и качества поверхностей изделий из КМ применяются почти все существующие методы механической обработки и штамповки, а также такие физические методы как лазерные, электроэрозионные, ультразвуковые, плазменные.

Механическая обработка КМ резанием имеет ряд специфических особенностей, отличающих ее от обработки традиционных материалов - металлов и их сплавов. Эти особенности сводятся к следующим [1, 2]:

1. Ярко выраженная анизотропия свойств КМ в разных направлениях, связанная с характером армирования этих материалов. Анизотропия свойств определяет изменение условий процесса резания даже за время одного оборота заготовки или инструмента (колебание сил резания, различие в стружкообразовании), т.е. при обработке вдоль и поперек волокон арматуры. С этим связан и разброс показателей качества обработанных поверхностей.

2. Относительная сложность получить обработанную поверхность высокого качества. Например, при затуплении инструмента и возрастании сил резания можно наблюдать появление в обрабатываемом материале трещин, расслоений и выкрашивания связующего, особенно заметных в местах входа и выхода инструмента, что связано с недостаточностью адгезии (сцепления) матрицы с наполнителем. Очевидно, что сложная структура КМ при резании может начать расслаиваться, а при перерезании армирующих волокон, особенно в случаях перекрестного (двумерно ориентированного) армирования, возникает разломачивание перерезаемых волокон. Эти обстоятельства являются причиной снижения качества обработанных поверхностей.

3. Низкая теплопроводность КМ на полимерной основе, в сотни раз меньшая, чем у металлов, обуславливает слабый отвод тепла со стружкой и в обрабатываемую заготовку. Это является причиной того, что при обработке указанных материалов основная доля теплоты резания отводится через режущий инструмент: установлено, что через инструмент отводится до 90% теплоты резания и лишь по 5% ее отходит со стружкой и в обрабатываемый материал. Такое распределение теплового баланса крайне осложняет условия работы инструмента, негативно сказываясь на его состоянии.

4. Стекланные, борные и углеродные волокна в арматуре КМ обладают высокой твердостью и абразивной способностью, вызывая интенсивный абразивный износ инструментов. Этим объясняется то, что стойкость инструментов при обработке КМ намного ниже, чем при обработке традиционных материалов на металлической основе.

5. Сама по себе высокая твердость наполнителя волокнистых КМ крайне осложняет их механическую обработку. Например, у материалов на основе волокон бора микротвердость в 4...5 раз выше твердости быстрорежущей стали и 1,5...2 раза превосходит твердые сплавы,

применяемые в инструментах. Известно, что для эффективного резания отношение микротвердостей инструмента и материала заготовки должно составлять 4 ... 6. Поэтому в настоящее время для обработки некоторых КМ широко применяют сверхтвердые материалы (СТМ) на основе натуральных алмазов.

6. Процесс резания КМ может сопровождаться деструкцией полимерных связующих. Деструкция - распад, разложение - полимеров вызывается влиянием действующих локальных напряжений и температур, превышающих теплостойкость полимера. В результате разрушения молекулярных цепей исходного полимера образуется новый вязкотекучий в микрообъемах полимер, способствующий возникновению механико-химического адсорбционного износа инструмента в дополнение к абразивному износу. Наличие же деструктированного - дисперсированного слоя на обрабатываемых поверхностях приводит к ухудшению эксплуатационных характеристик изделия из КМ.

7. Высокие упругие свойства КМ вызывают упругое восстановление слоя материала, лежащего под поверхностью резания. Это увеличивает площадь контакта между инструментом и обрабатываемым материалом и ведет к возрастанию силы трения на задней поверхности инструмента. Указанный фактор способствует округлению (притуплению) режущих кромок инструментов и, таким образом, является еще одним фактором интенсификации их износа.

Упругое восстановление обработанной поверхности изделий следует учитывать и при оценке точности: например, при сверлении отверстий в КМ их диаметр оказывается на 1,5 ... 3 % меньше диаметра инструмента.

8. Многие полимерные КМ имеют низкую теплостойкость. В зависимости от типа связующего теплостойкость таких КМ составляет 160...300°С. При температурах, превышающих указанные, при резании происходит выгорание связующего, и на поверхности после обработки появляются прижоги. Поэтому уровень температур в зоне резания должен быть значительно ниже, чем при обработке металлов. В то же время обеспечить такой уровень температур достаточно сложно, тем более что в большинстве случаев применение СОЖ не допускается из-за интенсивного поглощения влаги композиционным материалом.

9. При обработке КМ резанием иначе, чем при обработке металлических материалов, происходит процесс стружкообразования. Это объясняется различиями в структуре КМ, из-за чего процесс его разрушения носит хрупкий характер. При этом образуются мельчайшие частицы наполнителя, смешанные со связующим, а также летучие, порой токсичные, вещества (как результат упомянутый выше деструкции связующего). Последнее обстоятельство предъявляет повышенные требования техники безопасности и производственной санитарии, которые надлежит соблюдать при обработке КМ.

Изложенное показывает, что при механической обработке резанием КМ для повышения точности, качества обрабатываемых поверхностей, производительности и экономичности целесообразно соблюдать следующие рекомендации:

- использовать преимущественно инструменты, оснащенные твердыми сплавами (ТС) марок ВК2, ВК4, ВК3М;

- не допускать работу затупившимися резцами, тщательно контролируя остроту режущих кромок;

- учитывать, что геометрические параметры - углы режущей части резцов для обработки КМ отличаются от таковых для резцов, работающих по металлу.

Рекомендуемые значения углов:  $\alpha = 20^\circ$ ;  $\gamma = 15^\circ$ ;  $\varphi = 45^\circ$ ;

- рекомендуемые значения скоростей резания при точении стеклопластиков - от 20 до 60 м/мин, и возрастают по мере уменьшения глубины резания от 4 до 0,5 мм и подачи - от 0,4 до 0,1 мин/об;

- использование СОЖ для охлаждения инструментов и зоны резания нежелательно и даже недопустимо. Можно использовать охлаждение сухим сжатым воздухом;
- зону обработки КМ необходимо обезопасить устройством надежной вытяжной вентиляции.

Из приведенных требований в условиях производства наиболее сложно контролировать износ резцов, тем более, что допустимая его величина при обработке КМ значительно меньше, чем при аналогичной обработке металлов.

Поэтому состояние резцов часто оценивают по косвенным показателям - технологическим факторам, определяющим качество поверхности. Это такие обнаруживаемые визуально дефекты поверхности КМ, как сколы, расслоения, разломачивание, прочности, определенный уровень шероховатости. По этим наглядным характеристикам и оценивают состояние режущих инструментов и их работоспособность.

Одной из основных характеристик состояния поверхностного слоя КМ после механической обработки является шероховатость. Она же наиболее доступна для контроля в условиях производства. Шероховатость поверхности определяется рядом факторов - схемой армирования КМ, геометрией режущего инструмента, степенью его износа. Однако большинство исследователей в качестве основного определяющего параметра называют режим резания - его скорость  $V$ , м·мин<sup>-1</sup>; подачу  $S$ , мм об<sup>-1</sup>; глубину резания  $t$ , мм.

