ПОВЕРХНОСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ (FREE FORM MODELING)



Способы моделирования, изложенные в предыдущих главах, в основном описывали построение твердотельных моделей с использованием таких операций, как

Рис. 3.1. Панель инструментов UG/Free Form Modeling

выдавливание плоского контура в определенном направлении, вращение контура, вокруг оси, нанесение фасок, отверстий, скруглений. Эти методы во многом соответствуют тем, которыми оперирует конструктор при наличии карандаша, бумаги и кульмана.

Однако указанные приемы моделирования совершенно непригодны для описания внешних обводов самолета, судна, автомобиля или даже кухонного комбайна. Вообще говоря, как только конструктор берет в руки лекало и проводит на чертеже некую плавную кривую, форму которой невозможно определить численными размерами, чаще всего в этом случае в технических требованиях появляются примерно такие пункты: «На участке ... поверхность А плавно переходит в поверхность Б» или «Координаты кривой В приведены в таблице №...». Изготовление деталей при таком описании их геометрии представляет изрядную головоломку для технологов.

Однако в последнее время все чаще можно увидеть такие формулировки, как: «Внешние обводы взять с математической модели ...», и в данном разделе книги

речь и пойдет о способах моделирования поверхностей свободной формы (Free Form Features), или о поверхностном моделировании, хотя в процессе построения поверхностей при определенных условиях результатом будет являться твердотельный объект. Меню Free Form Feature представлено на рис. 3.2.

¥18.0 - Modeling - [Displayed: ergerg.prt | Work: (Modified) liew Insert Format Tools Assemblies WCS Information Ana Sketch Eb-57 0 Curve b Curve Operation Þ Form Feature þ Feature Operation Þ Direct Modeling Free Form Feature Through Points... Sheet Metal Feature From Poles... From Point Cloud... Ruled ... Through Curves ... Through Curve Mesh... Swept... Section Bridae... N-Sided Surface ... Extension... Law Extension ... Enlarge... Offset... Rough Offset Quilt... Swoop.... Studio Surface Styled Blend... Global Shaping ... Trimmed Sheet ... Filet ... Foreign...

Рис. 3.2. Меню Free Form Feature

Unigraphics предлагает богатый набор инструментов для формирования и редактирования поверхностных объектов (*Modeling* ~> *Insert* ~> *Free Form Feature*). Эти инструменты включают в себя построение поверхностей по набору поперечных сечений, по сетке кривых, заметаемых или «кинематических» поверхностей, по набору продольных образующих, по определенным законам изменения поперечного сечения и т.д.

Доступ к механизмам поверхностного моделирования возможен при наличии действующей лицензии на этот модуль Unigraphics. Попытка обратиться к любому из разделов Free Form Feature без наличия такой лицензии приведет к следующему сообщению (см. рис. 3.3):



Рис. 3.3. Сообщение об отсутствии лицензии UG/Free Form Modeling

В случае появления подобного сообщения обратитесь к вашему поставщику программных модулей Unigraphics.

Что такое поверхность (Sheet Body) с точки зрения Unigraphics? Поверхность можно рассматривать как твердое тело нулевой толщины, состоящее из отдельных «лоскутов» и граничных кромок и не образующее замкнутого объема. Большинство операций Free Form Features приводит к созданию поверхности. Твердотельный объект может быть создан при выполнении следующих условий:

- Если в результате операции образуется объем, замкнутый во всех направлениях.
- Если в результате образуется объем, замкнутый в одном направлении и ограниченный в другом направлении плоскими торцами.

Параметр, определяющий вид создаваемого в таких случаях примитива (поверхность или твердотельный объект), можно задать в разделе главного меню *Preferences* ~> *Modeling...* ~> *Solid Type (Solid или Sheet)* (см. рис. 3.4).

Здесь же можно определить параметр Distance Tolerance. Дело в том, что некоторые операции поверхностного моделирования формируют результирующую поверхность с определенным приближением к исходным объектам-точкам, кривым и т.п. Параметр Distance Tolerance регламентирует максимальное отклонение результирующей поверхности от исходной геометрии.

При использовании приближенных способов построения поверхностей необходимо указывать разумные значения параметра Distance Tolerance — слишком

Modeling Preferences	
Votify on Bolate	
Body Type Solid C Sheet	
-Free Form Construction	Result
Plane C B-Si	urface
Curve Fit Method	
Distance Tolerance	0.0254
Angle Tolerance	0.5000
Density	0.2829

этой переменной малое значение приведет к объектов co значительным объемом созданию Существует описываюшей информации. объем определенный максимальный ланных. описывающих твердотельный поверхность или объект. При превышении этого объема системой соответствующее будет выдано сообщение. и поверхность не будет построена. При возникновении подобных ситуаций следует увеличить значение Tolerance параметра Distance до приемлемых значений.

