

ДИСКРЕТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ФАСОННЫХ ДЕТАЛЕЙ

А.А. Климентьев, Д.Н. Свирский

Методы идентификации и отчасти методы формообразования сложных (нерегулярных, фасонных) поверхностей за последние годы претерпели существенные изменения. Прежде всего, это связано с широким применением компьютерно управляемых станков, которые не только расширили возможности формообразования фасонных деталей, но и изменили процесс подготовки производства изделий, имеющих сложную поверхность, обусловив появление новых методов их задания (описания).

В настоящее время зачастую труднее составить математическую модель сложной нерегулярной поверхности, а также определить соответствующий профиль инструмента, чем реализовать необходимые движения с заданной точностью на современных многокоординатных станках. Таким образом, при увеличении доли сложных деталей и ужесточении точностных требований к ним возникла необходимость в универсальной модели формообразования как основы повышения эффективности современных интегрированных CAD/CAM систем.

В общем случае под формообразованием понимается полное и однозначное описание поверхности детали и последующий перенос этой информации на другие объекты — режущую кромку инструмента и/или траекторию относительного перемещения инструмента и заготовки.

Задачи формообразования, решаемые на стадии подготовки производства, могут быть разделены на три основных вида:

- прямая задача — определение формы обрабатываемой поверхности детали по заданному профилю инструмента и по известной траектории относительного перемещения инструмента и заготовки;
- обратная задача — определение профиля инструмента по заданной форме детали и по известной траектории относительного перемещения инструмента и заготовки;
- промежуточная задача — определение необходимой траектории относительного движения инструмента и заготовки по заданным формам детали и инструмента.

В случае механической обработки при решении задач формообразования используется ряд методов, к которым относятся [1]:

- метод обратного обката (огибания с круговой центроидой);
- метод графического обката;
- метод проективной геометрии или графический метод;
- графоаналитический метод;
- элементарный аналитический метод;
- векторный метод;
- векторно-матричный метод;
- алгоритмический метод.

Большинство из перечисленных методов основаны на геометрическом подходе и содержат частные решения для конкретных сложных поверхностей. Наиболее универсальными в этом плане являются векторный, векторно-матричный и алгоритмический методы.

Векторный метод заключается в представлении координат профиля с помощью радиус-векторов, которые преобразуются при переходе от одной системы координат к другой. Основными недостатками векторного метода являются то, что он носит сугубо частный характер, т. е. для различных фасонных изделий необходимо производить новый расчет профиля; и то, что корректность описания профиля детали в соответствии с данным методом зависит от квалификации проектанта.

Несмотря на перечисленные недостатки, векторный метод, на сегодняшний день, является наиболее часто используемым.

Усовершенствованным вариантом векторного метода является векторно-матричный метод. Он позволяет рассматривать формообразование различных сложных поверхностей с единых позиций. С помощью аппарата преобразования матриц можно определять координаты точек профиля инструмента по профилю детали с учетом траектории движения их друг относительно друга. Основным и существенным недостатком векторно-матричного метода является его высокая сложность. Кроме того, в настоящее время векторно-матричный метод применим только при обработке точечным инструментом, так как отсутствуют решения для других инструментов и получение этих решений является множеством частных трудоемких задач.

Алгоритмический метод используется для имитационного профилирования на ЭВМ без использования аналитических зависимостей, связывающих профиль инструмента и профиль детали с учетом движения инструмента и заготовки относительно друг друга. Существующие модели формообразования на его основе используют геометрический, а именно векторный подход в описании поверхности, т. е. поверхность определяется через объекты типа «точка», «линия» и пр., что приводит к необходимости адаптации моделей к различным решаемым задачам, т. е. производимым поверхностям.

