

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 621.757.06

В.А. Полетаев, Д.Е. Турчин

АНАЛИЗ СВЯЗЕЙ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКЕ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ПРОСТРАНСТВА КОНФИГУРАЦИЙ

Качество и производительность автоматической сборки соединений во многом зависят от того, насколько правильно и полно выполнен анализ связей, наложенных на движение соединяемых деталей, а также реакций этих связей. Следствием некорректного анализа связей является эффект заклинивания соединяемых деталей в процессе автоматической сборки. Указанный эффект заключается в том, что при заданном варианте контакта соединяемых деталей и приложенных к этим деталям активным силам не удается продолжить движение соединяемых деталей без их повреждения. При этом возрастают доли бракованных сборочных единиц и увеличиваются внецикловые потери в работе автоматического сборочного оборудования.

Данные связи можно разделить на связи, обусловленные наличием контакта между соединяемыми деталями, которые условно можно назвать связями 1-го вида, и связи, вызванные взаимодействием соединяемых деталей с базирующими и ориентирующими элементами сборочного оборудования, которые можно назвать связями 2-го вида. Связи 1-го вида являются геометрическими и ограничивают относительное положение соединяемых деталей. Связи 2-го вида могут быть как геометрическими, так и кинематическими (ограничивают скорости и ускорения соединяемых деталей и возникают при использовании в конструкции сборочного устройства многозвездных кинематических цепей, напри-

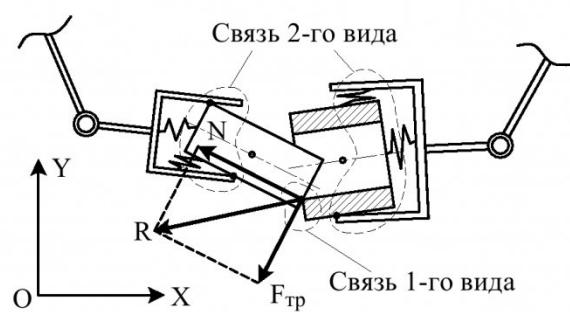
мер, манипуляторов).

В процессе автоматической сборки необходимо обеспечить определенное соответствие между связями 1-го и 2-го видов, а также между реакциями связей 1-го вида и активными силами, приложенными к соединяемым деталям со стороны сборочного оборудования. Отсутствие такого соответствия может привести к заклиниванию и повреждению соединяемых деталей, а также к поломке исполнительного механизма автоматического сборочного оборудования.

В работах отечественных ученых соответствие между связями 1-го и 2-го видов принято называть условиями автоматической сборки или условиями собираемости деталей [1, 2]. Данные условия задаются в форме неравенств вида $q_{\Sigma} \leq [q]$, где q_{Σ} – действительное отклонение (обобщенная координата) относительного положения соединяемых деталей, $[q]$ – допустимое отклонение относительного положения соединяемых деталей. Фактически допустимое отклонение $[q]$ задает геометрические связи 1-го вида, а действительное отклонение q_{Σ}

характеризует воздействие связей 2-го вида. При этом важным является вопрос, с какой вероятностью будет обеспечено указанное неравенство. С этой целью производится анализ факторов, влияющих на величину q_{Σ} , и на основе геометрических соотношений определяется значение $[q]$.

Исследования зарубежных ученых по указанной проблеме в значительной степени посвящены вопросу отыскания функциональных зависимостей между геометрическими связями и формой поверхностей взаимодействующих деталей с целью повышения технологичности конструкции соединяемых деталей при автоматической сборке. В качестве метода анализа геометрических связей в работах таких авторов как М.Э. Кейн, Т. Лозано-Перез и М.А. Эрдман [4, 5] используется метод пространства конфигураций, который обеспечивает удобное графическое представление связей. При этом рассматривается только случай взаимодействия плоских деталей с прямолинейными сторонами.



