

ЕДИНАЯ СИСТЕМА ОТСЧЕТА ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗМЕРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕТАЛЕЙ. ЧАСТЬ II. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕТАЛЕЙ

Единой системой отсчета геометрических характеристик детали является декартова прямоугольная система координат, которую материализуют комплекты конструкторских баз, ограничивающих деталь шести степеней свободы: три линейных и три угловых. В стандартах ISO на допуски геометрических характеристик системы координат не применяются. В связи с этим актуальны исследования в области повышения точности деталей за счет введения линейных и угловых координат элементов деталей.

В работе представлена вторая часть статьи «Единая система отсчета геометрических характеристик размерных элементов деталей», которая посвящена рассмотрению геометрических характеристик цилиндрических элементов деталей. Показано, что базами цилиндрических элементов являются оси цилиндров максимума материала, способные ограничивать четыре, две и одну степеней свободы детали в зависимости от функционального назначения элемента. Точность координирующих размеров следует задавать симметричными допусками на линейные и угловые координаты элементов.

Ключевые слова: геометрические характеристики, цилиндрические элементы деталей, системы координат детали, конструкторские базы, исполнительные элементы, информативность элементов, линейные и угловые координаты.

Введение. Геометрические характеристики являются самыми распространенными в машиностроении. Тем не менее в Международном словаре по метрологии VIM [1] не приводятся определения основных терминов «геометрическая характеристика», «допуск величины», без которых невозможно узнать, с какой точностью следует измерять.

Геометрические характеристики деталей базируются на двух физических величинах — длина и угол, которые взаимосвязаны друг с другом, так же как неразделимы два движения объекта в пространстве — линейное поступательное и угловое вращательное, два вида степеней свободы элементов детали — линейные и угловые. Поэтому место угла — рядом с длиной, т.е. в основных физических величинах, а не в производных [2]. Несмотря на то, что:

— все системы автоматизированного проектирования работают в декартовой прямоугольной системе координат;

— конструирование деталей и сборочных единиц осуществляется в электронном виде с разработкой электронных 3d-моделей изделий [3] с обязательным изображением систем координат, материализуемых базами;

— в стандарте ASME [4] допускается применение систем координат при проектировании сложных изделий для простановки геометрических характеристик и нормирования их точности;

— в Российском национальном стандарте [5] установлено, что системы координат образуют комплекты баз деталей при проектировании конструкторской документации;

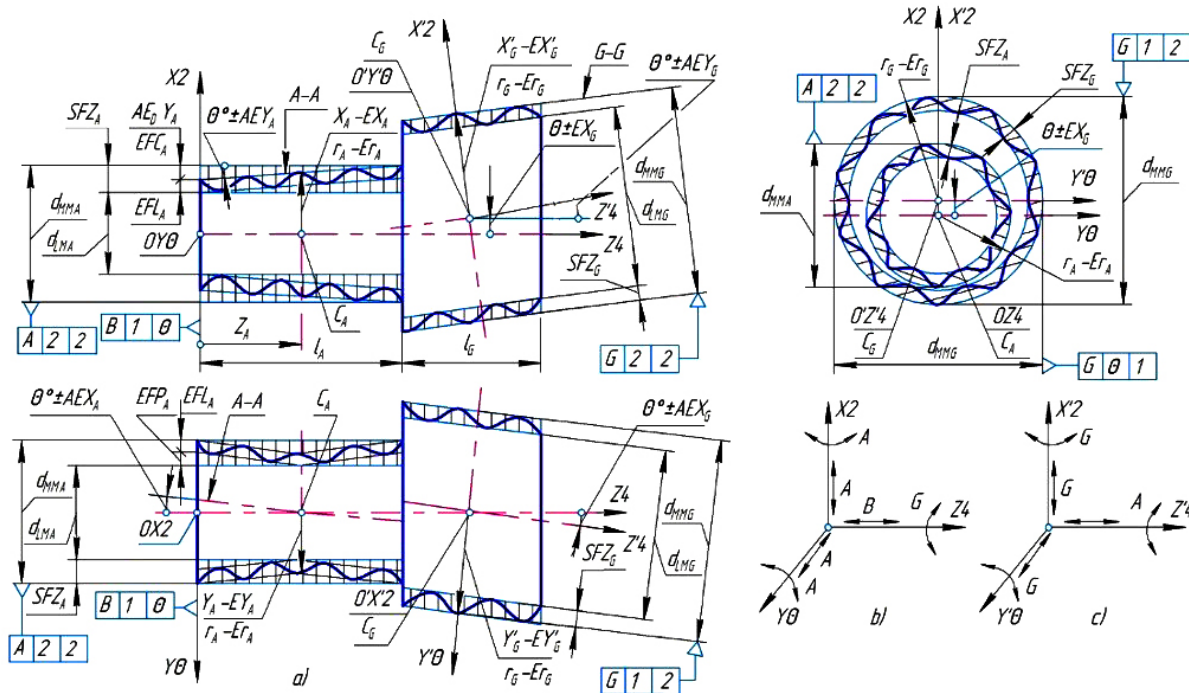
— в стандартах ISO [6–10] на геометрические характеристики изделия и новых изданиях справочников [11, 12] системы координат отсутствуют.

Тем не менее сегодня многосторонние исследования в области точности геометрических характеристик продолжаются [13–20] и не теряют своей актуальности.

