

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ КОНЦЕВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ

Медведев Ф.В., Пономарёв Б.Б., Черемных Е.А. (ИрГТУ, г. Иркутск, Россия)

Computer simulation techniques of the milling process dynamics are presented in this article. These methods are aimed at creating high-performance system of preproduction engineering, which is integrated with commercial CAD/CAM/CAE-systems. The algorithms and mathematical model of cutting conditions optimization have been developed using criterial solution of multiple-factor tasks, considering physico-geometric layout for profile NC machining of complex geometry parts.

Виртуальное моделирование процесса концевой фрезерования представляет большой интерес с точки зрения изучения физико-механических процессов, протекающих как в целом в системе «Станок-Приспособление-Инструмент-Деталь», так и в частности в зоне резания. Методика виртуального эксперимента, представленная в данной статье, ориентирована на формирование расчетной модели фрезерной обработки деталей сложной геометрии на станках с ЧПУ для изучения напряженно-деформированного состояния инструмента с учетом возникающей силы резания. Общий алгоритм, разработанный авторами данной статьи, ориентирован на получение автоматизированной системы оптимизации режимов резания, обеспечивающей наибольшую производительность многокоординатного фрезерования, а также повышение качества обрабатываемых поверхностей (рис. 1). В основе математической и расчетной моделей лежат основные положения теории резания металлов, а в качестве среды виртуального моделирования использована CAE-система LS-DYNA (компании LSTC), построенная на базе теории конечно-элементного анализа (Finite Element Analysis).