В результате экспериментальных исследований с использованием многофакторного планирования А.А. Степановым установлены зависимости параметра шероховатости  $R_z$ , мкм (высота неровностей профиля по десяти точкам) от режимов резания. Так, при фрезеровании стеклопластика в направлении, перпендикулярном армирующим волокнам,

$$R_z = 35,5 + 0,078(V - 25,6) + 25,58(S - 0,21) + 4,72(t - 1,37),$$

(1)

в то же время в направлении армирования

$$R_z = 27,25 + 0,038(V - 25,6) + 6,22(S - 0,21) + 4,862(t - 0,9).$$

(2)

### 5.1.2. Содержание работы

Работа включает в свое содержание выполнение следующих этапов:

1. Расчет шероховатости  $Rz$  по формулам (1) и (2) для образцов из стеклопластика. Исходные данные задаются преподавателем.
2. Математическая обработка профилограмм шероховатости (Приложение 7) с целью определения экспериментальных величин  $Rz$  для всех образцов (Приложение 8).
3. Сравнение расчетных величин  $Rz_p$  с экспериментальными  $Rz$ . Выполняется только для образцов из КМ, обработанных острой фрезой.
4. Сравнение параметров  $Rz$ , полученных из профилограмм, снятых с образцов из КМ и стальных, после обработки их на одинаковых режимах резания.
5. Визуальное исследование состояния (прижоги, расслоение, разломачивание) образцов из КМ, обработанных на грубых режимах фрезерованием и сверлением.
6. Сравнение шероховатости обработанных в одинаковых условиях резания поверхностей стального образца и образца из композиционного листового материала - жаростойкого пластика (ЖСП).
7. Сравнение шероховатости обработанных в различных условиях резания образцов из ЖСП.
8. Ознакомление с результатами обработки на напряженных режимах резания образца из ЖСП.

Образцы изготавливаются из конструкционной стали (Ст. 3 обыкновенного качества, поставляемая по механическим свойствам,  $\sigma_b=380...400$  МПа) и стеклопластика ЖСП (предел прочности при растяжении вдоль волокон  $\sigma_1=1,75$  ГПа). Механическая обработка образцов - фрезерование - выполнялась концевыми острой и изношенной фрезами из быстрорежущей стали P18 (диаметр фрез  $\varnothing 20$  мм., число зубьев - 6, передний угол  $\gamma=8^\circ$ , задний угол  $\alpha=15^\circ$ ). Изношенная фреза имеет износ по задней поверхности около 1 мм и заметные следы выкрашивания на режущих кромках зубьев.

Для анализа шероховатости на образцах обрабатывалось по три поверхности - каждая на определенной величине подачи: 0,1 мм/об (0,017 мм/зуб), 0,27 мм/об (0,045 мм/зуб) и 0,37 мм/об (0,062 мм/зуб). Глубина резания составляла 0,2...0,4 мм, а скорость резания оставалась постоянной – около 15,2 мм/мин (число оборотов фрезы - 242 об/мин), шероховатость обработанных поверхностей фиксировалась на профилограммах, записанных на профилометре - профилографе "Калибр - ВЭИ". Профилограмма и условия их записи представлены на рис. 1, 2, 3 (Приложение 7).

Грубая обработка образца из ЖСП выполнялась фрезерованием изношенной фрезой при глубине резания 1,5 мм., с подачей 0,37 мм/об, на скорости резания 5,2 мм/мин. На жестком режиме и изношенным сверлом выполнялось и сверление отверстия в ЖСП. Такие напряженные условия резания вызывают наглядные изменения (деструкцию) структуры материала, наглядные прожоги, а также позволяют наблюдать характерные для КМ разломачивание, расслоения и сколы на обрабатываемых поверхностях, особенно заметные при резании поперек волокон арматуры.

### 5.1.3. Порядок выполнения работы

1. Студентам демонстрируются стеклопластиковые (материал ЖСП) и стальной образцы и профилограмма, снятые с их обрабатываемых поверхностей (Приложение 7).
2. По исходным данным, заданным преподавателем, студенты рассчитывают параметр шероховатости  $Rz_p$  по формуле (1) и (2).
3. Профилограммы каждой обработанной поверхности подвергаются обработке и анализу с целью оценить для каждого случая и на всех образцах критерии шероховатости  $Rz_z$ , мкм. Условия записи профилограмм - вертикальное и горизонтальное увеличение - для каждого варианта обработки приведены на соответствующей профилограмме. Порядок обработки профилограммы изложен в Приложении 8 настоящим методическим указаниям.
4. Сопоставляются расчетные  $Rz_p$  и экспериментальные (по профилограммам)  $Rz_z$  значения шероховатости для образцов из КМ, обработанных острой фрезой, и делаются соответствующие выводы.
5. По получении значений  $Rz_z$  сопоставляются шероховатости обработанных поверхностей, а, кроме того, анализируются характерные особенности шероховатости стального и стеклопластиковых образцов (соответствие величинам подач инструмента, влияние разломачивания обработанных поверхностей стеклопластика) и делаются соответствующие выводы.
6. На грубообработанном образце из КМ отмечаются следы деструктивно-диспергированного слоя на обработанных поверхностях, наличие расслоений, разломачивания, сколов и приводится описание этих дефектов в отчете.

#### 5.1.4. Отчет по лабораторной работе

По итогам выполненной работы студент составляет отчет и предъявляет его преподавателю при сдаче зачета. Отчет должен содержать:

1. Сведения об образцах и их эскизы.
2. Сведения о режимах резания для всех случаев обработки образцов.
3. Результаты расчета параметра  $R_{zr}$  по зависимостям (1) и (2).
4. Копии профилограмм (на кальке) и расчеты величин шероховатости - высота неровностей  $R_{z\Delta}$  профиля для всех вариантов обработки.
5. Результаты сопоставления шероховатостей расчетной и экспериментальной (по величине  $R_z$ ) стеклопластиковых образцов, а также анализ профилограмм по характерным их особенностям.
6. Результаты сопоставления шероховатостей  $R_{z\Delta}$  стального и стеклопластиковых образцов, обработанных на одинаковых режимах.
7. Результаты визуального исследования состояния поверхностей грубо обработанного образца и выводы из этих наблюдений.

## Вопросы для самоконтроля

1. Какие цели преследует механическая обработка композиционных материалов?
2. Какие показатели характеризуют обрабатываемость волокнистых композитов?
3. В чем причина низкой обрабатываемости полимерных композитов с наполнителями из стекло-, угле- и борных волокон?
4. Какую роль в образовании шероховатости обработанных поверхностей композитов играет схема их армирования?
5. Каковы особенности геометрии режущих частей инструментов для обработки композитов?
6. Какие из методов механической обработки композитов наиболее предпочтительны?
7. Как проявляется прижог поверхностей композитов, подвергнутых механической обработке?
8. Каковы различия в расчетных и измеренных показателях шероховатости поверхностей композитов после равноценной механической обработки (одинаковых с расчетными режимов резания)?
9. Каковы различия в измеренных показателях шероховатости композитов и стали после равноценной механической обработки. В чем причины различий?



## Литература

1. И.М. Буланов, В.В. Воробей. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов: Учебник для вузов. - М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 1998. - 514 с.
2. Сборочные, монтажные и испытательные процессы в производстве летательных аппаратов: Учебник для вузов/ Под ред. В.А. Барвинка. - М.: Машиностроение, 1996. – 516 с.

## **5.2. РАЗРАБОТКА ТП ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛОПАТОК ГТД ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Цель работы – сообщить студентам знания для проектирования технологических процессов (ТП) изготовления лопаток ГТД из композиционных материалов (КМ) и умение практически претворить эти знания.

### 5.2.1. Конструкционные особенности лопаток ГТД из КМ

Проектирование любого изделия из КМ, самого материала и технологии изготовления изделия - есть единый, взаимосвязанный процесс. Поэтому проектирование лопатки из КМ, кроме разработки конструкции как таковой (узел крепления, форма пера и полок), включает и конструирование материала (выбор материалов и структуры армирования, выбор покрытия и др.). При этом должны быть тщательно учтены и требования к лопатке, и специфика свойств КМ. Чтобы удовлетворить условиям эксплуатации, лопатки должны обладать аэродинамическим совершенством, высокой жесткостью и прочностью при изгибе и кручении, достаточной вибропрочностью, ударной вязкостью и эрозионной стойкостью, а на хвостовике - ещё и контактной прочностью и прочностью на поперечный сдвиг. Лопатка должна сохранять работоспособность при длительной эксплуатации в различных климатических условиях. Качество изготовления КМ в лопатке должно исключать непрочности, разориентирование волокон, минимальные остаточные напряжения.