Все поверхности Unigraphics представляют собой **NURBS**-поверхности, каждая точка которых в зависимости от параметров и и v определяется следующим уравнением:

Рис. 3.4. Определение типа создаваемого примитива: твердое тело или поверхность

$$P(u, v) = \frac{\sum_{i=0}^{M} \sum_{k=0}^{L} w_{i,k} P_{i,k} N_{i,m}(u) N_{k,n}(v)}{\sum_{i=0}^{M} \sum_{k=0}^{L} w_{i,k} N_{i,m}(u) N_{k,n}(v)},$$

где P - вершины управляющего (характеристического) многогранника, w - весовые коэффициенты при соответствующих контрольных точках, N(u) и N(v) -базисные B-сплайн функции. При интерактивном построении NURBS-поверхности в Unigraphics система автоматически назначает весовые коэффициенты при соответствующих полюсах, однако программным способом, используя функции UG/Open (например, UF_MODL_create_bsurf_thru_pts), можно получить полный контроль над геометрией формируемой поверхности.

Обсудим важный для понимания поведения поверхности параметр degree — степень (или порядок) поверхности. Математическое ядро Parasolid, на котором базируется Unigraphics, позволяет создавать поверхности до 24 порядка. Это означает, что полиномы N(u) и N(v) максимально могут достигать 24-й степени. Порядок поверхности может быть различным по направлениям и и v. Еще один важный момент: математически поверхность может быть описана одним «лоскутом» (patch) или может состоять из нескольких гладко состыкованных «лоскутов». Если вы строите поверхность, состоящую из одного лоскута, ее порядок будет определяться количеством контрольных точек (или точек, через которые поверхность должна пройти) в соответствующем направлении, но не более чем 24+1

	Through Points	A STATE OF A
	Patch Type	Single 🔽
Neither 💌	Closed Along	Neither 🕑
3	Row Degree	8
3	Column Degree	3
m File	Points fro	m File
Cancel	OK Back	Cancel
	Multiple V Neither V 3 3 m File Cancel	Multiple Through Points Multiple Patch Type Neither Closed Along 3 Row Degree 3 Column Degree m File Points from the second

Рис. 3.5. Представление поверхности в виде одного или наскольких «лоскутов»

Если же вы строите поверхность, математически состоящую из нескольких лоскутов, необходимо задать их порядок (степень) соответственно по U и по V. При этом количество точек в каждом направлении не должно быть меньше указанного порядка + 1 (см. рис. 3.5). Внешне поверхность, состоящая из одного лоскута, и поверхность, составленная из сопряженных лоскутов заданной степени, абсолютно ничем не отличаются, и узнать их внутреннее математическое устройство можно, только прибегнув к процедурам анализа объектов.

Несмотря на то что Unigraphics позволяет работать с поверхностями до 24-го порядка, рекомендуем использовать поверхности более низких степеней, например кубические лоскуты (Degree = 3). Это значительно повышает производительность системы при отображении поверхностных объектов и при операциях с ними (например, при расчете траектории инструмента для станка с числовым программным управлением). Использование высоких степеней может затруднить передачу геометрии через обменные форматы в другие САD-системы, которые могут не поддерживать поверхности столь высоких порядков. Кроме того, поверхности высоких порядков крайне чувствительны к определяющей геометрии, и даже мелкие возмущения в координатах базовых точек могут привести к значительным осцилляциям поверхности.

И последнее. При создании лоскутной поверхности более предпочтительно использовать нечетные степени (кубическая парабола более «подвижна», нежели квадратичная).

Поверхность по точкам (Through Points)

Рассмотрим более подробно способы построения поверхностей. Самый простой и самый первый способ в списке меню Free Form Feature - это построение поверхности, проходящей через заданные точки в пространстве (см. рис. 3.6).



Рис. 3.6. Создание поверхности по точкам

Когда удобен такой способ построения поверхности? Предположим, поверхность таблично задана каким-то разумным количеством контрольных точек, которые могут быть результатом расчета, получены экспериментальным путем или появились в результате контрольных измерений. В этом случае достаточно построить в Unigraphics точки по имеющимся координатам и «накинуть» на них поверхность **Through Points**. Качество результирующей поверхности будет

всецело определяться исходной геометрией - поверхность в точности пройдет через все опорные точки. В общем случае точки каждого ряда не обязательно должны лежать в одной плоскости и количество точек в каждом ряду может не быть одинаковым.

