

“Интеллектуальные” возможности современных САМ-систем

Обзор по материалам разработчиков и зарубежных САМ-изданий

Кто скажет, как лучше всего просверлить отверстия диаметром 12 мм в пластине из инструментальной стали толщиной 50 мм? Кто знает самый эффективный способ фрезеровки кармана в алюминиевой матрице при помощи 20-миллиметровой концевой фрезы? Какие инструменты наиболее часто используются на новом вертикально-фрезерном обрабатывающем центре мощностью 20кВт с магазином на 40 инструментов? В каких случаях лучше использовать ту или иную фрезу?

Ответы на эти и подобные вопросы действительно важны, от них зависит эффективность применяемых технологий и прибыль. К примеру, неправильный выбор скорости или подачи при обработке заготовки может не только привести к пустой трате денег, но и подвергнуть опасности находящиеся в цехе люди. Аналогично, незнание того, что для изготовления резьбовых отверстий диаметром более 12 мм вместо нарезания резьбы в цехе обычно используется резьбофрезерование на горизонтально-фрезерном обрабатывающем центре, приводит к невозможности оптимизировать и стандартизировать эту операцию.

Чтобы дать правильный ответ, необходимы как общие технологические знания, включая осведомленность о последних новинках в своей отрасли, так и практический опыт, знание приемов и ноу-хау, накапливаемых в конкретном цехе с учетом характерной только для него коллекции станков, инструмента, приспособлений и т.п. Как видим, для того, чтобы сделать обработку на станках с ЧПУ эффективной, нужен солидный интеллектуальный багаж.

Понимая это, разработчики САМ-систем вводят новые функции, имеющие цель сделать все эти столь необходимые знания частью автоматизированных процедур, встроенных в их системы. Такие автоматизированные справочные возможности упрощают процесс создания оптимальных УП для станков с ЧПУ. Зачастую для обозначения этих возможностей используется термин “*knowledge-based machining*” (экспертный, основанный на знаниях, подход для решения задач данного класса, или, как еще говорят, “*интеллектуальная механическая обработка*” – ИМО), однако строгого определения этого понятия пока еще нет. Сегодня оно относится к широкому спектру возможностей, различающихся для каждой конкретной САМ-системы.

Существует несколько подходов к “интеллектуализации” механообработки. Одни САМ-системы ориентированы на обеспечение пользователя подробной информацией о процессах обработки, в то время как другие делают акцент прежде всего на организации извлечения и накопления этой информации. Большинство систем предлагает некую комбинацию этих двух подходов. Точно так же одни системы тяготеют к организации базы знаний вокруг процессов механической обработки,

в то время как другие имеют тенденцию основываться на характеристиках детали. По большей части, однако, здесь тоже нет строгой границы.

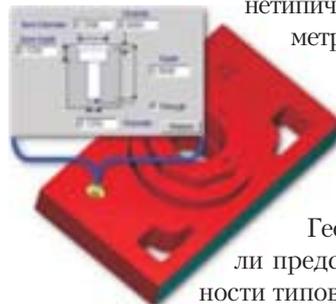
Чтобы представить себе диапазон функций ИМО, доступных в настоящее время, достаточно рассмотреть лишь несколько САМ-систем. Не исключено, что существуют и другие новации, предлагаемые поставщиками систем, не упомянутых в этом обзоре. Самое главное, что усилия разработчиков в части развития средств ИМО направлены на то, чтобы сделать труд технологов-программистов более производительным и взаимосогласованным, а обработку на станках ЧПУ – более эффективной и качественной.

ИМО на базе конструктивных элементов

Одной из общих концепций, на которых базируется ИМО, является связь конструктивных элементов (*features*) детали с шагами обработки. Конструктивные элементы (КЭ) – это отдельные фрагменты геометрии детали (отверстия, карманы, пазы, бобышки и т.п.), которые можно изготовить при помощи определенного набора подпрограмм обработки. Информация о том, как именно изготавливается КЭ, может быть сохранена в базе данных. Она должна включать последовательность шагов, которые необходимо сделать для обработки данного КЭ, а также соответствующие параметры обработки для каждого шага (например, значения скоростей и подач в зависимости от материала заготовки и типа режущего инструмента).

