

КОРРЕКТИРОВКА ПОДАЧИ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С ПОВЫШЕННЫМИ СКОРОСТЯМИ РЕЗАНИЯ НА ОБРАБАТЫВАЮЩИХ ЦЕНТРАХ С ЧПУ

В.Д. Вермель, К.А. Деев, А.Е. Леонтьев, П.М. Николаев,
В.А. Пупчин, А.О. Шардин (ФГУП «ЦАГИ»)

Локальное изменение охвата инструмента материалом обрабатываемой заготовки при фрезеровании деталей на станках с ЧПУ может приводить к резкому возрастанию моментов и сил резания при снижении стойкости инструмента, а также ухудшать качество обработанной поверхности. Предложен алгоритм автоматизированной локальной коррекции минутной подачи для минимизации влияния данного эффекта на процесс фрезерования. В программной реализации используются вычислительные возможности современных видеопроцессоров.

Ключевые слова: фрезерная обработка, управляющая программа, корректировка подачи.

При фрезеровании деталей из металлических материалов на станках с ЧПУ с повышенными скоростями резания среди технологических условий важным является соблюдение постоянства охвата фрезы материалом обрабатываемой заготовки. Его повышение могут обуславливать локальное увеличение припуска, смена направления движения инструмента, обход фрезой внутренних углов, определяемых конфигурацией детали, и т.д. Для высоких скоростей резания и соответственно частот вращения фрезы это может приводить к резкому увеличению момента и силы резания, нарушению установившегося процесса фрезерования, появлению вибраций, ухудшающих качество обработки, в ряде случаев — к поломке инструмента.

Традиционным способом парирования является снижение значения минутной подачи, выполняемое программистом путем корректировки «вручную» для локальных участков траектории. Однако при значительном числе таких участков для деталей сложной формы в единичных опытных или инструментальных производствах, для которых существенно ограничивается время на технологическую проработку, наиболее простым типовым решением становится уменьшение минутной подачи на всей траектории фрезерования, приводящее к снижению производительности обработки.

Предлагаемое решение основано на автоматизации анализа подготовленной программы обработки и локальной корректировке минутной подачи. Необходимая корректировка (снижение или увеличение) подачи устанавливается в соответствии с охватом фрезы материалом заготовки по траектории фрезеро-

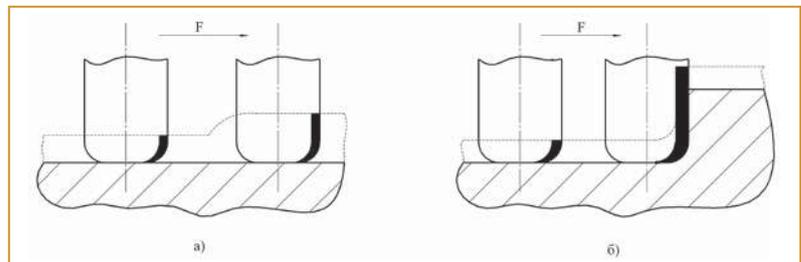


Рис. 1. Примеры локального изменения охвата фрезы материалом заготовки

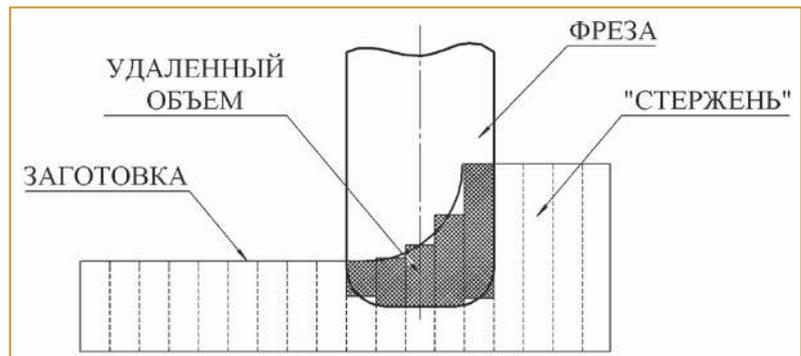


Рис. 2. Схема разбиения модели заготовки на стержни по одной из осей станочной системы координат и вычисление объема материала, снимаемого фрезой

вания. Ниже рассматривается алгоритм корректировки подачи и его программная реализация.