Вторая часть статьи «Единая система отсчета геометрических характеристик размерных элементов деталей» [21] посвящена рассмотрению геометрических характеристик цилиндрических элементов деталей.

Геометрические характеристики цилиндрических элементов деталей. Деталь состоит из совокупности материальных элементов, каждый из которых ограничен одной или несколькими геометрическими поверхностями и предназначен для выполнения одной из функций детали.

Цилиндрические элементы ограничены одной цилиндрической поверхностью вращения заданного диаметра, являются симметричными, имеют ось симметрии, которая совпадает с осью вращения. Цилиндрические элементы образуют посадки в кинематических и неподвижных соединениях



a/ - реальные адекватные *2d* - модели элементов в трех проекциях; *b/* и *c/* - индикаторы информативности баз *A4* и *G4*; C_A, C_G - центры средних сечений базовых размерных элементов *A4* и *G4*; *A-A, G-G* - образующие цилиндрических поверхностей базовых размерных элементов *A4* и *G4*; r_A, r_G - радиусы вращения образующих *A-A, G-G* в средних сечениях элементов относительно осей Z_4 и Z'_4 ; *SFZ* - суммарные отклонения расположения образующих *A-A, G-G* и формы поверхностей размерных элементов *A4* и *G4*.

Рис. 1. Модели геометрических характеристик размерных цилиндрических элементов в функциях основной (*A4*) и вспомогательной (*G4*) конструкторских баз с информативностью *4inf*

в классах 0, 1, 2, 4 и 6 [21]. Максимальная информативность цилиндрических элементов составляет $4inf = 2t + 2r$, т.е. они могут ограничивать базирующую или присоединяемую деталь двух линейных и двух угловых степеней свободы.

Цилиндрические элементы в деталях выполняют функции основной конструкторской базы, вспомогательной конструкторской базы и исполнительного элемента с информативностью от четырех *4inf* до нуля *0inf* ограничений степеней свободы детали. Выполняемые функции и информативность элементов определяют состав их геометрических характеристик в декартовой прямоугольной системе координат: линейные и угловые координаты положения, отклонения формы и шероховатость поверхности, размеры диаметра.

В прямоугольной системе координат все геометрические характеристики детали и ее элементов нормируются в трех проекциях разной информативности *3inf*, *2inf*, *1inf*: фронтальной, горизонтальной и профильной, что соответствует плоскому *2d*-проектированию.

Переход к пространственному *3d*-проектированию также потребует нормирования геометрических характеристик в трех координатных плоскостях, что невозможно сделать на одном плоском *3d*-изображении детали сложной конструкции.

Ограничение шести степеней свободы каждого элемента детали осуществляется дифференцированными координирующими размерами в пределах информативности элемента с помощью координат относительно осей обобщенной координатной системы детали в проекциях на три координатные

плоскости. При этом угловые координаты нормируются относительно осей координат с информативностью *4inf* (две координаты) и *2inf* (одна координата) на проекциях вокруг оси координат, которая проектируется в точку. Линейные координаты элемента — это координирующие размеры одной точки — центра базы элемента, если изменения координаты вызывает изменение положения элемента.

Рассмотрим геометрические характеристики цилиндрических элементов с информативностью *4inf*, выполняющих функции основной *A4* и вспомогательной *G4* баз, на *2d*-модели детали, состоящей из этих двух элементов (рис. 1).

Цилиндрические поверхности элементов образуются прямыми *A-A* и *G-G*, номинально параллельными осям элементов *A4* и *G4*, при их вращении вокруг осей. Образующие прямые удалены от осей вращения на размеры радиусов r_A и r_G , которые материализованы линейными координатами $X_A - EX_A$ и $X'_G - EX'_G$, являются размерной основой диаметров элементов.

Образующие прямые — это отрезки прямых, которые в пространстве имеют информативность $4inf = 2t + 2r$.

Два линейных смещения прямых в радиальном и тангенциальном направлениях приводят к отклонениям радиусов Er_A и Er_G в средних сечениях элементов. Из двух угловых поворотов, один $\theta^\circ \pm AEY_A$ в радиальной плоскости OZ_4X_2 вызывает отклонения формы конусообразность поверхности, в линейном выражении $AE_D Y_A$, второй $\theta^\circ \pm AEX_A$ в тангенциальной плоскости OZ_4Y_θ приводит к отклонению формы седлообразность EFP_A . Вместе

с отклонением формы EFL_A образующей прямой А-А при ее вращении вокруг оси OZ_4 возникает суммарное отклонение формы SFZ_A цилиндричности. Аналогично формируется и цилиндричность SFZ_G вспомогательной базы G_4 .

Отклонения формы реальных цилиндрических поверхностей базовых элементов приводят к образованию двух размеров диаметра каждого элемента: диаметра максимума материала d_{MMA} и d_{MMG} и диаметра минимума материала d_{LMA} и d_{LMG} . Базами цилиндрических элементов с информативностью $4inf$ являются оси цилиндров максимума материала, как обеспечивающие требуемые посадки с сопрягаемыми элементами базирующих и присоединяемых деталей. Базовые оси цилиндрических элементов с информативностью $4inf = 2t + 2r$ материализуют ось Z_4 обобщенной системы координат $OZ_4X_2Y_0$ детали (основная конструкторская база A_4) и ось Z'_4 вспомогательной системы координат $O'Z'_4X'_2Y'_0$ (вспомогательная конструкторская база G_4), делают их первичными с максимальной информативностью $4inf$. Это позволяет нормировать относительно баз по две линейные и две угловые координаты, т.е. четыре из шести максимальных, для каждого рабочего элемента детали и для каждой вспомогательной системы координат комплекта базовых элементов.

