

САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА

# ИЗМЕРЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

САМАРА 2001  
*2002*

Составитель: *Е.В. Бурмистров*  
УДК 621.928.8

**Измерение отклонений формы цилиндрических поверхностей:** Метод. указания к лаб. работе /Самар. гос. аэрокосм. у-т, Сост. *Е.В. Бурмистров*. Самара, 2001. 20 с.

Рассмотрены система нормирования отклонений формы поверхностей, комплексные и частные показатели этих отклонений и правила обозначения допусков формы на чертежах в соответствии с ЕСКД. Дано описание средств и методов измерений отклонений формы цилиндрических поверхностей и их профилей.

Могут быть использованы при выполнении лабораторной и курсовой работ, домашних заданий по курсу "Метрология, взаимозаменяемость, стандартизация" студентами 1, 2, 3, 4-го факультетов. Кроме того, сведения по нормированию и обозначению допусков формы на чертежах могут быть использованы студентами при выполнении курсовых и дипломных проектов. Выполнены на кафедре МОМ.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева.

Рецензент доц. А. П. Ш у л е п о в

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Отклонения и допуски формы цилиндрических поверхностей.....	4
1.1. Основные понятия, виды и обозначение допусков формы на чертежах.....	4
1.2. Измерение отклонений формы профиля поперечного сечения.....	9
1.2.1. Конструкция и принцип действия кругломера КД мод. 290.....	9
1.2.2. Нахождение величины отклонения от круглости по круглограмме.....	10
1.2.3. Измерение овальности и огранки.....	12
1.3. Измерение отклонений формы профиля продольного сечения .....	14
2. Порядок выполнения работы.....	16
Контрольные вопросы.....	16
Приложение.....	18

Важным фактором, определяющим взаимозаменяемость деталей, наряду с точностью размеров является точность геометрической формы поверхностей и их профилей.

Основными причинами, обуславливающими возникновение отклонений формы поверхностей при обработке деталей, являются неточности и деформации станка, приспособлений, режущих инструментов и заготовок, неравномерность припуска на обработку, вибрации, происходящие в технологических системах в процессе резания, и др.

Отклонения формы оказывают влияние на характер соединений деталей машин, износ их поверхностей в процессе эксплуатации, а также на условия сборки и объем пригоночных работ. Поэтому при разработке конструкций изделий необходимо нормировать требования не только к точности размеров деталей, но и к точности формы сопрягаемых поверхностей.

Целью данной лабораторной работы является:

- ознакомление с системой нормирования допусков формы поверхностей;

- изучение комплексных и частных видов отклонений формы цилиндрических поверхностей и их профилей;

- приобретение навыков по обозначению допусков формы на чертежах в соответствии с ЕСКД;

- измерение отклонений формы и установление степени точности по ГОСТ 24643-81.

## **1. ОТКЛОНЕНИЯ И ДОПУСКИ ФОРМЫ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

### **1.1. Основные понятия, виды и обозначение допусков формы на чертежах**

Отклонением формы поверхности или ее профиля называют несоответствие формы реальной поверхности или реального профиля правильной геометрической форме, которую принимают в качестве номинальной. Количественной оценкой отклонений формы является наибольшее расстояние от точек реальной поверхности или реального профиля до прилегающих поверхностей или прилегающих профилей, измеренное по нормали к ним.

Прилегающая поверхность имеет форму номинальной поверхности, соприкасается с реальной поверхностью и расположена вне материала детали так, чтобы отклонение от нее наиболее удаленной точки реальной поверхности в пределах нормируемого участка имело

минимальное значение. Аналогичное по структуре определение можно дать понятию “прилегающий профиль”.

Применительно к цилиндрическим поверхностям базами для отсчета отклонений формы являются прилегающие цилиндры, прилегающие окружности и прилегающие профили продольного сечения.

Прилегающие цилиндры это: для отверстия — цилиндр наибольшего возможного диаметра, вписанный в реальную поверхность (рис. 1, а); для вала — цилиндр наименьшего возможного диаметра, описанный вокруг реальной поверхности (рис. 1, б).

