

органами станка, адекватная САМ-система подготовки управляющих программ и т.д. Но все же, определяющим критерием оценки принципиальной возможности обработки по заданной траектории для HSM-обработки является динамическая характеристика приводов подачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Степанов, А. Высокоскоростное фрезерование в современном производстве // CAD/CAM/CAE Observer. – 2003. – №3(12); №4(13); №5(14). 2. Металлорежущий инструмент Sandvic Coromant. Основной каталог. 2009.

УДК 621.91.01

Бжезинский А.А., Колесников Л.А.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ САМ-ПАКЕТОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Использование программных продуктов (пакетов) при разработке программ для станков с ЧПУ (Computer Aided Manufacturing или САМ), в особенности для фрезерных, в настоящее время является одним из наиболее эффективных способов повышения эффективности машиностроительного производства. Для оптимального выбора того или иного пакета для нужд конкретного производства полезно представлять основные тенденции развития этого класса программных продуктов.

Хотя в мире существуют десятки САМ-пакетов, действительно новые возможности широко внедряют, как правило, только большие и богатые компании-разработчики. Если вдруг хорошая идея и родилась в маленькой фирме, то эту фирму (вместе с идеей) практически сразу покупают такие компании. Поэтому с точки зрения анализа тенденций развития САМ-пакетов достаточно рассмотреть инновации, внедряемые весьма ограниченным кругом компаний. Это, в первую очередь, разработчики САПР высшего уровня CATIA (Dassault); Pro/Engineer Wildfire (PTC); Siemens PLM Solution (NX, Unigraphics), а также «чистых» САМ (CAD/CAM) пакетов – Power Solution (Delcam) и Mastercam (CNC Software). Подавляющее большинство инженеров-технологов в Европе и Америке работают именно в этих пакетах.

Анализ тенденций развития САМ-пакетов проводился на основе перечня новых возможностей, предлагаемых выбранными компаниями в очередных версиях своих пакетов, а также по информационным сообщениям в сети Интернет за период 2005...2009 годы. При этом специально не выделялось, кто именно первым предложил то ли иное нововведение. Связано это с тем, что действительно хорошая идея или новая полезная функциональность, предлагаемая какой-либо фирмой-разработчиком, очень быстро внедряется конкурентами.

По результатам проведенного анализа в настоящий момент можно выделить следующие основные направления совершенствования САМ-пакетов (или САМ-модулей в интегрированных САПР):

- улучшение интерфейса;
- повышение интероперабельности;
- совершенствование САД-составляющей;
- совершенствование возможностей по высокоскоростной механообработке (HSM);
- расширение поддержки многосековой обработки;
- расширение поддержки технологии автоматической разработки программ (Feature);
- расширение предопределенных типов траекторий движения инструмента;
- расширение областей применения пакетов;

В качестве примера визуализации выявленных тенденций на рис. 1 представлен график зависимости нововведений по годам для CAD/CAM пакета Mastercam. Например, хорошо заметен «взрывной» рост числа нововведений в области многоосевой обработки и технологии Feature, при этом в области совершенствования встроенных CAD-модулей наблюдается некоторый спад.