Rис. 1. Связи 1-го и 2-го видов при автоматической сборке

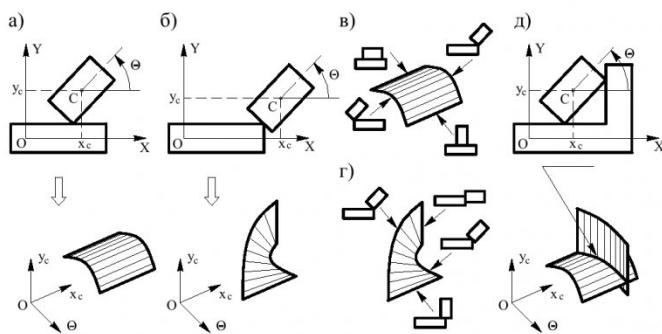


Рис. 2 Варианты контакта плоских деталей и их отображение в пространстве конфигураций: а) контакт вершина – сторона; б) сторона – вершина; в, г) контакты вершина – вершина и сторона – сторона; д) многоточечный контакт.

В данной работе рассматривается подход к описанию связей с использованием метода пространства конфигураций, который обеспечивает их удобное графическое представление и позволяет решать различные задачи автоматической сборки (расчет условий автоматической сборки, относительное ориентирование деталей в процессе сборки, и др.).

Пространство конфигураций представляет собой п-мерное пространство с системой координат, по осям которой отложены значения обобщенных координат q_1, q_2, \dots, q_n , взаимно однозначно определяющих положение всех тел механической системы (конфигурацию механической системы). Любое положение тел в этом пространстве отображается в виде точки, называемой изображающей точкой. Двум близким точкам в пространстве конфигураций соответствуют две близких конфигурации механической системы. Геометри-

ческая интерпретация движения механической системы, опирающаяся на понятие пространства конфигураций, состоит в том, что любому движению системы соответствует перемещение изображающей точки в пространстве конфигураций. Отсюда под траекторией движения механической системы понимают траекторию движения изображающей точки в пространстве конфигураций.

В случае взаимодействия двух твердых тел геометрические связи в пространстве конфигураций отображаются в виде некоторой многомерной составной поверхности (гиперповерхности). Данная поверхность состоит из отдельных элементарных поверхностей, точкам которых соответствует определенный вариант контакта тел. Например, для плоских деталей с прямолинейными сторонами можно выделить два основных варианта контакта: вершина – сторона (вариант А) (рис. 2, а) и сторона – вершина (вариант В)

(рис. 2, б), которые в пространстве конфигурации образуют два разных вида элементарных поверхностей. Варианты контакта вершина – вершина и сторона – сторона являются предельными случаями основных вариантов контакта и в пространстве конфигурации соответствуют границам элементарных поверхностей (рис. 2, в и 2, г). Данные элементы могут граничить между собой двумя способами: быть смежными, что имеет место при переходе точки контакта с одной стороны детали на соседнюю с ней, быть пересекающимися, что происходит при многоточечном контакте деталей (рис. 1, д).

Элементарные поверхности, соответствующие двум основным вариантам контакта (рис. 3), аналитически можно задать в векторной форме при помощи следующих уравнений:

контакт А

$$F_{ij}^A(p, \Theta) = R_i + pE_i - R_j \text{Rot}(\Theta);$$

контакт В

$$F_{ij}^B(p, \Theta) = R_i - (pE_i + R_j) \text{Rot}(\Theta);$$

где $F_{ij}(p, Q)$ – вектор, определяющий положение центра масс одной из деталей относительно начала системы координат, которая жестко связана с другой деталью (i, j – номера сторон деталей, на которых имеет место контакт); $p \in [0, 1]$ – параметр, определяющий положение точки контакта на стороне одной из деталей; Q – угол поворота одной детали относительно другой; $R_{i(j)}$ – радиус-вектор, задающий положение начальной точки i -ой (j -ой) стороны, по которой происходит контакт; $E_{i(j)}$ – вектор, проведенный вдоль i -ой (j -ой) стороны контактирующей детали в направлении обхода контура этой детали против часовой стрелки; $\text{Rot}(\Theta)$ – преобразование поворота на угол Q , которое в матричной форме имеет следующий вид:

$$\text{Rot}(\Theta) = \begin{bmatrix} \cos\Theta & -\sin\Theta \\ \sin\Theta & \cos\Theta \end{bmatrix}.$$