Исходные данные и основные предположения

Исходные данные составляют математическая модель заготовки, подлежащая фрезерованию на станке с ЧПУ, и управляющая программа на ее обработку, обеспечивающая преобразование исходной заготовки в конечную, с заданной геометрической формой. Также задаются номинальная величина минутной подачи и соответствующая ей оценка номинальной удельной площади удаляемого припуска $\sigma_j = a_p a_e$, определяющая

охват фрезы материалом заготовки. Предполагается, что минутная подача F_0 в управляющей программе соответствует оцененной площади припуска σ_0 . Для проведения коррекции подачи задается ее значение F применительно к другой величине σ или ряд значений $F_j, j = 1, 2, \dots, n$ для начальных значений подач σ_j . Они могут быть установлены технологом исходя из предшествующего опыта обработки деталей или при проведении в ограниченном объеме экспериментальной обработки образцов. Для возможного повышения подачи при снижении удельной площади припуска менее номинальной также может быть установлено предельное максимальное значение повышенной минутной подачи F_{max} или таблица значений.

Корректировка минутной подачи в программе обработки

Для проведения корректировки минутной подачи предложена оценка текущей величины припуска по объему удаляемого материала в одном кадре управляющей программы (рис. 1). По заданной цифровой модели заготовки для последовательности кадров управляющей программы определяется объем q_j удаляемого в j -ом кадре материала и формируется новая цифровая модель обрабатываемой заготовки. Для оценки корректировки минутной подачи, выполняемой для каждого кадра управляющей программы, найдем по величине объема удаляемого материала среднее значение площади фрезеруемого припуска σ_j . Его сопоставление с исходными данными, определяющими соответствие подачи и удельной площади фрезеруемого припуска, позволяет оценить скорректированное значение минутной подачи для кадра.

Воспользуемся очевидным соотношением:

$$q_j = \sigma_j F_j t_j, \tag{1}$$

где q_j — объем материала, удаляемого в j -ом кадре управляющей программы, F_0 — номинальная минут-

ная подача, подлежащая корректировке, t_j — время прохождения фрезой отрезка траектории в текущем j -ом кадре управляющей программы.

Для номинальной величины площади фрезеруемого припуска σ_0 объем удаляемого материала:

$$q_0 = \sigma_0 F_0 t_0. \tag{2}$$

Из (1) и (2) находим оценку величины σ_j :

$$\sigma_j = \sigma_0 q_j / q_0.$$

Из сопоставления с исходными данными находим скорректированную величину минутной подачи j -ого кадра управляющей программы:

$$F_j = F(\sigma_j).$$

Для сокращения числа переключений на новое значение подачи таблицу соответствия «припуск — минутная подача» можно трактовать как располагаемые диапазоны величин минутных подач.

Цифровая модель поверхности обрабатываемой заготовки

Построение цифровой модели поверхности обрабатываемой заготовки занимает центральное место в алгоритме коррекции минутной подачи. В основу метода положено представление исходной цифровой модели заготовки разбиением на совокупность стержней (в англоязычной литературе dixel), направленных вдоль

каждой из осей станочной системы координат [1, 2]. На рис. 2 схематично показано разбиение заготовки вдоль одной оси. Дискретность разбиения выбирается исходя из требований к точности моделирования. Фреза моделируется телом вращения, образованным совокупностью типовых геометрических объектов (цилиндр, конус, сфера, тор). При перемещении фрезы в соответствии с управляющей программой обработки с использованием эффективных алгоритмов пересечения [3, 4] устанавливаются части стержней, попадающие в ее внутренний объем. Определение стержней, для которых целесообразно проводить