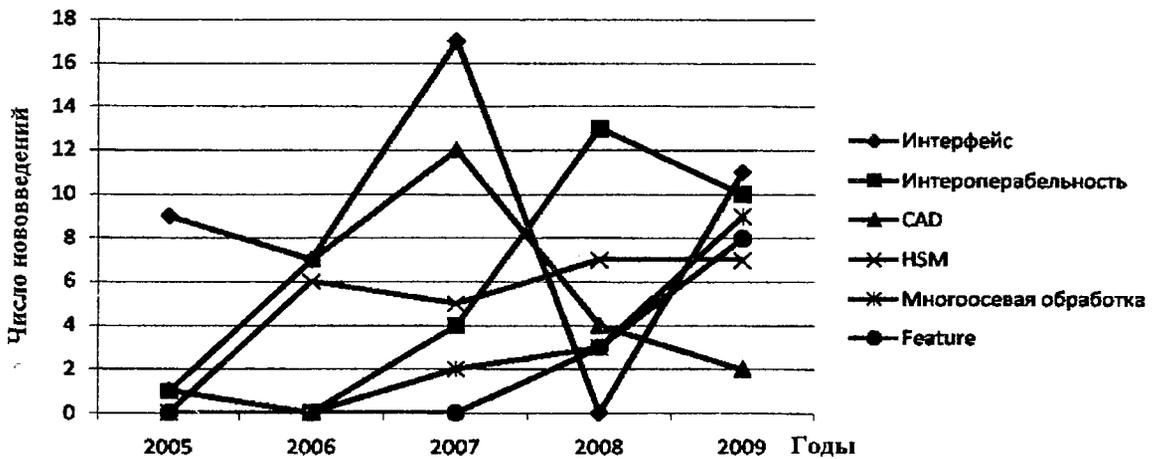


Рис. 1. Виды изменений по годам при совершенствовании САМ-пакета Mastercam

Интересно, что тенденции развития САМ-систем, выявленные из анализа нововведений, достаточно хорошо совпадает с теми, которые считает наиболее важными Alan Christman, председатель совета директоров CIMdata, самой авторитетной аналитической компании в области САПР [1]. Это:

- поддержка многоосевой обработки на многофункциональных и многошпиндельных станках, с большим (до 22) числом независимых осей перемещений;
- высокоскоростная механообработка, в том числе использование присущих ей гладких траекторий при обычной обработке;
- дальнейшее развитие автоматического программирования на основе типовых геометрических элементов (features);
- разработка процесс-ориентированных пакетов;
- гибридное геометрическое моделирование;
- поддержка использования координатно-измерительных машин;
- реалистичная симуляция обработки и проверки траекторий движения инструмента;
- слияние (покупка) компаний-разработчиков САМ;
- более тесная интеграция САМ-пакетов со сторонними САД-пакетами и улучшение собственных модулей геометрических построений.

Кратко прокомментируем выявленные тенденции. Совершенствование интерфейса – весьма благодарный процесс для фирмы-разработчика пакета. Наглядные и очевидные изменения внешнего вида являются весомым аргументом в пользу обновления версии для старых пользователей (точнее, для людей, принимающих решения о выделении средств) или дополнительным подтверждением динамичного развития продукта для инженеров, ищущих современный САМ-пакет. Поэтому процесс обновления интерфейса является непрерывным. Количество изменений, повышающих удобство работы пользователя, наглядность выполняемых действий и т.д., остается, в среднем, постоянным от версии к версии. Дополнительной особенностью текущего момента являются тенденция повсеместной переделки интерфейса по образцу (или хотя бы с отдельными элементами оформления) Windows Vista.

Под интероперабельностью, как правило, понимают возможность передачи данных между различными модулями САПР, в частности, между CAD и CAM-модулями. К сожалению, искажение геометрии при передаче данных является одной из самых болезненных проблем в современных САПР. Например, твердое тело может передаваться как набор не «склеенных» между собой поверхностей или просто как совокупность ребер. Еще хуже, если во внешне безукоризненной модели образуются микроскопические «осколки» или «щели». В любом случае искажения геометрии самым негативным образом сказываются на правильности создания траекторий при программировании обработки.

Теоретически, решение этой проблемы лежит в передаче геометрических данных через стандартные промежуточные форматы (Parasolid, ACIS, STEP, IGES, ...). На практике, разработчики САМ-пакетов пытаются договориться с разработчиками CAD-пакетов и каким-то образом обеспечить передачу данных с минимальными искажениями. В зависимости от успеха этих мероприятий тот или иной САМ-пакет объявляется «золотым» или «платиновым» партнером какого-нибудь конкретного CAD-пакета. Например, MasterCAM является партнером SolidWorks, Autodesk Inventor. Это, правда, не гарантирует от ошибок при передаче достаточно сложной геометрии (пресс-форма, лопатка турбины и т.п.).

При выпуске каждой новой версии «дружественного» CAD-пакета в партнерском САМ-пакете происходит обновление соответствующих ему трансляторов данных. Поэтому мероприятия, направленные на повышения интероперабельности, присущи практически каждой новой версии как «чистых» CAD/CAM пакетов, так и САПР высшего уровня. Последнее объясняется необходимостью обеспечить обработку деталей, созданных сторонними разработчиками, в САМ-модуле пакета САПР высшего уровня.

Улучшения в функциональности встроенных CAD-модулей носят вспомогательный характер и в первую очередь направлены на возможность редактирования и «лечения» геометрической модели детали, полученной из CAD-пакета. Это может быть, например, «зашивка» ненужных на данной стадии обработки отверстий, исправление ошибок при трансляции и т.д. Производителями САМ-пакетов в этом направлении ведется постоянная работа, тем не менее, заметна тенденция к переносу центра тяжести работ на более тесную интеграцию с «настоящими» CAD-пакетами (в первую очередь, по повышению качества трансляции геометрии).