Отправной точкой для создания программ ЧПУ всегда служит геометрия детали. Модель детали может быть построена самим пользователем на основе чертежа при помощи имеющихся в САМ-системе средств CAD, либо импортирована из другой CAD/CAM-системы. В любом случае, КЭ детали должны быть правильно идентифицированы и связаны с операциями их обработки.

Принцип использования конструктивных элементов в качестве ссылок для базы знаний ИМО можно проиллюстрировать на примере семейства САМ-пакетов **FeatureCAM** компании **Engineering Geometry Systems** (Salt Lake City, Utah), в которых реализован нетипичный подход к созданию геометрии детали.



Задание параметров конструктивного элемента в системе FeatureCAM

Геометрическая модель детали представляется в виде совокупности типовых КЭ, размеры которых,

равно как и другие параметры, пользователь вводит в ответ на подсказки системы. Этот подход заметно отличается от привычных методов, когда для формирования геометрии детали выбираются точки, линии и дуги.

В *FeatureCAM* пользователь определяет геометрию (форму и размеры КЭ), используя для этого либо имеющийся в системе набор функций *CAD*, либо непосредственно вводя значения. Как только пользователь указывает, что создаваемая деталь имеет карман, отверстие или какой-либо другой конструктивный элемент, система сама запрашивает всю информацию, необходимую как для построения данного КЭ, так и для автоматизации создания УП.

Например, для создания прямоугольного кармана пользователь задает прямоугольник, используя для этого функции *CAD*, или вводит размеры и координаты расположения этого кармана. В таком случае программа запрашивает: не хочет ли пользователь добавить к построенному карману какие-либо дополнительные компоненты из предлагаемого набора – например, фаски на кромках или радиус по нижнему контуру? Затем программа определяет черновые и чистовые операции для каждого КЭ, выбирает инструмент для каждой операции, вычисляет скорости и подачи, рассчитывает траекторию инструмента и при помощи соответствующего постпроцессора генерирует коды для системы ЧПУ. Несмотря на автоматизацию этого процесса, пользователям предоставлена возможность редактировать получаемую УП. Управление процессом создания УП осуществляется с помощью набора параметров обработки, от значения которых зависит выбор методов обработки.

В случае, когда файл детали импортируется (*FeatureCAM* поддерживает все наиболее широко используемые универсальные форматы обмена данными, а также собственные форматы многих *CAD*-систем), программа анализирует геометрию и соотносит ее с КЭ, используемыми при построении. Специальная функция, входящая в качестве дополнительной опции в *FeatureMILL2.5D* и в стандартную поставку *FeatureMILL3D*, позволяет автоматически распознавать отверстия, карманы, фрезерованные пазы и другие элементы. Затем, как и в описанном выше случае, система связывает КЭ с соответствующими им операциями обработки, что позволяет автоматически создавать УП.

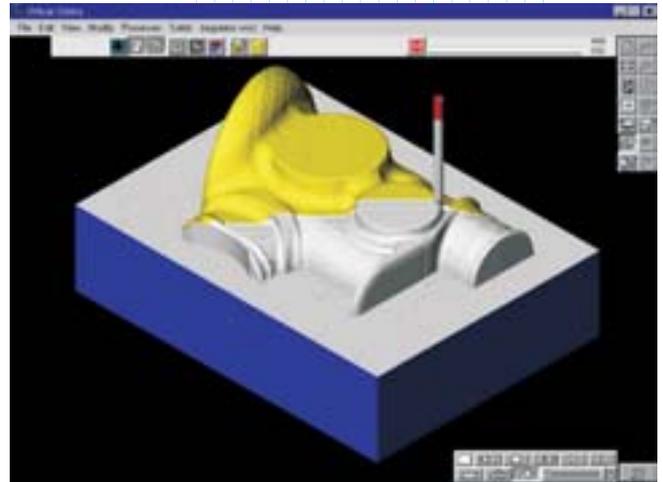
В процессе анализа 3D-модели система выявляет и те контуры фрагментов детали, которые не могут быть идентифицированы как простые КЭ. Методы для их обработки должен выбирать сам пользователь. В их число входят: черновая обработка методом отсверливания материала, чистовая обработка по спирали, дообработка зон с малыми углами наклона, получистовая послейная обработка и др.

