

А. А. АФАНАСЬЕВ, А. А. ПОГОНИН

# ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ

**УЧЕБНИК**

*Допущено  
Учебно-методическим объединением  
по университетскому политехническому образованию  
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по направлению «Метрология, стандартизация  
и сертификация»*



Москва  
Издательский центр «Академия»  
2010

УДК 55.13.99(075.8)

ББК 34.41я73

A941

Рецензенты:

зав. кафедрой «Технология машиностроения» ГОУ ВПО МГТУ «Станкин»,  
д-р техн. наук, проф. *В. П. Вороненко*;  
профессор кафедры «Технология машиностроения и ремонт горных машин»  
Московского государственного горного университета,  
д-р техн. наук *М. С. Островский*

**Афанасьев А. А.**

A941 **Взаимозаменяемость** : учебник для студ. высш. учеб. заведений / А. А. Афанасьев, А. А. Погонин. — М. : Издательский центр «Академия», 2010. — 352 с.

ISBN 978-5-7695-6887-9

Изложена система базовых знаний, обязательных при изучении дисциплины «Взаимозаменяемость». Наряду с теоретическим материалом приведены многочисленные примеры решения задач, расчеты по определению норм точности для типовых соединений с использованием различных методик.

Для студентов машиностроительных специальностей высших учебных заведений.

УДК 55.13.99(075.8)

ББК 34.41я73

*Учебное издание*

**Афанасьев Александр Александрович, Погонин Анатолий Алексеевич**

**Взаимозаменяемость**

**Учебник**

Редактор *С. И. Зубкова*. Технический редактор *О. Н. Крайнова*

Компьютерная верстка: *Р. Ю. Волкова*. Корректор *С. Ю. Свиридова*

Изд. № 101114878. Подписано в печать 16.02.2010. Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная № 1. Печать офсетная. Гарнитура «Ньютон». Усл. печ. л. 22,0. Тираж 2 000 экз. Заказ №

Издательский центр «Академия». [www.academia-moscow.ru](http://www.academia-moscow.ru)

125252, Москва, ул. Зорге, д. 15, корп. 1, пом. 26б.

Адрес для корреспонденции: 129085, Москва, пр-т Мира, 101В, стр. 1, а/я 48.

Тел./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.

Санитарно-эпидемиологическое заключение № 77.99.60.953.Д.007831.07.09 от 06.07.2009.

Отпечатано с электронных носителей, предоставленных издательством,

в ОАО «Саратовский полиграфкомбинат». [www.sarpk.ru](http://www.sarpk.ru)

410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 59.

*Оригинал-макет данного издания является собственностью  
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым  
способом без согласия правообладателя запрещается*

© Афанасьев А. А., Погонин А. А., 2010

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2010

ISBN 978-5-7695-6887-9

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2010

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Взаимозаменяемость как свойство изделий или цель стандартизации используется в различных сферах жизнедеятельности человека: науке, промышленности, медицине, быту и др. В машиностроении взаимозаменяемость играет особую роль: в сборочных процессах взаимозаменяемость проявляется как свойство независимо изготовленных деталей (узлов, механизмов, изделий) занимать свое место в сборочной единице (устройстве, конструкции) без дополнительной механической или ручной обработки при соединении частей изделия либо его деталей с обеспечением нормальной эксплуатации узла, механизма, машины, устройства или конструкции.

В настоящее время ожидается качественно новое развитие отечественного машиностроения, обусловленное достижениями мировой науки, техники, организации производства. В основе совершенствования производства, его эффективности и дальнейшего научно-технического прогресса лежит Федеральный закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании» (в ред. Федерального закона от 30.12.2009 № 385-ФЗ). В третьей главе данного Закона отражены организационные основы стандартизации, взаимозаменяемость технических средств (машин, оборудования, их составных частей, комплектующих изделий и материалов) рассматривается как цель стандартизации в совокупности с обеспечением конкурентоспособности и качества продукции (работ и услуг), единства измерений и с другими формами деятельности предприятий на различных стадиях жизненного цикла изделий (проектирование, изготовление, эксплуатация, ремонт и др.).

