

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ СКВОЗНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО, ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ В АВИАЦИОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

©2009 А. А. Казаков<sup>1</sup>, А. Г. Конюхов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НПК «Крона», г. Ижевск

<sup>2</sup>РСК «Миг», г. Москва

В статье описан опыт применения интегрированной CAD/CAM/CAPP системы для создания высокоскоростной и высокопроизводительной обработки на предприятиях авиационной промышленности. Рассмотрены наиболее важные аспекты обработки, влияющие на эффективность выборки. Представлены новые высокопроизводительные схемы обработки. Приведены практические результаты обработки деталей из алюминиевых сплавов и жаропрочных нержавеющей сталей.

*Высокоскоростное фрезерование, ADEM-VX, авиационная промышленность, толщина стружки, гладкость траектории, подача на зуб*

Авиастроение – очень показательная отрасль. Детали самолетов имеют довольно сложные формы и, как никакие другие, требуют комбинации различных стратегий обработки – обычное 2.5 и 3- координатное фрезерование, 3+2 и 5-координатная осевая обработка. Следовательно, и требования, предъявляемые технологами авиапредприятий к САМ-системам, особые. Во-первых, они должны иметь возможность совмещения всех видов обработки в одной управляющей программе. Во-вторых, максимально учитывать возможности станка – например, обеспечивать зажим угловых осей для повышения жесткости и др. В-третьих, они обязаны уметь если не все, то многое - при этом хорошо и быстро.

Что значит хорошо? То, что УП должна приводить к появлению годной детали – это даже не обсуждается. А вот насколько быстро и эффективно это достигается – мы и обсудим. Какие же критерии стоит считать основными при создании высокоскоростной и высокоэффективной обработки? Если говорить о больших скоростях, то наиболее важным, на наш взгляд, является выдерживание постоянной толщины стружки, снимаемой каждым зубом фрезы.

Второй по значимости является возможность создания гладких траекторий. В то же время для увеличения эффективности (читай скорости удаления материала) следует применять более производительные схемы

обработки. Следовательно, для увеличения скорости и эффективности фрезерования необходимо, чтобы САМ-система сочетала в себе три возможности:

1. Обеспечение постоянства толщины стружки.
2. Обеспечение гладкости создаваемой траектории.
3. Применение высокоэффективных схем выборки.

Большинство производителей инструмента при выборе рекомендуемых режимов резания указывают подачу на зуб. Конечно, ее можно использовать при задании высокоскоростной обработки, но с определенными ограничениями. *Подача на зуб* позволяет достоверно определять усилие резания только для припусков, которые равны или больше радиуса инструмента.

При меньших значениях припуска правильно определить усилие резания при помощи подачи на зуб практически невозможно. В результате необходимая сила резания не создается и происходит проскальзывание режущей кромки, особенно если снимаемый припуск меньше радиуса заточки фрезы. Такая ситуация, например, постоянно возникает при использовании трохойдальной обработки, поскольку происходит постоянное изменение снимаемого припуска и кривизны траектории.

Следовательно, наиболее эффективным механизмом определения усилий резания яв-

ляется задание толщины стружки. С ее помощью можно описать процесс обработки при любых значениях снимаемого припуска. Не случайно существует такое понятие, как минимальная толщина снимаемого слоя материала заготовки.

К сожалению, отдельного параметра, определяющего толщину стружки, в каталогах производителей инструмента мы найти не смогли, хотя это понятие было введено в практику более 10 лет назад. Определение оптимальной толщины стружки является основной задачей технолога. Назначая толщину стружки, за основу можно брать значение подачи на зуб, при этом на малых съемах реальная подача на зуб может быть увеличена в 1.5-2 и более раз.

И, как было сказано выше, обеспечение постоянства толщины стружки - это задача САМ-системы. Поэтому, опираясь на значение оптимальной толщины стружки, величину оборотов шпинделя, параметры инструмента и толщину снимаемого припуска, АДЕМ автоматически рассчитывает значение минутной подачи для каждого перемещения. При необходимости выполняется разбиение проходов на части, например, при входе в углы и выходе или при любом другом изменении припуска. В случаях, когда величина снимаемого припуска получается больше радиуса инструмента, значение толщины стружки трактуется как подача на зуб, а минутная подача, рассчитанная по этому значению, не меняется по ходу обработки.

