

Поверхностное моделирование в T-FLEX CAD 17

Сергей Тимофеев, Игорь Батюченко

В статье описывается теоретическая основа работы новых операций поверхностного моделирования в T-FLEX CAD 17, а также их основное назначение.

Изделия сложных форм

Переходные поверхности

Поверхностное моделирование применяется при проектировании широкого спектра промышленных изделий со сложной формой: от бытовой техники и автомобилей до летательных аппаратов и морских судов. Одним из подходов данного типа моделирования является использование набора опорных профилей и обводных кривых, на основе которых строятся поверхности перехода.

Однако зачастую применение стандартных операций для создания подобного рода геометрии бывает неудобным и по затраченному времени не слишком эффективным. При решении задач построения поверхностей с заданными характеристиками конструкторам необходимо использовать единый инструмент, позволяющий выбирать различные варианты задания исходных данных (например, поверхности конического сечения). Для этого нами был создан механизм построения подобного рода поверхностей с общим набором свойств там, где это допустимо.

В T-FLEX CAD 17 операция, включаюшая семейство поверхностей конического сечения, имеет обобщенное название Переходная поверхность. Назначение операции: создать поверхность перехода между двумя другими поверхностями (в своем большинстве), которая имеет определенные граничные условия, а также конкретную, хотя, возможно, и переменную по «длине», форму поперечного сечения (более подробно об этом далее).

В настоящее время операция имеет в своем арсенале десять способов построения, разделенных на три группы по типу сечения:

- коническое, четыре типа;
- окружность (дуга), четыре типа;
- прямая, два типа.

В данной статье мы рассмотрим поверхности конического сечения. И хотя каждый способ имеет схожий механизм построения, для получения результирующей поверхности необходимо задавать свой набор начальных данных. Например, для построения



Сергей Тимофеев, программист-разработчик ЗАО «Топ Системы» поверхности с типом сечения «окружность» обязательно задание осевой кривой (но не обязательно прямой линии).

В основе построения поверхностей конического сечения лежат четыре типа алгебраических кривых второго порядка, полученных в результате сечения конуса плоскостью (не рассматривая вырожденные случаи): эллипс, окружность (как частный случай эллипса), парабола и гипербола. Однако особенностью данных поверхностей является отсутствие необходимости явного указания формы сечения. Определение типа кривой происходит автоматически на основе входных управляющих параметров. Но все-таки, во-первых, где можно найти эти самые кривые в результирующей



Игорь Батюченко, руководитель группы разработки ЗАО «Топ Системы»

поверхности, а во-вторых, как узнать, какой тип лежит в основе ее (поверхности) построения?

Ответ на первый вопрос будет следующий. Опорная кривая — первое, и, пожалуй, ключевое поле, которое видит пользователь при запуске операции. Она есть во всех десяти типах построения. Два основных свойства Опорной кривой:

- если в любом произвольном месте (точке) данной кривой построить плоскость, перпендикулярную этой кривой, а затем пересечь ее с результирующей поверхностью — получим то самое коническое сечение;
- она определяет максимальную «длину» результирующей поверхности (рис. 1).

60

инструменты арм

Итак, мы выяснили, где и как расположены кривые второго порядка, которые являются основным «скелетом» (базовыми профилями) результирующей поверхности. Осталось узнать, как можно управлять формой поверхности (то есть типом и формой самих кривых). Для этого доступны четыре варианта. Рассмотрим первые два из них:

- Дискриминант вещественное число в диапазоне (0; 1). Геометрический смысл показан на рис. 2. При значениях (0; 0,5) это эллипс; 0,5 парабола; (0,5; 1) гипербола. В случае симметрии при значении 0,4142 (кореньиз двух минус один) окружность;
- Промежуточный путь пользователь должен указать промежуточную кривую, через которую в итоге и пройдет результирующая поверхность. Главной особенностью этой кривой является тот факт, что в каждом перпендикулярном сечении вдоль опорной кривой точка пересечения ее и плоскости должна лежать строго внутри треугольника, изображенного на рис. 3.

Во всех полях данной операции, где нужно вводить числовые значения (константу), можно подключить график и сделать соответствующие значения переменными по длине опорной кривой. На выбор доступны три типа графика: «поли-



Рис. 1. Поверхность конического сечения по изогнутой опорной кривой

линия» — односвязный набор прямых отрезков; «кубический сплайн» кривая с возможностью задания касательных условий для каждого узла; «по 3D-кривой» — нужно указать две кривые из документа, описывающие закон изменения параметра.