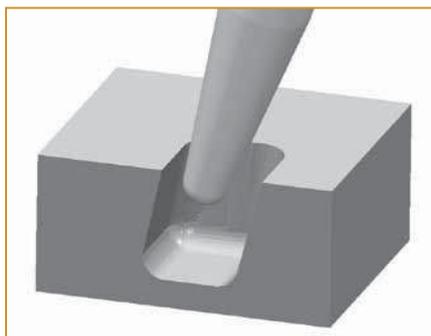


Рис. 3. Трехмерная визуализация промежуточного состояния заготовки после моделирования удаления припуска

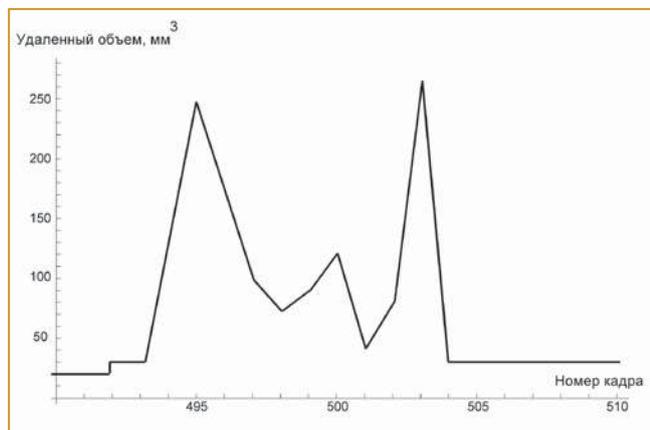


Рис. 4. Расчетный объем удаленного материала для каждого кадра программы при обработке контура

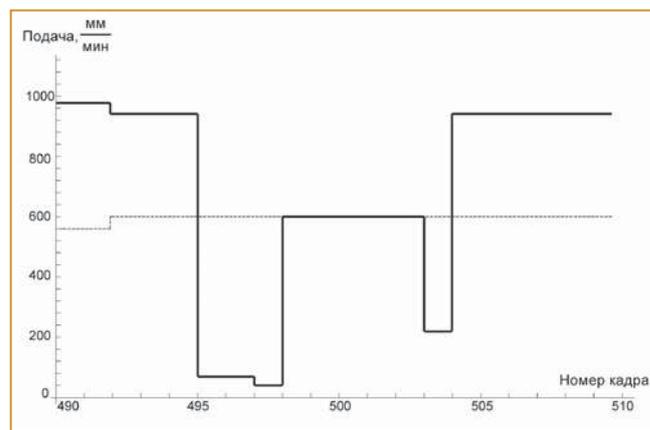


Рис. 5. Подача до и после локальной коррекции (пунктир — «до», сплошная линия — «после»)

Высокое качество не достигается случайно, это всегда результат осмысленных стараний...

Джон Раскин

такую операцию, производится по их совмещению с прямоугольником, ограничивающим проекцию модели инструмента на координатные плоскости XOY , YOZ , XOZ . Удаление части стержней, попавших во внутренний объем фрезы, проводится для всех положений фрезы, отстоящих друг от друга на определенном отрезке вдоль траектории. Величина отрезка выбирается исходя из дискретизации модели. Заготовка для текущего положения фрезы формируется в виде фасетной триангулированной модели (рис. 3).

Величина удаленного объема материала оценивается независимо для каждого направления стержней (по осям X , Y , Z) по сумме длин, попавших в объем инструмента стержней, умноженной на квадрат шага сетки. В соответствии с ней оценивается для кадра управляющей программы максимальная удельная площадь припуска, по исходным данным — величина скорректированной подачи.

Программная реализация алгоритма

Расчет скорректированных подач по кадрам управляющей программы выполняется в два прохода. На первом формируется массив данных, включающий: номер кадра управляющей программы, перемещение расчетной точки фрезы, подача, оценка объема удаленного припуска. На рис. 4 показан пример графика удаленного объема материала заготовки по кадрам при обработке контура, показанного на рис. 3. На втором проходе осуществляется расчет скорректированных величин минутных подач.

