

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ СТАНКОВ С УСТРОЙСТВАМИ ЧПУ КЛАССА PCNC

С.А. Псарев

Разработаны математические модели, связывающие технологические параметры процесса металлообработки с параметрами быстродействия УЧПУ (временем, затрачиваемым на один такт управления), а также с точностью обработки и радиусом кривизны траектории, определяемой формой обрабатываемой детали. Описан диагностический программный пакет, разработанный на основе полученных математических моделей.

Параметры точности обработки являются важнейшими показателями качества металлорежущих станков и деталей, обрабатываемых на станках. Непрерывно возрастающие требования к качеству и надежности выпускаемой продукции машиностроения выдвигают первоочередную задачу создания металлорежущих станков высокой точности. В последнее время получили распространение станки, использующие УЧПУ класса PCNC (Personal Computer Numerical Control) [1, 2]. Эти системы, являясь открытыми, существенно расширяют как функциональные возможности станков, так и возможности адаптации УЧПУ к особенностям различных видов и типов станков. Точность управления достигает долей микрометра, а архитектура программного обеспечения создает возможности расширения набора функций. В УЧПУ класса PCNC все управляющие алгоритмы, алгоритмы интерполяции, а также алгоритмы интерпретации управляющей программы реализованы программно. В связи с этим обостряется проблема определения и учета вклада, вносимого программным обеспечением УЧПУ класса PCNC в суммарную погрешность детали и, вместе с тем, обеспечивается возможность решения этой проблемы.

При выборе и использовании УЧПУ класса PCNC технолог-программист должен иметь возможность определить технологические ограничения, специфические для имеющегося персонального компьютера и программного обеспечения, тем более что производитель УЧПУ может поставлять его в виде одного лишь программного пакета без поставки персонального компьютера. Таким образом, необходим программный пакет, который позволял бы диагностировать имеющееся программное и аппаратное обеспечения, а также управляющую программу по требованиям обеспечения заданной точности обработки.

Для решения поставленной задачи необходимо получить математическую модель погрешностей обработки, вносимых УЧПУ. При этом необходимо рассмотреть два случая: случай следящего привода и случай разомкнутого (шагового) привода. Эти случаи различаются характером управления движением инструмента и, по сути, представляют собой две разные математические модели.

Следящий привод

Рассмотрим погрешность траектории, возникающую из-за дискретного характера управления. Изменение установок скорости приводов подачи происходит с определенной частотой, т. е. некоторый, малый промежуток времени инструмент движется по прямой, после чего происходит следующее воздействие, которое изменяет скорости приводов подачи, изменяя, таким образом, вектор движения. Проиллюстрируем это на рис. 1.

Дугой АВ обозначена заданная траектория инструмента. Ломаная 1-2-3-4 - реальная траектория движения. Погрешность d зависит от следующих параметров: S - скорости движения инструмента (подача), α - угла между вектором скорости и касательной к заданной траектории, t - времени, затрачиваемого на расчет вектора скорости и его составляющих, R - радиуса кривизны траектории.

Скорость S задается программистом-технологом, который исходит из технологических параметров станка и необходимой точности обработки.

Угол α зависит от используемого алгоритма интерполяции (линейная, круговая, сплайновая и т. д.). Алгоритм определяет угол α , исходя из вида обрабатываемой кривой и отклонения от данной кривой, накопленного за предыдущие циклы управления.

Время t зависит от сложности алгоритма интерполяции, т. е. от того, сколько времени нужно устройству ЧПУ на один цикл управления. Таким образом, это время зависит от выбранного метода интерполяции и от скорости вычислителя в УЧПУ. В случае УЧПУ класса PCNC - от скорости персонального компьютера и установленного на нем программного обеспечения (операционной системы, драйверов, и т. д.)

Радиус R зависит от заданной управляющей программой траектории, а следовательно, от формы обрабатываемой детали.

