

В. В. АВЕРИН, В. С. ГУСЕЛЬНИКОВ

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ

Приведены основные критерии проектирования управляющих программ для оборудования с числовым программным управлением. Описываются способы применения систем верификации при разработке управляющих программ.

Ключевые слова: оборудование с числовым программным управлением, управляющая программа, высокоскоростная обработка, CAD/CAM-системы, верификация управляющих программ.

Изготовление деталей быстрее, качественнее и с меньшими затратами, чем у конкурентов, — основные виды преимущества любого производства. Их достижение возможно с применением высокотехнологичного оборудования, а также программного обеспечения для подготовки и верификации данных. Использование современного оборудования без соответствующего программного обеспечения и инфраструктуры не приведет к желаемым результатам. Проектирование управляющих программ с использованием непосредственно интерфейса системы ЧПУ, на первый взгляд, обойдется дешевле, но в результате может привести как к простоям оборудования, так и не уберет даже опытного оператора от ошибок, которые могут привести к дорогостоящему ремонту. Техническое переоснащение предприятий — трудный, но зачастую единственный путь развития. Выбор станочного парка следует осуществлять параллельно с выбором CAD/CAM-системы. Внедрение CAD/CAM-систем минимизирует период подготовки производства и приводит к сокращению времени вывода изделия на рынок.

Внедрение современных высокопроизводительных станков с ЧПУ в производство позволяет использовать принципы высокоскоростной обработки (ВСО) заготовок деталей. Теоретическим обоснованием ВСО являются так называемые кривые Соломона (рис. 1), которые демонстрируют снижение сил резания (F_p) в некотором диапазоне скоростей (V_p). Но наиболее важным фактором здесь является перераспределение тепла в зоне резания. При небольших сечениях среза в этом диапазоне скоростей основная масса тепла концентрируется в стружке, не успевая переходить в заготовку, что позволяет производить обработку закаленных

сталей, не опасаясь отпуска поверхностного слоя. Отсюда следует основное преимущество ВСО: малая толщина стружки, снимаемой с высокой скоростью, соответственно высокие обороты шпинделя и высокая минутная подача. Имея возможность вести лезвийную обработку закаленных сталей, можно обеспечить качество поверхности, соизмеримое с получаемым при электроэрозионной обработке. Это позволяет пересмотреть структуру производственного процесса изготовления формообразующих элементов пресс-форм и штампов [1].

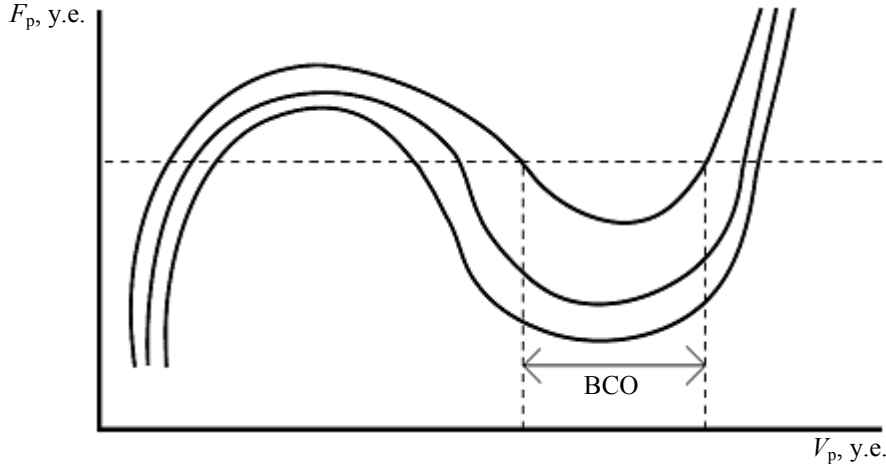


Рис. 1

Существует много факторов, влияющих на эффективность процесса ВСО. Известно, как на ВСО воздействуют характеристики станка (шпинделя, цанговых патронов, режущего инструмента) и системы ЧПУ, однако не всегда учитывается зависимость качества выполнения ВСО от методов программирования траектории движения инструмента. Особенно важно наличие возможности САМ-системы при обработке модели детали и расчете управляющей программы (УП) использовать сплайн-интерполяцию, обеспечивающую не только более высокое качество обработанных поверхностей, но и значительное сокращение кадров УП. Программирование сплайнами позволяет описать большие участки траектории меньшим количеством кадров, поскольку основной расчет траектории ведется с использованием математического аппарата системы ЧПУ, вследствие чего траектория оптимально передается на приводы станка.

