

Ю.П. Павлов, Гусев А.А. и др./ Под ред. Ю.М. Соломенцева. М. Машиностроение. 1988-140 с.

11. Промышленные роботы. Справочник. Козырев. М.: Машиностроение. 1980.
12. Гусева И.А. Обеспечение автоматической сборки изделий в серийном многономенклатурном производстве. Сборка в машиностроении, приборостроении. 2000, №2.
13. Гусева И.А. Условия автоматической сборки конических зубчатых передач. Сборка в машиностроении, приборостроении. 2002, №3.
14. Гусева И.А. Условия автоматической сборки зубчатых передач с применением адаптивной направляющей технологической оснастки. Сборка в машиностроении, приборостроении. 2001, №9.
15. Гусев А.А., Гусева И.А. Режимы автоматической установки упругих деталей. Автоматизация и современные технологии. 1999, № 2.

Геометрическая классификация деталей при анализе сборок с пространственными допусками

к.т.н., доц. Гаер М.А., Шабалин А.В.

Иркутский государственный технический университет,

Современное машиностроение невозможно представить без автоматизированного проектирования. Несмотря на огромные достижения, сделанные за последние годы в развитии САД систем, методы моделирования и представления структуры сборок до сих пор остаются несовершенными: создаваемые модели сборок имеют номинальные размеры и не поддерживают математическое описание допусков, что делает невозможным проведение полноценного размерного анализа [3].

Модули проектирования сборок, имеющиеся во всех системах высокого уровня не обладают возможностями трёхмерного представления допусков как части компьютерной модели. Предлагаемое нами представление сборки является универсальным, позволяя моделировать и анализировать сборки и контактные состояния с любой геометрией. Алгоритмы представления и анализа сборок с учетом допусков разработаны с использованием трехмерных моделей различных видов допусков. Метод различает допуски детали и допуски сборки, что адекватно отражает реальную процедуру проектирования [5]. Кроме того, разделение этих понятий играет важную роль в формировании конфигурационных пространств деталей в отдельности и сборок в целом, что позволяет реалистически моделировать сборки с учётом допусков. Введем некоторые определения геометрических характеристик деталей.

Одной из важнейших классификаций деталей машиностроения является их классификация по функционально-геометрическим характеристикам [5] (конструктивной форме).

Согласно этой классификации различают следующие типы деталей:

- корпусные (корпусы механизмов, кожухи, крышки, стойки, кронштейны и т.д.);
- плоские (пластины, рейки, ползуны, шпонки, клинья и т.д.);
- рычажные (рычаги, педали, шатуны);
- листовые и профильные;

- тела вращения $L > \frac{D}{2}$ (валы, втулки, и т.д.);

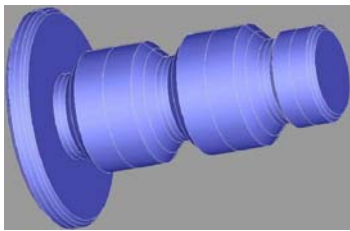
- тела вращения $L \leq \frac{D}{2}$ (шкивы, маховики, барабаны, и т.д.).

Основываясь на представленных выше группах деталей, была разработана классификация, объединяющая детали по топологическим свойствам, влияющим на сборку, например, таким как наличие сквозных или несквозных отверстий, их количеством и т.д.

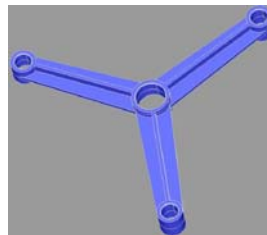
Рассмотрим несколько представителей вышеописанных классов деталей (рис. 1). Вал ступенчатый, односторонний (рис. 1 а) не имеет отверстий, его поверхность с точки зрения

топологии гомеоморфна сфере.

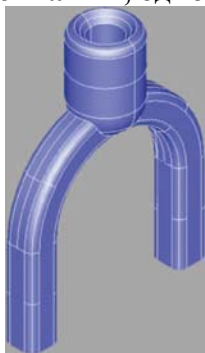
Рычаг на рис. 1 б имеет четыре сквозных отверстия: топологически это крендель порядка четыре. Наконец, детали типа вилки переключения (рис. 1 в) с несквозным отверстием будем называть «стаканами».



