

Б. М. БАЗРОВ¹, д-р техн. наук, проф.

В. Л. ГУРЕВИЧ², канд. техн. наук, доц.

Н. Л. ГРЕЦКИЙ

М. Л. ХЕЙФЕЦ², д-р техн. наук, проф.

Н. М. ЮРЕВИЧ²

¹Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (Москва, Россия)

²Институт прикладной физики НАН Беларуси (Минск, Беларусь)

ГАРМОНИЗАЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНЫМИ ТРЕБОВАНИЯМИ СТАНДАРТА «БАЗЫ И БАЗИРОВАНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ. ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ»

Аннотация. Размерные связи играют большую роль, как в создании изделия, особенно с использованием как прецизионных, аддитивных и других технологий, так и в процессе его функционирования и обслуживания. Размерные цепи, их описывающие, возникают при решении конструкторских, технологических и метрологических задач машиностроения и зависят от выбора баз, поэтому построению размерных цепей должен предшествовать анализ базирования.

Ключевые слова: гармонизация, актуализация, международные требования, базы и базирование в машиностроении

Введение

Установление требований к геометрическим параметрам изделий машиностроения, включая заготовки, детали, сборочные единицы, (далее – изделие) является ключевым требованием к обеспечению их качества и взаимозаменяемости, а также реализации функциональных свойств готового изделия, включая показатели надежности [1, 2]. Фундаментальную роль в подходе к установлению геометрических параметров изделий играет стандартизация как на международном, так и национальном уровнях [3 - 5].

Базовая концепция, принципы и правила, применяемые для установления, интерпретации и верификации технических требований к геометрическим параметрам изделий установлены в международных стандартах ISO GPS – (Система стандартов на технические требования к геометрическим параметрам изделий и их проверку, разработанная в рамках Международной организации по стандартизации ISO техническим комитетом по стандартизации ISO/TC 213 «Размерные и геометрические требования и верификация изделий»).

Широкое практическое применение получили стандарты Американского общества инженеров-механиков ASME Y14.5, которые подобны стандартам ISO GPS, но имеют определенные отличия. Точность языка стандартов ISO GPS приводит к установлению в них большего числа требований по отношению к ASME Y14.5.

Стандарты ISO GPS взаимоувязаны с международными стандартами, разрабатываемыми ISO/TC 10 «Техническая документация на продукцию», ISO/TC 184 «Системы автоматизации и интеграция» и др. с целью обеспечения скоординированного и единообразного подхода к установлению требований к технической документации на продукцию (TPD) в 2D-чертежах и 3D-моделях систем автоматизированного проектирования (САПР) на протяжении всего жизненного цикла изделия, чтобы облегчить разработку, управление, хранение, поиск, воспроизведение, обмен и использование TPD. Следует отметить, что многие CAD-платформы и средства измерений поддерживают оба стандартизованных подхода [2, 5, 6].

Общепринятая на международном уровне концепция нормирования геометрических параметров изделий ISO GPS (установлена в ISO 14638:2015) представляет интегрированную и взаимодополняющую систему установления требований, определяющих геометрию (микро- и макро-) изделия, правила назначения баз, соответствующие требования к средствам измерений, включая координатно-измерительные машины, их оценку и калибровку, а также правила принятия решения о соответствии/несоответствии изделия заданным требованиям.

ISO GPS представляет собой группу международных стандартов, определяющих основные соотношения между размерными и геометрическими допусками, и включает стандарты, которые связаны с требованиями к конструкции, а также с надлежащим процессом изготовления и контроля продукции для оценки ее геометрических параметров. Стандарты ISO GPS основаны на принципе двойственности спецификации и верификации.

В Республике Беларусь часть международных стандартов ISO GPS принята в качестве государственных стандартов. Однако, преимущественно это устаревшие версии стандартов ISO GPS.

Геометрические допуски

Геометрические допуски должны устанавливаться на основании предъявляемых к изделию функциональных требований с учетом особенностей изготовления и контроля изделия. При этом указание геометрических допусков на чертеже не предполагает обязательного использования какого-либо конкретного метода изготовления, измерения или контроля.

Геометрический допуск, установленный для элемента изделия, определяет поле допуска, внутри которого должен целиком располагаться этот элемент. Геометрический элемент представляет собой отдельную часть детали, такую как точка, линия или поверхность. Он может быть полным элементом (поверхность, линия на поверхности) или производным элементом (центральная точка, средняя линия, средняя поверхность).