Если суммарное количество точек не превышает, например, сотни, можно потратить какое-то время на интерактивный ввод, проверку координат введенных точек и в конце концов построить поверхность. Но как поступить при значительно большем количестве опорных точек? Например, если результатом расчета поверхности тарировочного кулачка будет несколько тысяч контрольных точек?

Through P	oints	The second s
Patch Type		Multiple 🔽
Closed Alor	ng	Neither 💌
Row Degre	e	3
Column Der	gree	3
\subset	Points from	File
OK	Back	Cancel

Рис. 3.7. Загрузка координат опорных точек из файла

В этом случае решение может быть следующим. Организуйте в расчетной программе вывод координат точек в файл определенного формата. а затем постройте поверхность, прочитав координаты точек из указанного файла (см. рис. 3.7). Лучше при этом определить тип создаваемой поверхности как Multiple Patch -т.е. математически представленной как сшитой из нескольких лоскутов заданного порядка, так как число точек в ряду или число рядов скорее всего будет превышать максимально допустимое (25) для построения единого лоскута.

Формат текстового файла, содержащего координаты точек, должен быть следующим (см. рис. 3.8):

Координаты поверхности кулачка ROW1 12.234 0.0 0.0 - X, Y, Z координаты точки 18.723 10.0 0.0 24.876 20.0 0.0

ROW 2

12.234 0.010.0 18.723 10.0 10.0 24.876 20.0 10.0

.....

Обозначения рядов (ROW I, ROW 2) должны быть записаны заглавными буквами. Координаты точек X, Y, Z разделяются пробелами или запятой. Строка, начинающаяся символом #, воспринимается как комментарий, а пустые строки игнорируются. Ниже приведен фрагмент файла с координатами точек, описывающих сегмент рефлектора свободной формы и рассчитанных с помощью специальной программы, а также результат построения поверхности по точкам из этого файла (см. рис. 3.9).

#Freeform Reflector FFReflector.dat ROW1 0.000000 0.000000 26,000000 1.000000 0.000000 25.990965 2.000000 0.000000 25,963862 3.000000 0.000000 25.918698 4.000000 0.000000 25.855482

ROW 2

0.000000 1.000000 25,862594 1.000000 1.000000 25.853550 2.000000 1.000000 25.826418 3.000000 1.000000 25.781205 4.000000 1.000000 25.717921

ROW 3

0.000000 2.000000 25.748703 1.000000 2.000000 25.739664

Линейчатая поверхность (Ruled Surface)



Линейчатая поверхность определяется двумя образующими кривыми (не обязательно плоскими для Unigraphics), соответствующие точки которых соединяются отрезками прямой линии. Линейчатую поверхность можно также трактовать как образуемую

поверхность можно также трактовать как образуемую кинематическим перемещением отрезка прямой линии по двум направляющим по определенному закону. Очевидно, что для линейчатой поверхности порядок поверхности (или степень) в одном из направлений равен 1.

Линейчатые поверхности очень широко используются в процессе моделирования. Их поведение хорошо предсказуемо, а область применения трудно однозначно определить - это может быть теоретическая поверхность крыла самолета, лопасть колеса турбокомпрессора и т.п.

Казалось бы, что можно к этому добавить? На первый взгляд, все очень просто, но при формировании линейчатой поверхности есть свои маленькие «хитрости».



Рис 3.9. Пример построения поверхности по точкам из текстового файла

Начнем с того, что соединить две образующие прямолинейными отрезками можно бесчисленным количеством способов, и в зависимости от выбранного способа мы получим линейчатые поверхности, отличающиеся друг от друга геометрией (для одного и того же набора образующих кривых координаты точек поверхностей, построенных разными способами, могут не совпадать) или узором изопараметрических линий. Узор изопараметрических линий - это не просто внешний вид поверхности: именно этого «узора» будет придерживаться инструмент при расчете управляющих станочных программ.

Рассмотрим на конкретном примере различные способы построения линейчатой поверхности крыла гипотетического самолета, для чего построим два сплайна, соответствующие корневому и концевому сечениям крыла (см. рис. 3.10). Образующие могут состоять из нескольких отрезков кривых, не обязательно сопряженных по касательной, главное условие - между сегментами не должно быть разрывов.

Начинаем строить линейчатую поверхность, для чего в меню выбираем пункт Insert ~> Free Form Features ~> Ruled... или нажимаем соответствующую кнопку в панели инструментов Free Form Feature, после чего на экране появляется меню,



Рис. 3.10. Опорная кривая для построения линейчатой поверхности

предлагающее различные варианты определения образующих сечений. Это меню будет появляться при создании различных видов поверхностей, поэтому

Ruled		
Name		
T		
	Solid Face	A State of the
a start	Solid Edge	
	Curve	
The	Chain Curve	es
	Point	here the state
- Max	1 Back	Cancal
	- DOON	

Рис. 3.11. Меню выбора типа опорного сечения (точка, кривая, ребро и т.д.)