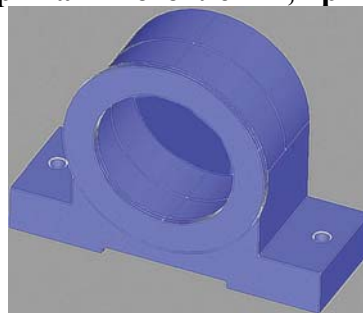
а) вал ступенчатый, односторонний;



б) рычаг многоплечий, прямой;



в) вилка переключения;



г) кронштейн;

Рис. 1.

Отметим, что часто детали машиностроения имеют комбинированный топологический тип. В качестве примера приведём корпусную деталь - кронштейн (рис. 1 г). Такая деталь является комбинацией детали-стакана и детали-кренделя порядка 2.

Ниже более подробно приводится описание понятий, лежащих в основе топологической классификации.

Совокупность всех поверхностей детали будем называть поверхностью детали.

Детали, поверхность которых гомеоморфна 1 сфере, также будем называть сферами, поверхность которых гомеоморфна тору, будем называть тором. Например, цилиндрическая втулка, шар, параллелепипед будут являться сферами; плита с отверстием – тором.

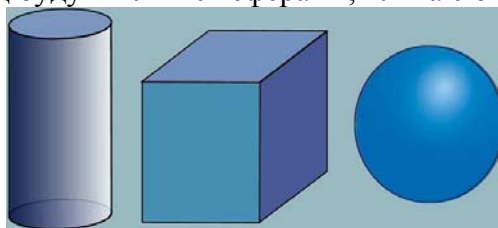


Рис. 2.

Деталь будем называть стаканом, если она получена следующим образом: в двух сферах вырезали «дырки» и затем склеили полученные поверхности по линии этих «дырок» так, что одна оказалась как бы внутри другой, образуя деталь похожую на стакан. Например, обычный стакан, колпачок для ручки.

Внутренняя поверхность стакана может состоять: только из боковой поверхности (например, конус); только из дна (например, полусфера); из дна и боковой поверхности (например, обычный стакан). Кроме того, будем различать стаканы с краем и без края. Стаканом с краем будем называть стакан, у которого существует линия, соединяющая различные поверхности и отделяющая внутреннюю часть поверхности стакана от внешней. Стаканом без края будем называть стакан, у которого внутренняя поверхность стакана (дно или боковая

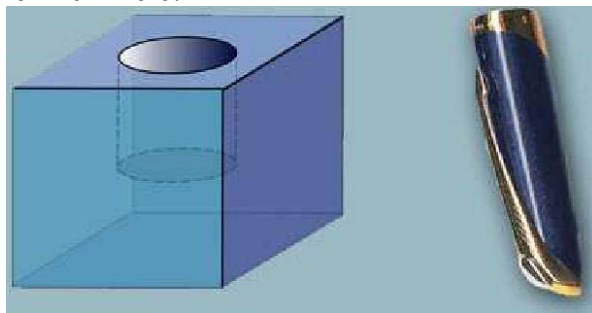


Рис. 3.

Если поверхность детали гомеоморфна кренделю порядка k , то её также будем называть кренделем порядка k . Например, труба – крендель порядка 1 (или тор), параллелепипед с двумя отверстиями – крендель порядка 2. Отверстие кренделя также может быть с краем или без края, может иметь или не иметь боковую поверхность (например, обычный тор не имеет боковой поверхности).

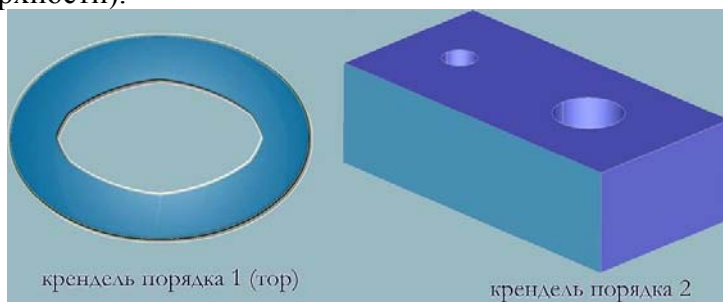


Рис. 4.