Разнообразие КМ и возможность управления их свойствами в широком диапазоне позволяет создавать рациональные конструкции направляющих и рабочих лопаток компрессоров и даже сопловых и рабочих лопаток турбин ГТД. Однако, проектируя лопатки, не следует забывать и об известных недостатках КМ как анизотропных материалах - недостаточных жесткости и прочности при поперечном сдвиге и отрыве, а иногда малой контактной прочностью, ударной вязкости и эрозионной стойкости. Эти недостатки преодолеваются соответствующими мероприятиями при комплексном решении вопросов механики, материаловедения и технологии изготовления [1].

Требованиям к материалам компрессорных лопаток наиболее полно отвечают такие КМ, как стеклоуглепластики и бороалюминий, а для турбинных лопаток - никелевые жаропрочные сплавы, армированные вольфрамовым волокном.

Одним из важных принципов конструирования деталей из КМ является обеспечение непрерывности армирующих элементов. Очевидно, что полностью реализовать этот принцип в послойных конструкциях материала в пера лопатки невозможно: во-первых - из-за неизбежного уменьшения толщины пера к кромкам, а во-вторых - из-за ограничения минимальной величины радиуса изгиба волокон арматуры на кромках (во избежание разрушения волокон). Чтобы уменьшить влияние этих неблагоприятных причин на прочность КМ в лопатке, используют различные варианты замыкания слоёв арматуры при формировании её пакета в процессе укладки слоёв. Эти варианты представлены на рис. 5.1:

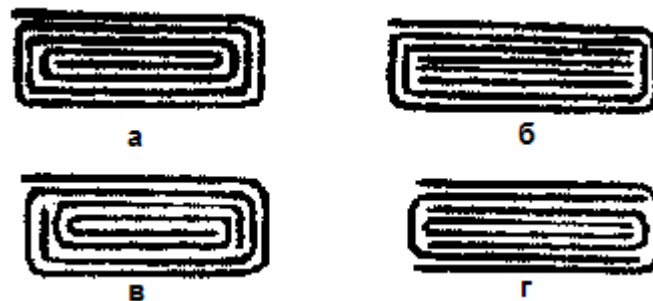


Рис. 5.1. Варианты замыкания слоёв арматуры при укладке её в пакет

а - замыкание по всему сечению;

б - замыкание во внешних слоях;

в - комбинированное замыкание;

г - замыкание полуконтуров по всему сечению.

Возможны различные конструкции укладок арматуры КМ в сечение пера лопаток (рис. 5.2).

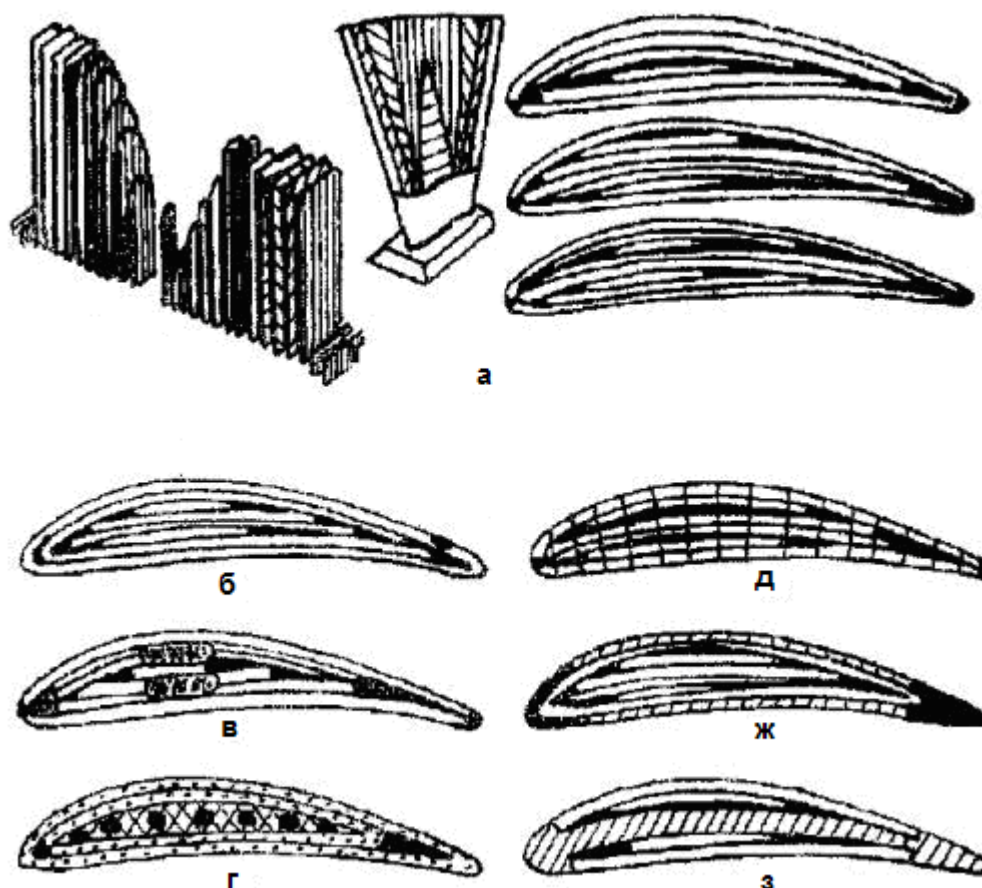


Рис. 5.2. Варианты укладки КМ в перо лопатки

Как видно из рис. 5.1, отдельные слои арматуры в виде тканей могут укладываться эквидистантно её наружной поверхности, срединной поверхности или комбинированным способом (рис. 5.2 а). Повышение прочности лопатки, которая снижена наличием разрывов в армирующих слоях, достигается применением оберточного слоя, стык которого размещается в наименее нагруженной зоне лопатки (рис. 5.2 б). Структура КМ в лопатке может содержать кроме слоёв и волокна (рис. 5.2 в), металлические или полимерные вставки (рис. 5.2 г, з), армирующие элементы в третьем направлении (рис. 5.2 д), а также металлическую оковку кромок и антиэрозионное покрытие (рис. 5.2 ж).

Лопатка из КМ должна иметь и работоспособный элемент крепления - хвостовик. Он может иметь различную конструкцию (рис. 5.3).

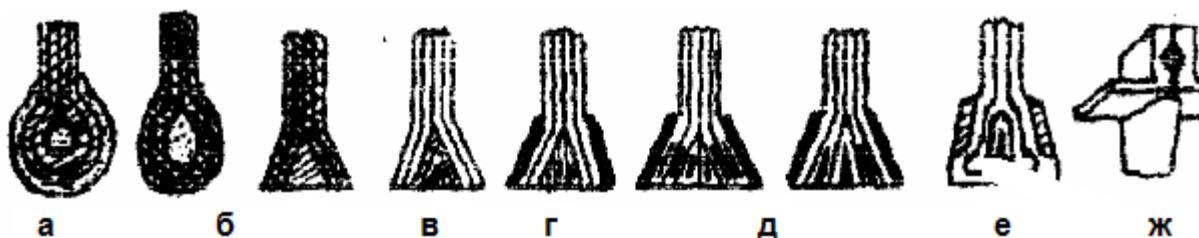


Рис. 5.3. Возможные конструкции хвостовиков лопаток из КМ

Хвостовик для шарнирного замка может быть выполнен цилиндрической или каплевидной формы с надежным замыканием волокон арматуры (рис. 5.3 а), но отличается большими габаритами и не исключает разрушения волокон при резких перегибах. Более удовлетворительным решением является хвостовик типа "ласточкин хвост" (рис. 5.3 б-е). Хвостовик с цельным клином из металла или КМ (рис. 5.3 б) не отличается прочностью из-за опасности отслоения клина под действием центробежных сил. Предпочтительнее хвостовик с несколькими металлическими клиньями, показанной на рис. 5.3 в. Для предотвращения сжатия боковые поверхности целесообразно усиливать металлическими накладками, например, из титанового сплава (рис. 5.3 г).