Высокоскоростная обработка (HSM) в последние годы стало одним из самых «модных» направлений. Связано это, в первую очередь, с ее высокой производительностью (типичные значения режимов резания приведены в таблице 1, [2]). Второй практически важной особенностью HSM является высокая чистота обработанной поверхности, что позволяет в ряде случаев отказаться от финишного шлифования и электроэрозионной обработки, что особенно актуально для закаленных стальных поверхностей. С точки зрения САМ, самой важной особенностью HSM является необходимость обеспечения постоянного сечения стружки и плавной, без резких изменений направления, траектории инструмента.

В настоящее время «классическую» HSM могут себе позволить только богатые предприятия. Станки, тем более 5-осевые, способные обеспечить высокоскоростную механообработку, все еще очень и очень недешевое решение. Инструменты (фрезы) для HSM должны быть выполнены с предельным отклонением радиуса режущей кромки не более 0.01 мм, что в несколько раз выше, чем показатели для обычного инструмента и соответствующим образом влияет на стоимость [3].

Таблица 1 – Типовые значения параметров резания при высокоскоростной обработке

Параметры резания при HSM-обработке	Алюминиевые сплавы	Закаленная сталь
Скорость резания (м/мин)	до 5000	до 250
Глубина резания (мм)	50% от $D_{\text{фрезы}}$	0,05...0,5
Рабочая подача (м/мин)	до 15	до 3

Поэтому для минимальной окупаемости станки для HSM должны быть загружены в режиме «24/7/365». Обеспечить такой поток заказов может только небольшое число предприятий, связанных с механообработкой крупногабаритных деталей из алюминиевых сплавов в произ-

водстве автомобилей или медицинских устройств, предприятия авиационно-космической промышленности, а также наиболее крупные изготовители формирующего инструмента.

Вместе с тем выяснилось, что гладкие траектории, полученные в HSM-модулях САМ-пакетов, весьма благотворно влияют на стойкость инструмента и при обработке на более традиционных режимах резания. Этот факт существенно расширяет изначально достаточно узкую область применения САМ-модулей для HSM. Поэтому область их использования расширяется непропорционально быстрее развитию собственно HSM.

С точки зрения развития технологии HSM можно выделить CATIA и Siemens PLM Software (NX, Unigraphics). CATIA предлагает возможность гладкой обработки «граненных» поверхностей, переданных в пакет, например, в STL-формате. Siemens PLM Software (NX, Unigraphics) использует технологию, известную как Streamline Toolpath. Эта технология позволяет автоматически находить траекторию инструмента, обеспечивающую максимальную чистоту обрабатываемой поверхности, с учетом рядом расположенных поверхностей.

В последние 2...3 года происходит интенсивный процесс слияния и поглощений фирм-разработчиков САМ. Наибольшая активность наблюдалась со стороны Cimatron, Delcam и Planit Holdings. Следует специально отметить, что этот процесс начался до наступления кризиса 2008 года, на фоне относительно стабильного положения в машиностроении, даже с тенденцией к некоторому росту. Поэтому с достаточной долей уверенности можно утверждать, что это явление внутренне присуще САМ-отрасли и будет иметь продолжение и в следующие годы.

В настоящее время происходит медленное, но уверенное вытеснение 3-осевого фрезерования 5-осевым, особенно в области изготовления пресс-форм, штампов и других формообразующих инструментов. Связано это как с очевидными преимуществами 5-осевого фрезерования, так и со снижением цен на 5-осевые станки. Особенно заметен рост использования 5-осевого фрезерования в Европе, что, вероятно, связано с усилением конкуренции со стороны быстро набирающих опыт китайских производителей оснастки. Особое внимание совершенствованию 5-осевой обработке уделяют такие компании, как Missler Software (TopSolidCAM), Gibbs&Associates (Gibbs), Planir Holdings (EdgeCAM), DP Tehnology (Esprit). Интересно также отметить, что некоторые фирмы (например, Delcam и Missler) предлагают опцию по автоматическому преобразованию 3-осевой траектории обработки (более простую в программировании) в 5-осевую, с заданными параметрами ориентации фрезы относительно обрабатываемой поверхности.

В последние несколько лет бурно развивается новый подход в программировании обработки, который называют FeatureBased Machining (FBM, Feature). В основе такого подхода лежит автоматическое распознавание элементов твердотельной модели и автоматическая же обработка этих элементов на базе технологически знаний, заложенных в САМ-пакет. Таким образом, технология Feature не только определяет форму обрабатываемого элемента, но и также включает в себя ассоциативные с ней операции обработки [4, 5].