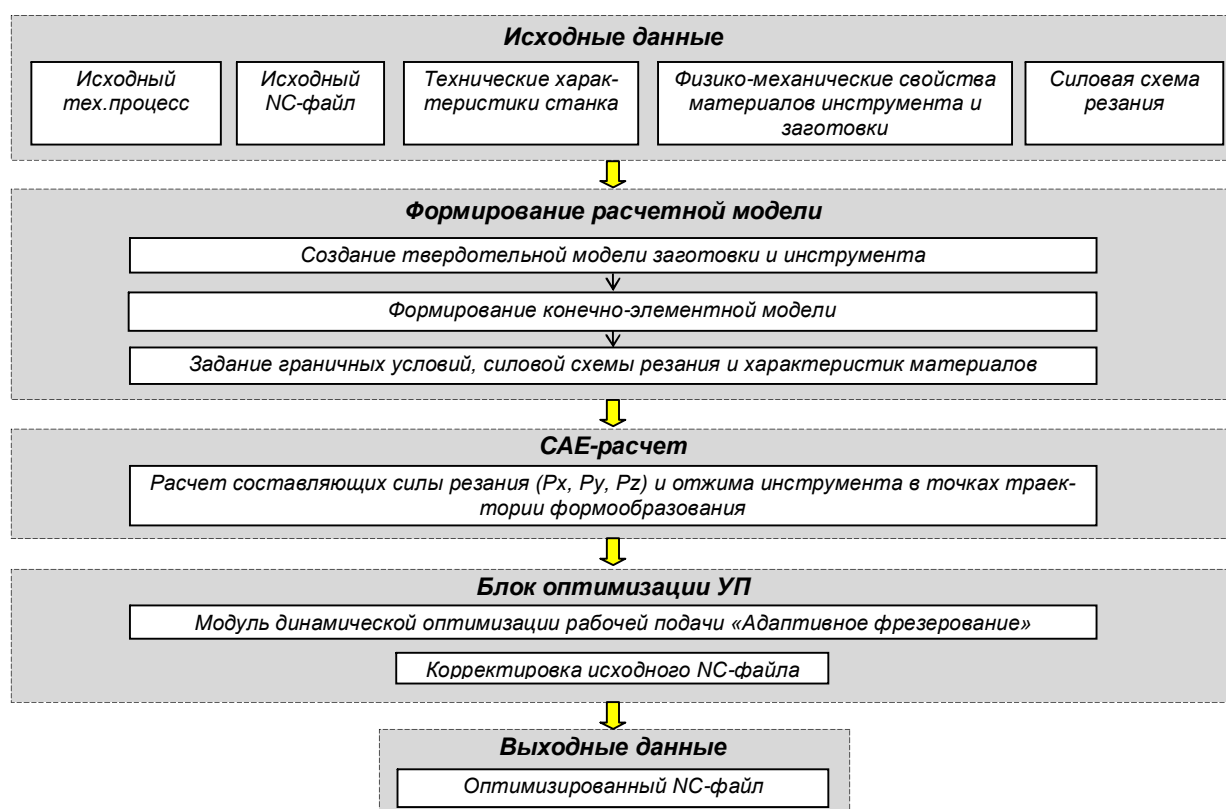


Рис. 1. Общий алгоритм работы адаптивной системы концевой фрезерования

Предполагается создать блок оптимизации режимов резания (БОРР) на этапе технологической подготовки производства, предназначенный для динамической корректировки рабочей подачи по траектории движения инструмента (ТДИ) в зависимости от силовой схемы резания и жесткости фрезы. Алгоритм ориентирован на максимальную производительность формообразования и повышение качества обработанных поверхностей путём минимизации отжима инструмента, а также исключения зарезов на участках с резким изменением ТДИ, где силы инерции. В результате расчетов БОРР формирует NC-файл, содержащий дополнительные строки управляющей программы (УП), который в дальнейшем транслируется на фрезерный станок с ЧПУ. Изменённые строки УП содержат скорректированные рабочие подачи, адаптированные под различные участки формообразующих движений инструмента.

Исходными данными для БОРР являются: 1) технологический процесс, разработанный на базе коммерческих САМ-систем, включающий последовательность технологических переходов, типо-размер используемого инструмента, а также исходный NC-файл с начальными режимами резания и траекторией движения инструмента; 2) технические характеристики станка (для проверки мощности фрезерования); 3) силовая схема резания; 4) физико-механические свойства инструмента и заготовки.

Блок оптимизации режимов резания принимает исходные данные для расчета деформации инструмента для каждой точки траектории фрезерования с учетом возникающих сил резания и корректирует рабочую подачу.

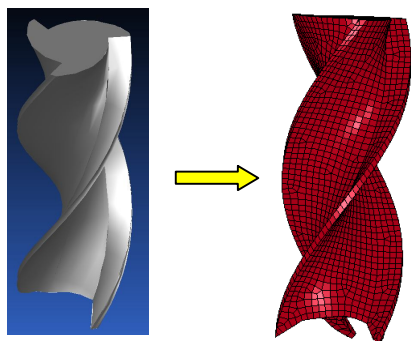


Рис. 2. Формирование конечно-элементной модели фрезы

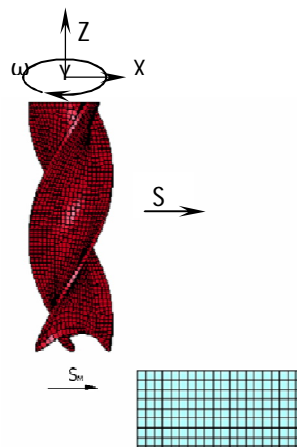


Рис. 3. Кинематика формообразования

Отдельные этапы моделирования концевой фрезерования на базе системы инженерного анализа LS-DYNA продемонстрированы на примере моделирования контурной обработки заготовки из алюминиевого сплава Д16Т концевой фрезой $\varnothing 5$ мм.

Первая стадия моделирования – создание твердотельной модели фрезы по её геометрии с использованием CAD-системы (в работе использовали систему автоматизированного проектирования PowerSHAPE компании Delcam plc). Следующий этап – формирование конечно-элементной модели фрезы на базе CAE-системы LS-DYNA и нанесение сетки 3-х и 4-х узловых конечных элементов на импортированную из системы PowerSHAPE модель. В результате преобразования получена конечно-элементная модель, состоящая из 3400 оболочечных Shell –элементов (рис 2.). Конечно-элементную модель заготовки можно создать непосредственно в системе LS-DYNA с использованием функции Mesh-Box_solid (построен параллелепипед, разбитый на 8-узловые Solid-элементы). По завершению работы с геометрической моделью задавали граничные условия для проведения расчета с учётом силовой схемы процесса фрезерования, контактных взаимодействий и физико-механических свойств обрабатываемого и инструментального материалов. Некоторые исходные данные приведены в таблице 1.