Система ЧПУ является тактовой: между длиной перемещения в кадре l (мм), временем обработки кадра T (мс) и максимально возможной подачей F_{\max} (м/мин) существует следующая зависимость [2]:

$$F_{\max} = 60 \frac{l}{T}.$$

Это означает, что при траектории в кадре длиной $l = 0,01$ мм, временем обработки кадра $T = 0,2$ мс максимальная подача ограничивается до $F_{\max} = 0,3$ м/мин. Поэтому необходимо описывать наибольшие участки траектории как можно меньшим количеством кадров, чтобы получить максимальную подачу F_{\max} , соответствующую условиям ВСО.

Другим важным свойством САМ-системы является возможность формировать траектории с наименьшим количеством врезаний и выходов из материала, а также с радиусным сопряжением углов. Это позволяет избежать резких изменений в направлении траектории и, как следствие, значительно снизить нагрузку на инструмент. Наиболее полно этому соответствуют инструменты САМ-системы, позволяющие рассчитывать траекторию врезания и обработки в виде трохоид (трансцендентных плоских кривых), а также в виде двумерных и трехмерных спиральных кривых.

Также САМ-система должна изменять расстояния между слоями по оси Z , чтобы после предварительной обработки достичь практически окончательной формы с гарантированным

определенным значением припуска [3], для этого системой должны восприниматься изменения в рельефе поверхности между слоями. По значению остающегося припуска система должна определять необходимость дополнительных проходов. Такие функциональные возможности могут исключить получистовую обработку, уменьшить время цикла обработки и износ режущего инструмента.

Для современного инструмента из твердого сплава более благоприятно иметь постоянную, пусть даже и высокую, температуру в зоне резания, чем ее колебания. Резкое изменение условий резания приводит к увеличению количества выделяемого тепла и механических напряжений на режущей кромке, что в результате значительно снижает стойкость инструмента. Если траектория движения инструмента рассчитана на соблюдение постоянных условий резания, то это позволит увеличить стойкость инструмента, получить лучшую точность и шероховатость обработанной поверхности. В большинстве случаев, заданную геометрию детали практически невозможно получить без программирования траектории движения инструмента с острыми углами и быстрыми поворотами, но такие траектории должны быть минимизированы с использованием функции сглаживания или специальных функций обхода углов для ВСО.

Высокопроизводительным инструментом технолога-программиста может стать любая CAD/CAM-система, отвечающая большинству предъявляемых требований для решения поставленных задач: начиная от типа трехмерных моделей, на основе которых будет производиться расчет управляющей программы (каркасных, поверхностных, твердотельных, гибридных), до различных стратегий обработки, поддерживаемых математическим ядром САМ-системы. При расчете траектории инструмента САМ-система должна учитывать геометрию не только детали, но и заготовки. Модель исходной заготовки также может быть построена средствами моделирования самой системы или импортирована через интерфейсы обмена данными. В зависимости от необходимости предприятия САМ-система должна позволять рассчитывать УП для различных кинематических схем оборудования, в том числе для многокоординатного и электроэрозионного оборудования с ЧПУ.

В круг задач, решаемых современной CAD/CAM-системой, входят: выбор стратегий обработки и задание параметров выбранных стратегий; выбор обрабатываемых и ограничивающих поверхностей на модели изделия (детали); формирование траектории движения инструмента с учетом стратегий обработки, выбранных поверхностей, режущего инструмента, автоматического контроля зарезов и оптимизации траектории инструмента с учетом текущего состояния заготовки; автоматическое отслеживание изменений, вносимых в модель изделия; использование технологических шаблонов для формирования траектории инструмента и получения подобных деталей. Среди этих задач наибольший интерес для анализа представляют стратегии обработки. Именно набор предлагаемых стратегий в значительной степени отличает одну САМ-систему от другой.

Наличие стратегий, позволяющих применить сплайн-интерполяцию, трохоидальную обработку, различные виды спиральных кривых, говорит о том, что САМ-система имеет мощный внутренний математический аппарат для генерации соответствующего кода УП, который впоследствии преобразуется постпроцессором в необходимый оборудованию код [4]. Оценить корректность конечных программ визуально практически невозможно, так как в них траектория описана не конкретными значениями положения инструмента, а лишь входными параметрами функций, на основе которых система ЧПУ будет рассчитывать эти положения. Поэтому особое внимание при разработке сложных УП следует уделить верификации.