Современные машиностроительные производства внедряют новые системы управления качеством, базирующиеся на международных стандартах серий 9000, 14000 и др. Стандартизация норм точности в машиностроении на основе взаимозаменяемости является одним из направлений обеспечения качества продукции.

В образовательной программе специальностей направления «Метрология, стандартизация и сертификация» дисциплина «Взаимозаменяемость» занимает одно из центральных мест.

При написании учебника использовались элементы новейших педагогических технологий — изложение материала на основе трехступенчатого развития мышления по схеме концептуальное мышление → теоретическое мышление → креативное мышление. Было введено обобщенное понятие «точность» (точность изделия, точность элемента и др.).

Авторы выражают глубокую благодарность зав. кафедрой «Метрология и взаимозаменяемость» МГТУ им. Н. Э. Баумана, Заслуженному работнику высшей школы Российской Федерации, д-ру физ.-мат. наук, проф. М. И. Киселеву, д-ру техн. наук, проф. В. П. Вороненко, д-ру техн. наук, проф. Н. А. Пелипенко, канд. техн. наук, доц. В. И. Пронякину за ценные замечания, сделанные при подготовке данной рукописи.

## ТОЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ УЗЛОВ И МЕХАНИЗМОВ

### 1.1. Основные понятия о точности в машиностроении. Точность размера

Точность — это свойство измерений, проводящихся во времени и пространстве. Различают точность временную — время, точность пространственную — на основе трех-, двух- и однокоординатной системы осей пространственной системы координат  $X, Y, Z$ . Вообще под точностью понимают степень соответствия измеренных величин физического объекта их истинным значениям. Истинное значение физических величин идеально отражает свойство рассматриваемого объекта как в качественном, так и в количественном отношении, поэтому является абсолютной величиной (истиной), которую стремятся выразить в виде определенного числового значения. Это числовое значение, полученное конкретными лицами с помощью различных методов и средств измерения, будет представлять собой только приближенную оценку рассматриваемой физической величины, так как применяемые инструменты, приборы и методики всегда будут иметь конструктивные несовершенства. Органы чувств лиц, проводящих измерения (исследования), являются также несовершенными и субъективными. Истинное значение физической величины в расчетах заменяют **действительным значением**, под которым понимают значение, найденное измерением и с определенной степенью вероятности приближающееся к истинному.

Точность всегда связана с отклонением результата измерения какой-либо величины от его действительного значения. Это отклонение или разность между измеренным и действительным значениями называют **погрешностью** (отклонением) измерения. Чем меньше погрешность, тем выше точность, и наоборот, чем ниже точность, тем больше погрешность.

В промышленном производстве изделий, в частности в машиностроении, для обеспечения их качества основным показателем является точность деталей: точность линейного и углового размера, точность формы поверхности, точность расположения поверхности, параметры макро- и микрорельефа, соответствие матери-

ала и его состояния требованиям конструктора (конструкторской документации) и др.

Точность машиностроительной продукции является показателем ее качества, характеристикой одного из ее важнейших технологических свойств.

Следует различать точность производственную, достигаемую в ходе реализации производственного процесса, и точность, задаваемую конструктором при проектировании производственного процесса. Производственная и задаваемая точность должны соответствовать друг другу.

Производственная точность формируется за счет технологической точности процесса обработки заготовок, точности оборудования, точности технологической оснастки, точности станков, точности режущего безразмерного и размерного инструмента, точности средств измерения и других факторов производственного процесса.

Задаваемая точность выражается в виде некоторого допустимого интервала рассеяния действительных размеров, которые измеряются обоснованно выбранным измерительным инструментом. Установлено, что даже настроенные на один и тот же размер автоматические станки при обработке партии одноразмерных заготовок допускают рассеяние действительного размера детали в некотором интервале. Величина этого интервала находится в нелинейной зависимости от линейного размера заготовок и называется **допуском размера**.

Допуск размера обозначают латинской буквой *T* (от англ. *tolerance* — допуск) с соответствующей дополнительной буквой (или индексом) для различения характера размера (например, допуск отверстия — *TD*, допуск вала — *Td*) или *IT* (от англ. *international tolerance* — международный допуск) без различия характера размера.