Главной геометрической характеристикой детали является обобщенная система координат, материализованная комплектом основных конструкторских баз цилиндрического элемента A_4 и плоского элемента B_1 . Суммарная информативность этого комплекта недостаточна для образования систем координат, т.к. составляет $5inf = 3t + 2r$.

Материализована ось Z_4 осью базы A_4 , материализовано начало координат O точки пересечения оси Z_4 плоской базой B_1 , но не определено угловое направление $1r$ вторичной оси координат X_2 на профильной проекции детали. Эту задачу можно решить, если ось X_2 материализовать на профильной проекции из начала координат OZ_4 через проекцию центра C_G вспомогательной конструкторской базы G_4 . Для этого необходимо у базы G_4 занять одну линейную степень свободы $1t$, уменьшив ее информативность до $3inf = 1t + 2r$ вспомогательной базы G_3 и превратив линейную степень свободы $1t$ в ограничение угловой степени $1r$ в качестве основной конструкторской базы G_1 с информативностью $1inf = \theta t + 1r$. В итоге вспомогательная конструкторская база G_3 потеряет одну линейную координату $Y_G = \theta$ и будет иметь информативность $3inf = 1t + 2r$, а обобщенная система координат $OZ_4X_2Y_0$ станет полной с информативностью $6inf = 3t + 3r$ (см. индикатор информативности баз и осей обобщенной системы координат на рис. 1b).

Таким образом, геометрическими характеристиками цилиндрического размерного элемента A_4 в функции основной конструкторской базы с информативностью $4inf$ является:

- ось Z_4 обобщенной системы координат $OZ_4X_2Y_0$ с информативностью $4inf = 2t + 2r$;
- Z_A — координата центра C_A в среднем сечении базы;
- I_A — длина сопряжения базы ($\geq 2d_A$);
- d_{MMA} — диаметр максимума материала;
- d_{LMA} — диаметр минимума материала;
- SFZ_A — суммарное отклонение формы заданной поверхности, или цилиндричность, составляющими которой являются:

- EFK_A — конусообразность (прямая или обратная);
- EFP_A — седлообразность или бочкообразность;
- EFL_A — прямолинейность образующей профиля;
- EFK_A — круглость (с четной или нечетной огранкой);
- RZ_A — средняя высота микронеровностей шероховатости поверхности.

Геометрическими характеристиками цилиндрического элемента G_4 с информативностью $4inf = 2t + 2r$ в функциях основной конструкторской базы с информативностью $1inf = \theta t + 1r$ и вспомогательной конструкторской базы с информативностью $3inf = 1t + 2r$ являются:

- ось X'_2 обобщенной системы координат $OZ_4X_2Y_0$ с информативностью $2inf = 1t + 1r$;
- вспомогательная система координат $O'Z'_4X'_2Y'_0$ с информативностью $6inf = 3t + 3r$ за счет расположения оси X'_2 в координатной плоскости Z_4X_2 обобщенной системы координат детали (см. индикатор информативности баз и осей координат на рис. 1с);

Z_G — линейная координата начала O' вспомогательной системы координат элемента в обобщенной системе координат по оси Z_4 ;

$\theta \pm EX_G$ — линейная координата начала $O'Z'_4$ вспомогательной системы координат в обобщенной системе координат по оси X_2 ;

$\theta \pm AEY_G$ — угловая координата оси Z'_4 вспомогательной системы координат относительно оси Z_4 обобщенной системы в координатной плоскости OZ_4X_2 ($\theta \pm AE_DY_G$ — эквивалент перекося в линейных единицах);

$\theta \pm AEX_G$ — угловая координата оси Z'_4 вспомогательной системы координат относительно оси Z_4 обобщенной системы в координатной плоскости Z_4Y_0 ($\theta \pm AE_DX_G$ — эквивалент перекося в линейных единицах);

I_G — длина сопряжения базы;

d_{MMG} — диаметр максимума материала;

d_{LMG} — диаметр минимума материала;