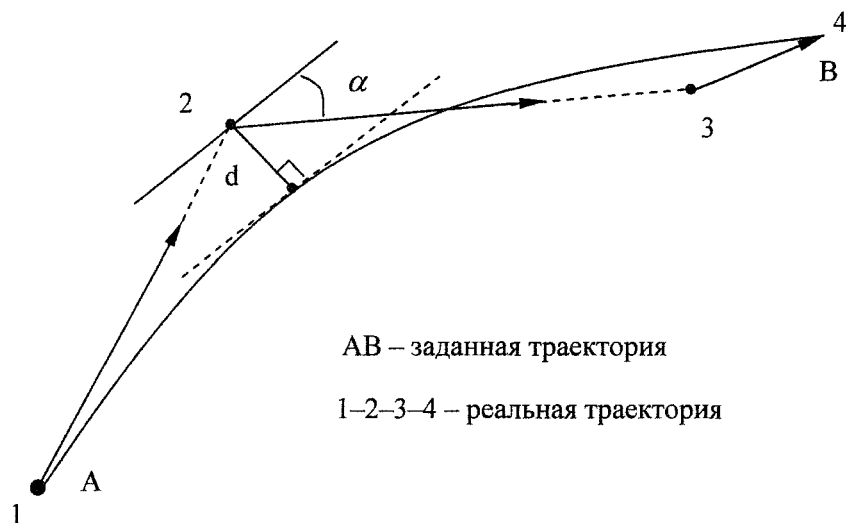


Рис. 1. Движение инструмента для случая следящего привода

Если управление приводами происходит на постоянной частоте, то можно определить время T - максимально допустимое время для расчета параметров следующего шага интерполяции.

Зная параметры процессора устройства ЧПУ (сколько времени тратится на операции сложения, умножения, деления, и т. д.), можно определить допустимое количество операций различного вида внутри одного шага интерполяции. Аналогично можно оценить, какие методы интерполяции можно применять в устройствах ЧПУ класса PCNC, использующих современные процессоры. Используя вышесказанное, опишем модель максимальной погрешности, вызываемой дискретным характером работы УЧПУ. При этом будем исходить из следующих допущений:

1. Максимальная погрешность возникает после окончания цикла управления, в начале которого инструмент находился точно на обрабатываемой кривой. Данное предположение правомерно, так как, если инструмент находился не на обрабатываемой кривой, то алгоритм интерполяции выберет направление движения так, чтобы приблизить инструмент к заданной траектории, уменьшая погрешность.

2. В течение времени между двумя управляющими воздействиями инструмент движется по прямой с постоянной скоростью, т. е. переходные процессы в данной модели не учитываются. Для упрощения модели будем считать смену направления движения инструмента мгновенной, так как вектор движения обычно меняется очень незначительно и переходный процесс занимает на порядок меньше времени, чем один такт управления.

3. Радиус кривизны заданной траектории, т. е. кривой, которую обрабатывает УЧПУ, в течение времени, затрачиваемого на расчеты на одном такте управления, меняется незначительно. Поэтому заданную траекторию инструмента на рассматриваемом достаточно малом отрезке времени будем считать дугой окружности.

Формула, полученная в результате составления модели, должна связывать параметры режимов обработки (величину подачи), параметры точности (максимальную погрешность, вносимую УЧПУ), а также параметры обрабатываемой детали (радиус кривизны траектории). Исходя из первого предположения, при составлении формулы параметр α можно принять равным нулю.

На рис. 2 дугой обозначена заданная траектория с учетом допущений, АВ - реальная траектория инструмента с учетом допущений, СВ - погрешность, возникшая в течение одного цикла управления, пунктиром обозначена касательная к заданному контуру в точке, ближайшей к положению инструмента в конце цикла управления.