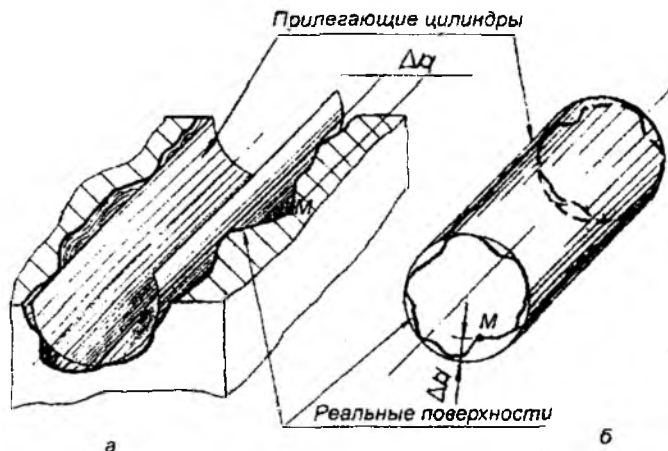
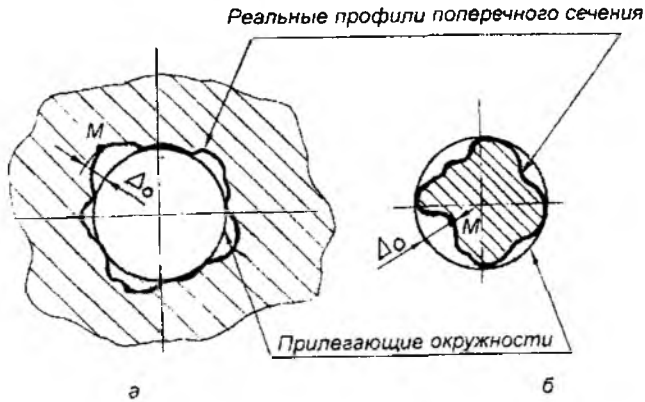


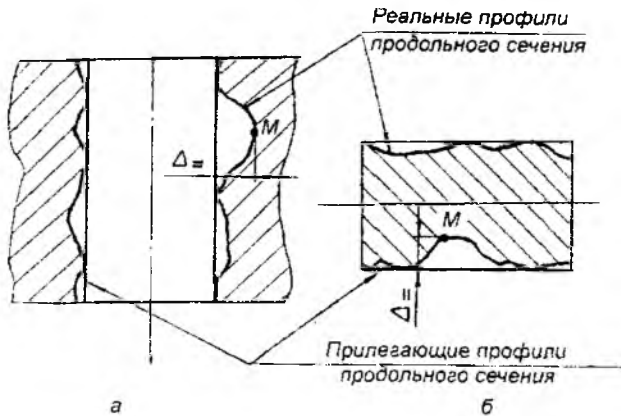
Рис. 1. Прилегающие цилиндры и отклонения от цилиндричности: а-для отверстия; б-для вала; М - точки реальных поверхностей, наиболее удаленные от прилегающих цилиндров

Аналогичные по структуре определения можно дать понятиям “прилегающая окружность” (рис. 2) и “прилегающий профиль продольного сечения” (рис. 3).

В качестве комплексного показателя, характеризующего отклонение формы реальной поверхности от прилегающего цилиндра, в соответствии со стандартом принято отклонение от цилиндричности, которое обозначается знаком  $\Delta q$  и учитывает все возможные виды отклонений формы цилиндрических поверхностей в любом поперечном и продольном сечениях. Количественно отклонение от цилиндричности  $\Delta q$  характеризуется наибольшим расстоянием точек реальной поверхности до прилегающего цилиндра (рис. 1).