Таким образом, задав переменное значение дискриминанта с помощью графика (например, выбрав тип «кубический сплайн»), получим различные не только по форме, но и по типу сечения вдоль опорной кривой — от эллипса до гиперболы (рис. 4).

Данный тип поверхности является ключевым для многих инженерных отраслей, в частности аэрокос-

Июнь/2020

61



Рис. 2. Определение инженерного дискриминанта и поверхность, начинающаяся в точке (A — точка пересечения касательных на концах граней; AC — медиана треугольника)











мической. При проектировании авиационной техники поверхность конического сечения — одна из самых часто встречающихся операций в дереве построения. Именно поэтому на данном этапе разработки системы мы вынесли в интерфейсную часть чуть больше «ручек» по настройке результирующей поверхности.

Линейчатые поверхности

Линейчатая поверхность поверхность, образованная движением прямой линии. Прямая при этом называется прямолинейной образующей, а движется она в пространстве вдоль направляющих кривых. Чтобы не запутаться, не будем «жонглировать» названиями таких поверхностей (геликоид, гиперболоид и т.д.), получаемых различными вариациями образующих и направляющих кривых. Просто рассмотрим два варианта построения:

- одна из направляющих кривых точка;
- заданы обе направляющие кривые (рис. 5).

На первый «взгляд», всё довольно просто и понятно, особенно по сравнению с поверхностями конического сечения. Прямая это алгебраическая кривая



Рис. 5. Примеры линейчатых поверхностей (зеленые линии — направляющие)

первого порядка, на порядок ниже кривых конического сечения. Зачем нужны данные поверхности и где они применяются? Множество примеров использования встречается в архитектуре. Шуховская башня в Москве — сетчатая конструкция в форме линейчатого гиперболоида. Балки являются прямолинейными образующими для каждой секции. Еще один интересный пример: хотя в это трудно поверить, но форму «чипсов из тубуса» тоже можно повторить движением прямой (гиперболический параболоид).

Вернемся к одноименной операции Линейчатая поверхность в T-FLEX CAD 17. Первый тип построения (когда в качестве первой направляющей указана точка) довольно прост и имеет минимум особенностей и ограничений. Рассмотрим случай, когда заданы обе направляющие кривые.

Способ построения поверхности методом, описанным в теории, выглядит вполне разумно: нужно создать прямой профиль и «протолкнуть» его вдоль жестких рамок в виде направляющих кривых. Но если учесть, что эти самые направляющие могут быть совершенно разной формы, длины или даже иметь изломы (составной путь), то возникает целый ряд вопросов, главный из которых — согласно какому закону должно выполняться движение прямой образующей? В результате был выбран совершенно иной механизм получения результирующей поверхности.

Вместо того чтобы проталкивать линейный профиль вдоль направляющих кривых, можно использовать эти самые кривые в качестве двух сечений. Именно поэтому в диалоге операции первые два поля имеют названия «Первое

Июнь/2020

62

инструменты арм

Е

ĨΒ

ΪA

D



AB / AC = DE / DF

сечение» и «Второе сечение» соответственно. Условно, соединив по прямой линии каждую точку первой кривой со второй, мы и получим линейчатую поверхность. Остается лишь определиться с «законом», согласно которому будет выполняться выравнивание (распределение) UV-кривых в результирующей поверхности. На момент публикации доступны два варианта.

По длине дуги

Используется полная длина выбранных сечений. Суть выравнивания и пример поверхности показаны на рис. 6.

По опорной кривой

Границы поверхности определяются длиной и формой опорной кривой. Ее смысл аналогичен операции Переходная поверхность. Именно в перпендикулярных сечениях к опорной кривой и будут располагаться прямые изопараметрические линии поверхности (рис. 7).

В заключение стоит сказать, что оба режима поддерживают возможность создания поверхности

Рис. 6. Распределение изопараметрических линий (тип выравнивания — по длине дуги) между двумя замкнутыми контурами, которые, в свою очередь, могут иметь различное число ребер и вершин (рис. 8). При этом сохраняется исходная геометрия сечений (создается несколько поверхностей в рамках одного тела).

Продолжение по закону

Операции с подобным названием создаются для определенных целей: в продолжение к исходной грани перпендикулярно

выбранному ребру создать новую поверхность (в качестве образующего профиля чаще используется прямая или дуга окружности). Однако в случае с операцией Продолжение по закону мы получили одну из самых нестандартных возможностей, вышедшей за рамки создания поверхностей, при необходимости можно получить твердотельную геометрию с широким набором свойств, необходимых для управления ее формой и габаритами.

Доступно два варианта продолжения.