Следует отметить, что при геометрическом моделировании объектов проектирования используются подход конструктивной геометрии, граничный подход и точечный метод описания (рисунок 1). [2]

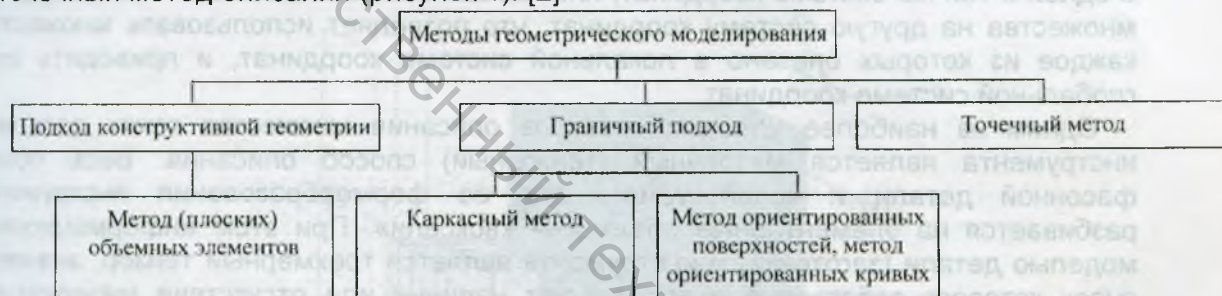


Рисунок 1 — Методы геометрического моделирования объектов проектирования

Подход конструктивной геометрии заключается в создании библиотеки геометрических примитивов (элементарных объектов), на базе которых с помощью регуляризованных булевых операций (пересечение, объединение и т. п.) осуществляется построение модели.

Методы конструктивной геометрии применяются в системах, ориентированных на проектирование машиностроительных конструкций, деталей, получаемых в технологиях штамповки, резания и т. п. Этот тип моделирования наиболее адекватен таким процессам конструирования геометрических форм деталей, когда конструктор формирует деталь как комбинацию базовых элементов формы (цилиндр, конус, призма и т. д.) или собирает ее из некоторых функциональных элементов, например, участка вала для посадки зубчатого колеса и т. п.

В основе граничного подхода лежит возможность кусочно-аналитического описания объекта, т. е. описание его граничных элементов (граней, ребер, вершин пространственных объектов и контуров, узловых точек плоских объектов) алгебраическими уравнениями.

Граничный метод моделирования объектов обычно применяется в областях, где проектируются *динамические поверхности*, т. е. поверхности, взаимодействующие с внешней средой, или поверхности, к которым предъявляются повешенные эстетические требования. Динамические поверхности подразделяются на два класса: *описываемые средой* (внешние обводы самолетов, судов, автомобилей, лопастей турбин и т. д.) и *трассирующие* — направляющие среду (воздушные и гидравлические каналы, спиральные камеры и всасывающие трубы турбины и т. д.).

Для систем малой производительности применяется метод, который использует *каркасные модели*. Каркасные модели применяются, как правило, для задания объектов, представляющих полиэдры, т. е. замкнутые многогранники произвольной формы, ограниченные плоскими гранями. Каркасное представление часто используют при отображении объектов как один из методов визуализации. Различают изображения объектов, представленные *точечным каркасом*, *линейным дискретным каркасом* и *сетчатым каркасом*.

Точечный (растровый) метод геометрического моделирования в системах автоматизированного проектирования практически не применяется. Этот метод наиболее характерен для задач визуализации, где традиционно применяется растровая графика.

Для обеспечения универсальности и простоты модели формообразования целесообразно использовать алгоритмический метод с точечным (растровым) описанием формы сложных деталей. При этом профиль детали и инструмента будут задаваться соответствующими множествами точек.

С позиций теории множеств деталь (заготовка) и инструмент могут быть представлены некоторым множеством точек, причем конфигурация этого множества соответствует форме детали и инструмента. Процесс формообразования может быть представлен как преобразование исходного множества точек заготовки во множество точек детали путем взаимодействия исходного множества с множеством точек инструмента. Преобразование множества точек, характеризующих объект, в другое множество, может осуществляться при условии, что эти множества описаны в одной и той же системе координат, или как замена локальной системы координат множества на другую систему координат, что позволяет использовать множество, каждое из которых описано в локальной системе координат, и приводить их к глобальной системе координат.