В зависимости от нормируемой геометрической характеристики элемента и способа указания допуска на чертеже поле допуска может представлять собой: область внутри окружности; область между двумя концентрическими окружностями; область между двумя равноотстоящими (эквидистантными)

линиями или двумя параллельными прямыми линиями; область внутри цилиндра; область между двумя соосными цилиндрами; область между двумя равноотстоящими (эквидистантными) поверхностями или двумя параллельными плоскостями; область внутри сферы.

Для определения месторасположения и/или ориентации поля допуска или идеального элемента, представляющего, например, воображаемую границу, а также придание заготовке или изделию требуемого положения относительно выбранной системы координат в процессе базирования устанавливаются базы при проектировании, изготовлении, эксплуатации и ремонте изделий машиностроения.

При этом базовые элементы должны быть идентифицированы в конструкторской документации и использованы в производстве. Конструкторская документация может быть представлена в форме традиционных двумерных (2D) проекционных видов на чертежах или в форме компьютерных файлов, содержащих представления трехмерных (3D) моделей. В процессе производства базовые элементы используются для планирования производственных процессов. Например, какие элементы следует обрабатывать в первую очередь и в пределах каких допусков, и как расположить заготовку в приспособлении для обработки. Также базовые элементы детали используются для планирования контроля. Например, для проведения измерений в процессе производства с целью контроля качества и для проверки соответствия изготовленной детали геометрическим допускам, указанным в конструкторской документации.

Процессу базирования изделия (заготовки, детали или сборочной единицы) посвящены многочисленные работы, в связи с тем, что он оказывает огромное влияние на качество изделия и трудоемкость его изготовления. Но до сих пор базирование в технологиях, объединяющих как традиционные, так и аддитивные процессы, не отражено в стандартах [4,5].

Базы и базирование

Основы теории базирования при современном развитии производства актуализируются с учетом перехода от существующего описания из теоретической механики посредством положения трех координатных точек; к новому описанию из теории машин и механизмов путем лишения предмета базирования степеней свободы (подвижности) в технической системе [3 - 5].

В результате проектирование конструкции изделия, технологии его производства и измерения характеристик следует проводить, рассматривая системы, включающие станки и приспособления, измерительные машины и метрологическое оснащение в качестве механизмов, в том числе самоцентрирующих и при наличии их избыточных степеней подвижности, замыкающим звеном которых является предмет базирования [7].

Развитие требований к базам и системам базирования получило в международных стандартах ISO GPS. Базы формируют часть геометрических требований к изделию, с помощью которых устанавливаются и контролируются

допуски расположение и/или формы геометрических элементов, а также допуски на биение. Базы устанавливаются от реальных поверхностей, идентифицированных на детали. Базы определяют ориентацию или месторасположение полей допусков, а также воображаемые границы (например, воображаемая граница максимума материала согласно ISO 2692). С помощью баз формируется система координат, в пределах которой располагается зона допуска геометрических требований.

Правила определения и практического установления баз, а следовательно, и систем координат, подробно изложены в ISO 5459 : 2024 «Геометрические характеристики изделий (GPS) — Геометрические допуски — Базы и системы баз.»

Базы рассматриваются как средство лишения поля допуска степеней свободы. Число степеней свободы, которых лишено поле допуска, зависит от номинальной формы элементов, используемых для установления базы или комплекта баз (независимо от того, является ли база первичной, вторичной или третичной), и от характеристики, допуск которой указан в рамке геометрического допуска.

По умолчанию, база лишает поле допуска (геометрический параметр, указанный в рамке допуска) всех тех степеней свободы, которых она только может лишиться (и которые обусловлены его формой), и которые не были лишены предшествующими базами (в комплекте баз).

Базы и комплекты баз являются теоретически точными геометрическими элементами, которые применяют совместно с явными и неявными теоретически точными размерами, для определения месторасположения или ориентации полей допусков элементов с допуском, или воображаемых границ, например, в случае требования максимума материала.

Методы присоединения баз

База состоит из совокупности элементов положения идеального элемента. Базовые элементы могут быть полными элементами или их идентифицированными частями.

Комплект баз состоит из нескольких баз (более одной). Геометрический тип присоединенного элемента может принадлежать одному из следующих классов инвариантности: сферическому (т.е. сфера); планарному (т.е. плоскость); цилиндрическому (т.е. цилиндр); винтовому (например, резьбовая поверхность); вращательному (например, конус или тор); призматическому (например, призма); комплексному (например, поверхность произвольной формы).