Дугой окружности

Цель — создать новую поверхность в продолжение выбранной грани (в качестве профиля — дуга окружности). Но в каком направлении? Самое очевидное решение, что «продолжать» нужно перпендикулярно выбранному ребру. Однако возможны ситуации, когда это не является ожидаемым решением. На выбор доступен вариант



Рис. 7. Линейчатая поверхность по опорной кривой



Рис. 8. Создание поверхности: *а* — по длине дуги; *б* — по опорной кривой

63

ИНСТРУМЕНТЫ АРМ



Рис. 9. «Продолжение» обрезанного ребра цилиндрической грани

Изопараметрически. В таком случае продолжение будет по касательной к изопараметрическим кривым грани в каждой точке выбранного ребра (рис. 9). Помимо выбора направления доступен выбор и граничных условий: <u>G1</u> (непрерывность по первой производной) и G2 (непрерывность по второй производной — кривизне). В первом варианте радиус

64

Июнь/2020

кривизны указывается в явном виде. В случае выбора условия *G2* радиус рассчитывается автоматически. Особенностью данного условия является то, что вычислять нужно не радиус кривизны ребра в его точке, а радиус кривизны поверхности в заданном направлении (в этой же точке ребра). Если же кривизна в заданном направлении изменит свой знак, то результирующая поверхность в этом месте будет изгибаться в другую сторону (рис. 10).

Также следует сказать, что для полей задания радиуса и длины доступно подключение графиков

Линейным профилем

Для начала рассмотрим данный вариант в контексте построения новой поверхности. Выбрав исходную грань, в отличие от типа







профиля в форме дуги окружности, можно указать сразу несколько ребер, которые мы хотим «продолжить». При этом выбранные ребра не обязательно должны образовывать один гладко сопряженный путь (могут и вовсе не иметь общих вершин). То есть два соседних ребра могут соприкасаться под любым углом. В этом случае на выбор доступно три варианта обработки таких «изломов»: разделить, продлить или скруглить (рис. 11).

Другое назначение данной операции — моделирование фрезерной обработки (цилиндрического сечения). Хотя, конечно, имея «под рукой» (в одной операции) широкий функционал, использовать ее можно в различных целях. Описание всех возможностей займет довольно много времени и места, поэтому далее рассмотрим только пример с фрезерованием.

Всё, что нам нужно, — это сама твердотельная модель и набор проволочных объектов (принадлежащих одной из ее граней), имитирующих путь, по которому должна пройти ось фрезы. Задав соответствующие исходные данные, вначале мы получаем новую поверхность (рис. 12), по сути такую же, как и в случае, когда мы просто «продолжали» грань.

Далее устанавливаем нужные параметры:

 Направление — нужно установить значение
Симметрично или Разная и указать соответствующую глубину обработки.



инструменты арм





Рис. 12. Шар с различными типами профилей

В данном случае нельзя выбирать только одно направление, так как при последующих булевых операциях в случаях с неплоскими гранями исходного тела образуются так называемые невалидные контакты;

- Толщина так как мы условились, что выбранные направляющие являются осевой линией для фрезы, выбираем значение Симметрично (рис. 13а);
- Сглаживание обработка концов (именно нача-

ла и конца) нового тела. Устанавливая значение Грани, получаем полное сглаживание торцевых граней (рис. 13*б*);

• Изломы — смысл данной опции при работе с твердотельной геометрией отличается от случаев,



Рис. 13. Придание толщины (а), сглаживание торцов (б) и изломов (в)



Рис. 14. Результат операции Продолжение по закону

когда в результате получаем поверхность. Теперь она работает в связке с опцией Сглаживание и означает то, как именно следует обрабатывать внешние углы в местах изломов. Выставляя значение Скругление, радиус скругления рассчитывается автоматически, исходя из выбранной опции в Сглаживании и значения *Толщины* (рис. 13*в*);

• *Булева* — заключительная часть создания операции. Устанавливаем значение Вычитание.

В результате на исходном теле получаем пазы, имитирующие фрезерную обработку (рис. 14).

Пересчет данного примера на современном ПК занимает менее секунды. И всё же геометрические операции, задействованные в данном примере, являются довольно «дорогими» по используемым ресурсам (в силу универсальности операции). Тем не менее подобная операция является в своем роде уникальной.

Заключение

Как говорилось в начале статьи, подход поверхностного моделирования применяется во многих отраслях промышленности. Применяя базовые инструменты T-FLEX CAD, а также описанные выше операции, можно проектировать модели любой сложности, удовлетворяющие всем требованиям к форме изделия, его эргономичности

и эстетичности. 📼

Июнь/2020

65