Одним из наиболее удобных способов описания множества точек детали и инструмента является матричный (тензорный) способ описания. Весь объем фасонной детали и используемого для ее формообразования инструмента разбивается на элементарные объемы — «воксели». При этом информационной моделью детали (заготовки) и инструмента является трехмерный тензор, значения ячеек которого собственно и определяют наличие или отсутствие материала в конкретных пространственных областях. Тензор детали $[Д]$ (и заготовки $[З]$) заполняется «1» и «0», причем «1» соответствует наличию материала в конкретном элементе, а «0» — его отсутствие. Тензор инструмента $[И]$ заполняется «-1» и «0» на тех же условиях, что и тензор детали.

Конфигурация заполненных вокселей в тензорах детали и инструмента представляет собой информационную модель профиля детали и инструмента. Тензор заготовки может быть заполнен как по всему объему (в общем случае), так и неполностью (в случае предварительно сформированной заготовки).

При этом описание профиля детали (заготовки) и инструмента осуществляется в локальных системах координат, а в процессе имитации формообразования производится привязка тензоров инструмента и заготовки к глобальной системе координат с помощью характеристических векторов R_z , R_{II} определяющих положение соответственно тензоров заготовки и инструмента в глобальной системе координат.

В общем случае характеристические векторы $R_z = \{x_z, y_z, z_z, \varphi_z, \psi_z, \theta_z\}$, $R_{II} = \{x_{II}, y_{II}, z_{II}, \varphi_{II}, \psi_{II}, \theta_{II}\}$ содержат ряд параметров, при этом параметры $\{x, y, z\}$ определяют линейное смещение локальных систем координат, а параметры $\{\varphi, \psi, \theta\}$ определяют угловые смещения локальных систем координат в глобальной системе координат. В частных решениях возможно использование только параметров определяющих линейное смещение локальных систем координат.

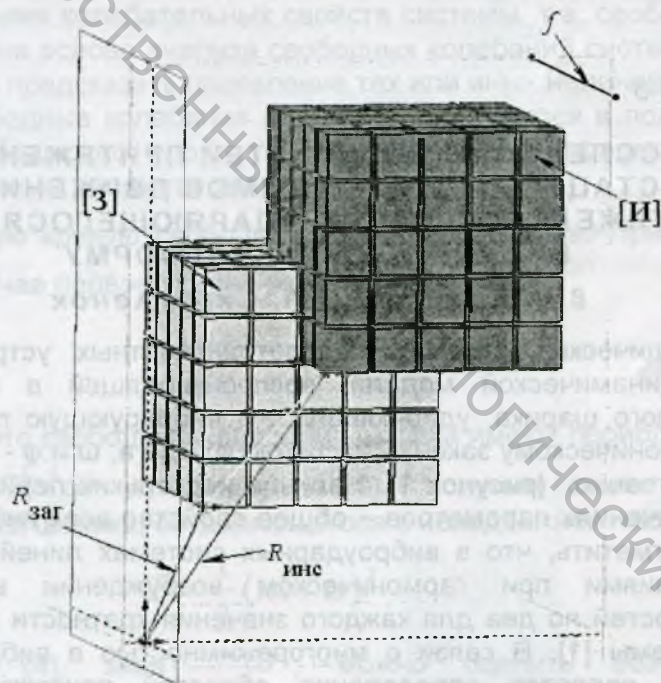
Решение прямой задачи формообразования представляется как суммирование тензора заготовки (заполненной единицами) и тензора инструмента с учетом траектории относительного перемещения инструмента и заготовки $\vec{f}$ (рисунок 2):

$$[Д] = \vec{f}([З] + [И]).$$

В результате сложения получается тензор детали, в элементах которого, где происходит взаимодействие инструмента и заготовки, получаются «0», а в остальных элементах стоят «1». Тем самым определяется профиль обработанной поверхности. Решение обратной задачи формообразования выполняется аналогичным образом, с той лишь разницей, что в этом случае в качестве инструмента выступает деталь, а заготовкой является искомый профиль инструмента.

