

Два года назад редакцией нашего журнала было принято решение о расширении рамок проекта “Короли” и “капуста” на сферу САМ. По нашему мнению, это отвечает возросшим потребностям в наших услугах и со стороны поставщиков САМ-систем, и со стороны потребителей этого специфического вида ПО.

При подготовке финансовых обзоров САМ-рынка и рейтингов популярности систем и главных игроков как за 2009-й (см. *Observer* # 1/2011), так и за 2010 год (## 7, 8/2011), у нас неоднократно возникала необходимость сослаться на ту или иную тенденцию рынка САМ. В этой связи мы решили, что обзору современных тенденций развития мирового САМ-рынка вполне может быть посвящен отдельный методический материал, органично вписывающийся в “капустный” проект. Несомненно, он будет полезен многим читателям, в особенности преподавателям, студентам и молодым специалистам. В основу предлагаемой коллекции САМ-трендов легли творчески переработанные наблюдения специалистов аналитической компании CIMdata, Inc.

Проект “Короли” и “капуста” на ниве САМ

Часть III. Обзор тенденций развития ПО для программирования обработки на станках с ЧПУ

Леонид Дриц, Юрий Суханов (*Observer*)

По материалам CIMdata, Inc.

Вступление

Программное обеспечение, применяемое для разработки управляющих программ (УП) для станков с числовым программным управлением, в зависимости от контекста, привычек, традиций и пр., может называться по-разному: САПР УП для станков с ЧПУ, *NC Software*, инструменты программирования обработки, ПО для программирования станков, а также САМ-пакет, САМ-система или даже САМ-решение. Первые инструменты автоматизации подготовки УП для станков с ЧПУ появились еще в 60-х годах прошлого века. Постепенно они развились в современные автономные САМ-пакеты и мощные универсальные САД/САМ-системы, а также стали существенной частью интегрированных, комплексных *PLM*-решений.

В силу своей специфики, САМ-рынок существенно уступает в размерах рынку САД и комплексных решений, но это не мешает ему быть “живым” и активным. Технологии, лежащие в основе САМ, продолжают развиваться, благодаря чему пользователи САМ-систем получают возможность эффективно использовать всё более сложные и совершенные станки с ЧПУ, повышать производительность и улучшать качество изготовления деталей.

На протяжении длительного времени основной движущей силой для развития промышленности была и остается необходимость работать в условиях интенсивной конкуренции. Как известно, конкуренция вынуждает производителей непрерывно, в темпе, опережающем ожидания, совершенствовать не только отдельные операции и процессы производства, но и методологию, технологию и культуру производства в целом. От производителей ждут многого: инноваций и эстетической привлекательности новых продуктов, расширения функциональных возможностей и роста производительности изделий, повышения удобства

их использования и увеличения долговечности, да еще и при условии, что они как можно дольше обходятся без технического обслуживания... Одновременно с этим продолжает сокращаться количество квалифицированных и опытных рабочих, а владельцы предприятий и акционеры пуще прежнего настаивают на увеличении доходов и прибыльности бизнеса. В условиях глобальной экономики это вынуждает предприятия конкурировать всё более эффективно.

Одним из способов удовлетворить эти требования является увеличение объемов закупок более совершенных и сложных станков с ЧПУ, что позволяет уменьшить время обработки деталей, снизить стоимость и повысить качество продукции. Программирование таких станков выполняется обычными специалистами – технологами-программистами и операторами – поэтому потребность в эффективном высокопроизводительном ПО для создания УП возрастает.

Основная цель внедрения САМ-решения – повысить производительность труда и качество продукции за счет функциональных возможностей ПО. При этом пользователи хотят, чтобы оно становилось всё более простым в изучении и использовании, и одновременно более автоматизированным и процессно-ориентированным, более тесно интегрировалось с такими составляющими *PLM* (*Product Lifecycle Management*), как проектирование изделия, *PDM* (управление данными об изделии), цифровое производство, а также с ПО для автоматизации промышленного предприятия.

Надо отметить, что каких-либо революционных открытий в сфере САМ в последние годы сделано не было. Тем не менее, хотя существующее ПО для программирования станков с ЧПУ и позволяет получать вполне приемлемые результаты, но совершенствование технологий продолжается.