**Рис.2.** Отклонения от круглости:  
 а-для отверстия; б-для вала; М - точки реальных профилей,  
 наиболее удаленные от прилегающих окружностей



**Рис.3.** Отклонения формы профиля продольного сечения:  
 а-для отверстия; б-для вала; М - точки реальных профилей,  
 наиболее удаленные от образующих цилиндров в этих сечениях

В настоящее время производство не располагает средствами измерений, которые позволили бы измерить величину отклонения от цилиндричности. В связи с этим стандартом предусмотрены комплексные показатели отклонений формы цилиндрических поверхностей в отдельных сечениях: в поперечном сечении —

отклонение от круглости, обозначается символом  $o$  (рис.2), а в продольном сечении – отклонение формы профиля продольного сечения, обозначается символом  $=$  (рис.3). При этом отклонение от круглости  $\Delta_o$  учитывает все возможные виды отклонений формы профиля в поперечном сечении, а отклонение формы профиля продольного сечения  $\Delta_=$  — все возможные виды отклонений формы в продольном сечении.

Для нормирования допусков формы поверхностей и профилей ГОСТ 24643-81 предусматривает 16 степеней точности: с 1-ой по 16-ю в порядке снижения точности. Таблица допусков цилиндричности, круглости и формы профиля продольного сечения приведена в приложении (с.20).

Кроме того, в зависимости от отношения допуска формы к допуску размера установлено три уровня относительной геометрической точности: нормальный (отношение допуска формы к допуску размера составляет для цилиндрических поверхностей 30%,

$$\frac{T_{\Phi}}{T_r} \cdot 100\% = 30\%); \text{ повышенный } \left( \frac{T_{\Phi}}{T_r} \cdot 100\% = 20\% \right); \text{ высокий } \left( \frac{T_{\Phi}}{T_r} \cdot 100\% = 12\% \right).$$

Из этих соотношений видно, что допуск формы не может быть больше допуска на размер. Если допуск формы особо не нормируется, то допустимые отклонения формы поверхности должны укладываться в допуск на размер.

Допуски формы необходимо нормировать в тех случаях, когда требуется обеспечить высокую точность геометрической формы поверхности или профиля деталей, например, для посадочных шеек валов под внутренние кольца подшипников качения. За счет этого достигается высокая степень однородности посадок в соединениях внутренних колец с валами, что благоприятно отражается на условиях эксплуатации и сборки подшипниковых узлов.

Обозначение допусков формы поверхностей и их профилей на чертежах в соответствии с ЕСКД иллюстрируется примерами, приведенными на рис.4.

Помимо комплексных отклонений, при различных видах обработки могут возникать и частные виды отклонений:

- в поперечном сечении: овальность и огранка (рис.5);
- в продольном сечении: конусообразность, бочкообразность, седлообразность (рис.6).