Точность моделирования при использовании данного подхода зависит от количества элементов тензоров, т. е. определяется дискретностью аппроксимации непрерывного профиля заготовки (детали) и инструмента. При уменьшении дискретности точность снижается, а при увеличении — повышается. Минимально допустимый уровень дискретности может быть определен исходя из требований к точности изготовления заданной детали по известной теореме Котельникова.

Помимо использования ортогональной системы координат при моделировании также могут быть использованы полярная и сферическая системы координат, применение которых может быть оправдано необходимостью привязки к специфическим условиям применяемого оборудования.



$[З]$ — матрица заготовки, $[И]$ — матрица инструмента, $\vec{f}$ — траектория относительного перемещения заготовки и инструмента, $R_з$, $R_{ин}$ — характеристические вектора положения матриц заготовки и инструмента

Рисунок 2 — Воксельная модель формообразования

Таким образом, предлагаемая модель имитирует процесс съема материала с заготовки. При этом она инвариантна к форме детали и инструмента, виду траектории относительного перемещения инструмента и заготовки; легко алгоритмизируема и удобна в эксплуатации. Единственным недостатком данной модели является большое количество элементов тензоров, что при обеспечении прецизионного формообразования приводит к увеличению количества элементарных вычислений и объема занимаемой памяти. Но данное

обстоятельство в аспекте существующих и постоянно расширяющихся вычислительных мощностей современных ЭВМ представляется не столь существенным.

Список использованных источников

1. Разработать универсальную систему математических моделей, алгоритмов, программ и макропроектов технологических машин для технологических процессов изготовления фасонных деталей и инструментов. Отчет о НИР (заключительный) / ВГТУ; Рук. В. С. Мисевич, Д. Н. Свирский; № ГР 2001524. — Витебск, 2005. — 385 с.
2. САПР.
3. Типовые методы геометрического моделирования объектов проектирования. Рекомендации. Р50-34-87. — Москва: Изд-во стандартов, 1988. — 111 с.

SUMMARY

The offered approach to modelling of the vectorially complex details forms creation is based on a discrete representation of the configurations of both a detail and the tool. Thus an interaction of the tool with a blank (detail) in machining process is represented as the interaction of two tensors which elements model the form of the blank (detail) and the tool. The given approach has the high universality, flexibility and good ability for algorithmic presentation.

УДК 534.1+534-8

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЛАСТЕЙ ПРИТЯЖЕНИЯ СТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ ТЯЖЕЛОГО ШАРИКА, УДАРЯЮЩЕГОСЯ О ВИБРИРУЮЩУЮ ПЛАТФОРМУ

В.Н. Сакевич, С.А. Скрипленок

Расчет периодических движений вибротранспортных устройств приводит к рассмотрению динамической модели, воспроизводящей в поле сил тяжести движение тяжелого шарика, ударяющегося о вибрирующую платформу, которая движется по гармоническому закону $Z = a \cos(\omega t + \varphi)$, где a , ω и φ - амплитуда, частота и фаза соответственно (рисунок 1). Наличие нескольких периодических решений при заданных значениях параметров – общее свойство всех виброударных систем. Также следует отметить, что в виброударных системах линейных в промежутках между соударениями при гармоническом возбуждении возможны режимы различных кратностей по два для каждого значения кратности при одних и тех же параметрах системы [1]. В связи с многорежимностью в виброударной системе важной задачей является определение областей притяжения стационарных режимов движения в фазовом пространстве с учетом возможных изменений параметров системы.

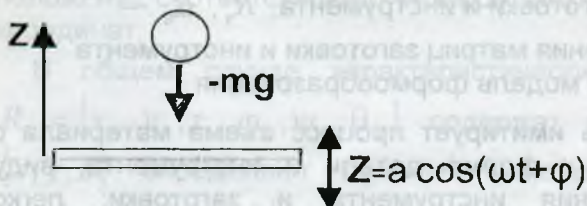


Рисунок 1 - Динамическая модель вибротранспортного устройства