Десять ключевых тенденций в сфере САМ

1 Рост применения многозадачных станков с ЧПУ

Современные многозадачные металлорежущие станки с ЧПУ представляют собой достаточно сложное многофункциональное оборудование с большим количеством исполнительных органов (шпинделей, револьверных головок) и управляемых осей (вплоть до 22-х управляемых осей). Программировать и использовать такие станки становится гораздо сложнее. Появление многозадачных станков и принятие их на вооружение (а следовательно и необходимость поддержки) рассматриваются большинством САМ-вендоров в качестве самого главного тренда в металлообработке.

Выполнение множества операций фрезерной и токарной обработки на одном станке (и зачастую – за один установ), как правило, повышает качество обработки и производительность, ускоряет окупаемость, снижает расходы на транспортировку деталей от станка к станку, уменьшает потребность в площадях для производства и промежуточного хранения деталей.

Многозадачные или мультифункциональные станки поставляются в различных конфигурациях. Наибольшее распространение получили фрезерно-токарные станки, на которых выполняются и фрезерование, и точение. Одношпиндельные 4-осевые токарные станки, на которых резание осуществляется инструментом, установленным в одной из двух имеющихся головок, также нашли широкое применение. Другой популярный вариант – двухшпиндельные станки с главным и дополнительным шпинделями для зажима заготовки и с инструментальным В-осевым шпинделем для установки активного фрезерного или неподвижного токарного инструмента. Наличие двух шпинделей, действующих как держатели детали, обеспечивает возможность её многоосевой обработки с передней или задней стороны. При использовании дополнительного шпинделя все операции обработки, включая фрезерование

и точение спереди и сзади, могут быть выполнены за один установ.

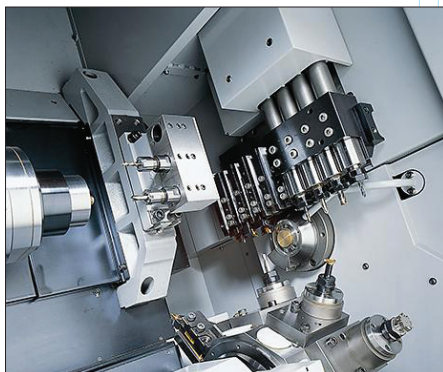
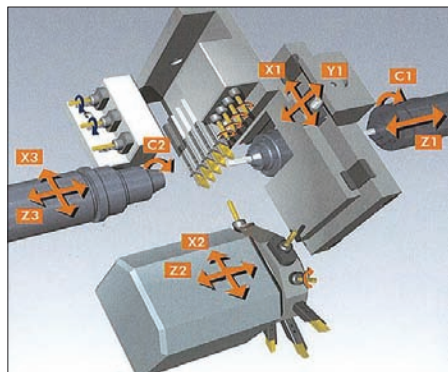
Для эффективной эксплуатации столь сложного оборудования требуется специализированное ПО для программирования движения инструмента, постпроцессирования, предварительной симуляции операций при отладке УП. САМ-средства должны обеспечивать как индивидуальное управление каждой головкой, так и синхронизацию их движений, а также точный расчет времени цикла. Чрезвычайно важным аспектом для технолога-программиста, наладчика и оператора станка является наличие развитых средств симуляции, необходимых для того, чтобы визуализировать последовательность обработки, исключить столкновения и оптимизировать управляющую программу.

2 Распространение пятиосевой обработки

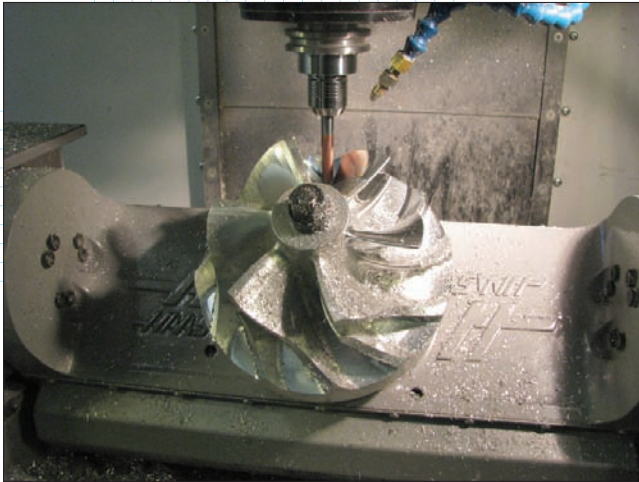
Одновременная 5-осевая обработка уже давно стала повседневностью в ряде отраслей промышленности – например, в аэрокосмической отрасли и при производстве турбин. Сегодня её использование продолжает нарастать во многих сферах, включая производство пресс-форм, что происходит за счет замещения 3-осевой обработки в различных ситуациях. В Европе, например, 5-осевая обработка получила массовое распространение. Это вызвано тем, что таким способом можно обработать геометрически более сложную деталь, уменьшив при этом количество настроек и смен инструмента. Использование укороченного режущего инструмента снижает вибрацию, а значит и вероятность поломок инструмента; уменьшается и необходимость в ручном позиционировании. Кроме того, во многих случаях появляется возможность избежать применения электроэрозионной обработки (EDM), что снижает потребность в электродах. Существенно сокращается и потребность в производственных и складских площадях; снижаются расходы на планирование и учет деталей в процессе их обработки в сравнении с ситуацией, когда для каждого вида обработки используется отдельный станок.

