

УДК 621.9.06

DOI: 10.12737/article_5aacd85793bdc2.44830790

Б.М. Базров, д.т.н.
(ФГБУН ИМАШ РАН им. Благодравова,
Россия, 101990, Москва, Малый Харитоньевский переулок, д.4)
E-mail: modul_lab@mail.ru

Проблема оценки геометрической точности детали

Приведен анализ метода оценки геометрической точности детали, включая следующие этапы: измерение поверхностей детали, отображение результатов измерения, определение размеров поверхностей и их относительного положения, определение баз отсчета погрешностей и определение погрешностей поверхностей. Показаны недостатки, приводящие к накоплению суммарной погрешности оценки, входящей в противоречие с высокоточными измерительными средствами.

Ключевые слова: точность; погрешность; геометрия; деталь; поверхность; профиль; форма; размер.

B.M. Bazrov, D. Eng.
(Blagoravov FSBIS IMACH RAS, 4, Small Kharitonievsky Lane, Moscow, 101990 Russia)

Problems in estimate of parts geometrical accuracy

The paper reports the analysis of the method for parts geometrical accuracy definition which includes the following stages: part surfaces measurement, a representation of measurement results and their relative position, a definition without errors count and a definition of surface errors. There are shown drawbacks of stages enumerated such as a neglect of measurement base surface errors, an ambiguity of measurement base positions regarding surfaces under control, use of bases of error account and criteria for errors estimate irrespective of surface operation functions.

A multi-gradation of the method for the estimate of a part error resulting in the accumulation of total error is shown.

Keywords: accuracy; error; geometry; part; surface; profile; form; dimension.

Геометрическая точность машин и механизмов является одним из важнейших показателей их качества, где важную роль играет геометрическая точность деталей.

Оценка геометрической точности машин, механизмов, деталей важна для ее достижения при их изготовлении.

Рассмотрим процесс оценки геометрической точности детали.

Надо отметить, что требования к геометрической точности деталей неуклонно растут и уже определяются сотыми долями микрометра и выше.

При оценке точности геометрии детали на этом уровне возникает противоречие между методом оценки точности и средствами измерения геометрии детали, когда погрешности,

вносимые методом, превышают погрешности вносимые средствами измерения.

В связи с этим представляет интерес анализ метода оценки точности детали. Процесс оценки точности детали включает следующие этапы:

- измерение геометрии поверхностей детали;
- графическое отображение результатов измерений геометрии поверхностей;
- определение размеров поверхностей, характеристик формы поверхностей и относительного положения поверхностей;
- определение погрешностей размеров, формы и относительного положения поверхностей детали.

Рассмотрим каждый этап.

Этап 1. Измерение геометрии поверхностей детали осуществляется посредством измерения расстояний точек поверхности относительно измерительной базы. И чем больше число контрольных точек, тем полнее определяется геометрия поверхности.

При этом на погрешность измерения геометрии поверхности влияют погрешности ее форм, выступающих в роли измерительной базы у детали и стола, на котором устанавливается деталь (рис. 1, а) для измерения точек поверхности детали, заданной на чертеже в виде плоскости.

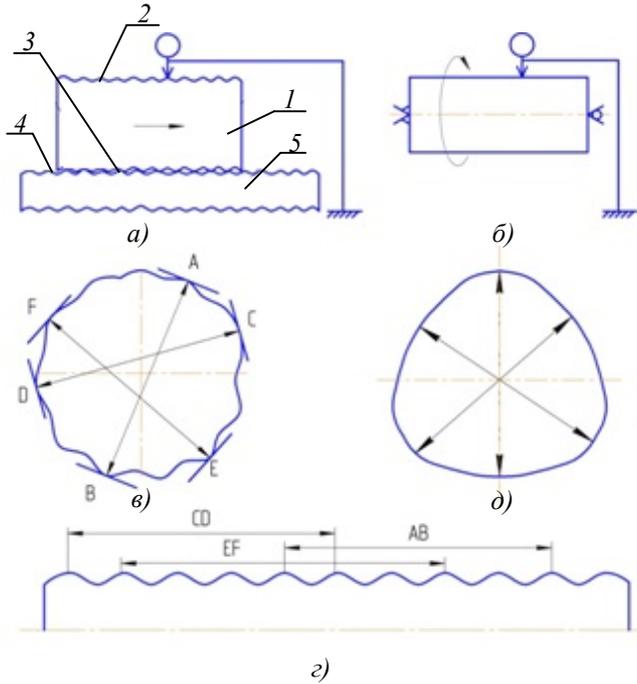


Рис. 1. Схемы измерения поверхностей детали:
 а – реальные поверхности измерительной базы детали и установочной базы стола;
 1 – деталь; 2 – контролируемая поверхность; 3 – измерительная база; 4 – установочная поверхность стола; 5 – стол;
 б – измерение радиус-вектора поверхности вращения;
 в – измерение профиля поперечного сечения цилиндрической поверхности; г – развертка профиля поперечного сечения; д – измерение трёхгранной огранки

