

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛЕЙ ДОПУСКОВ

Докт. техн. наук, проф. СОЛОМАХО В. Л., канд. техн. наук, проф. ЦИТОВИЧ Б. В.,
канд. техн. наук, доц. СОКОЛОВСКИЙ С. С., инж. ЛЕНКЕВИЧ О. А.

Белорусская государственная политехническая академия

Любой элемент детали имеет бесчисленное множество размеров, определяющих требования к ее реальным контурам. При контроле необходимо решить вопрос о том, какой из контуров следует принять для оценки годности реального элемента по заданному на чертеже размеру. Отвечая на этот вопрос, следует исходить из принятой интерпретации предельных размеров (предельных контуров). Согласно стандарту ИСО 8015, возможны два варианта такой интерпретации:

- 1) на основе принципов Тейлора;
- 2) на основе минимаксного принципа.

В соответствии с интерпретацией предельных размеров на основе принципов Тейлора всякий реальный элемент детали имеет два определяющих размера, по которым при контроле оценивается его годность:

1) размер, определяемый как размер соответствующего элемента идеальной геометрической формы, прилегающего к рассматриваемому реальному элементу (наибольший для охватываемого элемента – «вала» или наименьший для охватываемого элемента – «отверстия»);

2) размер, определяемый соответственно как минимальная толщина или максимальная ширина реального элемента путем его измерения по двухточечной схеме (наименьший для охватываемого элемента или наибольший для охватываемого элемента).

Графическая интерпретация таких размеров на примере наружной номинально цилиндрической поверхности (вала) представлена на рис. 1, где они обозначены соответственно как $d_{r\max}$ и $d_{r\min}$.

При контроле годности элемента первый из его определяющих размеров должен сопоставляться с пределом максимума материала элемен-

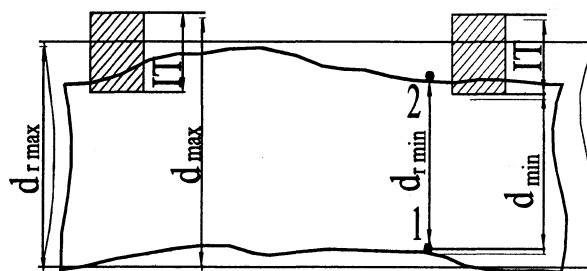


Рис. 1. Интерпретация предельных размеров на основе принципов Тейлора. Условие годности: $d_{r\max} \leq d_{\max}$; $d_{r\min} \geq d_{\min}$

та (наибольшим предельным размером вала или наименьшим предельным размером отверстия), а второй – с пределом минимума материала элемента (наименьшим предельным размером вала или наибольшим предельным размером отверстия), определяемыми в соответствии с заданным на чертеже детали полем допуска размера контролируемого элемента. В представленном на рис. 1 примере эти пределы обозначены соответственно как $d_{\max}$ и $d_{\min}$. Реальный элемент детали будет считаться годным, если выделенные два его определяющих размера будут находиться между пределами максимума и минимума его материала.

Таким образом, для рассматриваемой в качестве примера наружной номинально цилиндрической поверхности условие годности формально можно выразить аналитическим выражением $d_{r\max} \leq d_{\max}$; $d_{r\min} \geq d_{\min}$. В случае интерпретации предельных размеров на основе минимаксного принципа всякий реальный элемент детали также имеет два определяющих размера, по которым оценивается его годность:

- наибольший размер, определяемый как максимальная толщина (для вала) или максимальная

ширина (для отверстия) реального элемента измерением по двухточечной схеме;

- наименьший размер, определяемый как минимальная толщина (для вала) или минимальная ширина (для отверстия) реального элемента также измерением по двухточечной схеме.

На рис. 2 представлена графическая интерпретация определения таких размеров на примере наружной номинально цилиндрической поверхности, где они обозначены соответственно как $d'_{r \max}$ и $d'_{r \min}$.

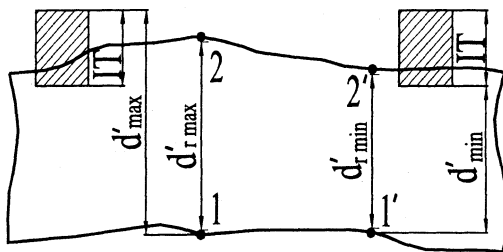


Рис. 2. Интерпретация предельных размеров на основе минимаксного принципа. Условие годности: $d'_{r \max} \leq d'_{\max}$; $d'_{r \min} \geq d'_{\min}$

При контроле годности элемента в этом случае первый из определяющих размеров сопоставляется с наибольшим предельным размером, а второй – с наименьшим предельным размером, определяемыми в соответствии с заданным на чертеже детали полем допуска размера контролируемого элемента. На рис. 2 такие предельные размеры обозначены соответственно как $d'_{\max}$ и $d'_{\min}$. Реальный элемент детали будет считаться годным, если оба определяющих его размера будут находиться между наименьшим и наибольшим предельными размерами. В соответствии с этим условие годности представленной на рис. 2 наружной поверхности аналитически можно описать следующим образом: $d'_{r \max} \leq d'_{\max}$; $d'_{r \min} \geq d'_{\min}$.