Следует отметить, что стоимость 5-осевых станков со временем уменьшается. Новое ПО для программирования 5-осевой обработки становится более простым для освоения, а степень автоматизации труда технолога-программиста повышается.

Разновидностью 5-осевой обработки является (4+1)-осевая обработка, при которой одна из поворотных осей фиксируется, а движения осуществляются по трем линейным осям и вокруг одной оси вращения. Такой подход упрощает программирование,



Пример кинематической схемы и рабочей зоны многозадачных станков с ЧПУ



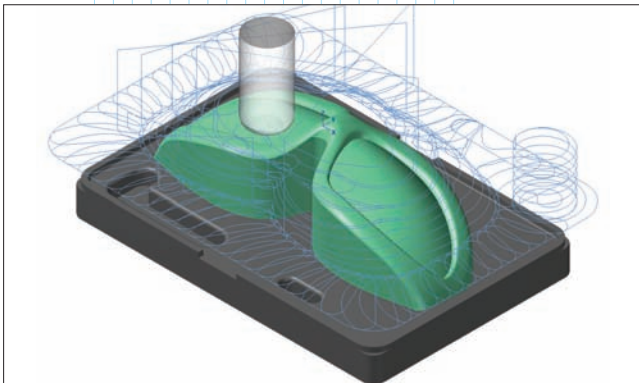
Деталь в процессе пятиосевой обработки на станке с ЧПУ

обеспечивая при этом многие из преимуществ полной 5-осевой обработки.

Хотя фрезерование по трем осям зачастую является наиболее оптимальной стратегией, некоторые разработчики САМ-систем позволяют любую 3-осевую траекторию преобразовать в 5-осевую. Использование в рамках 3-осевой операции некоторых 5-осевых движений дает возможность избежать столкновений с патроном и вести обработку более коротким инструментом. Для того чтобы избежать столкновения, ПО автоматически меняет угол наклона инструмента, а затем, когда проблемная зона обработана, восстанавливает тот угол наклона, который назначен для всей траектории.

3 Использование ВСО и прогрессивных траекторий

Высокоскоростная обработка (ВСО или *HSM*) сегодня нашла применение в большинстве производств. Программное обеспечение для поддержки ВСО должно обеспечивать плавное движение инструмента с минимумом резких изменений направления; постоянную нагрузку на инструмент (что позволит продлить его жизнь); получение обработанных без разрывов или переключений



Плавные петлеобразные движения инструмента при высокоскоростной обработке

поверхностей; поддержку оптимизации траекторий обработки с учетом возможностей станка.

Из разработчиков ПО для программирования высокоскоростной 2D- и 3D-обработки компания *CIMdata* выделяет *CNC Software* (поставщик системы *Mastercam*) и *SolidCAM* (поставщик одноименного САМ-пакета).

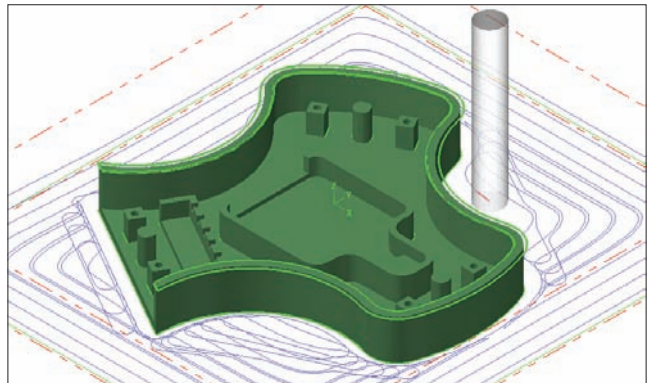
Применение высокоскоростной обработки стало необходимым условием повышения конкурентоспособности производств. Таким образом, сегодня от всех САМ-вендоров, предоставляющих решения для таких сегментов промышленности, как производство пресс-форм, оснастки и штампов, требуется и эффективная поддержка технологии ВСО.