В качестве материала заготовки была выбрана модель *piecewise_linear_plasticity*. Этот тип материала – эластично-пластичный. Он учитывает напряжения и деформации, возникающие в материале при силовом нагружении. Система позволяет задать условия разрушения материала в зависимости от пластических деформаций или временной функции. Движение инструмента рассчитали по контурной траектории с глубиной фрезерования 1 мм. Для предотвращения смещения заготовки при контактном взаимодействии с инструментом, первая ограничена шестью степенями свободы по трем боковым плоскостям и основанию. Составляющие силы резания (P_x , P_y , P_z) при концевом фрезеровании для расчетной модели выражены через функцию движения инструмента, состоящую из вращательного движения и линейных перемещений. Вращение характеризует частоту вращения шпинделя, а линейные перемещения – минутную подачу.

Таблица 1. Исходные данные для расчета

Физико-механические свойства обрабатываемого материала	Геометрические параметры инструмента	Физико-механические свойства инструмента	Исходный режим резания
Материал заготовки: Д16Т; плотность – 2,78 г/см ³ ; модуль упругости при растяжении – 73,1 ГПа; предел текучести – 310 МПа; относительное удлинение – 18%; модуль упругости при сдвиге – 27,6 ГПа; коэффициент Пуассона – 0,3.	Фреза концевая Ø5 мм; длина режущей части – 13 мм; угол наклона винтовой канавки - 35°; главный передний угол - 15°; главный задний угол - 14°; главный угол в плане - 90°.	Материал инструмента: Т15К6; плотность – 11,1 г/см ³ ; модуль упругости при растяжении – 500 ГПа; коэффициент Пуассона – 0,3.	$t = 1$ мм; $S_z = 0,05$ мм; $B = 1$ мм; $n = 12000$ об/мин.

Контактные взаимодействия между режущими кромками инструмента и заготовки определяем через *CONTACT_ERODING_NODES_TO_SURFACE*. Данный тип контакта учитывает не только упруго-пластические свойства контактирующих материалов, но и позволяет моделировать удаление элементов с поверхностей объектов, взаимодействующих друг с другом. Представленные результаты конечно-элементного расчета отображают процессы, возникающие при динамическом контакте инструмента с заготовкой, без учета стружкообразования. В данном случае рассматривается процесс отделения элементов с поверхности заготовки под действием сил сдвига и условий разрушения.

Характер пластических деформаций в зоне контакта инструмента с заготовкой представлен на рис. 4. На рис. 5 приведен фрагмент напряженного состояния заготовки и инструмента при концевом фрезеровании и даны действительные напряжения (*von Mises stress*), распределенные по поверхности заготовки. На рис. 6 показано распределение деформаций сдвига по обработанной поверхности детали и процесс возникновения деформаций во время отрыва элементов от поверхности заготовки под действием сил резания.

График скорости поступательного движения инструмента относительно координатных осей показан на рис. 7, а объем, снимаемого с поверхности заготовки материала в процессе обработки представлен на графике (рис. 8).