Лучшие результаты в эксплуатации достигаются при равномерном расклинивании арматуры пера лопатки (рис. 5.3 д). Применяются также конструкции хвостовиков Т-образной формы, если обеспечивается замкнутое бездефектное армирование в комлевой части пера (рис. 5.3 е). Крепление лопатки из КМ направляющего аппарата компрессора осуществляется с помощью полок из титанового сплава (рис. 5.3 ж). Уменьшить опасность расслоения КМ в хвостовике под действием различных нагрузок можно путём стягивания пакета болтами, штифтами, иглами, работающими на срез.

## 5.2.2 Сведения о технологических процессах изготовления лопаток из КМ

Подробная схема типового технологического процесса изготовления лопаток из ПКМ представлена на рис.5.4.

1. Процесс изготовления лопаток из полимерных КМ включает следующие основные операции:

- подготовку препрегов (пропитку, сушку) и их раскрой;
- подготовку пакета из раскроенных заготовок, с одновременным соединением пакета с металлическими элементами (при их наличии в конструкции лопатки);
- формование лопатки в пресс-форме либо прямым прессованием, либо предварительным таблетированием;
- сборка с металлическими частями (хвостовиком, полками), если они изготавливаются отдельно;
- механическая обработка;
- контроль;
- нанесение антиэрозионного покрытия (в том случае, если оно не может быть нанесено перед прессованием).

Раскрой материала препрегов выполняется и вручную по шаблонам и на лазерных установках - по программе. Раскроенные заготовки имеют припуск по длине, равный 10...15 мм, используемый при доработки лопатки.

Иногда перед прессованием выполняют таблетирование пакета. Оно играет роль предварительного формирования и характерно для изделий из ПКМ. Таблетирование выполняется вакуумным методом в эластичной герметически закрытой и вакуумируемой оболочке - мешке, в которую помещен пакет из КМ. Пакет со стороны спинки и корыта пера предварительно закрывается металлическими цулагами и пористым дренажным слоем.

Перед окончательным прессованием перо может быть покрыто антиэрозионным эластомером - плёночкам клеем на основе каучука.

Окончательное прессование выполняется в подогреваемых пресс-формах закрытого типа и с вакуумированием рабочей зоны пресса. В процессе прессования происходит и полная полимеризация связующего. Режимы прямого прессования КМ на основе эпоксидных связующих таковы: температура 120...180° С; удельное давление 30...55 МПа; выдержка 15 мин.

Антиэрозионное покрытие в зависимости от его состава может быть нанесено и после окончательного прессования.

Механическая обработка лопатки состоит в ручной зачистке кромок и конца пера, а также в фрезеровании и шлифовании механических элементов хвостовика (при их наличии).

Контроль лопатки включает проверку геометрии, структуры материала и ряд специфических испытаний (например, определение частоты собственных колебаний).

2. Процесс изготовления лопаток с металлической матрицей в целом состоит из перечисленных выше операций, а особенности его связаны с получением исходных заготовок. В качестве таковых обычно используются монослойные заготовки, состоящие из пластин матричного материала с закреплённой на нем арматурой. После вырезки монослоёв по контуру шаблонов их укладывают в пакет и подвергают либо прямому прессованию, либо прессованию с предварительной формовкой (для образования закрутки и изгибов пера). Формовка выполняется с подогревом пакета, чтобы создать волокнам арматуры условия ползучести и тем предотвратить разрушение арматуры.

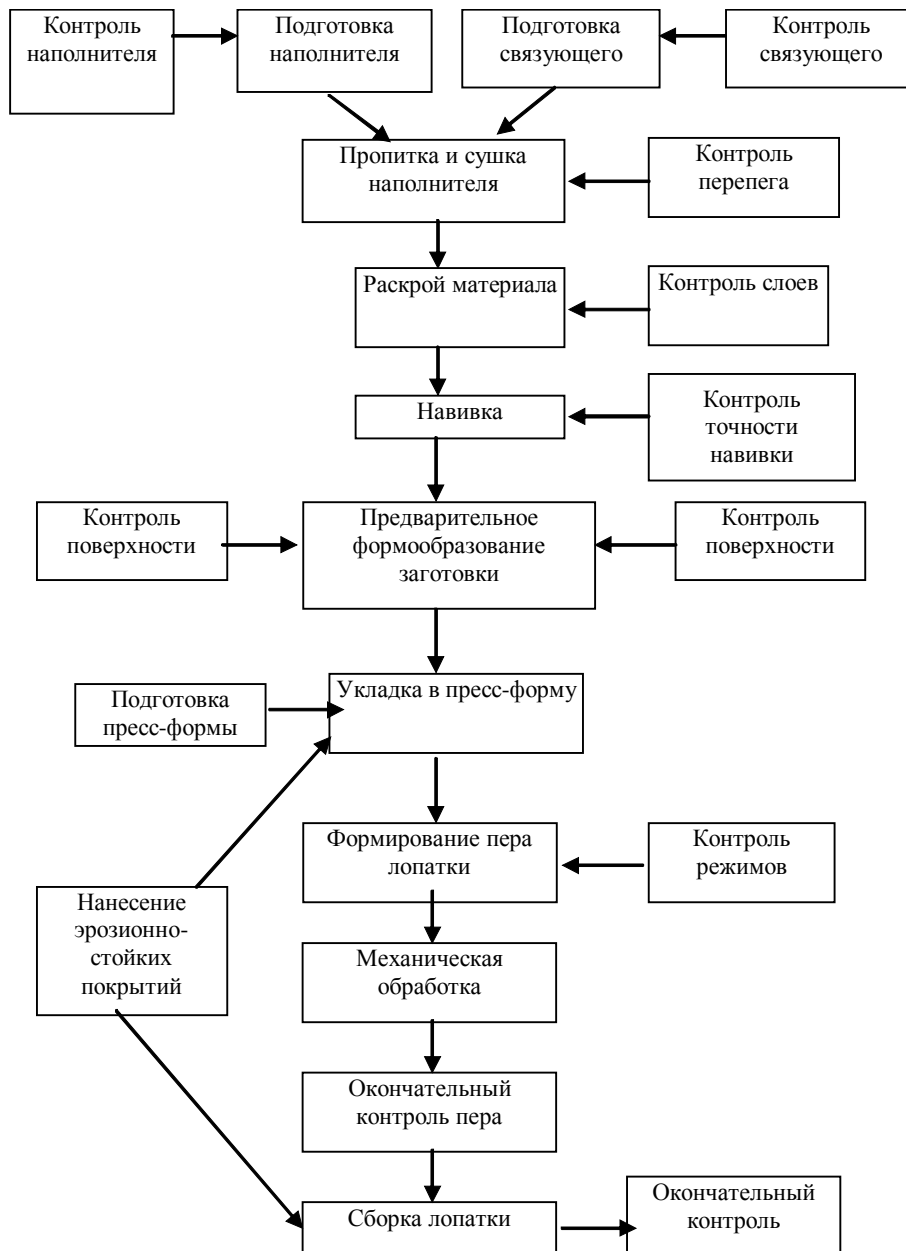


Рис. 5.4. Схема технологического процесса изготовления лопаток из ПКМ методом прямого прессования

Режимы прессования МКМ с матрицей из алюминиевого сплава с титаном и бором, и арматурой из борсика таковы: температура  $870^{\circ}\text{C}$ ; удельное давление  $30\dots 50\text{ МПа}$ ; выдержка 30 мин. Прессование может быть заменено диффузионной сваркой, сваркой взрывом, изостатическим прессованием с прокаткой. Используются и жидкофазные методы с применением вакуумной пропитки арматуры.