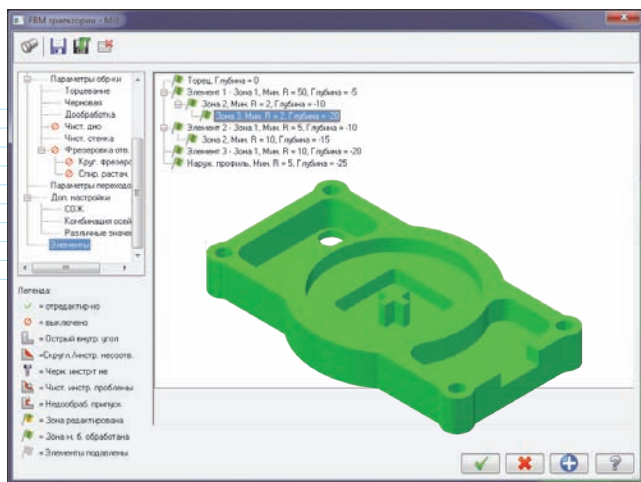
Кроме того, продолжают совершенствоваться алгоритмы генерации траекторий инструментов. Например, компания *Siemens PLM Software* разработала функционал, который получил наименование *Streamline Toolpath*. Он автоматически определяет оптимальную траекторию инструмента, позволяющую осуществить наилучшую финишную обработку поверхности, которая возможна для данной геометрии (топологии).

4 Использование технологии распознавания элементов

Для того чтобы поднять уровень автоматизации программирования обработки, всё чаще применяется *knowledge-based machining* – метод проектирования УП, основанный на автоматическом распознавании конструктивных элементов (КЭ) трехмерной модели детали. В качестве таких элементов могут выступать поверхности, сплайны, различные типы отверстий, бобышек, канавок, профилей и карманов. При этом должна быть обеспечена и возможность выбора типов КЭ для их последующего распознавания. КЭ не только определяют форму детали, но и позволяют назначить ассоциативно-связанные операции, которые описывают предпочтительный метод обработки на станках с ЧПУ.

Для автоматического распознавания КЭ и формирования траекторий их обработки на станках с ЧПУ (а также программ проверки их размеров на координатно-измерительных машинах)





Окно с результатами автоматического распознавания КЭ

служат соответствующие программные средства, включаемые в современные САМ-пакеты. Такие средства значительно упрощают разработку УП, поскольку для типовых задач система может принимать решения сама, не обременяя пользователя рутинной.

Технология распознавания КЭ является сравнительно новой и многообещающей. Она открывает возможность автоматического исследования геометрии 3D-модели детали и идентификации конструктивных элементов и относящихся к ним атрибутов. Это, наряду с имеющейся в САМ-системе информацией, определяющей программирование обработки для таких КЭ (набор правил обработки, характеристики материала), служит основой для автоматического формирования траекторий. Оценив геометрию и материал обрабатываемой детали, система самостоятельно выбирает наиболее подходящие инструменты и операции, устанавливает последовательность операций, предлагает или выбирает стратегии обработки, рассчитывает скорости подачи и резания, а затем автоматически генерирует управляющую программу для станка с ЧПУ или координатно-измерительных машин (КИМ).

Кроме того, программные средства позволяют запоминать предпочтительные методы обработки для деталей разных типов, чтобы в дальнейшем применять их для таких же или похожих деталей. После того, как конструктивный элемент будет опознан системой, она учтет пользовательские предпочтения в программировании его обработки. Сохранение ассоциативной связи с исходным файлом модели позволяет автоматически распознавать внесенные изменения и делать перерасчет траекторий только для тех элементов, которые отличаются от исходных.

В качестве характерного примера САМ-систем, в которых находит применение технология распознавания конструктивных элементов

обрабатываемых деталей, можно называть *FeatureCAM* и *Mastercam*.

