

Компенсация погрешностей перемещений в современных системах ЧПУ

Р.Л. Пушков,
старш. препода., pushkov@lcsystems.ru,
С.В. Евстафьева,
препод., sveilana.evstafieva@gmail.com,
И.А. Ковалёв,
инж., ikovalev@mail.ru,
МГТУ «СТАНКИН», г. Москва

Одной из основных задач, которую может решить система ЧПУ, является задача компенсации систематической составляющей погрешностей механической системы станка. Компенсация накопленной погрешности шага ходового винта, зазоров в приводе подачи, тепловых деформаций производится по определенным алгоритмам коррекции, которые обрабатываются системой ЧПУ. Таким образом, достигается существенное повышение точности станка.

Для работы алгоритмов коррекции сначала производится ряд измерений погрешностей перемещения осей станка (например, при помощи лазерного интерферометра), далее по полученным данным производится заполнение внутренних таблиц системы ЧПУ, впоследствии эти данные используются алгоритмами коррекции для компенсации погрешностей¹.

One of the main problems that can be solved by CNC system is the problem of compensation of systematic component of the machine mechanical system errors. Cumulative pitch error compensation of pitch of a screw, gaps in a feed drive, thermal deformation is computed by special correction algorithm, so the accuracy of the machine is increased.

Before using correction algorithms, a series of measurements of errors of machine axes' movements are performed (for example, using a laser interferometer). Then the internal tables of CNC systems are filled. The results are used by the correction algorithm for the errors' compensation.

Введение

Современные станки с ЧПУ отличаются высокой точностью и скоростью обработки. Высокая точность обработки обеспечивается, в том числе, и за счет приводов подачи. Привода подачи являются следящими, т.е. контролируют такие параметры как ток, скорость и положение. Для обеспечения высокой производительности, необходимо сочетания высокой скорости и точности обработки. Поэтому одна из важнейших задач привода подачи – это обеспечение быстрого и высокоточного выхода в заданную позицию.

Механическая часть привода подачи состоит из следующих элементов: двигатель, шарико-винтовая передача, подшипники и соединительный элемент, в качестве которого может использоваться, например, сильфонная муфта, или, если требуется увеличить крутящий момент двигателя, зубчатый или ременной редуктор [1]. Каждый из этих элементов может быть выполнен с погрешностями изготовления (отклонения от прямолинейности, погрешности шага винта и т.п.). Также погрешности возникают во время сборки (несоосность соединяемых элементов, люфты (зазоры) в соединениях и т.п.). Все эти погрешности приводят к снижению точности перемещения исполнительного узла привода подачи и, соответственно, к снижению точности обрабатываемой детали. Использование системы управления позволяет «учесть» возникающие погрешности и компенсировать их значения.

Типовые погрешности, возникающие в приводах подачи

Рассмотрим несколько типовых погрешностей, возникающих в механизмах приводов подачи.

Люфты в передаче

Один из самых распространенных видов погрешностей это зазоры или люфты в передаче.

Высокоточные ШВП имеют три класса преднатяга: люфтовой (без преднатяга), с преднатягом (незначительный преднатяг по четырем точкам контакта) и с прецизионным преднатягом (преднатяг с двумя точками контакта).

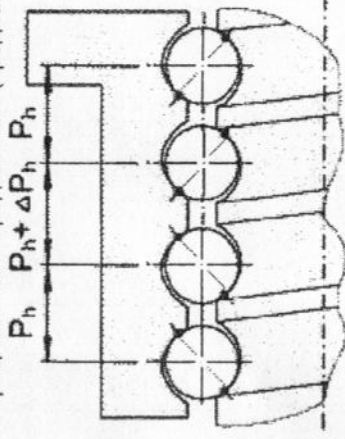


рис. 1 Прецизионный преднатяг с двумя точками контакта

¹ Работа выполнена по Госконтракту № П978 от 27 мая 2010 г. на проведение НИР в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 г.

Преднатяг - внутренняя сила между гайкой и винтом, которая устраняет свободный осевой и радиальный люфт. Он обеспечивает повторяемость перемещений и повышенную жесткость системы. Преднатяг достигается либо с использованием двух гаек и натяжением их по отдельности, либо изменением длины окружности в одной отдельной гайке. При прецизионном преднатяге люфт между гайкой и винтом отсутствует. Преднатяг составляет порядка 10% от величины динамической нагрузки. Обычно используются в приводах подачи, где требуется повторяемость и высокая жесткость, обеспечивающая перемещение больших нагрузок с минимальными отклонениями.

С незначительным преднатягом по четырем точкам контакта размер шариков несколько больше, чем размер канавок, что обеспечивает появление четырех точек контакта. Люфт между гайкой и винтом отсутствует. Преднатяг составляет порядка 5% от величины динамической нагрузки. Применяется главным образом в приводах, где необходима повторяемость результатов.