По завершении прессования и контроля качества материала (рентгеновского, ультразвукового и люминесцентного) выполняется механическая обработка и окончательный контроль лопатки.

### 5.2.3. Оборудование для изготовления лопатки из КМ

1. Раскрой слоев из неполностью отвержденных препрегов выполняется либо вручную по шаблонам, либо на лазерных установках с ЧПУ по программе. На выкройках отдельных слоёв наносят базовые риски, а если в пакете используются навивки из одного куска материала, то кроме базовых рисок на них наносят риски и по линиям сгибов. Собранный пакет прокалываются иглами, которые фиксируют положение слоев и служат базовыми элементами при установке пакета для таблетирования.

2. Таблетирование - предварительное формирование заготовки - выполняется в специальном устройстве (рис. 5.5).

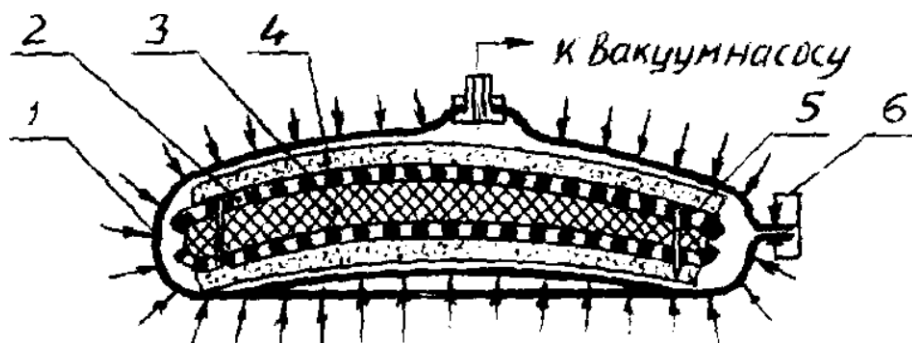


Рис. 5.5. Устройство для таблетирования

Оно состоит из герметичного чехла 1, в котором между двумя цулагами 2, имеющими форму спинки и корыта лопатки, помещается таблетка 3. Базирование таблетки в цулагах происходит по иглам 5. С внешней стороны цулаги обкладываются дренажными слоями 4 из тканей или пористых КМ. Их назначение - впитывать избыток связующего и поглощать газы, образующиеся при полимеризации связующего. После установки всех названных элементов в чехол, он герметизируется зажимами 6, подключается к вакуумнасосу и помещается в термостат. Давление в чехле устанавливают в пределах 0,07...0,08 МПа, а опрессовка таблетки происходит за счет атмосферного давления.

3. Готовая таблетка с защитными оковками и вставками в хвостовик устанавливается в подогреваемую пресс-форму (рис. 5.6).



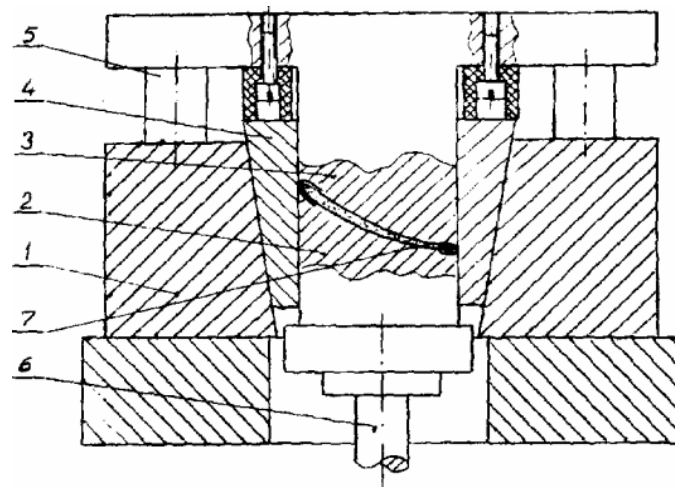


Рис. 5.6. Пресс-форма

Здесь таблетка 7 отпрессовывается с нагревом по требуемому режиму, размещаясь между матрицей 2 и пуансоном 3, которые находятся в обойме 1. Клинья 4 предотвращают растекание материала таблетки в сторону кромок. Колонки 5 обеспечивают точность взаимного расположения матрицы и пуансона, а выталкиватель 6 позволяет извлечь заготовку вместе с матрицей, пуансоном и клиньями по окончании процесса обработки. Температура прессования и давление поддерживаются постоянными в течение всей операции, а остывание заготовки до 40...45° С происходит вместе с пресс-формой.

4. Окончательными операциями ТП являются наклеивание облицовочных пластин на хвостовики, их шлифование на плоскошлифовальных или специальных станках до требуемой точности, отрезка припусков и напусков на металлорежущих станках, полирование окантовок и зачисток кромок, что выполняется обычно вручную.

#### 5.2.4. Содержание работы

Студенты изучают содержание предшествующих параграфов настоящих методических указаний, а затем получают от преподавателя индивидуальные задания на разработку технологического процесса изготовления одного из вариантов лопаток, перо которых представлено на рис. 5.2, а хвостовик – на рис. 5.3. Объединив эти элементы в одну конструкцию и выполнив её эскиз, студент получает представление о лопатке в целом. Предполагается, что все лопатки являются рабочими компрессорными и выполняются из стеклоуглепластика на эпоксидном связующем. Некоторые конструкции лопаток снабжены металлическими элементами, используемыми в качестве дополнительных упрочнений пера и хвостовика. Наличие таких элементов и места их расположения видны из соответствующих эскизов на рис. 5.2 и 5.3. По изображениям поперечных сечений пера и хвостовика студенты должны получить представление о характере расположения отдельных слоёв и упрочняющих продольных жгутов арматуры и металлических каркасов и вставок. Учёт направления волокон в каждом из армирующих слоёв по эскизам на рис. 5.2 с соответствующими рекомендациями, приводимыми на рис. 5.1, обязательно, т.к. должно быть учтено при разработке ТП.

Составив достаточно полное представление о конструкции, как самой лопатки, так и о конструкции КМ в ней, студент разрабатывает технологию изготовления этого изделия. При этом в качестве руководящих материалов используются сведения по технологии, приводимые в настоящих методических указаниях и знания, полученные на лекциях по курсу «изготовление деталей из специальных материалов».

Вначале разрабатывается маршрутная технология – перечень основных операций по изготовлению лопатки из КМ, а затем – операционная технология с описанием каждой операции и с иллюстрацией его соответствующими эскизами.

По завершении работы оформляется отчет, предъявляемый преподавателю при сдаче зачета по лабораторной работе.

### 5.2.5. Порядок выполнения работы

1. Ознакомившись с настоящими методическими указаниями, студент получает от преподавателя индивидуальное задание по конкретным эскизам, представленным на рис. 5.2 и 5.3.
2. Оформив в единое целое перо и хвостовик лопатки и уяснив конструктивные особенности КМ в её составе, студент получает достаточно полное представление об объекте производства. Конструкция лопатки в целом и схема укладки слоёв КМ при формировании пера представляются на эскизах.
3. Для получения конструкции лопатки студентом разрабатывается маршрутная технология.
4. По согласовании маршрутной технологии с преподавателем, студент разрабатывает операционную технологию, иллюстрируя её соответствующими эскизами. Текстовое описание операций должны быть краткими и произвольным по форме.