В идеале, чтобы получить управляющую программу, инженер-технолог должен импортировать (или построить во встроенном САД-модуле) твердотельную модель детали. Далее пакет, используя технологию Feature, автоматически распознает типовые конструктивные элементы (отверстия, выступы, карманы, плоскости, пазы и т.д.). Затем, также автоматически, на основе материала и геометрии детали, назначается наиболее подходящий инструмент, выбираются зоны обработки, определяется последовательность операций обработки (черновых и чистовых), припуск разбивается на проходы, назначаются режимы обработки, формируются траектории и, наконец, генерируется программа для ЧПУ.

Изначально в системе существуют шаблоны обработки типовых элементов, которые при желании, могут быть дополнены новыми шаблонами самими пользователями в виде набора правил, формул и т.д., на основе которых система автоматически будет определять зоны обработки, создавать контуры зон обработки, подбирать подходящий инструмент. Безусловно, инженер может внести любые изменения в решения, принятые пакетом. Кроме того, он может настроить систему так, чтобы в дальнейшем все подобные элементы обрабатывались так же в автоматическом режиме, но уже по скорректированной технологии.

Подобный подход называется еще «knowledge-based machining» (основанный на знаниях экспертный подход для решения задач обработки). Он позволяет системе накапливать в базе

данных знания о способах обработки, наилучших для конкретного производства типичных конструктивных элементов. Такой подход позволяет практически полностью автоматизировать создание технологии обработки деталей низкой и средней сложности и заметно упростить разработку технологии обработки деталей высокой сложности.

Расширение областей применения САМ-пакетов заключается, в первую очередь, в разработке отдельных модулей (на базе существующих решений) для узких областей использования. Фантазия разработчиков варьируется от решений для деревообработки (например, Router от MasterCAM) до разработки ювелирных изделий (ArtCAM JewelSmith), фурнитуры и даже специальных пакетов для проектирования обуви (Delcam Crispin), обработки зубных коронок стоматологии (Delcam DentMill) и т.д. Как правило, интерфейс таких пакетов широко использует методику «помощников» (wizard), хотя при желании пользователи могут добавить свои правила обработки, учитывающие традиции предприятия.

Анализ тенденций развития САМ-пакетов может оказаться полезным не только при выборе собственно программы, но и для анализа тенденций развития станков и инструментов. Связано это с тем, что разработчики САМ-пакетов ориентируются на наиболее богатых и успешных производителей. Успех в области машиностроения, как правило, определяется технологическим уровнем предприятия, использованием самого современного оборудования и прогрессивных технологических процессов. Поэтому можно предположить, что требования потребителей такого уровня, которые учитываются при совершенствовании САМ-пакетов, отражают передовые тенденции в развитии машиностроения в целом. Иными словами, тот функционал, который предлагают разработчики САМ-пакетов для «элитных» фирм сегодня, станет стандартом де-факто для тысяч «обычных» потребителей завтра. Поэтому анализ тенденций развития САМ-пакетов, помимо прочего, может оказаться полезным при формулировке технических требований к массовым станкам и инструменту ближайшего будущего.

ЛИТЕРАТУРА

1. Alan Christman. Technology And Trends In CAM Software. – Article From MMSOnline.com, 01.11.2008.
2. Степанов, А. Высокоскоростное фрезерование в современном производстве // CAD/CAM/CAE Observer. – 2003. – №3(12); №4(13); №5(14).
3. Краюшкин В. Новая версия Pro/TOOLMAKER – новые возможности высокоскоростной механообработки // Рациональное управление предприятием. – 2008. – №4. – С. 66...70.
4. Иво Липсте Feature Based Machining в Mastercam X3 // CAD/CAM/CAE Observer. – 2008. – №5(41). – С. 62...65; №6(42). – С. 54...56.
5. Иво Липсте, А.Смирнов Июньский САМ-марафон, или даешь Mastercam X4! // CAD/CAM/CAE Observer. – 2009. – №5(49). – С. 93...96.

УДК 621.833

Бохан С.Г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ОБКАТЫВАНИЯ РОЛИКОМ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ОСЕЙ ТРАМВАЙНЫХ ТЕЛЕЖЕК

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Целью настоящего исследования явилось определение возможности упрочнения осей трамвайных тележек с применением механических накатных устройств с упругим силовым элементом. Технологическую сложность процесса упрочнения методами ППД такого типа деталей определяет необходимость применения больших усилий обкатывания, а использования для их создания гидравлических приспособлений в значительной мере удорожает процесс упрочнения. Отсюда следует потребность в более подробном рассмотрении процессов в зоне кон-