Извлечение и накопление данных для базы знаний

Ведение таблиц скоростей/подач, библиотек инструмента и других данных для обработки – это один уровень ИМО. Другая заметная тенденция в интеллектуальных

системах механической обработки – накопление информации о процессах обработки. В этом плане интересна система *GibbsCAM* компании *Gibbs and Associates* (*Moorpark, California*), которая предлагает несколько уровней накопления данных.

Первый уровень этой системы – базы данных механической обработки. По данным компании, БД *Cutdata* содержит более 70 тыс. записей, позволяющих согласовывать режущий инструмент, материал заготовки, вид обработки, глубину резания и т.д. со скоростями обработки, подачами, расстояниями между проходами инструмента и другими параметрами. Эти БД легко изменяются и могут быть дополнены самими пользователями, что позволяет системе ИМО *GibbsCAM* накапливать знания приемов и опыта работы.



Знания о наилучших способах обработки КЭ, накапливаемые системой GibbsCAM, можно применять в сходных ситуациях

Однако реальный акцент на формирование базы знаний появляется на двух следующих уровнях, где система позволяет создавать шаблоны программ обработки, объединяющие несколько процессов. В *GibbsCAM* эта функция называется *Multiple Process Programming*. Например, все подробности технологии изготовления отверстия определенного типа (ступенчатое сверление, развертывание, цековка, зенкование плюс задание для каждого инструмента требуемых параметров обработки) становятся шаблоном. Этот шаблон, сохраненный в библиотеке, может быть использован в любой момент, когда в другой подобной заготовке встречается отверстие похожего типа. Та же самая последовательность шагов и те же самые параметры будут включены в УП для новой детали (при необходимости их можно подкорректировать). Там, где это возможно, могут быть применены дополнительные шаблоны. Таким образом, появляется возможность создавать из шаблонов полностью законченную УП.

Руководитель компании г-н *Bill Gibbs* так поясняет различие между применением шаблонов и другими подходами к интеллектуальной обработке: “Это не попытка сказать оператору, как ему обрабатывать

деталь. Скорее, это способ сохранить ноу-хау оператора так, чтобы оно могло быть применено в других подобных ситуациях”. Шаблоны позволяют автоматизировать процесс повторного использования знаний без необходимости вводить большое количество данных, так что они действительно упрощают создание УП. Однако г-н *Gibbs* против того, чтобы называть это автоматизированным программированием обработки. На его взгляд, чрезмерное упование на автоматизацию в этой области приведет к нивелированию собственных наработок предприятий и снижению конкурентоспособности. “Программное обеспечение должно усиливать знания и опыт цеха, а не ослаблять их”, – говорит он. Шаблоны *Multiple Process Planning* позволяют цеху сохранять наиболее удачные решения и затем использовать их в подходящих случаях, поддерживая таким образом стандартизацию и сохраняя высокий технический уровень производства.

Следующий шаг приводит пользователя к уровню, на котором системе уже дана власть принимать решения. Эти решения основаны на созданных пользователем *правилах*, которые отражают предпочтительные для него методы. Следуя этим правилам, система автоматически выбирает последовательность шагов обработки, режущий инструмент, скорости, подачи и т.д. Она делает расчеты и применяет их – например, устанавливает расстояние между проходами в процентах от заданного пользователем диаметра фрезы и рассчитывает черновую обработку, оставляя постоянный припуск для чистовой обработки, который также определяется пользователем.