При измерении геометрии поверхности вращения применяются два способа: измерение радиус-вектора (рис. 1, б); измерение микрометром расстояния между противоположными точками профиля поперечного сечения (рис. 1, в). Правильным следует признать первый способ.

При втором способе измерения в качестве измерительной базы выступают точки самого профиля. На практике считается, что такая схема измерения обеспечивает измерение диаметрального размера в разных направле-

ниях. В действительности происходит измерение отрезков между двумя противоположными точками, которые в общем случае не пересекаются в одной точке, как это видно на рис. 1, в. В результате происходит непрерывная смена измерительной базы и не происходит измерение геометрии поверхности. Это наглядно видно на рис. 1, г, где показана развертка профиля, на которой представлены отрезки, приведенные на рис. 1, в.

При таком способе измерения возможен случай, когда все отрезки одинаковы по величине и пересекаются в одной точке, в результате чего делается вывод, что формой профиля является круг, а на самом деле это трехгранная огранка (рис. 1, д).

Этап 2. При измерении геометрии поверхностей детали графическое отображение результата представляют в виде отклонений формы поверхностей в увеличенном масштабе.

При отображении результатов измерения геометрии поверхностей вращения возникает искажение реальной формы, получившее название масштабного эффекта.

Установим природу этого явления на примере отображения результатов измерения профиля поперечного сечения цилиндрической поверхности детали на кругломере. Результаты измерения представляются в виде круглограммы.

Круглограмма строится по отклонениям радиус-вектора в увеличенном масштабе, т.е.

$$R_{ki} = (R_{gi} - r) K_m,$$

где R_{ki} – радиус-вектор i точки профиля круглограммы; R_{di} – радиус-вектор i точки профиля детали; r – радиус, вычитаемый из каждого R_{gi} ; K_m – масштабный коэффициент.

При таком построении круглограммы нарушается условие подобия, т.к. из каждого R_{gi} вычитается постоянная величина [1]. Это приводит к тому, что форма профиля на круглограмме не соответствует форме реального профиля детали.

С целью доказательства нарушения условия профиля рассмотрим несколько примеров.

Процесс измерения профиля детали на кругломере начинается с центрирования детали относительно оси вращения измерительного шпинделя до достижения минимальной величины радиального биения.

На рис. 2 показаны две круглограммы профиля детали, имеющие форму круга. В первом случае (рис. 2, а) центр измерения профиля детали совпал с центром круга и потому круг-

лограмма (рис. 2, б) имеет форму круга, т.к. $R_d = \text{const}$. Во втором случае (рис. 2, в) центр измерения не совпал с центром круга и круглограмма имеет форму «кардиоиды» (рис. 2, з).

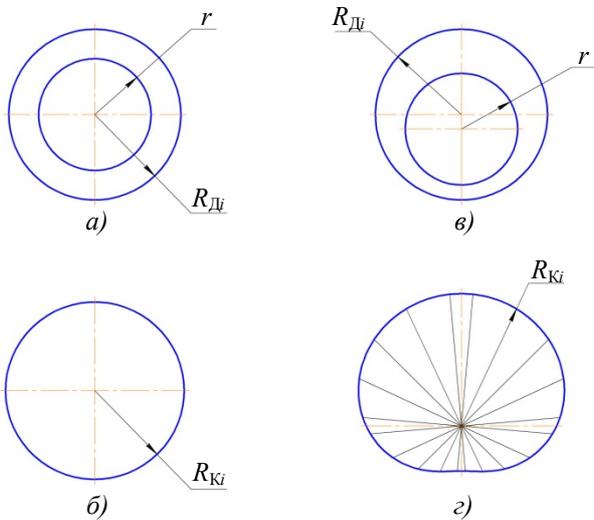


Рис. 2. Круглограммы круга:

а – центр, совпадающий с центром круга; б – в форме круга; в – центр, не совпадающий с центром круга; з – в форме «кардиоиды»

Другой пример: на рис. 3 показаны круглограммы профиля детали, имеющего форму в виде эллипса. На рис. 3, а показан эскиз профиля, имеющего форму эллипса с центром построения круглограммы, совпадающего с центром пересечения осей эллипса, а на рис. 3, б – круглограмма. На рис. 3, в показано положение центра записи круглограммы, несовпадающего с точкой пересечения осей, а на рис. 3, з показана круглограмма. В обоих случаях форма круглограммы имеет вогнутости, в то время как у эллипса форма выпуклая.