Точность размера как качество оценивается **кавалитетом допуска**, который представляет собой совокупность рядов равнозначных допусков для всех номинальных размеров. Согласно ГОСТ 25346—89 «Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений» этим рядам присваивают номер: *IT01*, *IT0*, *IT1*, *IT2*, *IT3*, *IT4*, *IT5*, *IT6*, *IT7*, *IT8*, *IT9*, *IT10*, *IT11*, *IT12*, *IT13*, *IT14*, *IT15*, *IT16*, *IT17*, *IT18* (самый точный — *IT01*, наименее точный — *IT18*).

Допуск размера, как правило, задается конструктором при проектировании технологического процесса изготовления изделий. Значение действительного допуска размеров детали и его соответствие заданному конструктором может быть установлено для партии обработанных деталей на основе статистической обработ-

ки массива численных значений размеров, полученных измерением.

Каждая из пяти групп *источников возникновения погрешностей* зависит в свою очередь от ряда внешних и внутренних влияющих причин (факторов). Различают следующие группы источников возникновения погрешностей:

1) производственное оборудование (металлорежущее, прессо-вое и др.);

2) технологическая оснастка и приспособления (тиски, патроны, планшайбы, упоры, призмы, делительные столы и головки, прижимы и струбины, кондукторы, угольники и др.);

3) обрабатывающие инструменты (режущий, штамповочный и др.);

4) обрабатываемые заготовки (поковки, штамповки, отливки, прокат, сварные элементы и др.);

5) средства измерения и контроля.

Каждая из пяти групп *источников влияния на точность обработки* зависит в свою очередь от ряда внешних и внутренних влияющих причин (факторов). Различают следующие группы источников влияния на точность обработки:

1) неточность изготовления;

2) эксплуатационный износ;

3) температурные деформации в кинематической системе деталь — инструмент — приспособление — станок (система ДИПС);

4) упругие и остаточные деформации в системе ДИПС под действием внешних сил (силы резания, центробежных сил, силы тяжести, вибраций и др.);

5) упругие и остаточные деформации в системе ДИПС под действием перераспределения с течением времени внутренних напряжений и релаксации напряжений.

В процессе измерения на точность параметра влияет также субъективная погрешность.

Причины, влияющие на точность параметра, имеют систематический или случайный характер и вызывают соответственно систематические и случайные погрешности.

*Систематические погрешности* являются постоянными или закономерно (монотонно) изменяющимися во времени. Систематические погрешности можно выявлять и компенсировать. К фактору, обуславливающему появление систематических погрешностей, можно отнести, например, эксплуатационный износ инструмента.

*Случайные погрешности* предугадать, как правило, маловероятно. К факторам, обуславливающим появление случайных погрешностей, можно отнести, например, неравномерный припуск на обработку, меняющуюся или неравномерную твердость мате-

риала, наличие или отсутствие литейной корки и ее неоднородность, наличие или отсутствие окалины на поковке и т. д.

Характер погрешностей может быть не только систематическим или случайным, но и переменным.

Практически установлено, что систематические погрешности могут переходить в случайные, а случайные — в систематические. Например, проявление погрешности технологической оснастки в начальный период эксплуатации имеет систематический характер, а по мере изнашивания и затупления режущего инструмента приобретает случайный характер. Погрешности средств активного контроля в начале обработки заготовки имеют случайный характер, а затем из-за деформации измерительных элементов под действием измерительного усилия и вибраций становятся систематическими.

## 1.2. Точность формы и расположения поверхностей

### 1.2.1. Точность формы поверхностей

Точность формы характеризуется величиной отклонения реальной поверхности от номинальной (идеальной в геометрическом отношении).

Для количественной оценки отклонений формы, т. е. погрешности формы, используют принцип прилегания прямых, профилей и поверхностей.