Для более гибкого управления расчетом режимов резания, кроме оптимального значения толщины стружки АДЕМ позволяет указывать ее минимальные и максимальные значения, а для исключения неконтролируемого роста минутной подачи, которая может превышать максимальное для станка значение, ввести ограничивающий коэффициент. При визуализации изменения подачи участки траектории, на которых такая смена происходит, отображаются различными цветами (рис 1).

Следующим фактором, влияющим на оптимальность режимов обработки и общую эффективность управляющей программы, является гладкость создаваемых САМ-системой траекторий.

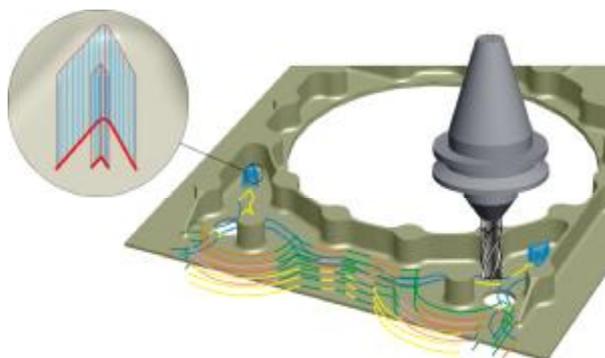


Рис. 1. Оптимизация подачи по толщине стружки подбор необработанных зон

Основная задача, которую решают гладкие траектории, это исключение резких переломов, что на больших скоростях приводит к чрезмерным нагрузкам на приводы станка и, как следствие, - уменьшению рабочей подачи. Последнее, в свою очередь, нарушает оптимальные режимы обработки, что приводит к искажению получаемой геометрии детали.

Но сама по себе гладкая траектория не обеспечивает постоянства режимов обработки, поскольку даже в этом случае будет иметь место сброс подачи станком. Следовательно, при любых изменениях траектории, даже гладких, условие постоянства толщины стружки должно сохраняться. Поэтому мы и вынесли критерий «гладкость траектории» на второе место.

Способ, которым обычно достигается гладкость, - это скругление всех участков перегиба радиусом определенного значения. Но скруглять абсолютно все изломы траектории необязательно. В нашей практике встречались станки, которые совершенно спокойно проходили участки с небольшим перегибом без торможения, поэтому оптимальным является решение, когда гладкость обеспечивается только в том случае, когда угол перелома траектории получается больше заданного значения. Как правило, это пороговое значение указывается производителем станка или определяется экспериментально. Именно таким образом возможности построения гладких траекторий реализованы в системе АДЕМ.

Часто можно услышать мнение о том, что гладкими должны быть все перемещения, как движения на подаче, так и на холостом ходу. На наш взгляд, в этом нет боль-

шой необходимости. Большинство систем ЧПУ трактуют ускоренные перемещения как быстрое позиционирование, которое выполняется с обязательным торможением в конце. Поэтому лучше иметь несколько длинных перемещений с перегибом, чем множество гладких, но коротких. Тем не менее, возможность создания гладких траекторий на холостом ходу в АДЕМе реализована и пользователь может выбрать нужный ему вариант: как правило, такие перемещения заменяются постпроцессором на движения с максимально возможной подачей, но это будут уже команды G1, а не G0.

В нашей системе можно найти еще одну возможность, связанную с позиционированием при высокоскоростном фрезеровании. Ее применение сокращает время работы управляющей программы примерно на 20% - это гладкий выход на участки с холостым ходом (рис. 2).

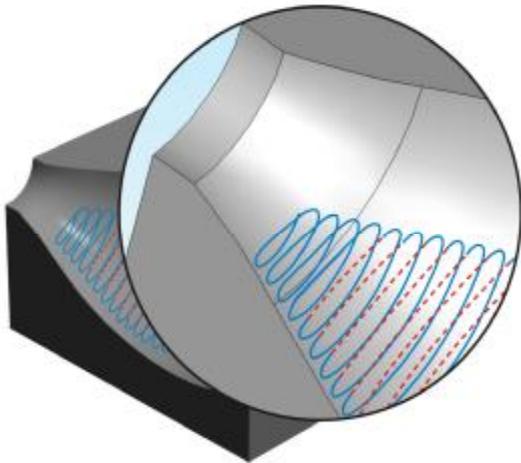


Рис. 2. Гладкий выход на ускоренное Позиционирование

Но такой подход реализован в АДЕМе пока только для схемы обработки «Петля» при трёхкоординатном фрезеровании.