рассмотрим его чуть подробнее.

В качестве опорного сечения ДЛЯ построения линейчатой поверхности может выступать грань твердого тела Solid Face. При выборе этого пункта меню с указанной грани автоматически выделяется замкнутый контур граничных кривых. Выбор пункта Solid Edge позволит указать цепочку отдельных ребер твердотельного объекта. Кнопка *Curve* облегчит указание отдельных кривых, а пункт Chain Curves ускорит образующей, выбор составленной ИЗ многих отдельных сегментов. В качестве сечений опорных одного ИЗ может выступать отдельная точка. Для ее выбора воспользуемся кнопкой *Point* (см. рис. 3.11).

В нашем случае выбираем отдельные кривые. После завершения выбора сечения стрелка будет индицировать стартовую точку для выбранного контура. Проследите за тем, чтобы стартовые точки для каждого сечения совпадали с носиком крыла, иными словами, ситуация, показанная на рисунке, недопустима, поскольку поверхность будет «перекручена» (см. рис. 3.12).



Рис. 3.12. «Перекручивание» поверхности при различной направленности опорных кривых

После определения второго сечения (для линейчатой поверхности их не может быть больше) следующим этапом будет определение способа соединения двух образующих отрезками прямых линий. На первый взгляд, в появившемся меню не так много пунктов, однако именно теперь поверхности будет придана требуемая форма.

Укажите в окне **Tolerance** требуемую точность совпадения результирующей Поверхности с образующими кривыми (для некоторых случаев образующих кривых поверхность точно совпадает с сечениями). Значения параметров *Temporary Grid Display* определяют количество временных изопараметрических линий по U-и V-направлениям. Временно высвечиваемая сетка изопараметрических линий хорошо помогает оценить поведение поверхности и при необходимости внести поправки. После окончательного построения поверхности эти временные изолинии исчезнут.

А теперь перейдем к самому интересному: рассмотрим предлагаемые способы соединения соответствующих точек сечений *(Alignment)*. Для построения линейчатой поверхности предлагается шесть способов (см. рис. 3.13):

The second se		
Parameter	Alignment	Parameter 💌
0.01	Tolerance	Parameter Arclength
ŧγ	Temporary Grid Display	By Points Distance
5	Temp u Count	Angles Spine Curve
5	Temp v Count	5
Cancel	OK Back	Cancel
	0.01 av 5 5 5 5	0.01 Tolerance ay Temporary Grid Display 5 Temp u Count 5 Temp v Count 5 Temp v Count 6 OK

Рис. 3.13. Различные методы соединения опорных кривых

- *Parameter* Образующие сечения представляются внутренним математическим аппаратом в виде x=x(t), y=y(t), z=z(t), и точки с равными значениями параметра каждого из образующих сечений соединяются отрезком прямой линии. Этот метод соответствия предлагается по умолчанию.
- *Arc Length* Длина каждого сечения приводится к безразмерной единичной длине, и прямолинейный сегмент соединяет точки с равным процентом от этой единичной длины.

В чем разница между этими методами? Вообще говоря, длина дуги по кривой и распределение параметра по кривой совпадают только для очень простых кривых (окружности и прямые линии). Для более сложных кривых изменение безразмерного параметра скорее соответствует изменению не длины дуги, а радиуса кривизны. На рис. 3.14 приведен пример построения поверхности этими двумя способами. Для метода Parameter видно «загущение» изопараметрических линий в носике крыла.

Отличия этих двух методов еще более видны, если одна из образующих кривых - прямая линия, а вторая - кривая со значительным изменением радиуса кривизны по длине кривой. Ниже приведен пример построения такой поверхности (см. рис. 3.15). Обратите внимание, что на сечении, образованном прямой линией, изопараметрические линии для вышеописанных методов совпадают.

Различия двух методов еще более заметны, если в качестве опорных кривых выбраны кривые со значительными отличиями в кривизне.

Для этих двух способов вся информация для построения поверхности заключена в самих образующих, и дополнительно повлиять на поведение поверхности при использовании этих методов невозможно.