По результатам расчета проводится локальная коррекция управляющей программы (рис. 5). Формально, корректировка подачи может производиться в каждом отдельном кадре по траектории движения фрезы. В данной реализации заданная таблица минутных подач для ряда значений удельной площади фрезеру-

емого припуска рассматривается как диапазоны их рациональных величин. Густота таблицы определит частоту смены величины подачи в программе.

При программировании для проведения расчетов задействовались вычислительные возможности видеопроцессора [5, 6] (средства OpenGL версии 4.2 и выше).

Заключение

Разработан алгоритм определения по кадрам управляющей программы обработки заготовки на станке с ЧПУ максимальной удельной площади удаляемого материала и локальной корректировки минутной подачи инструмента. При его программной реализации для проведения соответствующих оценок использована дискретная стержневая (dexel) модель заготовки, корректируемая по мере анализа управляющей программы обработки и имитации удаления припуска.

Для визуализации результата обработки выполняется построение типовой триангулированной фасетной модели заготовки. Обеспечиваемая автоматизация локальной корректировки подач в управляющей программе позволяет существенно повысить производительность обработки для деталей сложной формы при ограниченных затратах на технологическую проработку, что особенно актуально для единичных и опытных производств.

Список литературы

1. Ren Y., Lai-Yuen S.K., Lee Y.S. Virtual prototyping and manufacturing planning by using tri-dexel models and haptic force feedback // Virtual and Physical Prototyping. 2006. 1(1). p. 3 -18.
2. Bouhadja, K. Bey, M. Classification of simulation methods in machining on multi-axis machines, Lecture Notes in Engineering and Computer Science. 2014.
3. Гилой В. Интерактивная машинная графика. М.: Мир. 1981. 382 с.
4. Фолл Д., Дэм А.В. Основы интерактивной машинной графики. М.: Мир. 1985. 736 с.
5. Shreiner D, Sellers G., Kessenich J., Licea-Kane B. OpenGL programming guide: the official guide to learning OpenGL, version 4.3. The Khronos OpenGL ARB Working Group. Eighth edition. 2013.
6. Yang J.C., Hensley J., Grun H., Thibieroz N. Real-time concurrent linked list construction on the GPU. Computer Graphics Forum. 2010.

Вермель Владимир Дмитриевич — д-р техн. наук, начальник НТЦ НПК,

Деев Константин Александрович — начальник сектора,

Леонтьев Александр Евгеньевич — мл. научный сотрудник,

Николаев Прокопий Михайлович — начальник отдела, Пупчин Владимир Андреевич — инженер,

Шардин Антон Олегович — начальник отдела ФГУП «ЦАГИ».

Контактный телефон +7(495)556-43-62.

E-mail: vermel@tsagi.ru

Программное обеспечение CODESYS поддерживает интерфейсы Ixcat PC/CAN

Компания HMS Networks предлагает серию интерфейсов Ixcat PC/CAN для всех распространенных стандартов ввода/вывода ПК, таких как USB, Ethernet, Bluetooth, PCIe, PCIe Mini и PCIe 104. Теперь эта обширная линейка интерфейсов напрямую поддерживается CODESYS.

Необходимая для работы библиотека включена в CODESYS вер. 3.5.14.0 или старше. В дополнение к установке CODESYS для использования всех интерфейсов Ixcat PC/CAN с CODESYS требуется только установить драйвер VCI-V4.

Используя встроенную библиотеку, можно получить доступ к шине CAN через приложения контроллера CODESYS Control Win SL. Для доступа к сети CAN пользователь может выбрать различные аппаратные решения Ixcat, например, компактный интерфейс PCIe Mini CAN Ixcat PCIe, интегрированный непосредственно в приложение контроллера, или внешний интерфейс CAN Ixcat, доступ к которому осуществляется через USB или Ethernet.

Кроме того, интерфейсы Ixcat PC/CAN могут использоваться с приложениями CODESYS CANopen Master и CODESYS CANopen Slave или с любым другим приложением CAN RAW на контроллере CODESYS Control Win SL.

<http://www.ixcat.com>, www.datamicro.ru и www.hms-networks.com