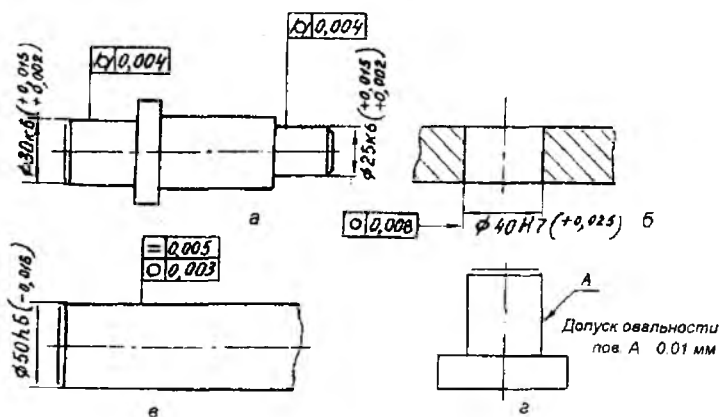


Рис. 4. Обозначение допусков формы на чертежах

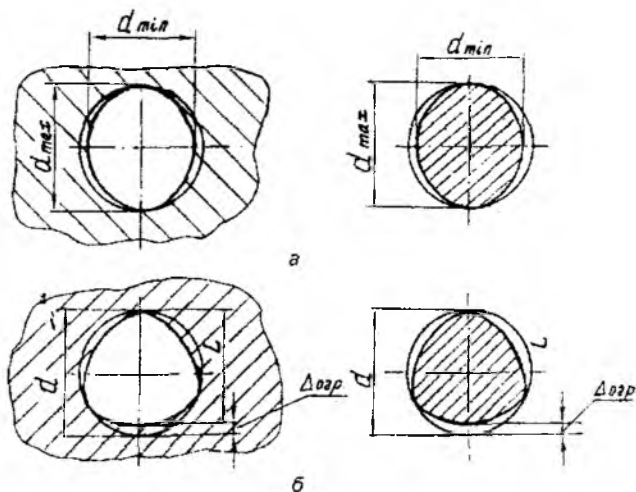


Рис. 5. Частные виды отклонений формы профиля поперечного сечения цилиндрических поверхностей:  
а-овальность, б-огранка

Допуски на частные виды отклонений на изображениях деталей в чертежах не указываются. Их величина при необходимости оговаривается в технических требованиях (рис. 4, г).



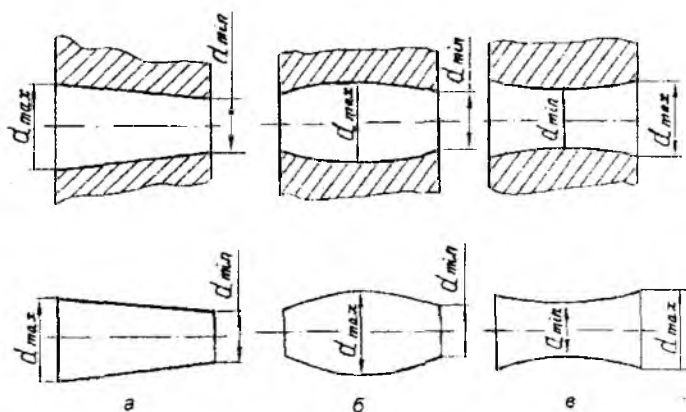


Рис.6. Частные виды отклонений формы профиля продольного сечения цилиндрических поверхностей:

а-конусообразность; б-бочкообразность; в-седлообразность

## 1.2. Измерение отклонений формы профиля поперечного сечения

### 1.2.1. Конструкция и принцип действия кругломера КД мод. 290

Измерения отклонений от круглости цилиндрических поверхностей могут быть выполнены с помощью специальных приборов — кругломеров, принцип действия которых основан на методе относительного прецизионного вращения измерительного преобразователя и детали. Кругломеры делятся на два типа: с вращающимся измерительным преобразователем (КН) и вращающейся деталью (КД).

На рис. 7 представлена принципиальная схема кругломера типа КД мод.290. Прецизионный шпиндель, выполненный в виде диска на шариковых направляющих, вращается вместе с координатным предметным столом 2 и установленной на нем измеряемой деталью 3. Измерительный индуктивный преобразователь 4, укрепленный на каретке 5, перемещается и закрепляется в нужном положении относительно кронштейна 6 и стойки 7. Установка и закрепление каретки и кронштейна осуществляется с помощью устройств 8-11. При вращении стола с деталью отклонения ее поверхности от круглости фиксируются наконечником щупа индуктивного преоб-

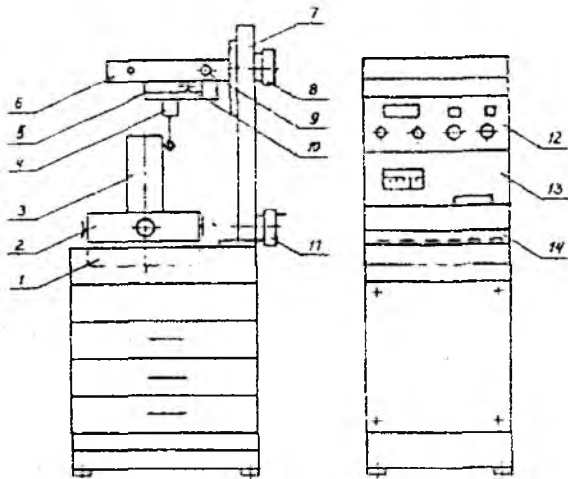


Рис. 7. Принципиальная схема кругломера типа КД (мод. 290)

разователя, сигналы от которого подаются на электронный блок 12, где они преобразуются и выводятся на табло цифровой индикации. При необходимости отклонения от круглости могут быть записаны на диаграммном диске с помощью записывающего устройства 13. Управление работой кругломера осуществляется с помощью пульта 14.