5 Процессно-ориентированный подход и фиксация лучших практик

ПО для программирования обработки на станках с ЧПУ эволюционирует, и общий подход постепенно меняется: намечается переход от простого предложения технологу-программисту набора различных стратегий и опций к процессно-ориентированному проектированию обработки. Такой подход направлен на то, чтобы охватить все потребности пользователя в конкретных областях (нишах).

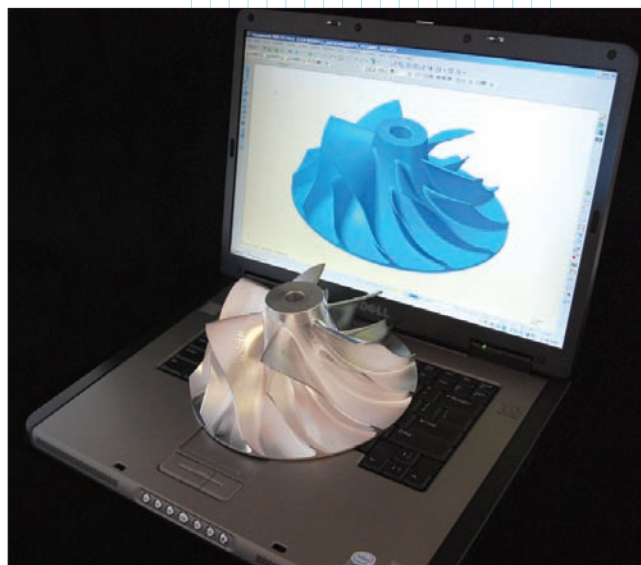
На сегодняшний день вендоры САМ-систем разработали процессно-ориентированные решения для многих сфер применения: двигателестроение, изготовление пресс-форм, штампов, авиационных изделий, производство шин, мебели, лопаток турбин, импеллеров, блисков, труб, обуви и зубных имплантатов.

Особый интерес представляют следующие специализированные приложения:

- решение от компании *OPEN MIND Technologies*, заточенное под задачу создания и обработки деталей пресс-форм для литья автомобильных шин;
- *BladeExpert* и *PortExpert* от *CNC Software* для программирования обработки турбинных лопаток, импеллеров и каналов охлаждения двигателей, соответственно;
- *DentMILL* от компании *Delcam* – для зубопротезирования.

Следует отметить, что все упомянутые приложения предусматривают 5-осевую обработку.

Для формализации рабочих процедур используются такие средства организации пользовательского интерфейса, как мастер-процессы



Деталь, изготовленная на станке с ЧПУ с помощью процессно-ориентированного решения *Blade Expert*

(визарды), которые последовательно проводят пользователя через все необходимые этапы проектирования обработки для конкретной задачи.

Совершенствуется функционал САМ-систем, позволяющий пользователям зафиксировать и повторно использовать свои лучшие практики. Для этого предназначены библиотеки, объединяющие правила обработки, шаблоны, траектории обработки КЭ и другие формализованные знания. Набор правил обработки пользователь формирует на основе геометрических характеристик модели, обрабатываемого материала и пр. Всё это помогает добиться унификации процессов обработки, обеспечить требуемый уровень качества и повторяемости, а также сократить затраты на проектирование УП.

6 Совершенствование средств моделирования в САМ-системах

Вместе с развитием собственно технологий проектирования обработки на станках с ЧПУ, продолжают эволюционировать средства для моделирования, встроенные в САМ-системы.

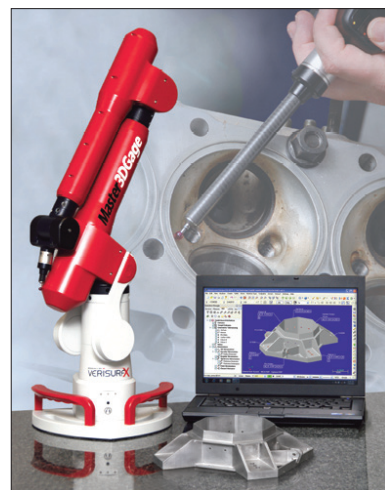
Так, всё большее распространение получают гибридные моделиеры. Они дают пользователям возможность работать с каркасными моделями, поверхностями и твердотельными 3D-объектами внутри единой среды. Гибридный подход разгружает пользователя, стирая границу между поверхностным и твердотельным моделированием. Некоторые САМ-ориентированные вендоры, включая *Cimatron* и *CNC Software*, поставляют такие моделиеры.