В общем случае возможна такая форма профиля детали, у которой может быть несколько центров, относительно которых величина радиального биения одинаково минимальна. В таких случаях круглограммы одной и той же формы профиля детали, записанные от разных центров, будут разными.

Такой же результат может быть получен из-за погрешности центрирования, из-за которой возможно измерение одного и того же профиля от разных центров.

Этап 3. Как отмечалось ранее, геометрическая точность детали характеризуется точностью размеров поверхностей, их формы и относительного положения. Надо отметить, что под размером понимается расстояние между двумя точками поверхности (ей).

Проблема выбора двух точек заключается в том, что, во-первых, размер и форма поверх-

ности неразрывно связаны между собой, отсюда понятие размера относительное и, во-вторых, реальная поверхность детали существенно отличается формой от поверхности заданной на чертеже.

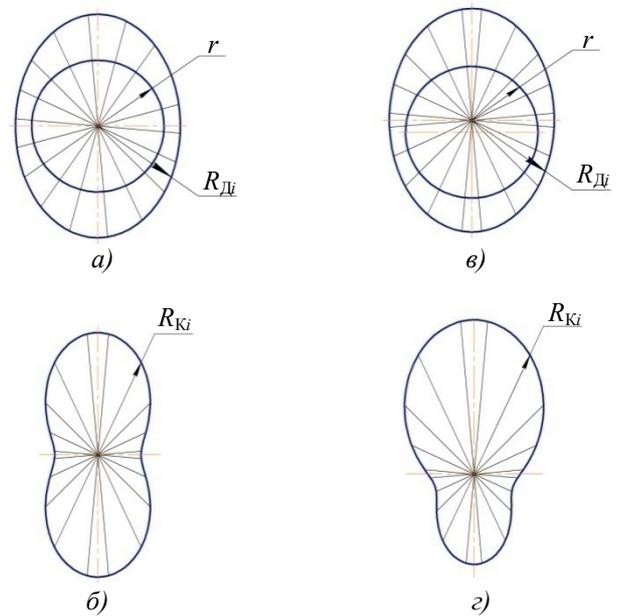


Рис. 3. Круглограммы эллипса:

а – центр, совпадающий с точкой пересечения осей эллипса; б – при совпадении центра с точкой пересечения осей эллипса; в – центр, не совпадающий с точкой пересечения осей эллипса; з – при несовпадении центра с точкой пересечения осей эллипса

Рассмотрим пример определения положения плоской поверхности А относительно плоской поверхности Б заданного чертежом (рис. 4, а), которое описывается величиной угла α и размером между ними.

В этом случае надо установить правила определения размера между плоскостями А и Б. Это может быть, например, максимальный или минимальный размер.

При определении размера между реальными поверхностями А и Б (рис. 4, б) возникает задача построения на них плоскостей для определения угла и размера. Положение этих плоскостей неоднозначно, т.к. на реальных поверхностях можно построить множество плоскостей.

На рис. 4, в показан пример профиля поперечного сечения реальной детали, на котором построены две прилегающие прямые. Так же и относительно профиля поперечного сечения цилиндрической поверхности можно построить множество, например, прилегающих окружностей (рис. 4, з). После построения базы отсчета, например, прилегающих плоскостей, переходят к определению размеров.