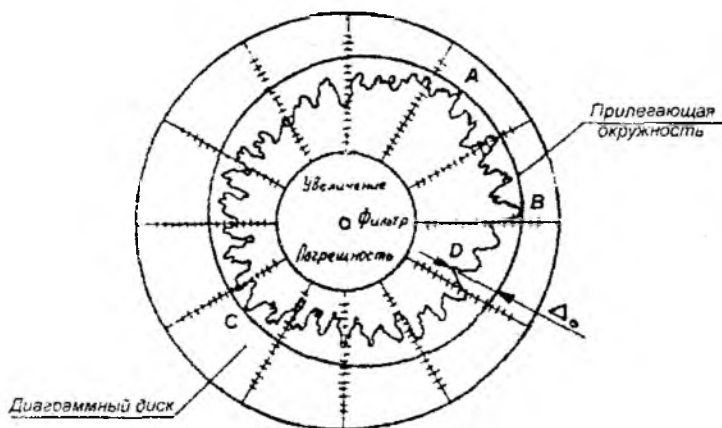
Основные параметры кругломера:

- размеры диаметров измеряемых поверхностей: наружных - 0,5...250 мм, внутренних - 3...250 мм;
- наибольшая высота детали - 250 мм;
- увеличение в 100...10000 раз;
- радиальная погрешность - 0,12 мкм.

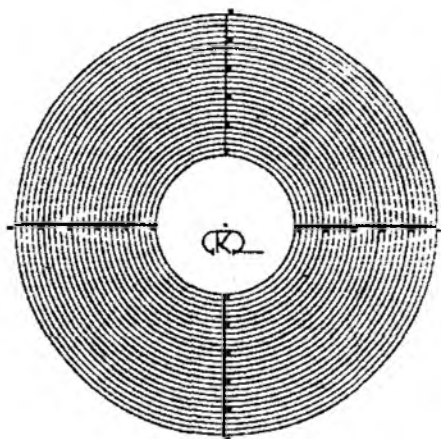
### 1.2.2. Нахождение величины отклонения от круглости по круглограмме

Образец круглограммы наружной цилиндрической поверхности, записанной на диаграммном диске, приведен на рис. 8, а.

Отклонение от круглости  $\Delta_0$  в соответствии со стандартом определяется наибольшим расстоянием от точек реального профиля поперечного сечения цилиндрической поверхности до прилегающей



а



б

Рис. 8. Круглограмма наружной цилиндрической поверхности (а) и шаблон для обработки круглограмм (б)

окружности (см. рис. 2). Прилегающая окружность обычно воспроизводится с помощью прозрачного шаблона с концентрическими окружностями (рис. 8, б), расстояние между которыми составляет 2 мм. Это своеобразная шкала, цена деления которой определяется установленным увеличением на записывающем блоке кругломера. Например, при увеличении 2000 х цена деления шаблона равна 1 мкм.

Обработка круглограммы производится следующим образом. Прозрачный шаблон накладывают на диаграммный диск и подбирают окружность наименьшего (для наружных поверхностей) диаметра, которая касалась бы круглограммы в самых выступающих ее точках, например, А, В и С (рис. 8, а). Это и будет прилегающая окружность.

Затем находят наиболее удаленную от прилегающей окружности точку реального профиля (в рассматриваемом примере — точка D) и определяют ее расстояние до прилегающей окружности, то есть отклонение от круглости  $\Delta_o$ . Полученные результаты заносят в табл. 1 отчета (приложение, с. 18), сопоставляют с допусками, приведенными в ГОСТ 24643-81 (приложение, с.20), и определяют степень точности. Найденную степень точности и величину допуска круглости также фиксируют в протоколе отчета.