Для накопления информации (знаний о производстве, предпочтений при выполнении тех или иных операций) в диалоговом режиме в системе *GibbsCAM* используется свой *Мастер* (подобие *Wizard* в *Microsoft Windows*), удобный и понятный интерфейс которого скрывает за собой достаточно сложную базу знаний и матрицу решений. Разработчики могут создавать *Мастеров* не только для очень простой, но и для достаточно сложной логики. В *GibbsCAM* они помогают пользователю как устанавливать правила, так и применять их впоследствии в тех случаях, когда при программировании обработки возникает соответствующая ситуация.

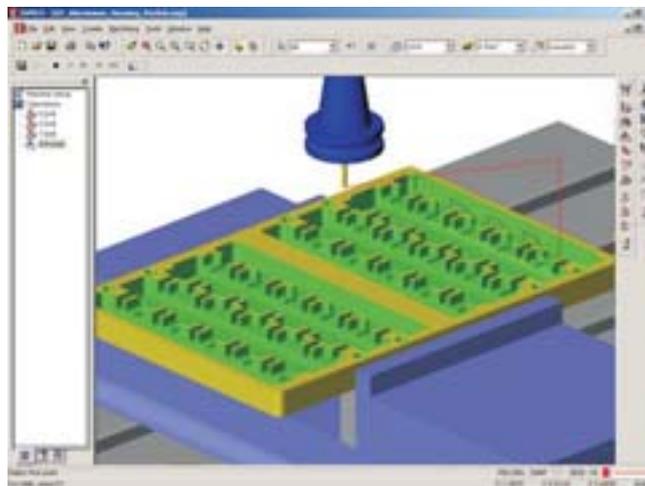
В процессе первоначальной настройки *Мастера* пользователь должен выбрать из предлагаемых списков необходимые параметры, которые требуются системе для того, чтобы она могла применять соответствующие правила. Кроме того, может понадобиться ввести некоторые числовые значения. Все эти данные позволяют *Мастеру* принимать решения о том, как обрабатывать конструктивные элементы. Эти решения интеллектуальны в том смысле, что они отражают собственную логику производителей, а не логику, предопределенную разработчиком системы. Логика принимаемых *Мастером* решений базируется на значениях, однажды заданных пользователем. Но как бы то ни было – это

только советы и они в любой момент могут быть отвергнуты пользователем.

Последняя версия *GibbsCAM* предлагает целый ряд *Мастеров*: от простого *Мастера задания набора инструментов* до комплексного решения для создания процесса обработки сложных отверстий. Как отметил г-н *Bill Gibbs*, функции ПО должны быть простыми в изучении, удобными в использовании и быстрыми по результатам. Иначе, несмотря на их ценность, они вряд ли будут использоваться с полной отдачей.

Будущее ИМО

Интересные перспективы в области ИМО демонстрирует система *Esprit* компании *DP Technology* (*Camarillo, California*). Эта компания считает, что “интеллектуализация” должна играть ключевую роль не только в дальнейшей автоматизации функций *NC*-программирования, но также и во внедрении в производство новых концепций, таких как *STEP-NC*.



Менеджер процессов в системе *Esprit*

При таком подходе средства ИМО приобретают огромное значение в деле организации, управления и повторного использования процедур для обработки сложных деталей (имеющих много конструктивных элементов, требующих множества различных операций, поворотов для обработки с разных сторон и т.д.). Таким образом, ИМО трансформируется в разновидность высокоуровневой системы подготовки производства. В этом контексте планирование производства объединяет все операции, которые должны быть выполнены для того, чтобы полностью закончить обработку детали. Собранная детальная информация о процессах обработки каждого КЭ детали формирует технологию, включающую в себя описание циклов обработки, режущего инструмента и способов обработки, используемых для задания траектории инструмента.