Методы присоединения баз устанавливают связь реальных элементов с базами и однозначным набором ограничений, результатом чего является идентификация однозначно определяемых баз или комплектов баз. Присоединенный элемент может быть определен при помощи операции присоединения, включающей ограничения, исходящие от самого элемента или

одного или нескольких других элементов. Элементы положения, составляющие базу, определяют от этих присоединенных элементов [8].

Методы присоединения баз устанавливают связь реальных элементов с базами и однозначным набором ограничений, результатом чего является идентификация однозначно определяемых баз или комплектов баз.

Присоединенные элементы устанавливают от реальных или выявленных единичных элементов, используемых для установления базы. Присоединенный элемент может быть определен при помощи операции присоединения, включающей ограничения, исходящие от самого элемента или одного или нескольких других элементов. Элементы положения, составляющие базу, определяют от этих присоединенных элементов.

Критерием присоединения является целевая функция для присоединения, которая представляет математический критерий (формулу), на основании которого оценивается, насколько качественно и правильно идеальный элемент прилегает к реальной поверхности. При этом применяется набор ограничений на изменчивость математических параметров, описывающих присоединенный элемент в процессе оптимизации. Например, различными типами ограничений могут являться ограничения ориентации, ограничения расположения, ограничения материала или ограничения существенной характеристики.

Для установления присоединенного элемента требуется выполнить разделение, выявление, фильтрацию и присоединение (Рис.1).

Методики присоединения для баз определяют независимо от разделения, выявления и фильтрации. Фильтрация сохраняет наивысшие точки реального полного элемента. Результатом фильтрации плоского или выпуклого номинального элемента (такого как вал) является выпуклый элемент. Для других типов номинальных элементов (таких как отверстие), подобным образом удаляют раковины с поверхности.

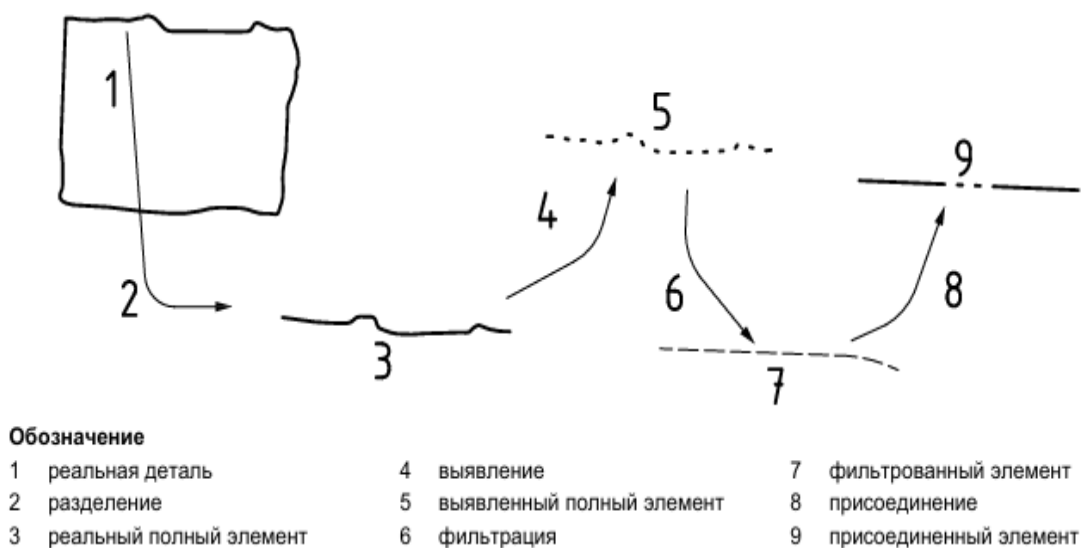


Рис. 1. Пример процедуры установления присоединенного элемента

Базовые элементы указываются в конструкторской документации, в которой отображаются геометрические параметры, а их размеры соответствуют номинальным размерам. Базовые элементы могут быть индивидуальными или общими, и оба типа могут образовывать системы базовых элементов.