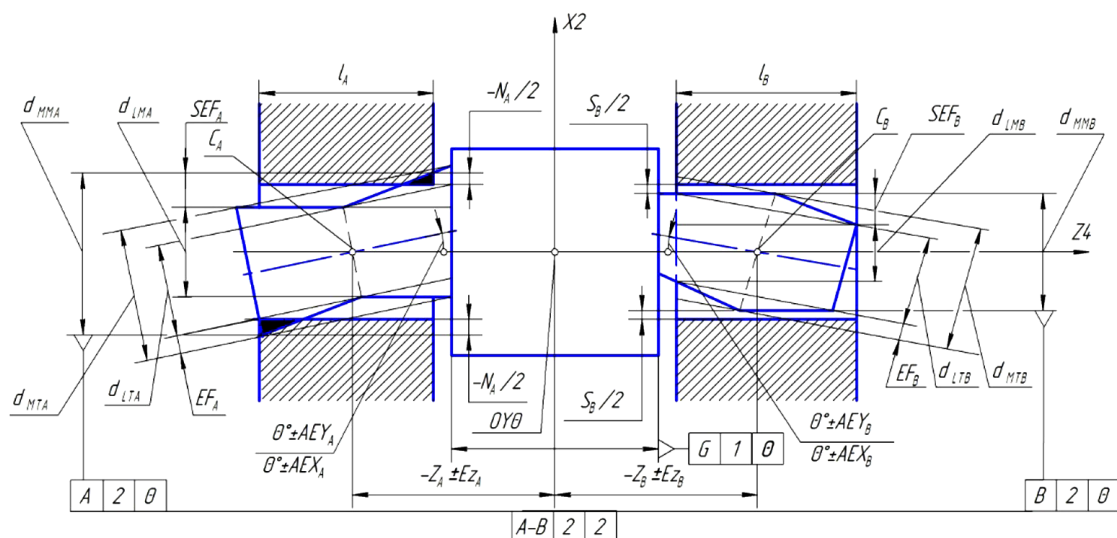
SFZ_G — суммарное отклонение формы заданной поверхности, или цилиндричность;

RZ_G — средняя высота микронеровностей шероховатости поверхности.

Следовательно, цилиндрические базовые элементы с максимальной информативностью $4inf$ в функции вспомогательных конструкторских баз имеют значительно больше геометрических характеристик за счет трех (четырех) координат положения относительно обобщенной координатной системы детали.

Такие же базовые элементы в функции основных конструкторских баз, координат положения не имеют: всю свою информативность они передают первичной оси Z_4 с информативностью $4inf$ при материализации обобщенной системы координат детали.

При снижении информативности основных конструкторских баз до $2inf = (2t + \theta r)$ (рис. 2), т.е. до ограничения двух линейных степеней свободы, неиспользованные угловые повороты (перекося) осей базовых элементов относительно материализованной общей оси Z_4 входят в структуру суммарного отклонения формы заданной поверхности SEF вместе с цилиндричностью и влияют на действующие размеры максимума и минимума материала элементов.



$d_{\text{нт}}, d_{\text{г}}$ – размеры диаметров максимума и минимума материала баз $A2$ и $B2$ вала по Тейлору;
 $d_{\text{нм}}, d_{\text{гм}}$ – действующие размеры диаметров максимума и минимума материала баз $A2$ и $B2$ вала;
 EF – отклонение формы профиля баз вала (седлообразность базы $A2$ и бочкообразность базы $B2$);
 AEY – угловые отклонения осей баз $A2$ и $B2$ относительно общей базовой оси;
 S, N – зазоры и натяги в сопряжениях;
 SEF – суммарные отклонения формы профилей баз $A2$ и $B2$ вала и угловых отклонений осей баз.

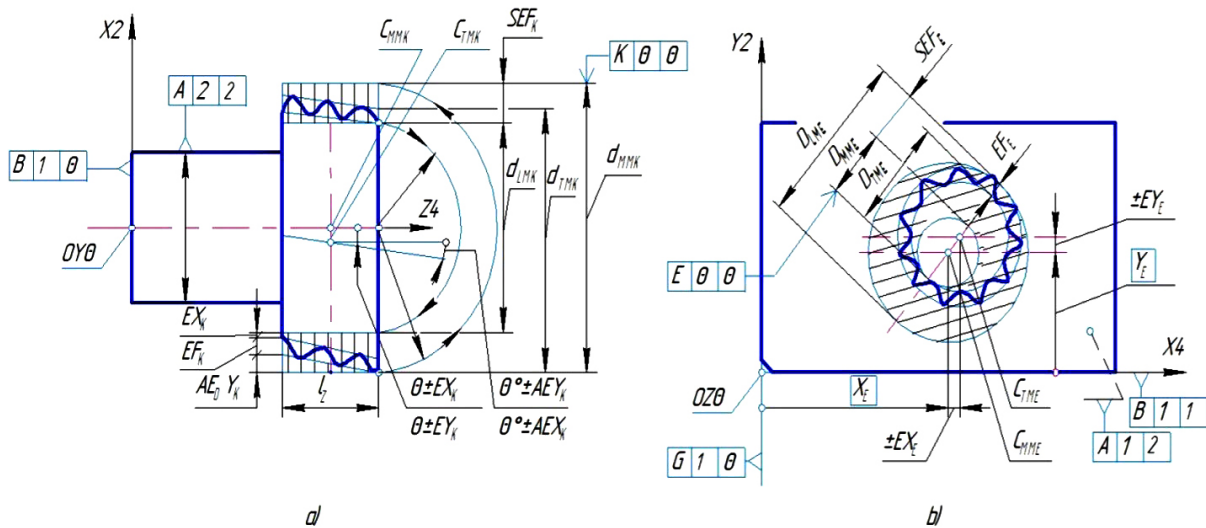
Рис. 2. Модель совместного влияния отклонений расположения и формы профиля комплекта двух цилиндрических базовых элементов вала с информативностью $2inf + 2inf$ на размеры диаметров максимума и минимума материала



Рис. 3. Модели геометрических характеристик комплекта двух цилиндрических отверстий в функции основных конструкторских баз с информативностями $2inf$ и $1inf$

При дальнейшем снижении информативности базовых элементов в функции основных конструкторских баз до $1inf$ на модели (рис. 3) геометрических характеристик цилиндрических отверстий

в функциях основных конструкторских баз с информативностью $2inf = 2t + 0r$ (база $B2$) и $1inf = 0t + 1r$ (база $G1$), в структуру суммарных отклонений формы SFZ вошли не только угловые от-



а) ступенчатый вал; б) пластина с отверстием.