Анализ двух вариантов интерпретации предельных размеров позволяет сделать вывод о возможности получения противоречивых результатов контроля размеров элементов. Элемент детали, признанный годным на основе минимаксного принципа контроля, может оказаться бракованным при его контроле на основе прин-

ципов Тейлора. Это обстоятельство наглядно демонстрируют схемы контроля размера наружной номинально цилиндрической поверхности, представленной на рис. 1, 2. При равенстве размеров $d'_{r \min}$ и $d'_{r \max}$ размеры $d'_{r \max}$ и $d'_{r \min}$ могут существенно отличаться из-за наличия отклонения оси от прямолинейности у контролируемой поверхности, которое не выявляется при контроле размера этой поверхности на основе минимаксного принципа.

При традиционном контроле размеров каждый элемент детали измеряется автономно, в своей системе координат и ограничивается своим полем допуска, не связанным с полями допусков других элементов. Это приводит к появлению в результатах измерительного контроля методических погрешностей (систематические погрешности каждой конкретной детали, которые рандомизируются при контроле группы однородных деталей) из-за несовпадения систем координат, в которых измеряются размеры различных элементов. В итоге некоторые функционально годные детали могут быть ошибочно отнесены к группе бракованных и наоборот, что приведет к увеличению количества неправильно принятых и забракованных деталей. При таком подходе к контролю не исключено, что деталь, формально признанная годной, может оказаться функционально бракованной при ее установке в сборочную единицу (рис. 3а, б). Для повышения качества контроля геометрических параметров деталей предлагается новый подход к координатным измерениям.

Контролируемую деталь необходимо рассматривать как комплекс взаимосвязанных и взаимообусловленных реальных геометрических элементов (профилей и поверхностей), отделяющих ее от окружающей среды. При этом предельные размеры детали – это комплекс взаимосвязанных предельных размеров всех элементов детали, рассматриваемых как одно общее поле и два определяющих комплексных плавающих предельных контура детали, один из которых соответствует пределу максимума материала, а второй – пределу минимума материала детали. Исходя из этого, все элементы контролируемой детали (все их геометрические па-

параметры) должны измеряться в одной фиксированной системе координат, жестко связанной с контролируемой деталью, что несложно реализовать при использовании многомерных специальных или многокоординатных универсальных измерительных приборов (двух- и трехкоординатных). При этом годной следует считать деталь, все реальные элементы которой могут быть «вписаны» между двумя ее предельными контурами (верхним и нижним, т. е. соответствующими пределам максимума и минимума материала детали).

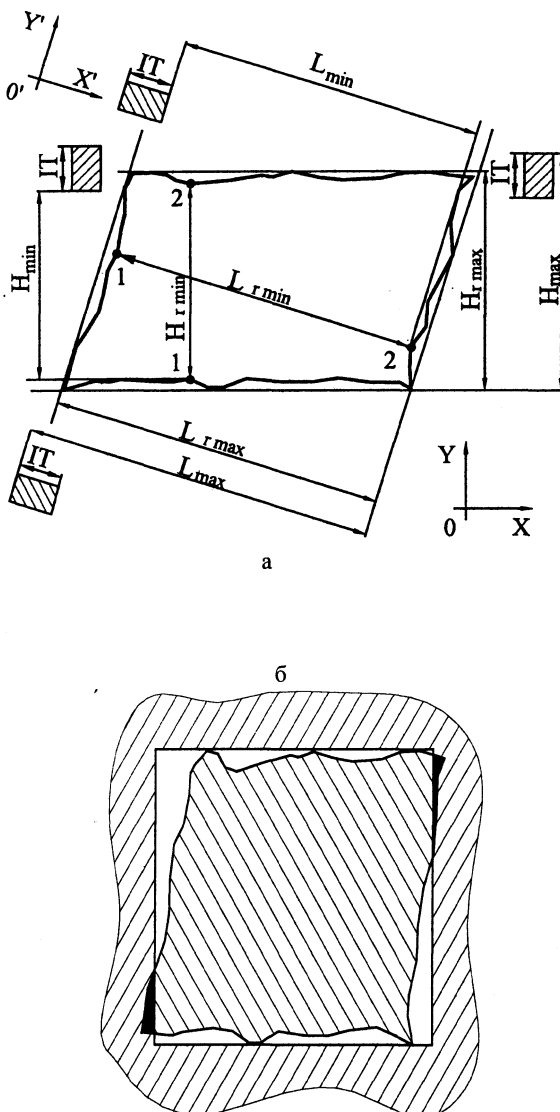


Рис. 3. Контроль размеров детали на основе принципов Тейлора. Условия годности: $L_{r\max} \leq L_{\max}$; $L_{r\min} \geq L_{\min}$; $H_{r\max} \leq H_{\max}$; $H_{r\min} \geq H_{\min}$