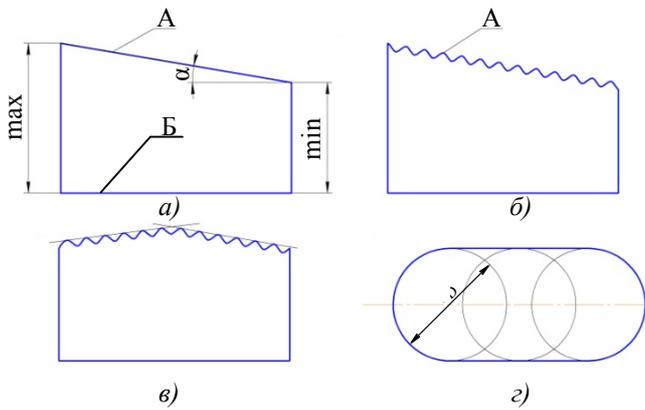


Рис. 4. Схемы определения размеров поверхности детали:

a – плоская поверхность А, заданная на чертеже; *б* – реальная поверхность А; *в* – прямые прилегающие линии поверхности к реальной поверхности; *г* – прилегающие окружности отверстия

Стандартом [2] предлагается единое решение – это построение прилегающей плоскости или цилиндра независимо от служебного назначения поверхностей.

В связи с этим рассмотрим следующий пример.

На рис. 5 показаны три варианта взаимодействия двух деталей.

В первом случае (рис. 5, *a*) деталь 2 совершает возвратно-поступательное движение относительно детали 1. По мере их функционирования неровности будут сглаживаться, поэтому в качестве размеров деталей в данном случае можно принять расстояния между их основаниями и дном впадин неровностей.

Во втором случае (рис. 5, *б*) детали 1 и 2 соединяются, тогда в качестве размеров деталей можно предложить расстояния между средними линиями, проходящими через неровности поверхностей и основаниями деталей.

Если детали 1 и 2 исполняют роль контактов в электрической цепи (рис. 5, *в*), то в качестве размеров деталей следует принять расстояния между основаниями деталей и вершинами неровностей.

Итак, различие процессов, в которых участвуют одни и те же детали требует принимать в качестве размеров детали расстояние между разными точками поверхности (ей).

При определении диаметрального размера у поверхностей вращения, например, цилиндрической поверхности, стандартами России, Британии, Канады применяются разные цилиндры, а в поперечном сечении – разные окружности: прилегающая (описанная, вписанная), средняя, определяемая по сумме наи-

меньших квадратов отклонений точек профиля, две concentric окружности с минимальным расстоянием между ними. Отсюда в общем случае у одного и того же профиля величина диаметра может быть разной.

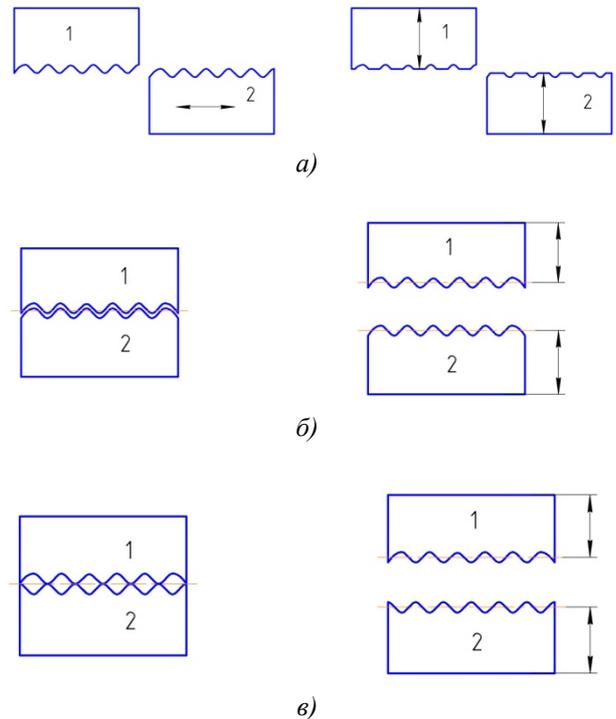


Рис. 5. Простановка размеров деталей 1 и 2 в зависимости от участия их в рабочем процессе:

a – возвратно-поступательное движение детали 2 относительно детали 1 и их размеры; *б* – соединение деталей 1 и 2 и их размеры; *в* – участие деталей 1 и 2 в замыкании-размыкании электрической цепи и их размеры

Общим недостатком перечисленных окружностей является их независимость от служебного назначения поверхности детали.

Из изложенного следует, что размеры поверхности или размеры, определяющие относительное положение поверхности, должны быть разными в зависимости от ее служебного назначения.

Этап 4. При определении погрешности размера поверхности или ее относительного положения измеренная величина размера сравнивается с заданной величиной размера.

Надо отметить, что в зависимости от того, что принимается за размер, у одной и той же поверхности детали или ее относительного положения погрешность размера будет разной.

При определении погрешности формы поверхности за погрешность принимается максимальное отклонение точек поверхностей

от выбранной базы отсчета.