Блоки верификации присутствуют как в САМ-системе, так и в самой системе ЧПУ. Но в силу ряда причин они не являются действительно эффективными, поскольку логика и математический аппарат этих систем изначально не предназначались для визуального моделирования процесса обработки. Для проверки УП существуют внешние системы верификации, никак не связанные с разработкой УП, которые позволяют моделировать процесс обработки

на многокоординатном оборудовании с учетом особенностей конкретной кинематики. Такие системы выполняют несколько основных функций:

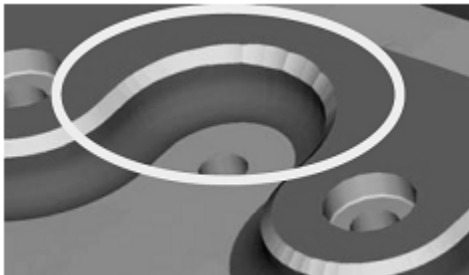
— моделирование (обеспечивает визуализацию процесса съема материала с заготовки по готовым управляющим программам);

— верификация (дает возможность контролировать процесс обработки, принимая во внимание движение и взаимное расположение рабочих органов станка, используемого технологического оборудования и инструмента);

— анализ (позволяет оценивать качество обработки путем сравнения обработанной заготовки с моделью детали и проводить измерения геометрических параметров).

С помощью указанных функций контроль всего процесса обработки заготовки осуществляется быстро и с высокой точностью, при этом можно использовать все функции системы независимо от формата УП — будь то нейтральный формат CLDATA или ISO 7-bit, однако действительно правильный результат, соответствующий реальной обработке заготовки детали в цехе, можно получить только при работе с программой в формате ISO 7-bit. Мощность современных ЭВМ и графических устройств позволяет вести моделирование с высокой точностью и получить результат анализа (рис. 2, а), даже визуально совпадающий с результатами реальной обработки (рис. 2, б) [5].

а)



б)

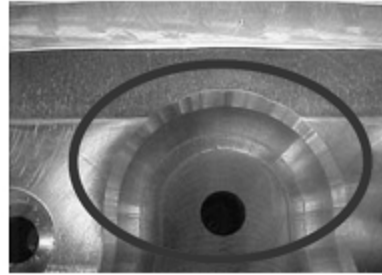


Рис. 2

„Знания“ системы о текущем состоянии заготовки позволяют осуществлять расчет толщины стружки в 3D-сечении, что в свою очередь позволяет контролировать подачу на зуб фрезы. На основе рекомендованных режимов для инструмента и рассчитываемых системой данных в некоторых системах верификации реализован механизм варьирования текущих режимов резания в зависимости от текущих условий работы инструмента. Такой механизм получил название „оптимизация“, что подразумевает варьирование режимов резания в пределах рекомендуемых, оптимальных.

Современные программные продукты позволяют автоматизировать трудоемкие расчеты для получения качественных УП, соответствующих условиям обработки, кинематике оборудования с ЧПУ и самой системе ЧПУ. Кроме того, применение систем верификации позволяет технологу-программисту наблюдать трехмерную виртуальную модель оборудования с ЧПУ. Использование множества систем на предприятии и, как следствие — возможное наличие множества различных типов и форматов данных — приводит к тому, что одним из основных критериев выбора программного обеспечения является совместимость (или возможность интеграции) систем для свободного обмена данными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Серебrenицкий П. П. Некоторые особенности высокоскоростной механической обработки // Металлообработка. 2007. № 4. С. 6—15.
2. Виттингтон К., Власов В. Высокоскоростная механообработка // САПР и графика. 2002. № 11. С. 10—17.
3. Степанов А. Высокоскоростное фрезерование в современном производстве // CAD/CAM/CAE Observer. 2002. № 3. С. 2—8.

4. Зильбербург Л. И., Молочник В. И., Яблочников Е. И. Моделирование приборов, систем и производственных процессов. СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. 156 с.
5. Del Prete A., Anglani A., Mazzotta D. Control and optimization of toolpath in metal cutting applications through the usage of computer aided instruments // 8th AITeM Congress Montecatini Terme. 2007. P. 134—138.

Сведения об авторах

- Владимир Викторович Аверин** — аспирант; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра технологии приборостроения; E-mail: aver84@mail.ru
- Владимир Сергеевич Гусельников** — аспирант; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра технологии приборостроения; E-mail: guselnikov@rambler.ru

Рекомендована кафедрой
технологии приборостроения

Поступила в редакцию
14.12.09 г.