### *1.2.3. Измерение овальности и огранки*

Как отмечалось выше, отклонения формы профиля поперечного сечения цилиндрических деталей могут носить частный характер. К таким частным видам отклонений относятся овальность и огранка.

В случае овальности реальный профиль представляет собой овалообразную фигуру, наибольший и наименьший диаметры которой находятся во взаимно перпендикулярных направлениях (см. рис. 5, а).

Величина овальности  $\Delta_{ов}$  может быть найдена по формуле

$$\Delta_{ов} = \frac{d_{max} - d_{min}}{2} . \quad (1)$$

При этом диаметры  $d_{max}$  и  $d_{min}$  при контроле наружных поверхностей легко могут быть измерены с помощью микрометра.

На рис. 9 представлена схема измерения овальности заготовки вала-шестерни. Для определения овальности необходимо выбрать какое-либо поперечное сечение и провести ряд измерений диаметра, последовательно поворачивая вал на небольшой угол (примерно 10-20°). Выбрав из полученных результатов наибольшее значение  $d_{max}$ , отметить направление, при измерении в котором оно было получено.

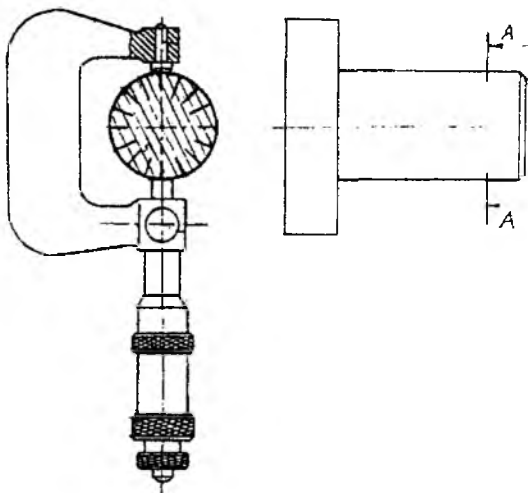


Рис. 9. Схема измерения овальности вала

Повернуть вал на  $90^\circ$  и измерить его диаметр  $d_{\min}$ . По формуле (1) найти величину овальности. Результаты занести в протокол отчета.

Если вал имеет значительную длину, то при измерении частных видов отклонений формы профиля в поперечном, а также в продольном сечениях его удобно устанавливать в центрах.

Огранкой называют такой частный вид отклонения от круглости, при котором реальный профиль поперечного сечения представляет собой криволинейный многоугольник (см. рис. 5,6). При этом число его сторон может быть как четным, так и нечетным. При четном числе сторон величину огранки вала  $\Delta_{огр}$  так же, как и овальность, можно измерить с помощью микрометра, определив ее как полуразность размеров  $d_{\max}$  и  $d_{\min}$ , полученных в результате измерений.

При нечетном числе сторон для измерения огранки вала целесообразно использовать простейшее приспособление с кольцом, внутренний диаметр которого равен диаметру прилегающей окружности. Это условие выполняется с помощью набора колец разных диаметров. Вместо набора колец можно использовать разжимное кольцо, а в труднодоступных местах (например, шейки коленчатого вала) — разрезное.

Проворачивая вал в кольце (рис. 10), находят величину огранки  $\Delta_{огр}$  как алгебраическую разность наибольшего и наименьшего по-

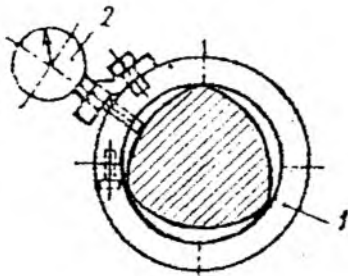


Рис. 10. Схема измерения огранки вала:  
1-разжимное кольцо; 2-индикатор

цип действия и конструкция которого рассмотрены выше, в разд. 1.2.1. Причем указанные измерения одинаково легко могут быть выполнены и для наружных, и для внутренних поверхностей.

казаний индикатора. Результаты измерений заносят в протокол отчета (приложение, с. 18).