$OZ4X2Y0$, $OX4Y2Z0$ – обобщенные системы координат деталей;

$\theta \pm EX$, $\theta \pm EY$, $X \pm EX$, $Y \pm EY$ – линейные координаты центров C_{TMK} и C_{TME} исполнительных элементов $K\theta$ и $E\theta$;

$\theta^\circ \pm AEY$, $\theta^\circ \pm AEX$ – угловые координаты исполнительного элемента: $K\theta$;

d_M , d_m – размеры диаметров максимума материала элементов $K\theta$ и $E\theta$ по Тейлору;

d_{LM} , d_{LM} , d_{LM} , d_{LM} – размеры действительных диаметров максимума и минимума материала элементов $K\theta$ и $E\theta$;

EF – отклонения формы цилиндрических поверхностей элементов $K\theta$ и $E\theta$ по Тейлору;

SEF – суммарные отклонения формы заданных поверхностей элементов $K\theta$ и $E\theta$.

Рис. 4. Модели геометрических характеристик размерных цилиндрических элементов вала ($K\theta$) и отверстия ($E\theta$) в функции исполнительных элементов с нулевой информативностью θinf

клонения от прямых углов $9^\circ \pm AEX$, $90^\circ \pm AEY$ (баз $B2$ и $G1$), но и отклонения линейной координаты $X_G \pm EX_G$ базы $G1$.

Для осуществления собираемости детали на плоской базе $A3$ с двумя базирующими штифтами по базам $B2$ и $G1$, диаметр максимума материала базового отверстия $G1$ по Тейлору D_{TMG} должен быть дополнительно увеличен по сравнению с аналогичным диаметром базового отверстия $B2$ на размер отклонения EX_G линейной координаты X_G до номинальной оси базового отверстия $G1$. Это приведет к увеличению действующего размера диаметра минимума материала D_{LMG} .

Снижение информативности цилиндрических элементов до нуля θinf имеет место в бесконтактных соединениях, когда элементы образуют посадки с зазором, выполняя функции исполнительных элементов, например, в шестеренных насосах и в соединениях крепежными деталями. Модели геометрических характеристик наружного и внутреннего цилиндрических элементов в функции исполнительных элементов с нулевой информативностью θinf представлены на рис. 4.

Исполнительный элемент $K\theta$ вала с информативностью $\theta inf = \theta t + \theta r$ располагается в обобщенной координатной системе $OZ4X2Y0$, образованной комплектом основных конструкторских баз $A4$ и $B1$, номинально соосно с осью $Z4$. Поскольку максимальная информативность цилиндрического элемента равна $4inf = 2t + 2r$, а исполнительный элемент $K\theta$ с нулевой информативностью не участвует в образовании координатной системы детали, то он будет иметь все четыре смещения относительно оси $Z4$:

$\theta \pm EX_K$, $\theta \pm EY_K$ – линейные координаты центра элемента C_{TMK} в среднем сечении по осям $X2$ и $Y0$;

$\theta^\circ \pm AEX_K$, $\theta^\circ \pm AEY_K$ – угловые координаты оси элемента относительно оси $Z4$ вокруг осей $X2$ и $Y0$.

Эти смещения вызывают увеличение суммарного отклонения формы заданной поверхности SEF_K и приводят к увеличению действующего диаметра максимума материала d_{MMK} и уменьшению действующего диаметра d_{LMK} минимума материала. По существу, эти диаметры представляют собой траектории вращения вокруг оси $Z4$ самой удаленной выступающей точки (d_{MMK}) и ближайшей к оси точки впадины реальной поверхности (d_{LMK}). Таким образом, посадку определяет не размер максимума материала d_{TMK} по Тейлору, а размер действующего диаметра максимума материала d_{MMK} .

Аналогичная картина складывается и на модели отверстия $E\theta$ с нулевой информативностью θinf в функции исполнительного элемента на призматической детали (рис. 4б).

Положение оси отверстия $E\theta$ в координатной системе $OX4Y2Z0$, материализованной комплектом основных конструкторских баз $A3B2G1$ детали, нормируется двумя линейными координатами $X_E \pm EX_E$ и $Y_E \pm EY_E$ оси отверстия с диаметром максимума материала по Тейлору D_{TME} и отклонениями формы EF_E .

Под действием отклонений координат EX_E и EY_E ось реального отверстия будет смещена относительно номинального положения оси, определяемого номинальными значениями координат X_E и Y_E . В результате этого смещения действующий диаметр максимума материала отверстия D_{MME} уменьшится, а действующий диаметр минимума материала отверстия D_{LME} увеличится, совместно увеличивая и суммарное отклонение формы заданной поверхности SEF_E . Действующие размеры диаметров мак-

симула материала отверстия и вала любой информативности определяют характер посадки. Поэтому справедливо их считать не действующими, а **действительными размерами** элементов.