Контрольные операции

Для выполнения операций контроля базовые элементы необходимо устанавливать на основе реальных геометрических характеристик изделия со всеми возможными и допустимыми отклонениями. Один из принципов заключается в том, что целесообразно сначала убедиться, используя геометрические параметры формы и расположения, что эти характеристики также обладают надлежащим качеством (плоскость, прямолинейность и т.д.) после изготовления.

Декартова система координат проще всего создается с помощью трех плоских базовых элементов, ортогонально ориентированных друг относительно друга, но возможны и другие комбинации. Такая система базовых элементов блокирует все степени свободы перемещения (три перемещения, три вращения) твердого тела, что является необходимым условием при необходимости контроля всех геометрических характеристик, прежде всего, их расположения. Если необходимо контролировать только расположение, достаточно заблокировать четыре или пять степеней свободы. При использовании базовых систем последовательность (первичная, вторичная, третичная) для установленного допуска имеет решающее значение, поскольку она также обеспечивает повторяемую установку изделия в измерительном оборудовании, тем самым гарантируя повторяемые и сопоставимые измерения.

Базы также могут быть установлены математически из облаков измеренных точек. При этом для определения подходящей математической характеристики из облака точек, которая будет использоваться для установления базовой системы, могут быть использованы различные операции. Если, например, для единичной базы выбран производный элемент (например, ось), то можно использовать требования к материалу и соответствующее моделирование базовой оси.

Можно также задать, для каких характеристик будет использоваться каждая базовая точка и какие степени свободы она должна фиксировать.

Заключение

Таким образом, с развитием техники и технологии появилась необходимость в пересмотре подхода и некоторых понятий, а также введения новых, уточняющих требования к базированию и базам, относящимся к нормированию точности изделий.

При актуализации должен быть использован язык, позволяющий описывать модели, определенные в файлах цифровых данных и программном обеспечении для CAD / CAM / CAQ - систем. Данные требования должны быть

установлены в соответствующем государственном стандарте, гармонизированном с ISO 5459:2024.

Список литературы

1. Базров, Б.М. Базис технологической подготовки машиностроительного производства / Б.М. Базров. – М.: КУРС, 2023. – 324 с.
2. Базров, Б.М. Системология объектов и процессов при цифровизации жизненного цикла изделий машиностроения / Б.М. Базров, М.Л. Хейфец, В.Л. Гуревич, Н.Н. Попок // Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2021. Т. 65, № 4. – С. 516–525.
3. Чижик, С.А. Совершенствование основ теории базирования с учетом развития технологий, оборудования и средств их оснащения / С.А. Чижик, М.Л. Хейфец, В.Л. Гуревич, Б.М. Базров, М.Н. Ерофеев, Н.А. Родионова, Ю.В.Будкин // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2022, № 2. – С. 3-14.
4. Базров, Б.М. Научно-методические основы актуализации теории базирования на основании анализа степеней свободы предмета базирования / Б.М. Базров, Н.А. Родионова, Ю.В. Будкин, С.А. Чижик, М.Л. Хейфец, В.Л. Гуревич // Механика машин, механизмов и материалов. - 2022. - № 2 (59). – С. 77-87.
5. Базров, Б.М. Совершенствование основ теории базирования с учетом развития традиционных и аддитивных технологий / Б.М. Базров, М.Л. Хейфец // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2020. Т. 64, № 5. – С. 617 – 623.
6. Базров, Б.М. Метод представления изделия как объекта цифровизации производства структурированным множеством модулей / Б.М. Базров, М.Л. Хейфец // Доклады НАН Беларуси. – 2019, Т. 63, № 3. – С. 377-384.
7. Базров, Б.М. Схемы базирования изделий в самоцентрирующих механизмах с использованием комплектов скрытых баз / Б.М. Базров, М.Л. Хейфец, Н.А. Родионова, В.Л. Гуревич // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2022. - Т. 66, № 6. – С. 622-628.
8. Базров, Б.М. Компонировочный синтез на основе модульного принципа элементной базы мехатронных технологических комплексов / Б.М. Базров, М.Л. Хейфец // Доклады Национальной академии наук Беларуси. – 2022. – Т. 66, № 2. – С. 229-236.

Контакты:

modul_lab@mail.ru (Базров Борис Мухтарбекович)
valery.hurevich@gmail.com (Гуревич Валерий Львович)
nikolay_gnl@mail.ru (Грецкий Николай Леонидович)
mlk-z@mail.ru (Хейфец Михаил Львович)
nataxnata13@mail.ru (Юревич Наталья Михайловна)