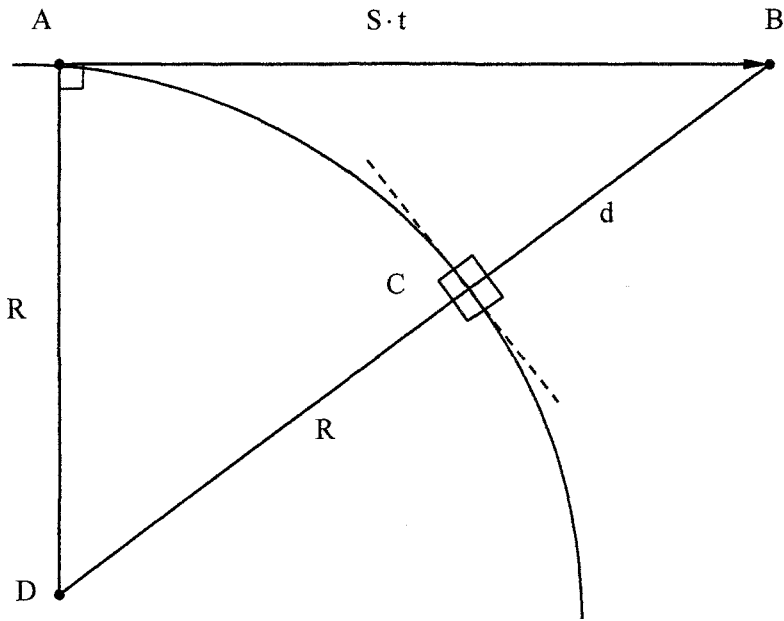


Рис. 2. Движение инструмента с учетом допущений

Из анализа рис. 2 можно получить формулу максимальной погрешности, вносимой программным и аппаратным обеспечением УЧПУ класса PCNC:

$$d_{\max} = \sqrt{(S \cdot t)^2 + R^2} - R.$$

Для расчета максимальной подачи, определяемой быстродействием УЧПУ и допустимой погрешностью, запишем:

$$S_{\max} = \frac{\sqrt{(R + d)^2 - R^2}}{t}.$$

При использовании этой формулы следует иметь в виду, что d - это не суммарная погрешность на контуре, а лишь погрешность, вносимая УЧПУ. Поэтому для расчета максимальной допустимой подачи следует задавать эту величину на порядок меньше величины максимальной допустимой результирующей погрешности детали. Этим будет гарантировано, что вклад УЧПУ в суммарную погрешность будет незначительным.

Для вычисления максимального допустимого времени, которое может затратить УЧПУ на расчеты на одном такте управления приводами, запишем:

$$t_{\max} = \frac{\sqrt{(R + d)^2 - R^2}}{S}.$$

Разомкнутый (шаговый) привод

При использовании в УЧПУ разомкнутых шаговых приводов управление осуществляется на постоянной частоте f . При этом нельзя говорить о какой-либо погрешности, вносимой УЧПУ, так как погрешность воспроизведения контура не превышает перемещения инструмента на один шаг электропривода. Но можно рассматривать технологические ограничения, которые накладываются быстродействием УЧПУ.

На каждом такте управления, которое осуществляется с частотой f , определяется координата (возможно - не одна), по которой следует сделать очередной шаг, после чего на соответствующую

щие приводы посылаются импульсы. Таким образом, быстродействие УЧПУ может ограничивать величину подачи, так как за время $t = 1/f$ необходимо произвести все расчеты по определению направления следующего шага. Кроме непосредственно выполнения алгоритма интерполяции в течение одного такта УЧПУ может рассчитывать параметры эквидистанты и производить какие-либо иные вычисления (например, рассчитывать величину корректирующего воздействия для компенсации упругих деформаций).