Закключение. Цилиндрические элементы имеют оси, которые могут материализовать оси систем координат деталей. Элементы четвертого класса прикладной механики в функции баз материализуют ось Z_4 с информативностью $4inf = 2t + 2r$, относительно которой отсчитываются четыре координаты — две линейных ($2t$) и две угловых ($2r$). Цилиндрические элементы второго класса материализуют ось X_2 с информативностью $2inf = 1t + 1r$, которая расположена под прямым углом к оси Z_4 и от которой отсчитываются две координаты — одна линейная ($1t$) и одна угловая ($1r$).

Поскольку суммарная информативность двух осей Z_4 и X_2 достигла максимума $6inf = 3t + 3r$, то информативность третьей оси Y_0 равняется нулю — $0inf = 0t + 0r$ и от нее нельзя отсчитывать координаты элементов детали. Следовательно, комплект двух цилиндрических элементов в функциях баз с информативностью $4inf = 2t + 2r$ и $2inf = 1t + 1r$ достаточен для образования полной декартовой прямоугольной системы координат $Z_4X_2Y_0$ для соединений шестого класса прикладной механики.

Неиспользованные степени свободы оси X_2 элемента с информативностью $2inf$ должны нормироваться по расположенной нулевой линейной координатой $\theta \pm EY$ (прямые в пространстве не пересекаются) и угловой координатой $90^\circ \pm AEY$ оси X_2 относительно оси Z_4 внутри комплекта баз. Третью ось Y_0 с нулевой информативностью $0inf$ необходимо нормировать: по расположению относительно осей Z_4 и X_2 линейными координатами $\theta \pm EZ$ и $\theta \pm EY$ и угловыми $90^\circ \pm AEZ$ и $90^\circ \pm AEX$ для ограничения степеней свободы, не использованных для материализации системы координат детали. Аналогично будут нормироваться координаты цилиндрических исполнительных элементов с нулевой информативностью.

Библиографический список

1. ISO/IEC GUIDE 99:2007. International vocabulary of metrology. Basic and general concepts and associated terms (VIM). URL: <https://www.iso.org/standard/45324.html> (дата обращения: 02.03.2023).
2. ISO 80000-3. Quantities and units — Part 3: Space and time. URL: <https://www.iso.org/standard/64974.html> (дата обращения: 02.03.2023).
3. ISO 10230-203:2011. Industrial automation systems and integration — Product data representation and exchange — Part 203: Application protocol: Configuration controlled 3D design of mechanical parts and assemblies. URL: <https://www.iso.org/standard/44305.html> (дата обращения: 02.03.2023).
4. ASME Y14.5-2009. Dimensioning and Tolerancing. Engineering Drawing and Related Documentation Practices: An international standard. USA, New York: The American Society of Mechanical Engineers, 2009. 215 p.
5. ГОСТ 21495-76. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения. Введ. 1977 — 01 — 01. Москва: Изд-во стандартов, 1990. 36 с.
6. ISO 1101:2017. Geometrical product specifications (GPS) — Geometrical tolerancing — Tolerances of form, orientation, location and run-out. URL: <https://www.iso.org/standard/66777.html> (дата обращения: 02.03.2023).
7. ISO 5459:2011. Geometrical product specifications (GPS) — Geometrical tolerancing — Datums and datum systems.

URL: <https://www.iso.org/standard/40358.html> (дата обращения: 02.03.2023).

8. ISO 14638:2015. Geometrical product specifications (GPS) — Matrix model. URL: <https://www.iso.org/standard/57054.html> (дата обращения: 02.03.2023).
9. ISO 286-1:2010. Geometrical product specifications (GPS) — ISO code system for tolerances on linear sizes. Part 1: Basis of tolerances, deviations and fits. URL: <https://www.iso.org/standard/45975.html> (дата обращения: 02.03.2023).
10. ISO 492:2014. Rolling bearings — Radial bearings — Geometrical product specifications (GPS) and tolerance values. URL: <https://www.iso.org/standard/60356.html> (дата обращения: 02.03.2023).
11. Henzold G. Geometrical Dimensioning and Tolerancing for Design, Manufacturing and Inspection: A Handbook for Geometrical Product Specification using ISO and ASME standards. 3rd ed. Butterworth-Heinemann, 2021. 463 p.
12. Simmons C., Maguire D., Phelps N. Manual of Engineering Drawing: British and International Standards. 5th ed. Butterworth-Heinemann, 2020. 608 p.
13. Leonard P., Pairel E., Giordano M. A Simpler and More Formal Geometric Tolerancing Model // Procedia CIRP. 2013. Vol. 10 (4). P. 30 — 36. DOI: 10.1016/j.procir.2013.08.009.
14. Serrano-Mira J., Rosado-Castellano P., Romero-Subiron F. [et al.]. Incorporation of form deviations into the matrix transformation method for tolerance analysis in assemblies // Procedia Manufacturing. 2019. Vol. 41. P. 547 — 554. DOI: 10.1016/j.promfg.2019.09.042.
15. Anwer N., Scott P. J., Srinivasan V. Toward a Classification of Partitioning Operations for Standardization of Geometrical Product Specifications and Verification // Procedia CIRP. 2018. Vol. 75. P. 325 — 330.
16. Hidalgo D., Ruiz R. O., Delgadod A. A novel framework for relationship of manufacturing tolerance and component-level performance of journal bearings // Applied Mathematical Modelling. 2022. Vol. 105. P. 566 — 583.
17. Aschenbrenner A., Wartzack S. A Concept for the Consideration of Dimensional and Geometrical Deviations in the Evaluation of the Internal Clearance of Roller Bearings // Procedia CIRP. 2016. Vol. 43. P. 256 — 261. DOI: 10.1016/j.procir.2016.02.003.
18. Glukhov V. I., Pushkarev V. V., Khomchenko V. G. Geometric modeling in the problem of ball bearing accuracy // Journal of Physics: Conference Series. Mechanical Science and Technology Update. 2017. Vol. 858 (1). P. 012014. DOI: 10.1088/1742-6596/858/1/012014.
19. Glukhov V. I., Varepo L. G., Nagornova I. V. [et al.]. Strength and geometry parameters accuracy improvement of 3D-printed polymer gears // Journal of Physics: Conference Series. Mechanical Science and Technology Update. 2019. Vol. 1260 (3). P. 032019. DOI: 10.1088/1742-6596/1260/3/032019.
20. Glukhov V. I., Varepo L. G., Shalay V. V. [et al.]. New matrix for geometrical product specifications on coordinate basis // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1441 (1). P. 012061. DOI: 10.1088/1742-6596/1441/1/012061.
21. Глухов В. И., Варепов А. Г. Единая система отсчета геометрических характеристик размерных элементов деталей. Часть I. Теория двух размеров максимума и минимума // Омский научный вестник. 2023. № 3 (187). С. 116 — 124. DOI: 10.25206/1813-8225-2023-187-116-124. EDN: RWJCNA.