Пропустим на время метод *By Points* (метод явного указания соответствующих точек) и рассмотрим методы *Distance, Angles, Spine Curve.* Их объединяет



Рис. 3.14. Сравнение двух методов: по параметру и по длине дуги



Рис. 3.15. Влияние типа опорных кривых при разных методах построения

общая идея построения поверхности: определяется траектория движения виртуальной бесконечной сканирующей плоскости, и если на пути ее движения в плоскости сечения оказываются оба образующих сечения, то соответствующие точки (результат пересечения кривой и виртуальной плоскости) соединяются отрезком прямой линии.

• Distance Виртуальная плоскость движется из бесконечности в бесконечность вдоль заданного направления. Для определения этого направления пользователю предлагается стандартный диалог Vector Subfunction. Знак направления особого значения не имеет, т.е. при выборе вектора +X или -X будут построены одинаковые поверхности. Справедливости ради стоит отметить, что внутренние отличия у таких поверхностей все-таки будут: у них будут по разному ориентированы направления параметров U и V.

Для нашего примера выберем направление +X. При этом виртуальная сканирующая плоскость будет совершать свое движение, всегда оставаясь перпендикулярной вектору +X. Результатом построения будет поверхность, долевые линии которой лежат в параллельных плоскостях. Построение поверхности закончится, как только одна из образующих кривых окажется вне плоскости сечения сканирующей плоскости (см. рис. S.16).



Рис. 3.16. Все изопараметрические линии лежат в плоскостях, перпендикулярных выбранному направлению

Еще более интересный результат мы получим, указав в качестве направления движения виртуальной плоскости вектор с компонентами (1.0, 0.0, 1.0). Точка приложения этого вектора не имеет значения, главное - его направление (см. рис, 3.17).



Рис. 3.17. Поверхность соединяет только те участки кривых, которые имеют пересечения с плоскостями, перпендикулярными выбранному направлению



Рис. 3.18. Окно выбора ространственного положения оси воащения виртуальной плоскости

•Angles Следующий способ приведения в соответствие точек одного опорного сечения точкам другого. При виртуальная таком методе секущая плоскость вращается вокруг определенной оси (в ЭТОМ случае большое значение имеет не только направление оси, но и точка, через которую эта ось проходит) и точки пересечения опорных сечений с виртуальной плоскостью соединяются прямолинейным сегментом. Для нашего гипотетического крыла ось вращения

виртуальной плоскости может проходить через точку пересечения передней и задней кромок крыла перпендикулярно срединной плоскости. После указания опорных сечений пользователю будет предложено определить пространственное положение оси вращения виртуальной плоскости (по двум точкам, по существующей линии, по существующей точке и направлению), для чего необходимо сделать выбор в предлагаемом диалоговом окне (см. рис. 3.18). Изопараметрические линии линейчатой поверхности в этом случае распределяются равномерно, с равными углами (см. рис. 3.19). Этим и можно объяснить название метода - **Angles**.

70

Изопараметрические линии лежат в плоскостях, проходящих через ось вращения

Ось вращения секущей плоскости

Рис. 3.19. Изометрические поверхности лежат в плоскостях, проходящих через ось вращения

Следующий пример построения поверхности - с другим положением оси вращения виртуальной плоскости. Поверхность будет создана только на тех участках опорных сечений, которые попадают в плоскость сечения виртуальной плоскости (см. рис. 3.20).

Осталось дать последний совет, который пригодится при создании линейчатой поверхности методом **Angles**, Не располагайте ось вращения виртуальной плоскости между опорными сечениями - это приведет к сообщению об ошибке. В этом случае долевая линия поверхности определяется неоднозначно.

• Spine Curve При выборе этого способа построения поверхности необходимо предварительно построить spine-кривую (опорную кривую), которая определит траекторию перемещения виртуальной секущей плоскости. Закон перемещения очень прост: в каждой точке спайн-кривой секущая плоскость остается перпендикулярной к ней. В качестве спайна может выступать любая плоская или пространственная кривая



Рис. 3.20. Второй вариант положения оси вращения виртуальной плоскости

без разрывов. Единственное ограничение; эта кривая должна состоять из сопряженных по касательной сегментов. Кроме этого, спайн-кривая или ее сегменты не должны быть перпендикулярны плоскостям опорных сечений (в противном случае секущая плоскость не будет иметь пересечений с опорными сечениями). Желательно избежать перегибов на спайн-кривой они могут привести к «перехлестам» поверхности. В целом, способ построения поверхности с использованием спайн-кривой позволяет максимально управлять соответствием точек одного опорного сечения точкам другого, но пользоваться им следует очень аккуратно.