Кроме того, будем различать стаканы с краем и без края.

Стаканом с краем будем называть стакан, у которого существует линия соединения различных поверхностей, отделяющая внутреннюю часть стакана от внешней (рис. 5).

Стаканом без края будем называть стакан, у которого внутренняя поверхность стакана (дно или боковая поверхность) переходит во внешнюю (рис. 6).

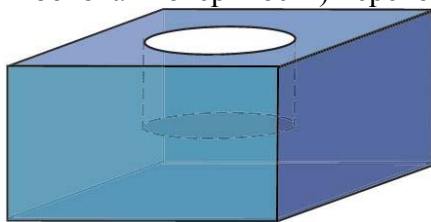


Рис. 5.

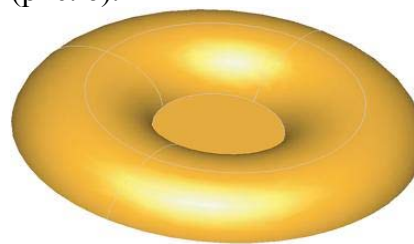


Рис. 6.

Отверстие кренделя также может быть с краем и без края, может иметь или не иметь боковую поверхность (например, обычный тор). Детали, полученные из стакана или кренделя путём вырезания из них некоторых частей, как правило, будем относить к тем же классам деталей, что и целые (здесь нужно руководствоваться типом сборки).

Далее приведем виды сборок в соответствии с топологической классификацией.

Две поверхности будем называть совпадающими, если в номинале они имеют одинаковую форму. Если при этом совпадают и их размеры, то такие поверхности будем называть абсолютно совпадающими.

Часть детали, которая при сборке должна попасть («проникнуть») в стакан или отверстие кренделя будем называть проникающей.

Проникающая часть детали может состоять: только из боковой поверхности (конус, шар); из боковой поверхности и «дна» (цилиндрическая втулка). В последнем случае прони-

кающую часть детали будем называть проникающей частью детали с краем.

Часть поверхности детали будем называть проникающей поверхностью, если она является боковой или единственной поверхностью проникающей части детали. Проникающая поверхность детали также может состоять из нескольких поверхностей.

Итак, будем различать следующие виды сборок: сборка с совмещением поверхностей; сборка с проникновением.

Процесс сборки, при которой некоторые из пар поверхностей различных деталей должны соприкоснуться, будем называть сборкой с совмещением поверхностей. При этом она может быть с совмещением абсолютно совпадающих поверхностей или с совмещением «просто» совпадающих поверхностей.

Процесс сборки, при которой часть одной детали (или вся деталь) должна проникнуть в отверстие детали-кренделя или детали-стакана, будем называть сборкой с проникновением.

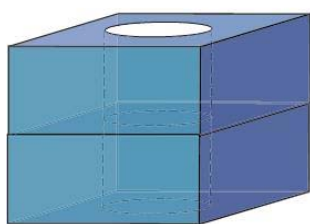
При комбинированной сборке будем считать, что приоритет имеет сборка с проникновением.

Пример: Рассмотрим сборку, состоящую из двух одинаковых плит с отверстиями, соединённых штырём. Тогда, в процессе сборки будем иметь следующие её виды:

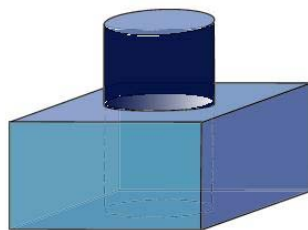
«плита – плита» – сборка с совмещением абсолютно совпадающих поверхностей;

«плита - штырь» – сборка с проникновением;

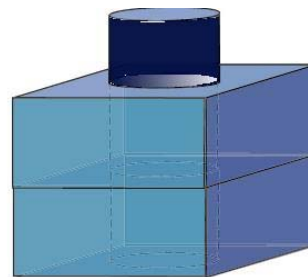
«(плита+штырь) – плита» – сборка с проникновением



а) «плита-плита»;



б) «плита-штырь»;



в) «(плита+штырь)-плита»;

Рис. 7.