### **5.2.6. Отчет по лабораторной работе**

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Эскиз лопатки с указанием материала КМ и характера его укладки при формировании пера и хвостовика.
2. Маршрутную технологию изготовления лопатки.
3. Операционную технологию с описанием основных операций и поясняющими эскизами.

Отчет предъявляется преподавателю при сдаче зачета по лабораторной работе.

## Вопросы для самоконтроля

1. Почему конструирование и проектирование технологического процесса изготовления изделий из композитов неразрывно связаны?
2. Разновидности конструкций хвостовиков типа "ласточкин хвост" для лопаток компрессора и особенности их технологии.
3. Разновидности послойного формирования пера из тканевых наполнителей при изготовлении лопаток компрессора.
4. Схемы укладки тканевых наполнителей и основы их выбора.
5. Основные операции технологического процесса изготовления лопатки компрессора из композиционных материалов.
6. Каково назначение таблетирования композиционных материалов в технологии изготовления лопаток из них?
7. Каковы особенности применяемого специального оснащения и оборудования в технологии лопаток из композиционных материалов?

## Литература

1. Веселов С.И., Карташев Г.Г.. Композиционные материалы в авиадвигателестроении: - Учеб. пособие. – Куйбышев: КуАИ, 1986.– 121 с.

## Приложения

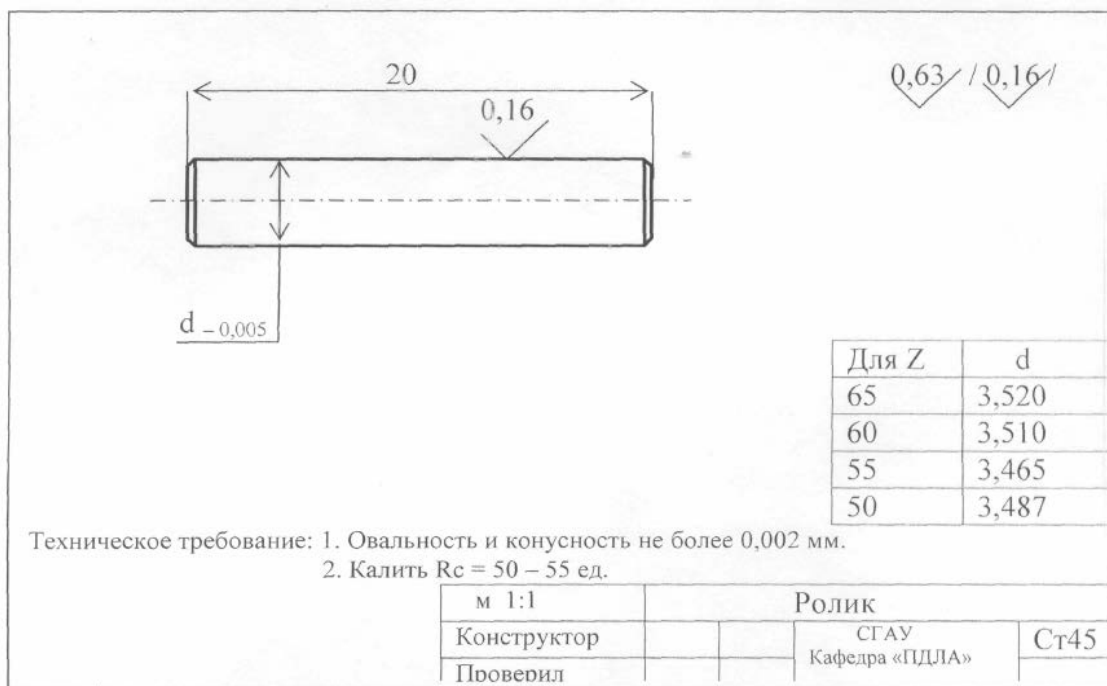


[Приложение 1](#)

(Чтобы открыть приложение - щелкните по ссылке мышью, при этом должна быть включена русская раскладка клавиатуры)

## Приложение 2

(Чтобы открыть приложение – щелкните по ссылке мышью, при этом должна быть включена русская раскладка клавиатуры)





Часть Ia

Расчет возможных значений параметров технологического процесса «кольцо»

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Исходные данные детали «кольцо» (см. чертеж, рис. 1)	Расчетные значения параметров технологического процесса.	Выводы, по результатам расчета.
<b>K<sub>1</sub></b> K <sub>1 max</sub> = 14,5 мм. <sup>#</sup> K <sub>1 min</sub> = 14,39 мм.	K <sub>1 max</sub> = ..... K <sub>1 min</sub> = .....	
<b>K<sub>2</sub></b> K <sub>2 max</sub> = 10,5 мм. K <sub>2 min</sub> = 10,07мм.	K <sub>2 max</sub> = ..... K <sub>2 min</sub> = .....	
<b>Z<sub>1</sub></b> Z <sub>1 min</sub> = 0.2 мм.	Z <sub>1 min</sub> = ..... Z <sub>1 max</sub> = .....	
<b>Z<sub>2</sub></b> Z <sub>2 min</sub> = 0.2 мм.	Z <sub>2 min</sub> = ..... Z <sub>2 max</sub> = .....	

**Общие выводы:** Выбор оптимального варианта технологического процесса. (Выбор производится на основании анализа нескольких вариантов технологических процессов).

.....

.....

.....

.....

**Сопоставление анализируемых вариантов технологических процессов.**  
 Выбор оптимального варианта технологического процесса  
 (Выбор производится на основании анализа нескольких вариантов).

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Часть Iб

**Определение возможности выполнять операции технологического процесса на настроенном оборудовании.**

**Расчет настроечных размеров.**

Комплексная технологическая размерная схема для операции № .....

Схема №1

Схема №2

**Размерная цепь №1.**

для определения размера  $a_0$

Данные для расчета:  
 $A_{on} = \dots\dots\dots$  (согласно операции)

$A_6 = \dots\dots\dots$   
выявить и рассчитать комплексная схемы технологического процесса (рис №1).

$A_y = 0^{+0,15}$  мм.

**Расчет размера  $a_0$**

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Выводы:

**Размерная цепь №2.**

для определения настроечного размера  $A_{нр}$

Данные для расчета:  
 $a_0 = \dots\dots\dots$  (см. расчет размерной цепи №1)

$a_{отж} = 0,15^{+0,05}$  мм.  
(согласно статистическим данным)


**Расчет настроечного размера  $A_{нр}$**

.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

Выводы:

Общие выводы по выполнению операции на настроенном станке:

**Часть II**  
**ВЫПОЛНЕНИЕ ОПЕРАЦИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА**  
**НА НАСТРОЕННОМ СТАНКЕ.**

№№ ОПЕРАЦИИ	Заданные операционные размеры и технические требования	Фактические значения размеров	
		Деталь №1	Деталь №2
№10 Токарная обработка.	$A_{оп.} = \dots\dots\dots$ (линейный размер)		
	$\phi 176_{-0,16}$	.....	.....
№15 Токарная обработка.	$A_{оп.} = \dots\dots\dots$ (линейный размер)		
	$\phi 160^{+0,063}$		
			
№20 Токарная обработка.	$\phi 176_{-0,063}$		
	$\sqrt{2,5}$		
№25 Выглаживание шариком.	$\phi 176_{-0,1}$		
	$\sqrt{2,5}$		
	Знак остаточных напряжений на наружной поверхности кольца.		

Примечание: Знак остаточных напряжений определяется сравнением размеров паза, полученного после разрезки колец на электронском станке электродом толщиной 1 мм.