На рис. 3.21 показан результат построения поверхности с использованием кривой. Еще одно замечание: если при использовании методов **Distance** или **Angles** можно исходить из предположения, что секущая плоскость движется из «бесконечности в бесконечность» или вращается вокруг оси на 360 градусов, то для метода Spine Curve необходимо построить спайн-кривую таким образом, чтобы секущая плоскость, начав свое движение в первой же точке спайн-кривой, пересекала обе образующие кривые.



Рис. 3.21. Изометрические линии лежат в плоскостях, перпендикулярных спайн-кривой

 By Points (Указание соответствующих точек на опорных сечениях) Последний способ построения линейчатой поверхности. Он применяется в том случае, если опорные сечения составлены из сегментов кривых, имеют острые углы или образуют замкнутые контуры.

После определения опорных сечений и выбора метода **By Points** необходимо последовательно указать соответствующие пары точек на опорных сечениях (при этом нельзя указывать стартовые точки - стартовая точка первого сечения автоматически соответствует стартовой точке второго сечения; это можно учесть в процессе выбора контуров). Если в опорных сечениях имеются острые углы, а целью построения является твердотельный объект, укажите в поле ввода, Tolerance значение 0 (при этом в настройках **Preferences** ~> **Modeling** параметр **Body Туре** необходимо определить соответствующим образом).

Пример построения линейчатой поверхности таким способом показан на рис. 3.22.

Мы уделили достаточно много внимания способам построения линейчатых поверхностей, так как приемы создания поверхностей такого класса во многом сходны с теми, которые мы будем рассматривать при создании более сложных поверхностных объектов.



Рис. 3.22. Явное указание точек соответствия

Поверхность по кривым (Through Curves Surface)



Этот класс поверхностей можно смело назвать самым популярным: поверхность «натягивается» на последовательность опорных сечений, а рассмотренные нами ранее линейчатые поверхности - это частный случай поверхностей, построенных

по кривым. В основном при построении поверхностей по кривым применяются те же методы, что и при создании линейчатых поверхностей, но имеются и свои особенности.

Прежде всего, при наличии более двух опорных сечений порядок поверхности в любом из направлений в общем случае превышает 1. Пользователю предлагается выбор: формировать поверхность одним лоскутом (Single Patch) или совокупностью лоскутов (Multiple Patch) заданного порядка. При выборе Multiple Patch предоставляется возможность создать замкнутую поверхность в направлении V.

К уже знакомым по линейчатым поверхностям способам приведения в соответствие точек на опорных сечениях (Parameter, Arclength, By Points, Distance, Angles, Spine Curve) добавился еще один - Spline Points (см. рис. 3.23). Для использования этого метода все опорные кривые (сечения) должны быть представлены В-сплайнами с одинаковым количеством определяющих точек. Результирующая поверхность будет проходить через все определяющие точки опорных кривых с сохранением касательной к опорным кривым в этих точках, но в общем случае может иметь отклонения от опорных сечений на участках между

Through C Patch Type	urves	ML	iltiple	-
Alignment		Parame	ter	=
Closed V Degree	in V	Paramet Arclengt By Point	er th s	
Tolerance		Distance Angles Spine <u>C</u> i		
First Sectio	n String (Spline P	oints	Z
Last Sectio	Tangency n String	<u> </u>		
Direction	Tangency [لنتد Isoparan	netric	-
∫ Simple				
OK.] Back	C.	ancel	
Рис. 3	.23. Диал Through (oroboe Curves	окно	

пределяющими точками. Соответственно, при таком способе построения параметр Tolerance (величина отклонения от опорных кривых) не учитывается. Метод Spline Points можно сравнить с ранее рассмотренным классом поверхностей Trough Points, если в качестве опорных точек рассматривать определяющие точки сплайнов. Этот способ часто применяется построении таблично при заданных поверхностей (турбинной лопатки. импеллера).

Дополнительная опция (Closed in V -Замкнуть в направлении V), появившаяся в диалоговом окне Through Curves, дает построить возможность замкнутую поверхность в одном направлении (в случае незамкнутых опорных сечений) или в двух направлениях, если опорные сечения представляют собой замкнутые кривые (см. рис. 3.24). Для построения достаточно указать сечения последовательно (не нужно указывать первое сечение дважды - в



139

Рис. 3.24. Построение поверхности, замкнутой в направлении V по сечениям

качестве первого

и последнего, - как ошибочно делают многие). Результат построения представлен на рис. 3.25. Обратите внимание на гладкое сопряжение на участке между певрвым и последним сечениями.