При использовании шагового разомкнутого привода на каждый шаг электродвигателя инструмент перемещается на расстояние L , которое является дискретой данного привода. Обозначим максимальную допустимую подачу как S_{\max} . Для движения инструмента с такой подачей на шаговый электродвигатель должны поступать импульсы с частотой

$$f = \frac{S_{\max}}{L}.$$

Следовательно, все вычисления на одном такте управления должны выполняться за время, не превышающее

$$t_{\max} = \frac{L}{S_{\max}}.$$

Данная формула связывает максимальную допустимую подачу с максимальным допустимым временем, затрачиваемым на расчеты на одном такте управления разомкнутым шаговым приводом.

Можно получить формулу для решения обратной задачи - определения максимальной допустимой подачи по времени, затрачиваемом на расчеты:

$$S_{\max} = \frac{L}{t_{\max}}.$$

С использованием описанных моделей был разработан программный пакет «Аналитика и диагностика», позволяющий решать прямую и обратную задачи по оценке погрешности, вносимой программным обеспечением УЧПУ класса PCNC. В пакете реализованы расчеты для рассмотренных типов приводов подачи: следящего и шагового.

Ниже перечислены варианты задач, для решения которых можно использовать пакет «Аналитика и диагностика».

1. Для следящего привода подачи:

а) по известному минимальному радиусу кривизны траектории, времени, затрачиваемом на расчеты на одном такте управления приводом, и максимально допустимой погрешности определить максимальную допустимую подачу;

б) по известному минимальному радиусу кривизны траектории, максимально допустимой погрешности и максимальной подаче определить время, которое допустимо затратить на расчеты на одном такте управления приводом, что позволяет определить, какие алгоритмы управления и какие персональные компьютеры можно использовать в данном УЧПУ класса PCNC;

в) по известному минимальному радиусу кривизны, максимальной подаче и длительности расчетов на одном такте управления приводом определить максимальную погрешность, вносимую УЧПУ класса PCNC.

2. Для шагового привода подачи:

а) по известной максимальной подаче, а также перемещению инструмента на один шаг привода определить допустимое время на расчеты на одном такте управления приводом, что позволяет определить, какие алгоритмы управления и какие персональные компьютеры можно использовать в данном УЧПУ класса PCNC;

б) по известному перемещению инструмента на один шаг двигателя и времени одного такта управления приводом определить максимальную допустимую подачу.

Задачи 1б, 1в и 2а были реализованы в аналитическом модуле, который можно использовать при разработке УЧПУ класса PCNC. Задачи 1а и 2б были реализованы в диагностическом модуле, который расширяет пакет «Диагностика», разработанный на кафедре «Станки и инструмент» ЮУрГУ [3].

Пакет «Диагностика» используется во время прогонки управляющих программ в режиме имитатора, для выявления технологических ошибок в составленной программе. Диагностический

модуль пакета «Аналитика и диагностика», расширяющий список диагностируемых технологических ограничений контролем по подаче, допустимой быстродействием УЧПУ, прошел апробацию в УЧПУ класса PCNC настольных и минигабаритных токарных и фрезерных станков.

Созданная система диагностирования позволяет оценить возможности СЧПУ класса PCNC и управляющих программ по обеспечению заданных технологических требований обработки деталей на станках с различными типами приводов: замкнутых по скорости, замкнутых по положению, разомкнутых (шаговых).

Литература

1. Мазеин П.Г., Псарев С.А. Компьютерное моделирование станков и станочных систем // XIII Всероссийская научно-методическая конференция «Телематика 2005». - С.-Петербург, 2005. - С. 133-136.

2. Мазеин П.Г., Псарев С.А., Свиридов СИ. Компьютерное моделирование станков с ЧПУ // Единое образовательное пространство славянских государств в XXI веке. Проблемы и перспективы: Материалы Пн/п. конф. - Брянск: БГТУ, СГА, 2006. - С. 319-322.

3. Свидетельство N50200300267 о госрегистрации в отраслевом фонде алгоритмов и программ. Программа диагностирования управляющих программ для станков с компьютерными системами ЧПУ/С.А. Псарев, П.Г. Мазеин, 2003.