В координатной форме

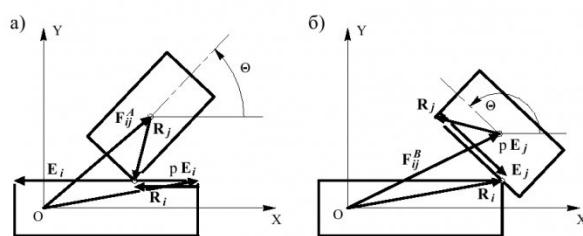


Рис. 3. Расчетные схемы для основных вариантов контакта плоских деталей

уравнения, описывающие элементарные поверхности, записутся следующим образом:

контакт A

$$\begin{aligned} x &= R_{xi} + pE_{xi} - \\ &- (R_{xi}\cos\theta - R_{xi}\sin\theta)i \\ y &= R_{yi} + pE_{yi} - \\ &- (R_{yi}\cos\theta - R_{yi}\sin\theta)i; \end{aligned}$$

контакт B

$$\begin{aligned} x &= R_{xi} - [(pE_{xi} + R_{xi})\cos\theta - \\ &- (pE_{xi} + R_{xi})\sin\theta]i \\ y &= R_{yi} + [(pE_{yi} + R_{yi})\cos\theta - \\ &- (pE_{yi} + R_{yi})\sin\theta]i. \end{aligned}$$

Применение метода пространства конфигураций к исследованию геометрических связей при автоматической сборке позволяет решить два основных класса задач кинематики автоматической сборки:

1. Обратная задача, при которой заданы геометрические связи, наложенные на соединяемые детали, и необходимо определить траекторию движения соединяемых деталей в процессе автоматической сборки. К данному классу задач относится задача планирования движения сборочного робота, которая особенно актуальна при использовании на сборочных операциях роботов с адаптивными системами управления [3]. Адаптивный сборочный робот способен собирать более точные и сложные соединения, нежели робот, функционирующий по неизменяемой программе, но ему требуется модель ситуации контакта деталей соединения.

Пример отображения геометрических связей вида в пространстве конфигураций для случая автоматической сборки цилиндрического соединения с гарантированным зазором представлен на рис. 4, где изображена трехмерная проекция гиперповерхности связей и соответствующие некоторым ее граням и точкам варианты контакта соединяемых деталей. При этом движение деталей соединения в процессе автоматической сборки должно осуществляться таким образом, чтобы характери-

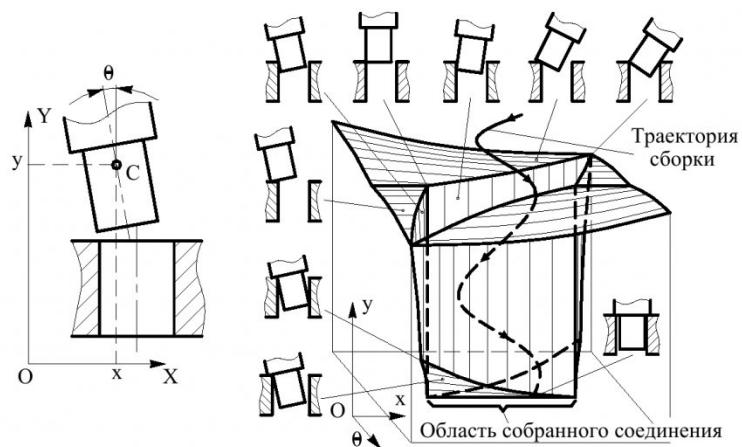


Рис. 4 Отображение геометрических связей в пространстве конфигураций при сборке цилиндрического соединения.

зующая положение деталей изображающая точка, перемещаясь в область собранного соединения, не пересекала поверхность связей.