Другой пример. Компания *Siemens PLM Software* расширила функциональность в сфере проектирования и подготовки производства, предоставив возможность использовать дополнительную конструкторско-технологическую информацию (*Product and Manufacturing Information – PMI*) в формате отраслевого стандарта. Это относится к любой связанной с САД-моделью аннотации, которая может быть помещена в 3D-пространство вместе с моделью или непосредственно на ней. *PMI* включает в

себя геометрические размеры, допуски, указания о качестве поверхности, спецификацию материалов и различную текстовую информацию. Присоединение *PMI* к геометрии позволяет более точно описать и передать замысел конструктора последующим пользователям этих данных. Таким образом, в производство передается более полная информация о компоненте изделия.

7 Появление продвинутого ПО для КИМ

Сравнительно часто для осуществления контроля за соблюдением размеров изготавливаемых деталей на предприятиях применяются координатно-измерительные машины (*Coordinate Measuring Machines – CMM*). Изначально такие машины программировались вручную, но затем для автоматизации этого процесса стали использовать САМ-системы и другие средства.

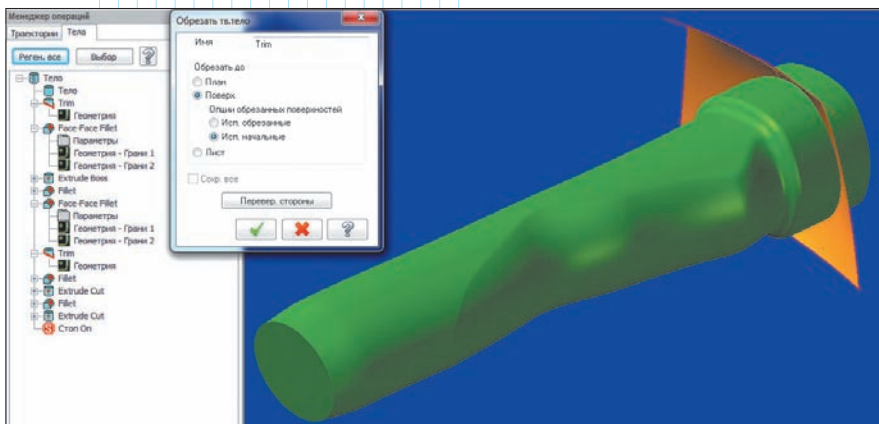


Решение Master3DGage на платформе Mastercam

Так, компания *Verisurf* предлагает комплексное решение *Master3DGage*, состоящее из портативной КИМ и оригинального софта для контроля размеров после обработки, функционирующего на платформе *Mastercam*.

Компания *Delcam* поставляет *PowerINSPECT* – автономную систему, которая обеспечивает единую пользовательскую среду для инспекции с помощью различных технических устройств, включая КИМ (ручные и с ЧПУ), средства контроля под названием “руки”, лазерные датчики (*probes*) и инструменты, закрепляемые на станках с ЧПУ. Полученные результаты измерения сравниваются с компьютерной моделью детали, а информацию об отклонениях пользователь получает из отчетов.

Компания *PAS Technology* поставляет *PAS CMM* – новый программный продукт, который предлагает дальнейшую автоматизацию за счет использования поэлементной технологии, автоматического распознавания элементов и улучшенных инструментов анализа для оценки САД-модели.



Обрезка твёрдого тела поверхностью в гибридном моделиере

8 Симуляция обработки становится всё более реалистичной

Значительные усовершенствования претерпел функционал программных средств для симуляции обработки, верификации траекторий и рендеринга, предлагаемых компаниями *MachineWorks* и *CGTech*, с которыми сотрудничают многие разработчики САМ-систем.

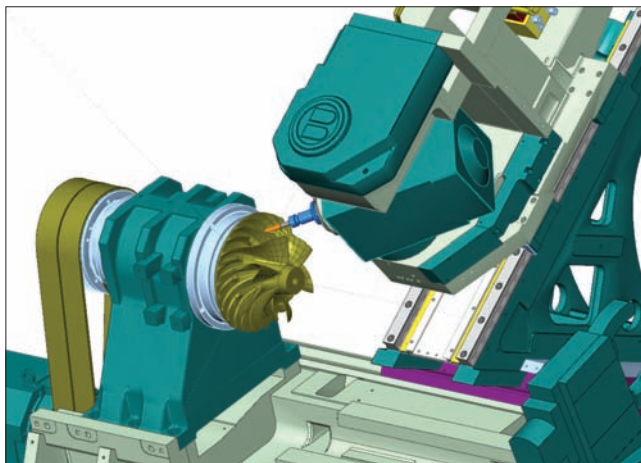
Реалистичная симуляция всего процесса обработки, включая перемещения заготовки, режущих инструментов, державок и других частей станка, дает пользователю полную картину станочной обработки. Особенно важное значение это имеет в случае многоосевой обработки.