Для того чтобы выяснить, какие конструктивные элементы будут обрабатываться, как они будут обрабатываться и какие инструменты будут использоваться, *Project Manager*, модуль ИМО

системы *Esprit*, создает *дерево конструктивных элементов (feature tree)*. Это дерево отображает разделение заготовки на доступные для обработки КЭ (отверстия, пазы, карманы и т.д.). Под каждым КЭ располагается список операций, необходимых для его обработки. С каждой операцией из этого списка связан еще один список, показывающий выбранные из соответствующей библиотеки инструменты.

Перемещаясь по “ветвям” этого “дерева”, пользователь может просматривать, изменять или перестраивать технологию обработки детали. Готовая технология может быть сохранена для обработки похожих заготовок (с модификацией в случае необходимости). Циклы обработки также могут быть объединены в стандартные процессы для конкретных КЭ. Например, стандартный процесс обработки кармана может включать следующие шаги:

- черновая обработка кармана способом попутного фрезерования параллельно наружному контуру;
- смена инструмента;
- чистовая обработка стенок по контуру;
- чистовая обработка дна кармана зигзагообразным движением фрезы.

Этот стандартный процесс можно сохранить в БД *Менеджера процессов (Process Manager database)* и затем применять как шаблон для обработки подобных конструктивных элементов на других деталях. После разработки технологии остается лишь нажать кнопку, чтобы сгенерировать G-коды, соответствующие траектории инструмента.

В перспективе, как полагают специалисты *DP Technology*, модель изделия будет разрабатываться с применением стандартизованного изменяемого формата *STEP-NC*, а создание технологии обработки станет частью процесса проектирования и инженерных расчетов. Созданные траектории инструмента сохраняются в формате *STEP-NC* вплоть до заключительного шага генерации G-кодов.

Как отметил г-н *Chuck Matthews*, вице-президент *DP Technology* по маркетингу, этот новый сценарий производства делает вопрос об эффективности базы знаний критическим: “По мере того как технология включает информацию все более высокого уровня, все более детальную, она все больше требует наличия эффективной базы знаний для упрощения процесса редактирования. *CAM*-система, имеющая такую базу знаний, позволяет легко редактировать технологию, минимизировать ошибки, используя установленные правила, накапливать данные об изменениях в технологии, что дает возможность улучшить технологическую подготовку процессов производства в будущем”.

Г-н *Matthews* также прокомментировал дальнейшее развитие ИМО: “В прошлом начальные затраты пользователей на формирование базы знаний были высокими. В будущем более эффективные средства управления БД позволят разработчикам *CAM*-систем сохранять настройки и решения, вырабатываемые

технологами-программистами, и автоматически воссоздавать правила и предпочтения, которыми они руководствовались в своей работе. Появляющееся сегодня новое поколение средств ИМО значительно увеличит производительность технологов и одновременно будет способствовать максимальной эффективности использования ресурсов производства”. Он также сказал, что система под названием ***KnowledgeBase Engine***, реализующая эти новые возможности, разрабатывается для новой версии *Esprit*, которая должна выйти в начале 2003 года.

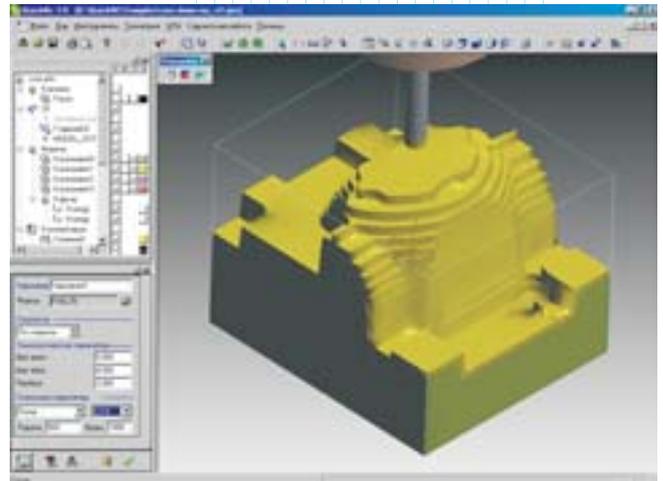
Непрерывное усовершенствование

Философия ИМО в любом случае подразумевает, что знания непрерывно изменяются и растут. Поскольку технологи-программисты сохраняют процессы, доказавшие свою эффективность в производстве, и соответствующим образом корректируют базы данных, то положительный эффект от этого распространяется на все производство. Операции становятся все более рациональными и постоянно совершенствуются. Средства ИМО облегчают усовершенствование технологических процессов, и предприятие добивается все лучших и лучших результатов в том, что оно делает. И для любого производства это бесконечная гонка...