И наконец, третий пункт - применение эффективных схем выборки. В АДЕМе существует достаточное количество различных видов траекторий, используя которые можно добиться нужного результата. Но поиск и реализация новых вариантов ведется непрерывно. Так в ходе практических работ, проведенных нашей компанией совместно со специалистами РСК «МИГ», были созданы рекомендации, позволяющие повысить эффективность черновой выборки. Эти рекомендации легли в основу разработки новых и

доработки существующих схем фрезерования. Было установлено, что одной из наиболее эффективных схем, дающей превосходные результаты по скорости удаления материала конструктивных элементов типа «Колодец» или «Окно», является спиральная эквидистантная траектория. При этом расстояние между соседними спиралями может достигать до 70% от диаметра инструмента. Система АДЕМ автоматически выделяет зоны обработки и строит спираль в каждой из них, опять же с учетом оптимальной толщины стружки. Заметим, что необходимость во врезании при такой схеме отсутствует, а количество холостых ходов сводится к минимуму (рис. 3).

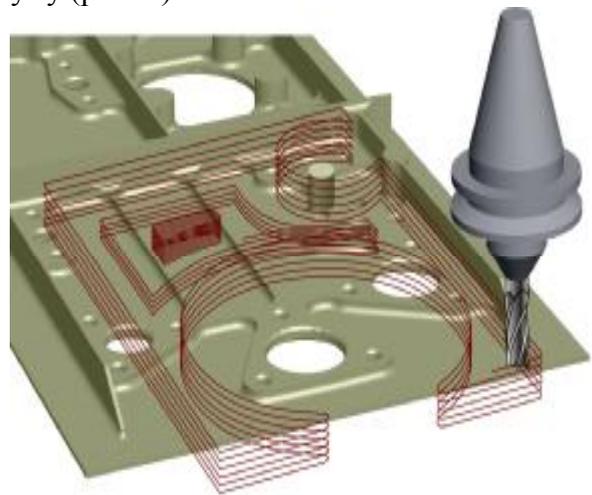


Рис. 3. Спиральная эквидистантная обработка колодца

Для «безаварийной» обработки по вышеуказанной схеме САМ-система должна обеспечить заданную глубину врезания каждого прохода, а при превышении максимально допустимого угла - автоматически уменьшать глубину врезания, а также обеспечить необходимую длину первого прохода, которая гарантирует отсутствие контакта нерабочей части торца фрезы с заготовкой. Заметим, что АДЕМ обеспечивает эти условия в автоматическом режиме.

Учитывая габариты деталей, обрабатываемых в авиационной промышленности, диаметр инструмента при такой выборке обычно лежит в пределах 30-40 мм. Это, в свою очередь, приводит к образованию «необработанных зон» - участков детали, куда инструмент физически не может проникнуть.

В таких случаях система АДЕМ запоминает эти участки и дает возможность их

последующей доработки инструментом меньшего диаметра. Но доработку можно проводить различными способами: описанной выше спиралью, с применением трохoidalной выборки и пр. Как ни странно, но использование трохoidalной обработки, которая считается наиболее привлекательной в этом случае, приводило к достаточно ощутимым вибрациям при последующей чистовой обработке.

Для обхода этой проблемы мы предлагаем использовать для подбора плунжерное фрезерование (рис.1). Данная схема обработки как бы высверливает материал на заданную глубину. Несмотря на то, что «плунжерка» оставляет на стенке гребешки, при последующих чистовых проходах вибрация ощутимо уменьшилась. В то же время плунжерная обработка, в виду того что основное усилие резания направлено вдоль оси инструмента, обеспечивает очень высокую скорость удаления материала.

Эффективность описанных методов была проверена при обработке различных материалов. Все тесты проводились на двух станках:

- Пятикоординатный станок фирмы HANDTMANN, модель UBZ-300. Данный станок при мощности шпинделя в 64 кВт и скорости вращения 16000 об/мин обеспечивает скорость перемещения на подаче 24 м/мин. Этот станок использовался для обработки высокопрочной нержавеющей стали и алюминиевых сплавов.