Положение таких контуров может быть определено и описано аналитически в соответствии с заданными на чертеже детали полями допусков всех рассматриваемых элементов, представляемыми при этом как некоторый комплекс взаимосвязанных и взаимообусловленных полей допусков (комплексное пространство допусков детали). Для проверки условия годности, которая определяется возможностью вписать реальный контур детали в предельные, предлагается осуществлять оптимизацию системы координат детали (поиск оптимального пространственного расположения реальных элементов детали) с одновременным аналитическим перераспределением взаимосвязанных полей допусков (оптимизацией комплексного пространства допусков детали). Если окажется возможным так «расположить» контролируемую деталь, чтобы все ее реальные элементы «вписались» между «плавающими» предельными контурами, и при необходимости соответствующим образом перераспределить поля допусков элементов в пределах комплексного пространства допусков детали, то такая деталь может считаться функционально годной. При этом возможно, что при традиционном подходе к контролю эта же деталь может быть забракована по отдельным геометрическим параметрам или элементам. Похожий подход используется при контроле зависимых допусков расположения, где рассматривается возможность «компенсации» отклонений расположения, превышающих назначенные предельные значения, за счет изменения размеров в пределах максимума и минимума материала детали.

Суть контроля геометрических параметров детали на основе принципа перераспределения полей допусков можно продемонстрировать с помощью схемы, представленной на рис. 4.

Предлагаемый новый подход к контролю геометрических параметров деталей на базе координатных измерений предполагает совместное использование аналитического и экспериментального моделирования объекта измерения с привлечением компьютерной техники. Общий алгоритм решения измерительной задачи такого типа можно представить в виде следующего ряда последовательных этапов и операций.

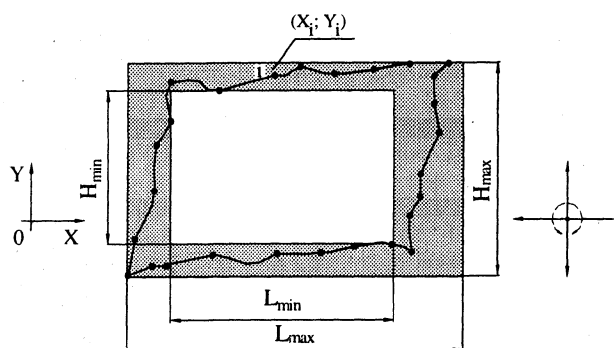


Рис. 4. Контроль размеров детали на основе принципа перераспределения полей допусков. Условие годности:

$$(x_i; y_i) \in \Phi, i = 1, 2, 3, \dots, n$$

1. Аналитическое описание комплексного пространства допусков объекта измерения (построение нормативной аналитической модели контролируемой детали).

2. Измерение геометрических параметров контролируемой детали и, как результат, получение экспериментальной метрологической модели объекта измерения.

3. Трансформация экспериментальной метрологической модели объекта измерения в аналитическую модель реального объекта (конкретной контролируемой детали).

4. Первичное сопоставление аналитической модели контролируемой детали с ее нормативной аналитической моделью (аналитическое «наложение» или «совмещение» моделей) для определения годности детали и необходимости дальнейшей оптимизации ее системы координат.

5. Оптимизация системы координат контролируемой детали (аналитическое переориентирование или преобразование системы координат), осуществляемая совместно с одновременным перераспределением полей допусков ее геометрических параметров, т. е. оптимизацией

расположения предельных контуров детали (оптимизацией комплексного пространства допусков детали), для обеспечения наилучших (оптимальных) условий «совмещения» аналитической модели реальной детали и ее нормативной аналитической модели. Этот этап предполагает оптимизацию системы координат контролируемой детали, а также некоторую допустимую корректировку ее первичной нормативной аналитической модели (оптимизацию нормативной аналитической модели) при условии обеспечения ее функциональной адекватности исходной модели.

6. Оценка результатов оптимизации контроля (вторичное сопоставление аналитической модели детали и ее нормативной аналитической модели) и заключение о годности детали.

Суть первого этапа алгоритма состоит в описании предельных контуров контролируемой детали на основании данных ее чертежа, что представляет собой тривиальную задачу аналитической геометрии.

На втором этапе алгоритма по результатам измерения координат ограниченного количества точек контролируемой детали строится экспериментальная метрологическая модель объекта измерения. Для решения этой задачи могут использоваться трехкоординатные измерительные приборы или специальные многомерные средства измерений.

Сопоставление моделей и их оптимизация, составляющие суть остальных этапов алгоритма, реализуются с использованием компьютерных программных продуктов и практически не увеличивают время контроля. Применение предлагаемого метода контроля позволит значительно повысить его достоверность и более объективно определять уровень качества контролируемых объектов с позиций их функционирования в составе сложного изделия.