Четыре примера “интеллектуальной” обработки

Проиллюстрируем сказанное на четырех примерах, отражающих охват и глубину проработки ИМО в нынешних *CAM*-системах.

1 Знания о материалах. Разработчики *CAM*-систем, предназначенных преимущественно для производителей литейных форм (для литья пластмасс и алюминия), как правило проявляют особенно большой интерес к средствам, позволяющим использовать знания о состоянии материала заготовки.

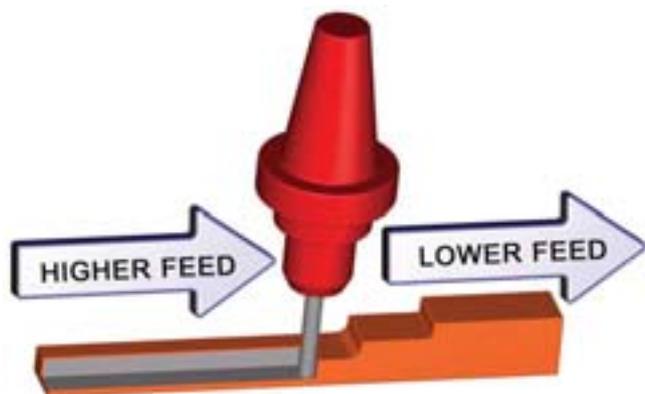


Результаты выполнения черновой операции в *QuickNC* отразятся на экране через 15 сек. (вместо обычных 20 мин.)

Программный модуль **QuickNC** компании **Cimatron** (*Livonia, Michigan*) показывает новый путь применения этих знаний для черновой, получистовой и чистовой обработки. На каждом шаге **QuickNC** обеспечивает возможность предварительного просмотра результатов обработки. Для этого пользователь должен лишь ввести значения нескольких ключевых параметров обработки. С помощью предпросмотра результат можно увидеть практически мгновенно. При этом нет необходимости рассчитывать весь путь инструмента и затем запускать симуляцию обработки, что является типичной альтернативой, отнимающей много времени.

При черновой обработке пользователь определяет форму заготовки в соответствии с геометрией готовой детали и выбирает применяемый способ обработки. Результаты предпросмотра позволяют проверить припуски, остающиеся после черновой обработки. После визуальной проверки полученных результатов (непосредственно на экране и при помощи сечений) пользователь при желании может изменить параметры обработки и еще раз запустить предварительный просмотр. И так до тех пор, пока результаты не будут оптимизированы. Аналогичная процедура применима и к получистовой, и к чистовой обработке. Когда весь процесс полностью удовлетворяет технолога, он запускает расчет траектории инструмента и генерирует УП для цеха.

2 Действительно оптимальные подачи. Речь идет о методиках создания УП, позволяющих автоматически определять наиболее эффективную скорость подачи, изменяя ее в зависимости от изменения объема снимаемого материала или изменения направления движения инструмента.



Средства оптимизации Mastercam обеспечивают эффективную скорость подачи, основываясь на реальных характеристиках станка

Пакет **Mastercam** компании **CNC Software** (*Tolland, Connecticut*) предлагает функцию “интеллектуальной” оптимизации скорости подачи, которая определяется исходя из знания фактических пределов скоростей подач имеющихся в цехе станков. В комплект поставки **Mastercam** входит обучающая программа, которая по шагам проводит пользователя через процесс определения максимальных пределов скорости

подачи. По существу, этот процесс представляет из себя фрезерование круглых отверстий в тестовой заготовке при последовательном увеличении скорости подачи до тех пор, пока она не будет превышать возможностей привода станка. Другими словами, самая высокая скорость подачи – это та, при которой еще выдерживается необходимая точность размеров. Полученное значение и является верхним пределом, который впредь будет использоваться системой для данного станка.