При сборке с проникновением одна из деталей обязательно должна быть деталью-кренделем или деталью-стаканом, а вторая деталь («проникающая») может быть любого топологического типа.

При сборке с учётом допусков в соответствии построенной нами теорией необходимо придерживаться следующих правил:

Вся сборка разбивается на этапы (уровни сборки) в соответствии с построенным графом сборки, представляющим собой ничто иное, как топологическую взаимосвязь деталей [2]. При этом процесс сборки можно остановить на любом этапе. Однако это не означает, что С-деталь, собранная на некотором уровне, не будет менять свои параметры при сборке следующего уровня.

Сборка каждого j -того уровня начинается с нуля, то есть проходят заново все уровни сборки до $(j-1)$ -ого и только потом происходит сборка уровня j , но меняются на всех этих уровнях только те параметры, на которые влияют допуски уровня j , все остальные параметры остаются номинальными.

Не имеет смысла начинать сборку более высокого уровня, если не были проделаны все сборки нижних уровней.

Сборка происходит последовательно в соответствии с составленными графами-ромашками и графами-гантелями [1]. То есть непосредственно в сборке каждый раз участвует только две детали, каждая из которых является С-деталью некоторого порядка.

Сборка С-деталей [1], являющихся соседними вершинами графа-гантели (т.е. деталей, непосредственно участвующих в сборке) зависит от их топологического типа и вида сборки

этих двух деталей в соответствии с топологической классификацией деталей.

Исходя из описанной выше теории, переходим к моделированию процесса сборки. Сам процесс сборки необходимо разбить на этапы.

Первый этап – подготовительный. Допустим, для данной сборки имеется n С-деталей D_α порядка нуля, где $\alpha = \overline{1, n}$. На этом этапе определяются параметры, необходимые для дальнейших расчетов, при этом выполняются следующие действия:

Помещаем С-деталь D_α в некоторую глобальную систему координат $E = \{O, \bar{i}, \bar{j}, \bar{k}\}$.

Разбиваем С-деталь D_α на поверхности $S_{\alpha\beta}$, $\beta = \overline{1, q}$.

Для каждой поверхности $S_{\alpha\beta}$ С-детали D_α определяем отмеченные реперы $\{\bar{r}_{\alpha\beta}^0, \bar{e}_{\alpha\beta}^1, \bar{e}_{\alpha\beta}^2, \bar{e}_{\alpha\beta}^3\}$ в системе координат E [1].

Создаем отмеченный репер $E_\alpha = \{\bar{r}_\alpha^0, \bar{e}_\alpha^1, \bar{e}_\alpha^2, \bar{e}_\alpha^3\}$ С-детали D_α :

$$\begin{aligned} \bar{r}_\alpha^0 &= \bar{r}_{\alpha 1}^0; \\ \bar{e}_\alpha^1 &= \bar{e}_{\alpha 1}^1; \\ \bar{e}_\alpha^2 &= \bar{e}_{\alpha 1}^2; \\ \bar{e}_\alpha^3 &= \bar{e}_{\alpha 1}^3. \end{aligned} \quad (1)$$

То есть, в качестве отмеченной точки и отмеченного репера детали берем отмеченную точку и отмеченный репер первой поверхности. Очевидно, что это всегда можно сделать, так как у любой детали есть хотя бы одна поверхность.