Рис. 3.25. Результат построения поверхности, замкнутой в направлении V

Through Curves	
Patch Type	Multiple 💌
Highment .	Parameter
C Closed in V	
V Degree	2
Tolerance	0.0254
First Section String	and the second se
Tangenc	E
Last Section String	
Destino	
	moc specified
Smple	
CK Bac	k Cancel

Рас. 3.26. Задание граничных условий

При созлании поверхности по опорным сечениям очень часто требуется обеспечить гладкое сопряжение результирующей поверхности с уже имеющимися поверхностными объектами. Unigraphics позволяет задать подобные граничные условия для первого и последнего сечений, причем граничные условия могут быть двух типов: сохранение касательности (непрерывность первых производных по U и V для сопрягаемых поверхностей) или же сохранение кривизны или радиуса кривизны (непрерывность вторых производных по U и V для сопрягаемых поверхностей) (см. рис. 3.26). Второе условие более жесткое, но оно обеспечивает более качественное сопряжение. Непрерывность вторых производных на стыке обеспечивает не только визуальную «гладкость» поверхности. Особенность человеческого зрения такова, что глаз (или мозг) в состоянии обнаружить разрывы второй

производной на стыке поверхностей в бликах отражения. Непрерывность кривизны - залог безотрывного обтекания для аэродинамических поверхностей, безударного движения кулачковых механизмов и т.д.

Однако построение с сохранением кривизны сопрягаемых поверхностей не всегда возможно из-за особенностей геометрии исходных поверхностей, или же оно не дает желаемого результата. Дело в том, что для «сшивки» поверхностей по первой производной достаточно обеспечить стыковку граничных рядов вершин характеристических многогранников поверхностей. Сохранение же второй производной требует соблюдения жестких правил формирования уже двух рядов вершин характеристического многогранника выстраиваемой поверхности в соотношении с вершинами определяющей поверхности. Поэтому поверхность, «зажатая» в жесткие рамки граничных условий, тем не менее может давать нежелательные «всплески».

Ниже на рисунках приведены примеры построения поверхностей сопряжения для исходных опорных сечений (см. рис. 3.27), без определения граничных условий и с условием сохранения касательности и условием сохранения второй производной (см. рис. 3.28).



Рис. 3.27. Исходные опорные сечения для построения поверхности с заданием граничных условий сопряжения

Результат построения поверхности без наложения граничных условий - это обычная линейчатая поверхность. Наличие граничных поверхностей во внимание не принималось (см. рис. 3.29), поэтому никакой речи о гладком сопряжении быть не может. Налицо наличие разрывов по первой производной.



Рис. 3.28. Фрагменты меню для задания граничных условий



Рис. 3.29. Построение поверхности без наложения граничных условий

Построим поверхность еще раз. но теперь в качестве граничного условия для 1го сечения зададим сохранение непрерывности первой производной (касательности), а для второго сечения - сохранение непрерывности второй производной (кривизны или радиуса кривизны) (см. рис. 3.30). Заодно и посмотрим отличия в доведении поверхности при соблюдении этих граничных условий.

В чем же отличия? На первый взгляд, и на первом, и на втором сечении поверхность гладко состыкована с граничными поверхностями. Рассматривая результат (построения поверхности с наложенными граничными условиями в каркасном или полутоновом представлении, различий можно и не заметить. Их можно увидеть, подвергнув все три поверхности дополнительному анализу (пункты основного меню *Analysis ~> Face ~> Reflection...*). Проделаем эту процедуру. После



Рис. 3.30. Построение поверхности с наложением граничных условий сопряжения

и прочие дефекты. Кстати, именно так определяют качество автомобильных кvзовных поверхностей: концепткар помешается в специальный зал С решетчатыми перегородками, специальным образом освещается, и все дефекты как на ладони.

Укажите в предложенном окне параметры «решетки» из вертикальных и горизонтальных линий. выберите анализируемые поверхности, точность представления результатов (Dispay Resolution) и нажмите ОК. Результаты анализа будут выглядеть примерно так, как показано на рис. 3.32. Можно видеть, что на первом сечении линии отражения претерпевают резкие изменения и изломы, а на втором сечении переход происходит гладко, без изломов. Конечно же,

выбора указанного меню в предложенном диалоговом окне (см. рис. 3.31) выбираем способ представления результатов анализа (пиктограмма Black Lines). Этот способ имитирует отражение горизонтальных решетки и вертикальных линий в абсолютно гладких. зеркально отполированных поверхностях. Узор отражения наглядно продемонстрирует все дефекты поверхностей, разрывы вторых производных

(m) (m)		P
Black Line	s 32	-
ine Orientation	Both	-
ine Thickness	Thin	*
Random Face Color	Shuft	le
ace Reflectivity		100
0 Move Image		100
Display Resolution	Ultra Fine	-
Re-highlight	Faces	
and the second se		
Reverse Face	Normals	

Рис. 3.31. Диалоговое окно Face Analysis



Рис. 3.32. Результаты анализа сопряжения поверхностей

эти узоры отражения вовсе не самоцель, однако гладко сопряженные поверхности - залог не только хорошего экстерьера, безотрывного обтекания, безударного перемещения. Такие поверхности обеспечат более плавное движение обрабатывающего инструмента на станках с числовым программным управлением.