Полученные знания **Mastercam** использует при оптимизации любых 2- или 3-осевых траекторий инструмента. При этом расчет основывается на объеме удаляемого материала: система замедляет подачу при углублении в материал и ускоряет ее при уменьшении глубины резания, но никогда не выходит за пределы, полученные в результате тестовых испытаний. Аналогично скорость подачи будет автоматически снижена для обеспечения безопасного и точного врезания инструмента, после чего опять возвратится к оптимальному уровню. Поскольку реальное значение максимальной скорости подачи, определенное в соответствии с фактическими характеристиками производительности станка, существенно точнее теоретического, такая оптимизация может быть очень эффективна. Это позволяет повысить стойкость инструмента, уменьшить износ станка и, конечно, сократить общее время обработки.

3 ЧПУ для дилетантов. Бывают случаи, когда людям, далеким от создания УП для станков с ЧПУ (допустим, на участке прототипирования или в научной лаборатории), необходимо изготовить деталь, а штатные технологи в этот момент заняты или уже закончили работу. Для таких случаев компания **Delcam** (*Windsor, Ontario*), создатель известной САМ-системы **PowerMill**, разрабатывает новый модуль ИМО под названием **AutoCAM**, сочетающий простоту использования и быстроту создания траекторий инструмента. Большинство существующих систем ИМО построено вокруг распознавания КЭ, что позволяет обрабатывать отдельные элементы геометрии, такие как отверстия или бошпыки, при помощи стандартных автоматических процедур. **PowerMill AutoCAM** реализует иной подход, при котором анализируются все поверхности модели и на основании этой информации выбираются методы обработки, наиболее подходящие для выполнения всей задачи в целом.



По словам разработчиков PowerMill AutoCAM, программа фрезеровки для этой модели мобильного телефона была создана всего за 6 минут

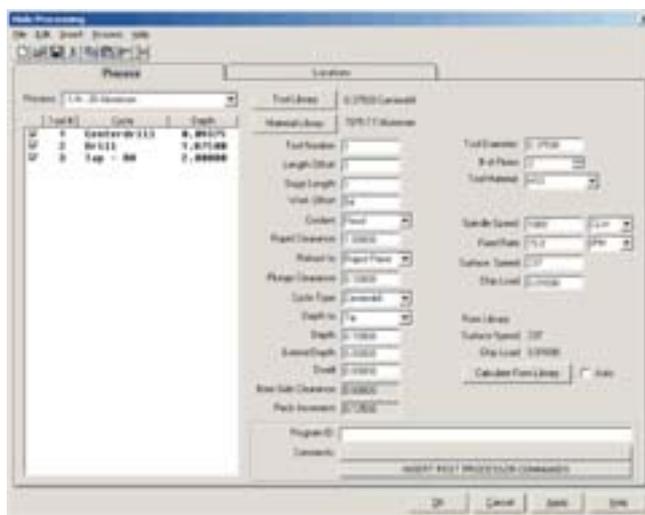
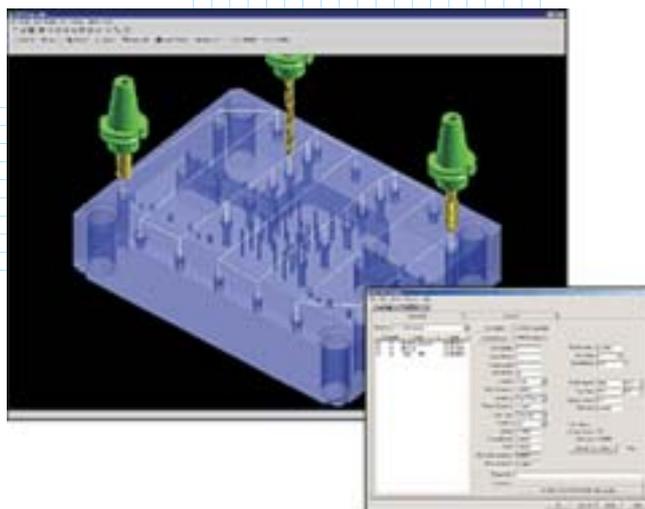
Для формирования УП пользователю достаточно просто импортировать CAD-модель детали, которую нужно изготовить, задать размеры исходной заготовки и выбрать станок, на котором она будет обрабатываться. Необходимо также указать, будет использоваться скоростное фрезерование или же традиционная обработка. После этого *AutoCAM* автоматически выбирает инструмент, способы обработки, рассчитывает траектории инструментов и генерирует УП для станка с ЧПУ – **без какого-либо дальнейшего участия пользователя**. По информации разработчиков весь процесс занимает максимум несколько минут вместо многих часов, которые пришлось бы затратить даже квалифицированному технологу-программисту с “обычной” САМ-системой. Кроме того, способы обработки, инструмент, скорости резания и подачи – все это выбирается таким образом, чтобы обеспечить максимальную безопасность обработки: без риска зарезов и с минимальными шансами на поломку инструмента (то есть так, чтобы деталь могла быть полностью изготовлена без контроля со стороны оператора).