ГЛУХОВ Владимир Иванович, доктор технических наук, доцент (Россия), профессор кафедры «Нефтегазовое дело, стандартизация и метрология» Омского государственного технического университета (ОмГТУ), г. Омск.
SPIN-код: 3101-0639
ORCID: 0000-0002-4513-3291

AuthorID (SCOPUS): 56503382500
ResearcherID: Q-2030-2016

ВАРЕПО Лариса Григорьевна, доктор технических наук, доцент (Россия), профессор кафедры «Нефтегазовое дело, стандартизация и метрология» ОмГТУ, г. Омск.

SPIN-код: 4980-6679

ORCID: 0000-0001-5366-2700

AuthorID (SCOPUS): 6507043152

ResearcherID: B-1163-2015

Адрес для переписки: larisavarepo@yandex.ru

Для цитирования

Глухов В. И., Варепо Л. Г. Единая система отсчета геометрических характеристик размерных элементов деталей. Часть II. Геометрические характеристики цилиндрических элементов деталей // Омский научный вестник. 2024. № 2 (190). С. 117 – 125. DOI: 10.25206/1813-8225-2024-190-117-125.

Статья поступила в редакцию 27.11.2023 г.

© В. И. Глухов, Л. Г. Варепо



UNIFIED REFERENCE SYSTEM FOR GEOMETRIC CHARACTERISTICS DIMENSIONAL ELEMENTS OF DETAILS. PART II. GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF CYLINDRICAL ELEMENTS OF PARTS

The unified reference system for the geometric characteristics of the part is the Cartesian rectangular coordinate system, which is materialized by sets of design datums that limit the part to six degrees of freedom: three linear and three angular. ISO standards for geometric tolerances do not use coordinate systems. In this context, research in the field of increasing the accuracy of parts by introducing linear and angular coordinates of part elements is relevant.

The paper presents the second part of the article Unified Reference System for Geometric Characteristics of Dimensional Elements of Parts, which focuses on the geometric characteristics of cylindrical elements of parts. It is shown that the datums of cylindrical elements are the axes of cylinders of maximum material capable of restricting four, two and one degrees of freedom for the part depending on the functional purpose of the element. The accuracy of coordinating dimensions should be specified by symmetrical tolerances for linear and angular coordinates of elements.

Keywords: geometric characteristics, cylindrical elements of parts, workpiece coordinate systems, design bases, actuating elements, informativeness of elements, linear and angular coordinates.