Например, под погрешностью формы профиля поперечного сечения цилиндрической поверхности принимается максимальное отклонение точек профиля от окружности, выбранной в качестве базы отсчета.

Здесь погрешность формы одного и того же профиля будет зависеть от выбранной базы отсчета, например, прилегающей или средней окружности. Выбор базы отсчета должен определяться служебным назначением поверхности.

Другой причиной разной погрешности одной и той же поверхности (профиля) является неоднозначность их положения относительно поверхности, т.е. может быть у одной и той же поверхности несколько, например, прилегающих окружностей с одинаковой величиной диаметрального размера (см. рис. 4, в); также неоднозначно положение средней окружности и двух концентрических.

Выбор критерия оценки погрешности формы поверхности тоже должен определяться ее служебным назначением.

Рассмотрим два профиля поперечного сечения, приведенные на рис.6. Оценка погрешности формы профиля осуществляется одинаково – по максимальному отклонению точек профиля от окружности.

В первом случае (рис. 6, а) максимальное отклонение точек профиля равно Δ_1 , а во втором случае (рис. 6, б) Δ_2 , при этом $\Delta_1 < \Delta_2$. При условии, что Δ_1 равно допуску будет означать, что во втором случае деталь будет бракованной.

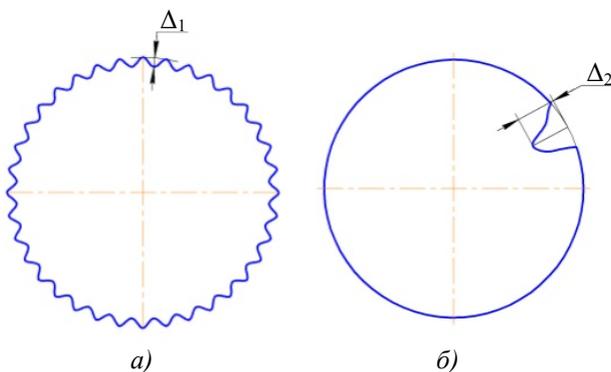


Рис. 6. Профиль поперечного сечения цилиндрической поверхности детали:
а – профиль 1; б – профиль 2

Если в качестве деталей выступают детали плунжерной пары, то требования к точности формы профиля назначаются исходя из допустимой площади зазора впадин, обеспечивающей допустимый объем утечки рабочей среды.

Исходя из этих соображений, первая деталь (см. рис. 6, а) окажется бракованной, а вторая (см. рис. 6, б) – годной, т.к. в этом случае площадь впадин у нее будет меньше.

Из изложенного следует, что метод оценки геометрической точности детали является многоступенчатым, это приводит к накоплению погрешностей измерения, суммарная величина Δ_{Σ} которых определяется из равенства:

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5,$$

где Δ_1 – погрешность измерения геометрии поверхности детали; Δ_2 – погрешность отображения результатов измерения геометрии поверхности; Δ_3 – погрешность выбора базы отсчета размера и формы поверхности; Δ_4 – погрешность построения базы отсчета на реальной поверхности детали; Δ_5 – погрешность выбора критерия оценки отклонения формы погрешности детали.

В некоторых случаях оценка геометрической точности детали осуществляется, минуя непосредственное измерение точности детали.

Например, при сборке плунжерной пары одну из деталей подбирают таким образом, чтобы объем утечки рабочей среды был в пределах допуска.

Недостатком такого способа является отсутствие информации о геометрии детали, что препятствует совершенствованию технологии ее изготовления по снижению погрешности.

Выводы

1. Метод оценки геометрической точности детали является многоступенчатым, что приводит к накоплению погрешности измерения.
2. Совершенствование метода оценки геометрической точности детали должно базироваться на установлении связей между погрешностями геометрии детали и ее служебным назначением.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Базров, Б.М. Расчет точности машин на ЭВМ. – М.: Машиностроение. 1984. – 256 с.
2. ГОСТ 10356-63 «Отклонение формы и расположения поверхностей. Основные определения. Предельные отклонения». Москва, – 1963.

REFERENCES

1. Bazrov, B.M. *Machine Accuracy Computation*. – M.: Mechanical Engineering. 1984. – pp. 256.
2. RSS 10356-63 “*Deviation of Surface Form and Location. Basic Definitions. Limiting Deviations*”. Moscow, - 1963.

Рецензент д.т.н. В.Г. Митрофанов