Вычисляем координаты отмеченных реперов $\{\bar{r}_{\alpha\beta}^0, \bar{e}_{\alpha\beta}^1, \bar{e}_{\alpha\beta}^2, \bar{e}_{\alpha\beta}^3\}$ всех поверхностей $S_{\alpha\beta}$ С-детали D_α в системе координат $E_\alpha = \{\bar{r}_\alpha^0, \bar{e}_\alpha^1, \bar{e}_\alpha^2, \bar{e}_\alpha^3\}$ по формулам:

$$\begin{aligned} \bar{p}_{\alpha\beta}^0 &= \bar{r}_{\alpha\beta}^0 - \bar{r}_\alpha^0; \\ \bar{r}_{\alpha\beta}^0 &= Vect(\tilde{\Lambda} \circ \tilde{M} \circ \bar{p}_{\alpha\beta}^0 \circ M \circ \Lambda); \\ \bar{e}_{\alpha\beta}^j &= Vect(\tilde{\Lambda} \circ \tilde{M} \circ \bar{e}_{\alpha\beta}^j \circ M \circ \Lambda), j = \overline{1, 3}, \end{aligned} \quad (2)$$

где: кватернионы Λ и M :

$$\begin{aligned} \Lambda &= (\cos \frac{\varphi}{2}; \sin \frac{\varphi}{2} \cdot \bar{q}), \\ M &= (\cos \frac{\varphi}{2}; \sin \frac{\varphi}{2} \cdot \bar{g}) \end{aligned} \quad (3)$$

Таким образом, все элементы детали будут привязаны к ее отмеченному реперу.

Второй этап заключается в формировании конфигурационного пространства сборки [4], являющегося совокупностью ограничений и вариантов отклонений деталей в сборке.

Пусть на поверхность $S_j^{k\beta}$ ($\beta = \overline{1, q}$) С-детали D_{0j}^k задано t допусков деталей и s допусков сборки уровня j (допуски детали – допуски, заданные между поверхностями данной детали; допуски сборки – допуски, заданные между поверхностями разных деталей [5]). Тогда ее конфигурационное пространство уровня j будет иметь следующий вид:

$$K_j^{k\beta} = \prod_{\alpha=1}^{t+s} K_{j\alpha}^{k\beta}, \quad (4)$$

где: $K_{ja}^{k\beta}$ - конфигурационное пространство, характеризующее отклонение поверхности $S_j^{k\beta}$ от номиналов относительно одного из допусков уровня j .

Конфигурационное пространство всей сборки принимает вид:

$$K = \prod_j K_j \quad (5)$$

где: K_j - конфигурационное пространство уровня j .

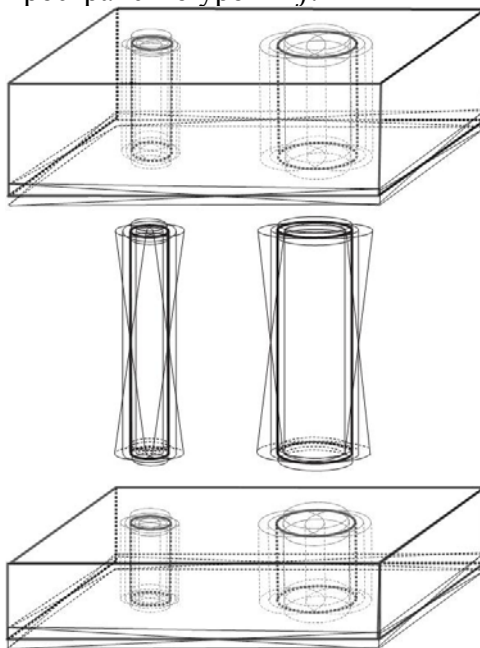


Рис. 8.

Третий этап заключается в непосредственном моделировании процесса сборки.

Для каждой точки z конфигурационного пространства (точка конфигурационного пространства является конфигурационным подпространством размерностью n [5]) K_j необходимо выполнить следующие действия:

В данной точке z конфигурационного пространства K_j изменяем те поверхности участвующих в сборке этого уровня C -деталей, на которые влияет данная точка z (положение или форма поверхностей изменяется в зависимости от заданных на нее допусков). Остальные поверхности оставляем без изменения.