References

1. ISO/IEC GUIDE 99:2007. International vocabulary of metrology. Basic and general concepts and associated terms (VIM). URL: <https://www.iso.org/standard/45324.html> (accessed: 02.03.2023). (In Engl.).
2. ISO 80000-3. Quantities and units — Part 3: Space and time. URL: <https://www.iso.org/standard/64974.html> (accessed: 02.03.2023). (In Engl.).
3. ISO 10303-203:2011. Industrial automation systems and integration — Product data representation and exchange — Part 203: Application protocol: Configuration controlled 3D design of mechanical parts and assemblies. URL: <https://www.iso.org/standard/44305.html> (accessed: 02.03.2023). (In Engl.).
4. ASME Y14.5-2009. Dimensioning and Tolerancing. Engineering Drawing and Related Documentation Practices: An international standard. USA, New York: The American Society of Mechanical Engineers, 2009. 215 p. (In Engl.).
5. GOST 21495-76. Bazirovaniye i bazy v mashinostroyenii. Terminy i opredeleniya [Locating and bases in machine building industry. Terms and definitions]. Moscow, 1990. 36 p. (In Russ.).
6. ISO 1101:2017. Geometrical product specifications (GPS) — Geometrical tolerancing — Tolerances of form, orientation, location and run-out. URL: <https://www.iso.org/standard/66777.html> (accessed: 02.03.2023). (In Engl.).
7. ISO 5459:2011. Geometrical product specifications (GPS) — Geometrical tolerancing — Datums and datum systems. URL: <https://www.iso.org/standard/40358.html> (accessed: 02.03.2023). (In Engl.).
8. ISO 14638:2015. Geometrical product specifications (GPS) — Matrix model. URL: <https://www.iso.org/standard/57054.html> (accessed: 02.03.2023). (In Engl.).
9. ISO 286-1:2010. Geometrical product specifications (GPS) — ISO code system for tolerances on linear sizes. Part 1: Basis of tolerances, deviations and fits. URL: <https://www.iso.org/standard/45975.html> (accessed: 02.03.2023). (In Engl.).
10. ISO 492:2014. Rolling bearings — Radial bearings — Geometrical product specifications (GPS) and tolerance values. URL: <https://www.iso.org/standard/60356.html> (accessed: 02.03.2023). (In Engl.).
11. Henzold G. Geometrical Dimensioning and Tolerancing for Design, Manufacturing and Inspection: A Handbook for Geometrical Product Specification using ISO and ASME standards. 3rd ed. Butterworth-Heinemann, 2021. 463 p. (In Engl.).
12. Simmons C., Maguire D., Phelps N. Manual of Engineering Drawing: British and International Standards. 5th ed. Butterworth-Heinemann, 2020. 608 p. (In Engl.).
13. Leonard P., Pairel E., Giordano M. A Simpler and More Formal Geometric Tolerancing Model // Procedia CIRP. 2013. Vol. 10 (4). P. 30–36. DOI: 10.1016/j.procir.2013.08.009. (In Engl.).

14. Serrano-Mira J., Rosado-Castellano P., Romero-Subiryn F. [et al.]. Incorporation of form deviations into the matrix transformation method for tolerance analysis in assemblies // *Procedia Manufacturing*. 2019. Vol. 41. P. 547–554. DOI: 10.1016/j.promfg.2019.09.042. (In Engl.).
15. Anwer N., Scott P. J., Srinivasan V. Toward a Classification of Partitioning Operations for Standardization of Geometrical Product Specifications and Verification // *Procedia CIRP*. 2018. Vol. 75. P. 325–330. (In Engl.).
16. Hidalgo D., Ruiz R. O., Delgadod A. A novel framework for relationship of manufacturing tolerance and component-level performance of journal bearings // *Applied Mathematical Modelling*. 2022. Vol. 105. P. 566–583. (In Engl.).
17. Aschenbrenner A., Wartzack S. A Concept for the Consideration of Dimensional and Geometrical Deviations in the Evaluation of the Internal Clearance of Roller Bearings // *Procedia CIRP*. 2016. Vol. 43. P. 256–261. DOI: 10.1016/j.procir.2016.02.003. (In Engl.).
18. Glukhov V. I., Pushkarev V. V., Khomchenko V. G. Geometric modeling in the problem of ball bearing accuracy // *Journal of Physics: Conference Series. Mechanical Science and Technology Update*. 2017. Vol. 858 (1). P. 012014. DOI: 10.1088/1742-6596/858/1/012014. (In Engl.).
19. Glukhov V. I., Varepo L. G., Nagornova I. V. [et al.]. Strength and geometry parameters accuracy improvement of 3D-printed polymer gears // *Journal of Physics: Conference Series. Mechanical Science and Technology Update*. 2019. Vol. 1260 (3). P. 032019. DOI: 10.1088/1742-6596/1260/3/032019. (In Engl.).
20. Glukhov V. I., Varepo L. G., Shalay V. V. [et al.]. New matrix for geometrical product specifications on coordinate basis // *Journal of Physics: Conference Series*. 2020. Vol. 1441 (1). P. 012061. DOI: 10.1088/1742-6596/1441/1/012061. (In Engl.).
21. Glukhov V. I., Varepo L. G. Edinaya sistema otscheta geometricheskikh kharakteristik razmernykh elementov detaley. Chast' I. Teoriya dvukh razmerov maksimuma i minimuma [Unified reference system for geometric characteristics dimensional elements of details. Part I. The theory of two dimensions maximum and minimum] // *Omskiy nauchnyy vestnik. Omsk Scientific Bulletin*. 2023. No. 3 (187). P. 116–124. DOI: 10.25206/1813-8225-2023-187-116-124. EDN: RWJCNA. (In Russ.).

GLUKHOV Vladimir Ivanovich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Oil and Gas Engineering, Standardization and Metrology Department, Omsk State Technical University (OmSTU), Omsk.

SPIN-code: 3101-0639

ORCID: 0000-0002-4513-3291

AuthorID (SCOPUS): 56503382500

ResearcherID: Q-2030-2016

VAREPO Larisa Grigorievna, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Oil and Gas Engineering, Standardization and Metrology Department, OmSTU, Omsk.

SPIN-code: 4980-66-79

ORCID: 0000-0001-5366-2700

AuthorID (SCOPUS): 6507043152

ResearcherID: B-1163-2015

Correspondence address: larisavarepo@yandex.ru

For citations

Glukhov V. I., Varepo L. G. Unified reference system for geometric characteristics dimensional elements of details. Part II. Geometric characteristics of cylindrical elements of parts // *Omsk Scientific Bulletin*. 2024. No. 2 (190). P. 117–125. DOI: 10.25206/1813-8225-2024-190-117-125.

Received November 27, 2023.

© V. I. Glukhov, L. G. Varepo