Следует учитывать, что всем разработчикам свойственно идеализировать свое детище, поэтому будущим пользователям нужно всегда быть начеку: в полной мере описанное выше относится только к “великим САМ-системам” весьма нескорого будущего, которые изменят ситуацию на рынке радикальным образом. Поэтому не будем забывать о контексте, – пока это всего-навсего САМ-модуль для дилетантов со всеми присущими такого рода продуктам ограничениями: в гибкости, мощности, оптимальности траекторий, палитре тонких настроек и т.д.

4 Отверстия – это просто. Прodelьвание отверстий нередко приводится в качестве примера наиболее часто выполняемой операции механической обработки. Кроме того, это как раз та область, в которой ИМО на данный момент выглядит наиболее эффективной и, возможно, наиболее развитой. Модуль **Advanced Hole Processing**, предлагаемый компанией **Surfware Inc.** (*Westlake Village, California*) в составе своей системы **SurfCAM**, предназначен именно для автоматизации процессов сверления. Пользователь имеет возможность сохранить несколько операций цикла как один процесс, который может быть затем повторно выбран и применен одним действием, что заметно сокращает время при выполнении повторяющихся задач.

Безусловный интерес здесь представляет набор инструментов, дающий пользователю возможность управлять порядком, в котором будут прodelьваться серии отверстий. Предусмотрено три варианта последовательностей:

- *Manual Sorting* – ручная сортировка, определяемая пользователем;
- *Shortest Distance* – по кратчайшему расстоянию между отверстиями;



Процесс обработки отверстий включает в себя множество повторяющихся шагов, что открывает простор для автоматизации. Модуль SurfCAM Advanced Hole Processing позволяет оптимизировать процесс и даже повысить точность работ

- *Linear Sorting* – линейная сортировка, позволяющая установить приоритетное направление и шаг в определенных пользователем пределах.

При нажатии на кнопку *Calculation* вычисляется время цикла для каждого способа сортировки, что позволяет сравнить все варианты и выбрать для каждого конкретного случая оптимальный режим. Опция “Точный режим” (*Accurate Mode*) включает одновременное перемещение по обоим осям. Расстояние и подача в этом случае определяются пользователем так, чтобы инструмент приближался к каждому отверстию в одном и том же направлении. Это устраняет влияние возможных люфтов на точность обработки и гарантирует повторяемость позиционирования в пределах машинной точности.

Следует отметить, что *Advanced Hole Processing* – лишь одно из целого ряда новшеств в системе *Advanced Machining Logic*, разрабатываемой компанией *Surfware*. 