Последний пункт диалогового окна *Through Curves*, имеющий отношение к сопряжению с граничными поверхностями, это пункт *Direction*. Он недоступен для выбора в случае отсутствия граничных условий сопряжения, но при наличии таких поверхностей можно дополнительно ужесточить условия выхода результирующей поверхности на краевые условия так, например, чтобы совпадали изопараметрические линии создаваемой и граничной поверхностей.

Мы по праву уделили достаточно много внимания поверхностям Through Curves (По сечениям). Этот класс поверхностей используется инженерами наиболее часто. **Поверхность по сетке кривых (Through Curve Mesh)**

Данный способ построения поверхностей не менее популярен, чем предыдущий, и позволяет еще более гибко управлять поведением поверхности. Суть метода

 Solid Face

 Solid Face

 Solid Edge

 Curve

 Chain Curves

 Point

 OK

 Back
 Cancel

Рис. 3.33. В качестве одного из сечений может быть выбрана точка

состоит в том, что, кроме набора поперечных сечений, в определяющую геометрию добавляются продольные сечения.

При построении поверхности таким способом прежде всего следует определить, какой набор сечений будет главным (определяющим - *Primary*), а какой - вторичным (*Cross*).

Каковы основные особенности построения поверхностей по сетке кривых?

Во-первых, в качестве сечения из набора Ргітагу может выступать точка (для первого или последнего сечения; см, рис. 3.33). В этом случае на соответствующих участках поверхность стягивается в точку. Необходимость в построении таких лоскутов очень часто возникает в судо- или авиастроении.

Bo-

вторых, при наличии наборов как продольных, так и поперечных сечений следует определить, какие сечения «главнее». Математический аппарат UG отдаст им предпочтение, и поверхность будет выстроена минимизанией с отклонений от «главного» набора сечений.

Определить, какому набору сечений следовать в первую очередь, можно с помощью выпадающего списка *Emphasis* диалогового окна Through Curve Mesh (см. рис. 3.34). В принципе, можно не создавать такой дискриминации и объявить сечения равноправными (строка Both выпадающего списка *Emphasis*). В любом случае после определения продольных и поперечных сечений уделите внимание параметру Intersection Tolerance. Эта допустимое величина определяет

Through C	urve Mesh	Anaman and Anama	
Emphasis		Both	+
Intersection	1		
Tolerance		0.02	N.
First Primar	y String		
	No Constrain	t 🚽	
Last Primar	y String		
	No Constrain	t 🕶	
First Cross	String		
	No Constrain	t -	
Last Cross	String		
	No Constrain	•	
Construct	tion Options -	1	No. 1
Norma			
C Use Sp	line Points		
C Simple			
OK	Back	Cancel	1

Рис. 3.34. Диалоговое окно Through Curve Mesh

отклонение продольных и поперечных сечений друг от друга в узлах сетки кривых, и именно в пределах этой величины моделируемая поверхность будет стремиться приблизиться к выбранному набору сечений. Дело в том, что координаты продольных и поперечных сечений для поверхности задаются, как правило, в разных плоскостях, в разных системах координат, и после воспроизведения этих кривых в Unigraphics будьте готовы к тому, что в каких-то узлах сетки сечения не пересекаются. Именно в этом случае на помощь придет параметр *Intersection Tolerance.*

И, в-третьих, для поверхности, создаваемой по двум наборам опорных сечений, можно определить соответствующие граничные условия сохранения касательности или кривизны как для первого и последнего продольного сечения, так и для первого и последнего поперечного сечения. Следует отметить, что задание граничных условий по всем краевым сечениям создает очень жесткие условия для моделируемой поверхности, и поэтому накладывать ограничения нужно очень обоснованно. Простой пример: при таких геометрических условиях, как показано на рис. 3.35, требовать сохранения касательности для 1-го Primary сечения бессмысленно, поскольку сами граничные поверхности в угловых точках не обеспечивают гладкого сопряжения.



Рис. 3.35. Для такого набора граничных условий задавать любые условия для Primary совершенно бессмысленно

В случае возникновения подобных коллизий пользователю будет выдано сообщение, свидетельствующее о несовместимости граничных условий (см. рис. 3.36).



Рис. 3.36. Сообщение о несовместимости граничных условий