Представленное на рис. 10 приспособление может быть также использовано для измерения овальности, огранки при четном числе граней и любых отклонений от круглости.

Для более точных измерений овальности и огранки может быть использован кругломер, принцип действия и конструкция которого рассмотрены выше,

### 1.3. Измерение отклонений формы профиля продольного сечения

Отклонение формы профиля продольного сечения  $\Delta$  характеризуется наибольшим расстоянием точек образующих реальной поверхности до соответствующей стороны прилегающего профиля (см. рис.3).

Хотя этот комплексный показатель согласно стандарту может нормироваться и указываться на чертеже (см. рис.4,в), на практике для деталей машин им не пользуются. Взамен его используют частные виды отклонений, а именно: конусообразность  $\Delta_{\text{кон}}$ , бочкообразность  $\Delta_{\text{боч}}$  и седлообразность  $\Delta_{\text{сед}}$  (см. рис.6).

Конусообразность  $\Delta_{\text{кон}}$  — это такое частное отклонение формы профиля продольного сечения реальной цилиндрической поверхности, при котором ее образующие прямолинейны, но не параллельны друг другу (см. рис.6, а). Величина конусообразности может быть найдена по формуле

$$\Delta_{\text{кон}} = \frac{d_{\text{max}} - d_{\text{min}}}{2},$$

где  $d_{\text{max}}$  и  $d_{\text{min}}$  — наибольший и наименьший диаметры, измеренные в крайних поперечных сечениях детали, соответствующим нормируемому участку.

Бочкообразностью  $\Delta_{\text{боч}}$  называется такое отклонение профиля продольного сечения реальной цилиндрической поверхности, при

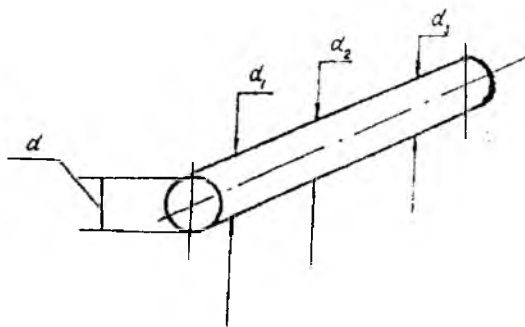


Рис.11. Схема измерения конусообразности, бочкообразности и седлообразности вала

котором ее образующие непрямолинейны, а диаметры увеличиваются от торцев к середине продольного сечения (см. рис.6,б). Величина бочкообразности может быть определена по формуле

$$\Delta_{\text{боч}} = \frac{d_{\text{max}} - d_{\text{min}}}{2},$$

где  $d_{\text{min}}$  — диаметры, измеренные у торцев детали;

$d_{\text{max}}$  — диаметр, измеренный в середине продольного сечения.

При седлообразности  $\Delta_{\text{сед}}$ , в отличие от бочкообразности, диаметры от торцев к середине продольного сечения уменьшаются (см. рис.6,в). Величина седлообразности рассчитывается по той же формуле, что и бочкообразность, но только:  $d_{\text{max}}$  — это диаметры, измеренные у торцев детали, а  $d_{\text{min}}$  — это диаметр, измеренный в середине продольного сечения.

Измерения величин отклонений  $\Delta_{\text{кон}}$ ,  $\Delta_{\text{боч}}$ ,  $\Delta_{\text{сед}}$  могут быть выполнены с помощью микрометра. Для этого необходимо измерить диаметры контролируемых валиков в трех сечениях по длине: два диаметра — ближе к торцам и один посередине (рис.11). Результаты измерений занести в табл. 2 протокола отчета (приложение, с. 19).

Найти отклонение формы профиля продольного сечения как полуразность наибольшего и наименьшего диаметров, полученных при измерениях. Проанализировав характер изменения диаметров по длине вала, выяснить вид отклонения. Сопоставить действительную величину отклонений с допусками по ГОСТ 24643-81 (приложение, с. 20) и определить степень точности формы профиля продольного сечения. Результаты занести в протокол отчета.