2. Прямая задача, при которой задана траектория движения соединяемых деталей и необходимо определить какие геометрические связи 2-го вида должны быть наложены на эти детали, чтобы произвести автоматическую сборку заданного соединения. При этом важным вопросом является то, какие требования будут предъявляться к точности положения соединяемых деталей, задаваемого связями 2-го вида. Желательно, чтобы эти требования были как можно менее жесткими, что позволяет снизить стоимость используемого на данной операции автоматического сборочного оборудования.

Решение прямой задачи с

помощью метода пространства конфигураций будет заключаться в нахождении такой поверхности связей 2-го вида, которая не будет выходить за пределы поверхности связей 1-го вида (рис. 5). Данное условие отражает тот факт, что координаты положения соединяемых деталей, определяемые связями 2-го вида, не могут превышать аналогичные координаты, задаваемые связями 1-го вида. Кроме того, поверхность связей 2-го вида должна ограничивать наибольший объем исследуемой области пространства конфигураций. В этом случае допуски на относительное положение соединяемых деталей, которое обеспечивается автоматическим сборочным оборудованием, будут максимально широкими. Формально указанные два условия можно записать следующим образом:

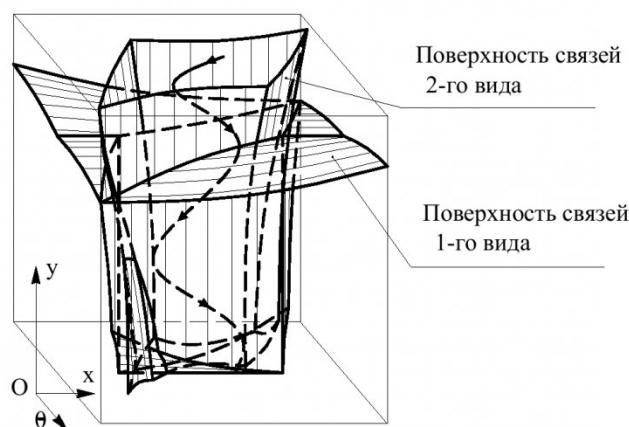


Рис. 5. Соответствие между связями 1-го и 2-го видов в пространстве конфигураций

$S_1 \cap S_2 = \emptyset$, $V_2 \rightarrow \max$;
где S_1 и S_2 – соответственно поверхности связей 1-го и 2-го видов; V_2 – объем исследуемой области пространства конфигураций, ограниченный поверхностью связей 2-го вида.

Использование метода пространства конфигураций для

исследования геометрических связей при автоматической сборке является мощным средством для решения различных задач, имеющих место в механике автоматической сборки. Помимо выше приведенных кинематических задач данный метод позволяет решать некото-

рые статические и динамические задачи. В частности при помощи метода пространства конфигураций можно производить определение реакций связей 1-го вида [5], а также анализ состояний заклинивания соединяемых деталей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев А.А. Адаптивные устройства сборочных машин. – М.: Машиностроение, 1979. – 208 с.
2. Механизация и автоматизация сборки в машиностроении /А.В. Воронин, А.И. Гречухин, А.С. Калашников и др. -М.: Машиностроение, 1985. – 272с.
3. Y. Liu. Symmetry Groups in Robotics Assembly Planning and Specifications, the Mathematical Methods in Technology series, MARCEL DEKKER, INC., 270 Madison Avenue, New York.
4. M.E. Caine. The Design of Shape from Motion. PhD thesis, MIT, Department of Mechanical Engineering, 1993
5. M.A. Erdman. Multiple-Point Contact with Friction: Computing Forces and Motions in Configuration Space, Proc. IEEE Conf. on Intelligent Robots and Systems, 1993, pp. 163-170

□ Авторы статьи:

Полетаев
Вадим Алексеевич
-докт. техн. наук, проф. каф. информационных и автоматизированных производственных систем

Турчин
Денис Евгеньевич
- аспирант каф. информационных и автоматизированных производственных систем