Средства верификации траектории обработки позволяют проверить её корректность наглядным образом. В процессе имитации съема материала выявляются столкновения инструмента и заготовки, наличие выемок и резцов, расхождения между исходной 3D-моделью и обрабатываемой деталью. Функция сравнения полученной в результате обработки 3D-модели с исходной дает возможность точно определить оставшийся припуск.

ПО для рендеринга обеспечивает фотореалистичность отображения; при этом пользователь может управлять качеством отображения.

Сегодня ПО для верификации и симуляции становится всё более тесно интегрированным с ПО для генерации УП. Ввиду усложнения продукции и процессов обработки, существенно повышается важность их визуализации для технологов-программистов, специалистов цеховых подразделений и операторов станков с ЧПУ.

Совершенствование систем ЧПУ (стоек управления, контроллеров), увеличение производительности систем нового поколения, способствует тому, что всё больше задач, включая симуляцию, теперь можно выполнять непосредственно на стойке. Такая симуляция может служить в качестве последнего этапа проверки УП, а также для контроля обработки в случае, когда видимость в рабочей зоне станка является недостаточной (например,



Реалистичная симуляция процесса пятиосевой фрезерной обработки

она закрыта кожухом для предотвращения утечки СОЖ).

Симуляция последующих этапов обработки (функция “заглядывания вперед” – *look-ahead*) может вестись одновременно с текущей обработкой детали, что позволяет выявлять столкновения до того, как обработка должна будет прерваться.

Примечательно, что в настоящий момент одним из основных поставщиков контроллеров для станков с ЧПУ и одновременно САМ-средств для них (*NX CAM*) является *Siemens*. Таким образом, эта компания способна включить ПО для контроллеров в свою САМ-систему и обеспечить полную симуляцию обработки, опирающуюся на:

- фактические характеристики станка;
- G- и M-коды управляющей программы;
- фактическое ПО стойки управления.

9 Консолидация САМ-вендоров

Сегодня САМ-рынок всё еще остается очень фрагментированным: за свою долю борются более 50-ти вендоров по всему миру. Впрочем, толпа претендентов постепенно редет. В последнее время такие компании, как *Cimatron*, *Delcam* и *Planit Holdings* присоединили к себе других, менее крупных разработчиков САМ-систем, с целью получить уникальные технологии, расширить набор предлагаемых решений, а также увеличить долю рынка и сеть дистрибьюторов.

10 Восприятие САМ в качестве составляющей PLM

Концепция *PLM* в процессе своего превращения в конкретные технологии постепенно овладела умами. Сегодня она охватывает ряд компонентов, которые поначалу многие считали независимыми (*CAD*, *CAM*, *CAE*, *PDM* и цифровое производство). Это привело к тому, что интеграция компонентов *PLM* на уровне данных стала более тесной. Внедрение САМ- или *CAD/CAM*-систем теперь зачастую рассматривается пользователями как составляющая более общего процесса внедрения *PLM*.

Тройка главных *PLM*-поставщиков (*Dassault Systèmes*, *Siemens PLM Software* и *PTC*) обеспечивает управление САМ-данными и рабочими процедурами в своей *PLM*-среде. Системы САМ, *CMM* и другое ПО, которое используется в производственном цехе, включены в фирменный набор цифровых производственных решений. С другой стороны, некоторые САМ-ориентированные вендоры (такие, как *Missler Software*) сегодня предлагают *PDM*-средства собственной разработки.

В дальнейшем САМ-системы продолжают курс на всё более тесную интеграцию с *CAD*-средствами в единой среде одного вендора. Например, компании *SolidCAM*, *OPEN MIND Technologies*, *Geometric Technologies*, *CNC Software (Mastercam)* имеют статус “Золотого партнера *SolidWorks*” и аналогичные свидетельства тесного сотрудничества от разработчиков других популярных *CAD*-продуктов (*Solid Edge*, *Inventor*). ☺