## 2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с методическими указаниями к лабораторной работе.
2. Изучить виды отклонений формы цилиндрических поверхностей, параметры, их характеризующие, и правила указания допусков формы на чертежах.
3. Ознакомиться с конструкцией и принципом действия кругломера КД мод. 290 и другими инструментами, используемыми в лабораторной работе.
4. Получить у преподавателя образцы контролируемых деталей и круглограммы поверхностей.
5. Путем обработки круглограммы определить отклонение от круглости  $\Delta_0$  и занести его значение в табл. 1 отчета (приложение, с.18).
6. Сопоставить результаты измерений с допусками круглости по ГОСТ 24643-81 и определить степень точности. Найденную степень точности и величину допуска также занести в табл. 1.
7. Привести эскиз контролируемого вала с указанием допуска круглости.
8. С помощью микрометра и приспособления с кольцом измерить величины овальности  $\Delta_{ов}$  и огранки  $\Delta_{огр}$ . Результаты измерений занести в табл. 1 протокола.
9. Измерить диаметры гладких валиков по длине. Результаты измерений занести в табл. 2 протокола отчета. Рассчитать отклонения формы профиля продольного сечения и определить вид отклонения.
10. Сопоставить результаты измерений с допусками по ГОСТ 24643-81 и определить степень точности формы профиля продольного сечения. Найденную степень точности и величину допуска также занести в табл. 2.
11. Привести эскиз контролируемого вала с указанием допуска формы продольного сечения.
12. Оформить отчет по работе (приложение, с.18,19) и предъявить его преподавателю.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что понимается под отклонением формы реальной поверхности?
2. Что является базой для отсчета отклонений формы цилиндрических поверхностей и их профилей?



3. Перечислите и дайте определения комплексным показателям отклонений формы цилиндрических поверхностей и их профилей.

4. Перечислите и дайте характеристику частным видам отклонений формы профилей поперечного и продольного сечений цилиндрических поверхностей.

5. Как указываются на чертежах допуски формы и как они соотносятся с допусками на размеры цилиндрических поверхностей?

6. В чем состоит принцип действия кругломера и как определяется отклонение от круглости по круглограммам?

7. Как можно измерить овальность и огранку в поперечном сечении цилиндрической детали?

8. Чем характеризуется и как измеряется конусообразность, бочкообразность и седлообразность в продольном сечении цилиндрической детали?

# ПРИЛОЖЕНИЕ

## ОТЧЕТ по лабораторной работе “Измерение отклонений формы цилиндрических поверхностей”

1. Результаты измерений отклонений формы профиля поперечного сечения.

Таблица 1

Отклонение от круглости (круглограмма № )		Овальность				Огранка		
		$d_i$	$d_{max}$	$d_{min}$	$\Delta_{ов},$ мкм	Число граней	Показ. индик.	$\Delta_{огр},$ мкм
$\Delta_{\sigma} =$ мкм								
Ст. точности по ГОСТ 24643-81	Допуск круглос- ти							
Эскиз детали								

Схемы измерений овальности и огранки

2. Результаты измерений отклонений формы профиля продольного сечения.

Таблица 2

№ образца	Действительные значения диаметров			Вид отклонения	Величина откл. $\Delta$ , мкм	Степень точности по ГОСТ 24643-81	Величина допуска $\Delta =$
	$d_1$	$d_2$	$d_3$				
Схема измерений				Эскиз вала			

3. Индивидуальное задание (номер вопроса по методическим указаниям к лабораторной работе).

Выполнил студент

, гр.

Проверил

Допуски цилиндричности, круглости, формы профиля  
продольного сечения (по ГОСТ 24643-81), мкм

Интервалы номинальных диаметров, мм	Степень точности															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Свыше 10 до 18	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500
Свыше 18 до 30	0,6	1,0	1,6	2,5	4,0	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600
Свыше 30 до 50	0,8	1,2	2,0	3,0	5,0	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800
Свыше 50 до 120	1,0	1,6	2,5	4,0	6,0	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000
Свыше 120 до 250	1,2	2,0	3,0	5,0	8,0	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1200