Общие выводы по работе,

---



---



---



---

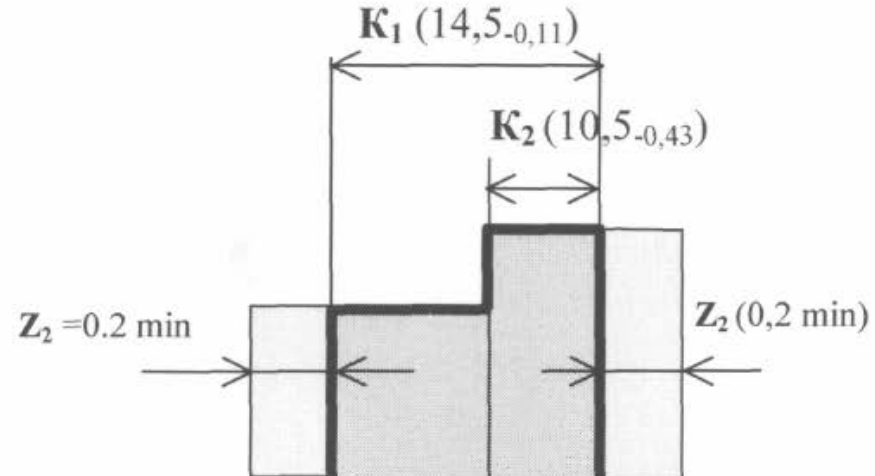


---

Подпись студента

Подпись преподавателя

**Кафедра**  
**«ПРОИЗВОДСТВО ДВИГАТЕЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ»**  
**Ф. И. О. студента..... ОТЧЕТ**      **Группа .....**  
**По лабораторной работе № ....**  
**Анализ технологического процесса изготовления детали « кольцо».**



Операция № 15  
Токарная обработка

Операция № 10  
Токарная обработка

Операция №5  
Исходная заготовка

**РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ технологического процесса**

				уравнения размерных цепей
Цепь №1				
Цепь №2				
Цепь №3				
Цепь №4				



**СПИСОК  
КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ОСНАСТКИ,  
НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА**

**Операция № 10**

- |                   |              |
|-------------------|--------------|
| 1. Штангенциркуль | - 0...200 мм |
| 2. Микрометр      | - 0...25 мм  |

**Операция № 15**

- |                                     |             |
|-------------------------------------|-------------|
| 1. Индикатор внутреннего измерения  |             |
| 2. Индикаторные часы                | - 0,01 мм   |
| 3. Эталонное кольцо                 | - 160 мм    |
| 4. Микрометр                        | - 0...25 мм |
| 5. Специальный прибор               |             |
| 6. Эталон шероховатости поверхности |             |

**Операция № 20**

- |                       |                  |
|-----------------------|------------------|
| 1. Микрометр          | - 175.....200 мм |
| 2. Профилометр        |                  |
| 3. Специальный прибор |                  |
| 4. Индикаторные часы  |                  |

**Операция № 25**

- |                       |                  |
|-----------------------|------------------|
| 1. Микрометр          | - 175.....200 мм |
| 2. Профилометр        |                  |
| 3. Специальный прибор |                  |
| 4. Индикаторные часы  |                  |

Контрольно-измерительная оснастка, необходимая для выполнения настройки станка на заданный размер:

- |              |                 |
|--------------|-----------------|
| Щуп наборный | - 0,03 ....1 мм |
|--------------|-----------------|

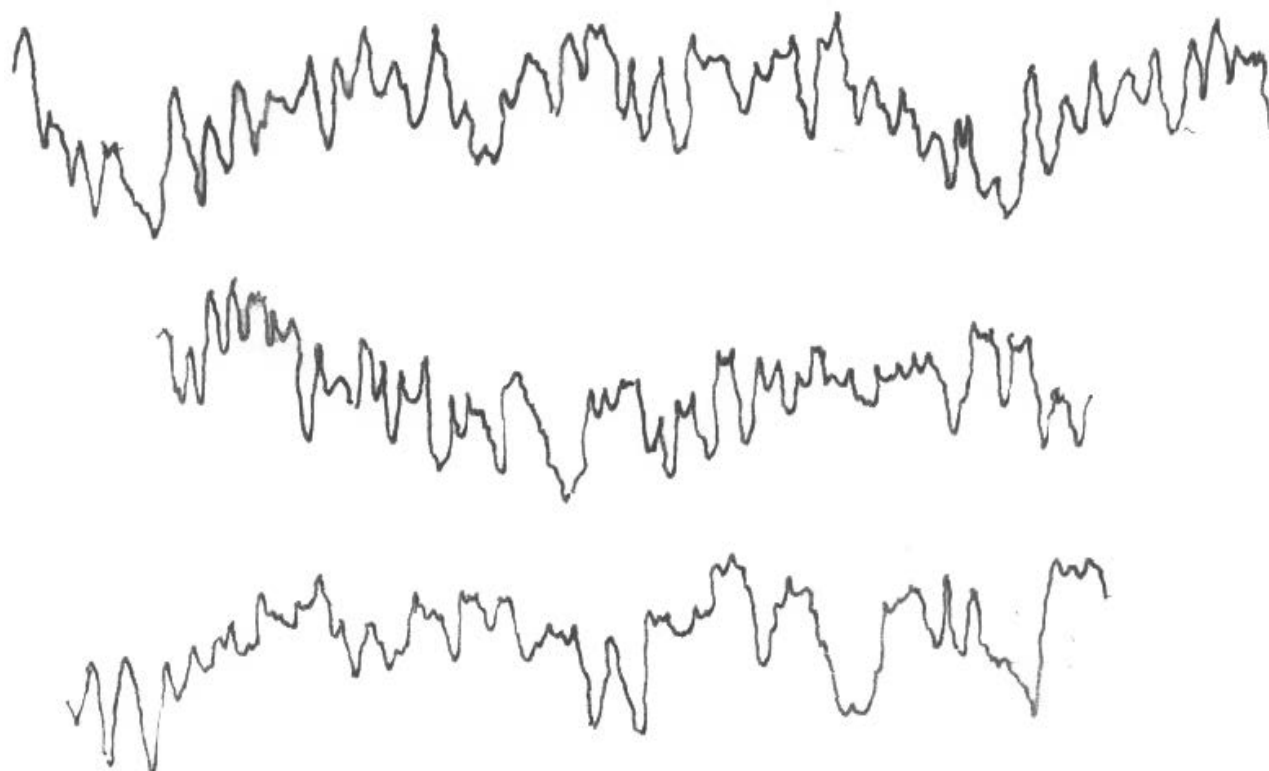


Рис. 1. Профилограммы образца из ЖСП  
обработанного с подачей фрезы:  
а - 0,1 мм/об; б - 0,27 мм/об; в - 0,37 мм/об.