- WILLEMEN-MAKODEL M-920. Данный станок при мощности шпинделя в 11 кВт и скорости вращения 6000 об/мин обеспечивает скорость перемещения на подаче 12 м/мин. Этот станок использовался для обработки алюминия.

При черновой выборке окна (рис. 4) на детали из высокопрочной нержавеющей стали фрезой HM90 E90A-D32-4-M16 фирмы ISCAR была достигнута скорость удаления материала 18 кг/ч (при рекомендуемом НИАТ для этого материала максимальном значении в 5 кг/ч!). Использовались следующие режимы: скорость вращения шпинделя – 994 об/мин, толщина стружки – 0.18 мм. При этом эффективность использо-

вания инструмента возросла примерно в 2...3 раза.



Рис. 4. Черновая спиральная выборка окна

При фрезеровании более «легких» материалов результаты были еще заметнее. Обработывался фрагмент детали из алюминиевого сплава Д-19 с малым припуском трехзубой фрезой диаметром 20 мм. Скорость вращения шпинделя – 5500 об/мин. При активизации функции постоянной толщины стружки подача достигала значения 11800 мм/мин. Таким образом, подача на зуб составила 0,72 мм и превысила номинальную подачу (рекомендуемую производителем инструмента) почти в три раза.

Итак, из всего вышесказанного мы можем сделать вывод – для получения максимальной скорости удаления материала необходимо использовать все три описанные составляющие. Благодаря им мы получили результаты, позволяющие говорить о сокращении времени работы УП, созданных в системе ADEM-VX, минимум в два раза по сравнению с аналогичными САМ-системами, используемыми в авиационной промышленности. И достигается это, в первую очередь, благодаря постоянству толщины стружки. Применение современных схем обработки без этого неэффективно, а получение высокоскоростной и высокопроизводительной обработки просто невозможно.

#### Библиографический список

1. Быков, А.В. ADEM CAD/CAM/TDM. Черчение, моделирование, механообработка/ А.В. Быков, В.В. Силин, В.В. Семенников.- СПб.: БХВ-Петербург, 2003.
2. Гжиров, Р.И. Программирование обработки на станках с ЧПУ/ Р.И. Гжиров, П.П. Серебrenникий. М.: Машиностроение, 1990.

**References**

1. Bykov A. and others «ADEM CAD/CAM/TDM. Drawing, modeling, machining», BHV-Peterburg, 2003.
2. Gzhirov R., Serebrenitsky P., «CNC Machining», Mashinostroenie, 1990

**EXPERIENCE OF USING THE END-TO-END DESIGN SYSTEMS FOR ENGINEERING OF HIGH-SPEED AND HIGH-EFFICIENCY MACHINING IN AIRCRAFT INDUSTRY**©2009 A. A. Kazakov<sup>1</sup>, A. V. Konuhov<sup>2</sup><sup>1</sup> Krona, Izhevsk<sup>2</sup> Mig, Moscow

This article describes the actual experience with the integrated CAD/CAM system for the high-speed and high-efficiency machining in the aircraft industry. Author examines the most important aspects of the machining, influencing the efficiency of the selection. New high-performance cut-maps are presented in the article. It also contains the practical results of machining of parts made of the aluminum alloy and stainless heat-resistant steel.

*Integrated CAD/CAM, high-speed machining, high-efficiency machining, aircraft industry, practical results of machining*

**Информация об авторах**

**Казakov Алексей Александрович**, кандидат технических наук, директор центра разработок НПК «Крона». E-mail: [alex@adem.ru](mailto:alex@adem.ru). Область научных интересов: разработка систем технологической подготовки производства и создания управляющих программ для станков с числовым программным управлением.

**Конюхов Александр Геннадьевич**, заместитель начальника отдела ОАО "РСК "МиГ". Область научных интересов: высокоскоростная и высокоэффективная обработка на оборудовании с числовым программным управлением.

**Kazakov Alexey Alexandrovich**, candidate of Engineering Science, head of the development centre of NPK «Krona». E-mail: [alex@adem.ru](mailto:alex@adem.ru). Area of research: development of process-engineering systems, creation of control programs for CNC machine tools.

**Konuhov Alexander Gennadievich**, expert CAD/CAM, technologist, RSK «Mig». Area of research: development of process-engineering systems.