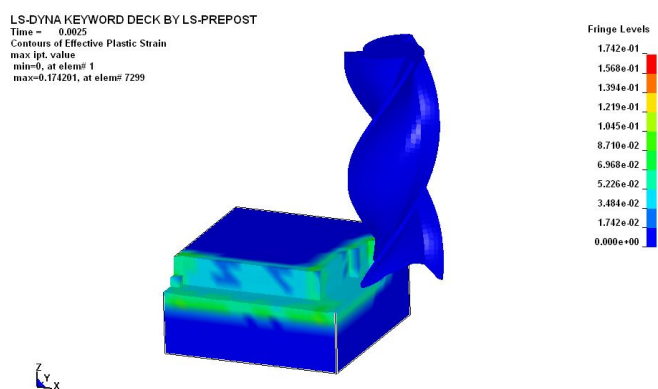


Рис. 4. Пластические деформации в зоне резания

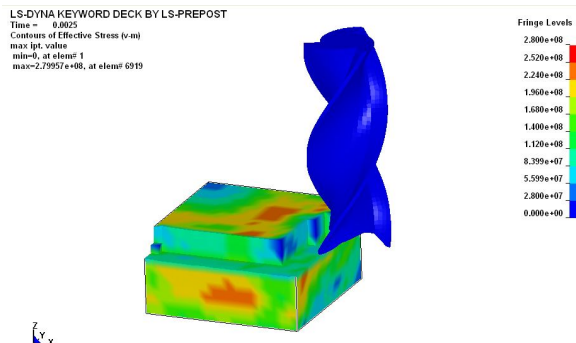


Рис. 5. Распределение напряжений

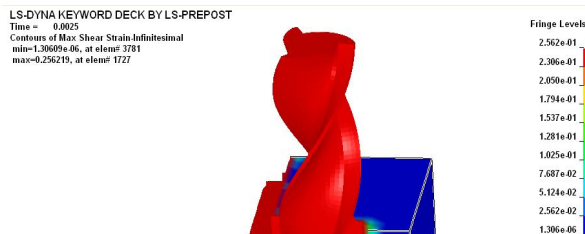


Рис. 6. Деформации сдвига

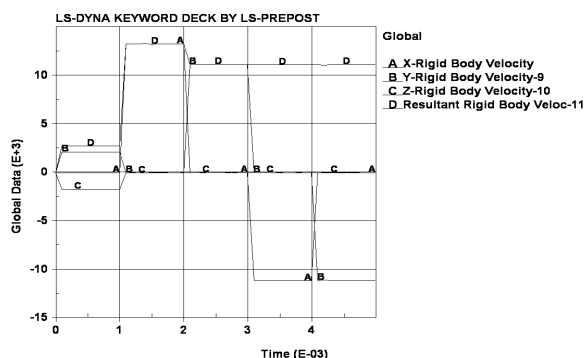


Рис. 7. График скорости поступательных движений фрезы относительно осей X,Y,Z

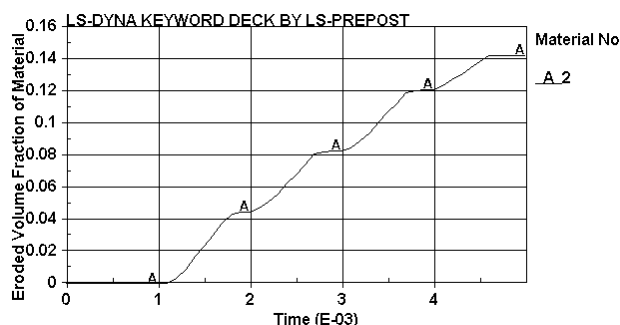


Рис. 8. График объема снимаемого материала

В завершающей стадии находится моделирование процесса стружкообразования с учетом текучести обрабатываемого материала, а также расчета напряжений и деформаций, возникающих в зоне стружкообразования.

Представленная в рамках данной статьи работа, проводится при поддержке Гранта Президента РФ (№ МК-4859.2008.8) в рамках комплексного исследования «Методология, технические и программные средства оптимизации многокоординатной обработки поверхностей свободной формы».

Выводы: 1) Разработанный алгоритм адаптивного фрезерования обеспечит повышение производительности обработки деталей сложной геометрии на фрезерных станках с ЧПУ, а также качества обработанных поверхностей путем динамической корректировки рабочей подачи на программном уровне.

2) Виртуальное моделирование позволяет получить приближенную к реальной, расчетную модель, для решения многофакторных задач оптимизации технологической подготовки производства, минимизировав при этом натурные эксперименты.

Список литературы: 1. Кувшинский В.В. Фрезерование. - М.: «Машиностроение», 1977. – 240с. 2. LS-DYNA. KEYWORD USER'S MANUAL (VOLUME I, II). - Livermore Software Technology Corporation, 2001.

Надійшла до редколегії 18.03.2009 р.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ КОНЦЕВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ

Медведев Ф.В., Пономарёв Б.Б., Черемных Е.А.

У роботі розроблений алгоритм адаптивного фрезерування, який забезпечить підвищення продуктивності обробки деталей складної геометрії на фрезерних верстатах з ЧПК, а також підвищення якості оброблених поверхонь шляхом динамічної корекції робочої подачі на програмному рівні.

моделирование, концевое фрезерование, напряжения, пластические деформации