Осуществляется сборка уровня j при полученном наборе измененных поверхностей (при этом моделируются отклонения поверхностей от номинала и анализ пересечений в зависимости от типов деталей [5]) (см. рис. 8).

Если сборка проходит успешно, переходим к следующей точке конфигурационного пространства K_j .

Если для всех точек конфигурационного пространства K_j сборка прошла успешно, то делаем вывод, что сборка уровня j прошла успешно и переходим к следующему $(j+1)$ -ому уровню сборки.

Если для какой-либо точки конфигурационного пространства K_j сборка не проходит, то определяется набор соответствующих значений параметров, а также C -детали, которые не могут быть собраны при этих значениях параметров. В соответствии с этим предлагается изменить некоторые из допусков.

Алгоритмы анализа сборок с учетом допусков, разработанные в зависимости от геометрической классификации по топологическим признакам были реализованы в системе геометрического моделирования, расчета и анализа допусков «ГеПАРД», разрабатываемой на каф. Технологии машиностроения Иркутского государственного технического университета. На основе полученных экспериментальных данных можно с уверенностью сказать, что предлагаемая нами теория позволяет проводить полный размерный анализ сборки. Однако, необходимы дальнейшие исследования в области анализа крупных сборок.

Литература

1. Гаер М.А. Граф сборки с учётом допусков // Материалы региональной научно-практической конференции «Винеровские чтения», 2004 г. с. 62-64.
2. Гаер М.А. Моделирование трёхмерных допусков при автоматизированном проектировании сборок с помощью кватернионов // Вестник ИрГТУ. - 2004. - № 4. с. 177.
3. Гаер М.А., Яценко О.В. Современные концепции моделей и анализа сборок при автоматизированном проектировании // Материалы региональной научно-практической конференции «Винеровские чтения», 2004 г. с. 57-62.
4. Журавлёв Д.А., Грушко П.Я., Яценко О.В. О новых дифференциально-геометрических подходах к автоматизированному проектированию сборок с учётом допусков. // Вестник ИрГТУ, № 12, 2002. - с. 82-92.
5. Гаер М.А. Разработка и исследование геометрических моделей пространственных допусков сборок с использованием кватернионов. Кандидатская диссертация. Иркутск 2005.

Топологическое представление сборок и их анализ с учётом допусков

к.т.н., доц. Гаер М.А., Плонский П.Л.

Иркутский государственный технический университет

На сегодняшний день, почти во всех, современных САД системах имеется модуль сборки. Но ни в одной из этих систем не найдено адекватное математическое представление моделирования сопряжений или других видов контактов в сборке, отражающих назначенные точностные требования и их влияние на геометрию сборки. Всё сводится к тому, что те или иные поверхности контактирующих деталей связываются некоторыми условиями, типа «совпадение», «параллельность», «перпендикулярность» и т.п., реализуемыми с помощью однородных матриц преобразования. Такое представление, фактически описывает сборку как группу отдельно взятых компонентов, связанных некоторыми (достаточно простыми) геометрическими условиями, и ни в коей мере не отражает её функциональность и функциональные связи между деталями сборки, призванные обеспечить эту функциональность при любом изменении геометрии.

Попытки описания функциональных связей, отталкиваясь от существующих классификаций функционально-геометрических характеристик деталей, показали свою недостаточность в задачах создания точного математического аппарата моделирования и анализа сборок с учётом допусков в САД среде.

Предлагаемое в данной работе топологическое представление сборки, с использованием графа сборки, является универсальным, позволяя моделировать и анализировать сборки и контактные состояния с любой материей. Метод различает допуски детали и допуски сборки, что адекватно отражает реальную процедуру проектирования.

Подход к сборке с учётом допусков требует в первую очередь несколько нового решения вопроса о графах сборки. Согласно рекомендациям, описанным в статье [1], граф сборки должен быть связным и не иметь циклов. Другими словами это должно быть дерево. Кроме того, «граф необходимо разбивать в объединение подграфов следующего уровня». В настоящей статье предлагается решение поставленной задачи.

Определение. Деталь, полученную в результате сборки более мелких деталей, будем называть С-деталью.