**Прилегающая линия** представляет собой прямую, соприкасающуюся с точкой реального профиля и расположенную вне ма-

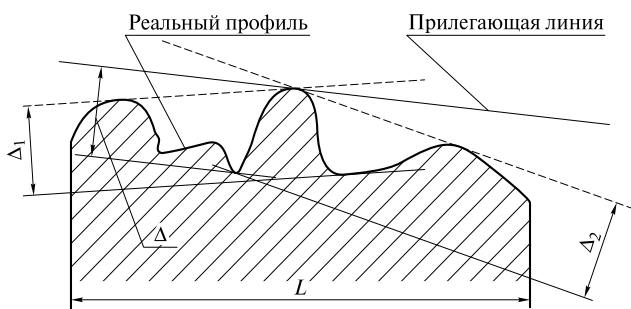


Рис. 1.1. Схема расположения прилегающей линии:

$\Delta$  — отклонение от прилегающей линии ( $\Delta < \Delta_1$ ,  $\Delta < \Delta_2$ );  $\Delta_1, \Delta_2$  — отклонения удаленных точек от касательных линий;  $L$  — длина нормируемого участка; ---- — касательные линии



териала детали так, чтобы наиболее удаленная точка реального профиля в пределах нормируемого участка длиной  $L$  имела бы минимальное значение (рис. 1.1).

**Прилегающая поверхность** представляет собой поверхность, имеющую форму номинальной поверхности, соприкасающейся с реальной поверхностью и расположенной вне материала детали так, чтобы отклонение от нее наиболее удаленной точки реальной поверхности в пределах нормируемого участка было бы минимальным.

Форма номинальной поверхности определяет ее номинальный профиль. **Профиль** — линия пересечения секущей поверхности с заданной поверхностью. Другими словами, профиль — это наружный или внутренний контур сечения (например, профили проката: круг, квадрат, уголок, тавр, двутавр и др.). Как правило, сечение чаще всего принимают нормальным (перпендикулярным) к поверхности. Однако сечение может быть задано под любым углом к поверхности.

Условие минимального значения отклонения не распространяется на прилегающий цилиндр, а также на прилегающую окружность к поперечному сечению любой поверхности вращения. Для наружных поверхностей (валов) прилегающим цилиндром будет описанный вокруг реальной поверхности цилиндр или описанная вокруг контура реального сечения окружность минимального диаметра. Для внутренних поверхностей (отверстий) прилегающим цилиндром будет вписанный цилиндр или вписанная окружность максимального диаметра. Для вписания или описания окружности, как известно, достаточно трех точек касания. Схема расположения прилегающего цилиндра для внутренней и наружной поверхностей представлена на рис. 1.2.

Показатели точности формы могут быть комплексными и частными. Комплексные показатели более полно характеризуют точность формы (отклонение реальной поверхности от номинальной и нормируются стандартами, т. е. в отличие от частных являются нормируемыми).

Для плоской поверхности комплексными показателями являются плоскостность и прямолинейность в плоскости или в пространстве.

Для цилиндрической поверхности комплексными показателями являются цилиндричность, круглость в поперечном сечении и отклонения профиля продольного сечения.

Частными показателями для плоской поверхности являются выпуклость и вогнутость.

Частными показателями для цилиндрической поверхности в поперечном сечении являются овальность и огранка, в продольном сечении — конусообразность, бочкообразность, седлообраз-

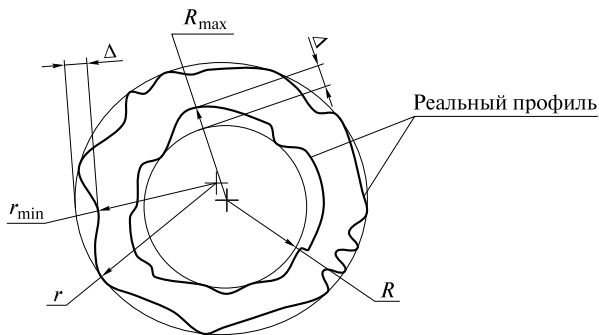


Рис. 1.2. Схема расположения прилегающего цилиндра для наружной и внутренней поверхностей:

$R_{\max}$  — максимальный радиус реального профиля отверстия;  $R$  — максимальный радиус вписанной окружности отверстия;  $r_{\min}$  — минимальный радиус реального профиля вала;  $r$  — минимальный радиус описанной окружности вала;  $\Delta$  — отклонение реального профиля

ность, для поверхностей вращения в пространстве — прямолинейность оси.