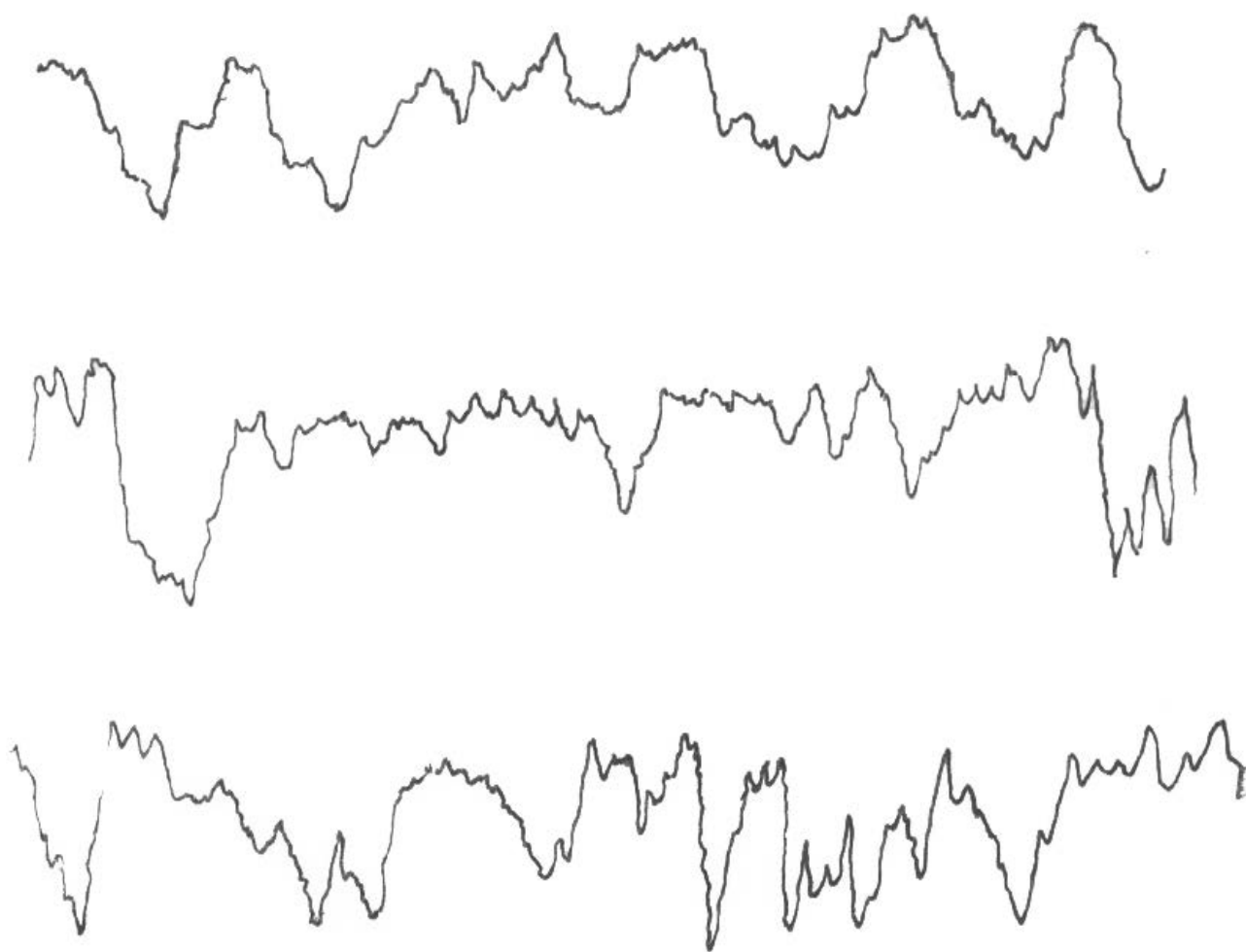


Рис. 2. Профилограммы образца из ЖСП,  
обработанного острой фрезой с подачей:  
а - 0,1 мм/об; б - 0,27 мм/об; в - 0,37 мм/об

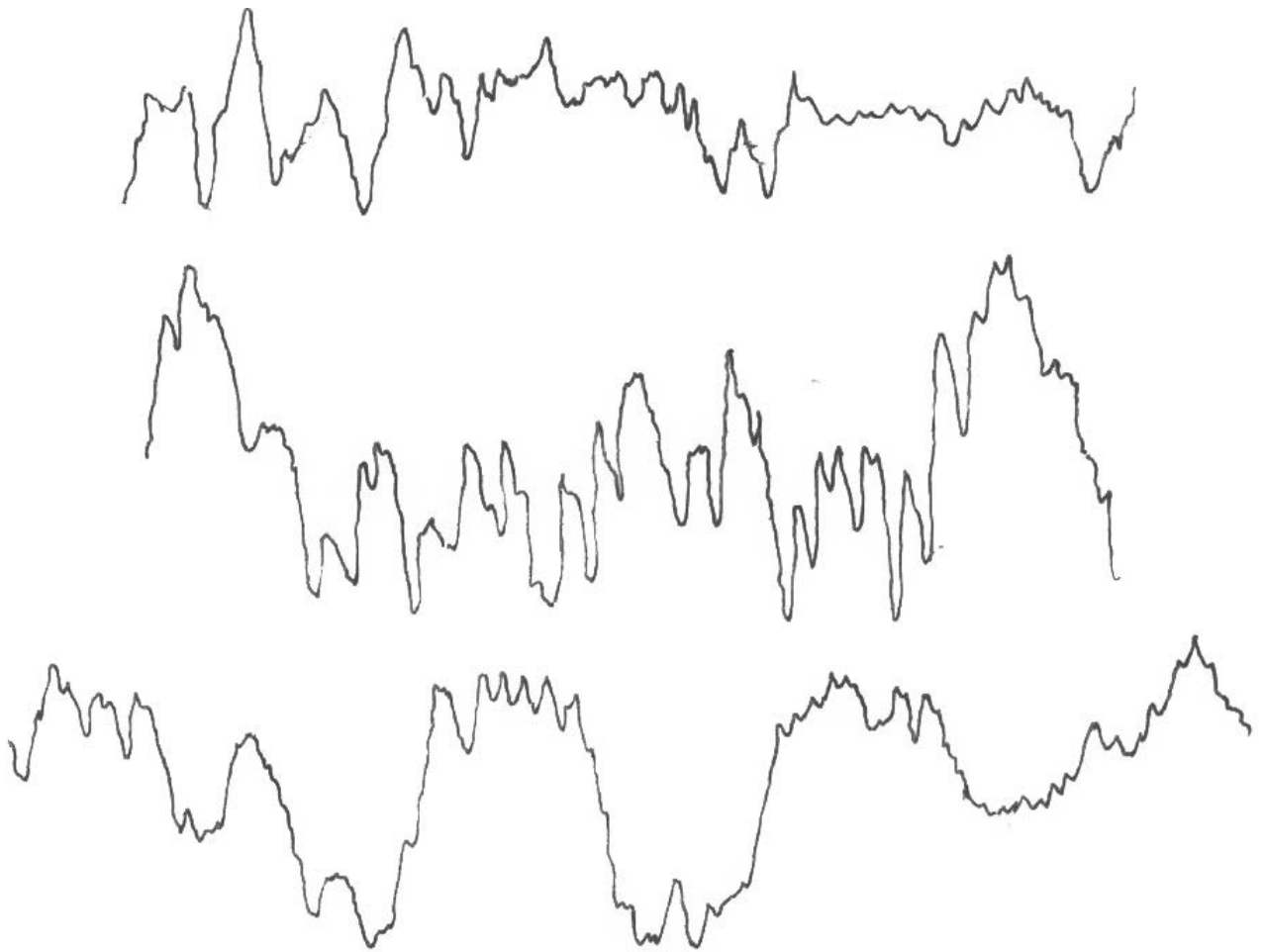


Рис. 3. Профилограмма образца из ЖСП,  
обработанного изношенной фрезой с подачей  
а - 0,1 мм/об; б - 0,27 мм/об; в - 0,37 мм/об

### Методика обработки профилограмм

Для измерения параметров шероховатости при ручной обработке профилограммы допускается приближенное определение направления средней линии профиля на основе визуального анализа профилограммы. Средняя линия профиля проводится параллельно общему направлению профилограммы таким образом, чтобы площади по обеим сторонам от этой линии до профилограммы были примерно равны между собой. Величина Rz рассчитывается по формуле:

$$Rz = \frac{1}{5v_B} \left( \sum_{i=1}^5 |H_{i\max}| \div \sum_{i=1}^5 |H_{i\min}| \right) \cdot 10^3, \text{ мкм}$$

где  $H_{i\max}$  и  $H_{i\min}$  - наибольшее и наименьшее отклонения профиля от средней линии соответственно. Эти величины определяются для пяти точек профиля;  
 $v_B$  - вертикальное увеличение профилограммы.