**Плоскостность** характеризуется совокупностью всех отклонений реальной формы поверхности от номинальной и численно равна наибольшему из них. На рис. 1.3 показана схема определения плоскостности  $\Delta$  для вогнутой и выпуклой поверхности. В данном случае численные значения комплексных и частных показателей совпадают.

**Прямолинейность в плоскости** характеризуется наибольшим отклонением  $\Delta$  от точек реального профиля до прилегающей прямой.

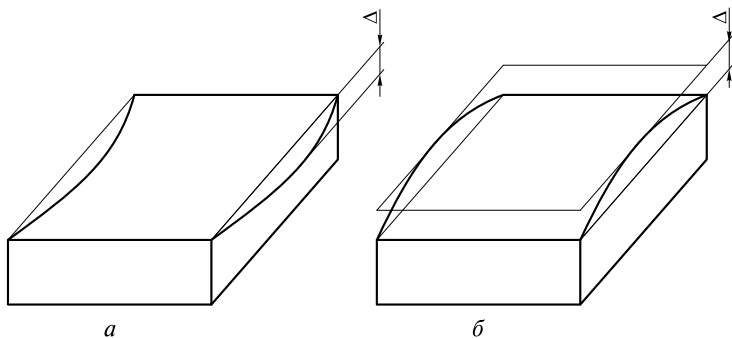


Рис. 1.3. Схема определения плоскостности  $\Delta$ :

$a$  — для вогнутой поверхности;  $b$  — для выпуклой поверхности

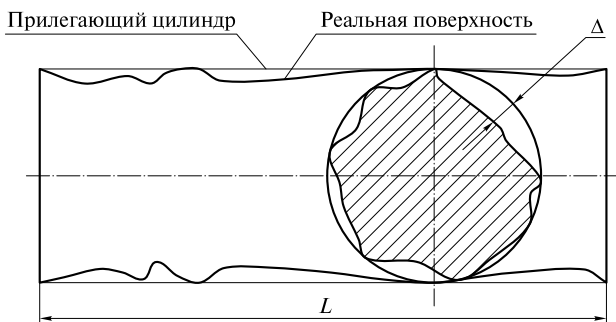


Рис. 1.4. Схема определения цилиндричности  $\Delta$  (наибольшего отклонения)

**Цилиндричность** характеризуется наибольшим отклонением  $\Delta$  профиля продольного сечения от точек реальной поверхности до прилегающего цилиндра в пределах нормируемого участка длиной  $L$  (рис. 1.4).

**Круглость в поперечном сечении** как комплексный показатель цилиндричности характеризуется наибольшим отклонением  $\Delta$  реального профиля сечения (наружного или внутреннего контура) от профиля сечения прилегающего цилиндра (рис. 1.5).

**Овальность** как частный показатель цилиндричности в поперечном сечении характеризуется отклонением  $\Delta$  от круглости, при котором реальный профиль изображается овалообразной фигурой. Наибольший и наименьший диаметры (соответственно  $d_{\max}$  и  $d_{\min}$ ) этой фигуры взаимно-перпендикулярны (рис. 1.6).

Овальность детали возникает в результате биения шпинделя токарного или шлифовального станка, вследствие неуравновешенности (дисбаланса) вращающихся частей, неравномерного припуска заготовки, смещения центровых отверстий и других причин.

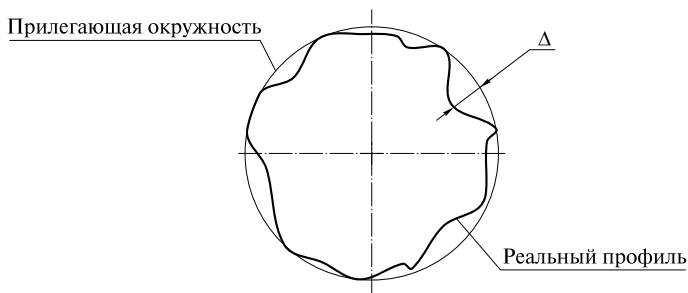


Рис. 1.5. Схема определения круглости в поперечном сечении