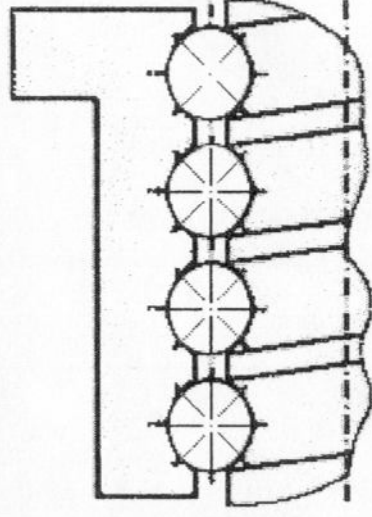


рис. 2 Преднатяг с четырьмя точками контакта

В ШВП без преднатяга размер шариков меньше канавки, следовательно, появляется зазор между гайкой и винтом. Между винтом и гайкой возможен осевой люфт, что неблагоприятно сказывается на повторяемости. Нельзя контролировать момент сопротивления. Точность хода незначительна.

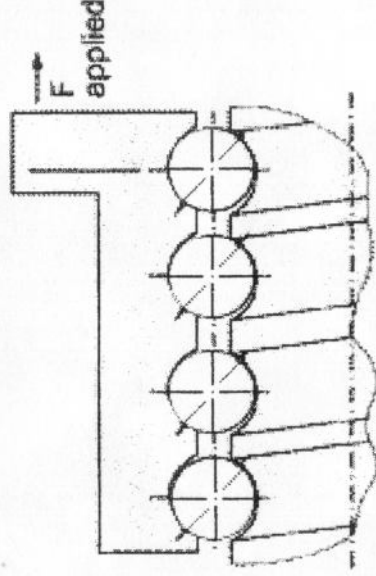


рис. 3 ШВП без преднатяга

Наличие зазора в шарико-винтовой передаче приводит к тому, что в начале движения будет «мертвый» ход, до того как этот зазор будет выбран. Ситуация усугубляется тогда, когда необходимо часто менять направление перемещения по оси. В этом случае «мертвый» ход будет возникать каждый раз при смене направления перемещения вдоль оси. Поэтому очень распространенной является практика «оптимизации» перемещений по оси, когда подход к точке старания выполнять всегда всегда только с одной стороны.

Погрешность шага винта

Любые винтовые пары имеют погрешность шага, которая заключается в неравномерности шага винта от витка к витку. В итоге, наличие погрешности шага винта приводит к погрешности позиционирования. Для решения задачи компенсации данной погрешности применяют специальные таблицы погрешностей. При помощи лазерного интерферометра производится замер положения исполнительного органа станка через определенные расстояния. Ошибки в позиционировании, полученные при замере, заносятся в таблицу в памяти системы ЧПУ. Во время отработки команд система ЧПУ читает из таблицы значение компенсации, соответствующее текущей позиции исполнительного органа, и добавляет его к необходимому перемещению. Для промежуточных точек используется значение погрешности, полученное методом интерполяции между двумя ближайшими точками измерений. Для большей точности может применяться двунаправленная компенсация, когда значения погрешностей измеряются интерферометром при перемещении оси как в одном, так и в другом направлении и компенсируются также в разных направлениях. Точность позиционирования, обеспечиваемая системой ЧПУ, зависит от количества точек на оси, для которых измеряется значеня погрешности и от длины оси. В современных системах ЧПУ может быть занесено в память несколько сотен точек на каждую ось.

Отклонение от прямолинейности

В процессе изготовления любые направляющие будут иметь отклонения от прямолинейности, что будет приводить в процессе работы станка к перемещению по нескольким осям (двум) при заданном перемещении вдоль одной

оси. Для компенсации данной погрешности при перемещении вдоль оси с определенной периодичностью при помощи индикаторов замеряется отклонение по двум другим осям. По измеренным отклонениям заполняется таблица в памяти системы ЧПУ. Во время отработки команд система ЧПУ считывает значение компенсации и, в соответствии с ним, добавляет перемещение по двум другим осям.

Компенсация погрешностей системами ЧПУ

Наиболее распространенные системы числового программного управления компенсируют погрешности различных типов: компенсация погрешности шага ходового винта, компенсация люфтов, компенсация отклонений от прямолинейности, трехмерная компенсация положения инструмента, компенсация тепловых деформаций. Сравнительные данные о возможных компенсациях погрешностей для различных производителей СЧПУ представлены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительные данные о возможных компенсациях погрешностей для различных производителей СЧПУ

Вид погрешности	FANUC	HEIDENHAIN	SIEMENS
Погрешность люфта	+	+	+
Погрешность шага винта	+	+	+
Наклон (перекос)	+	+	+
Периодическая погрешность шага винта	+	+	+
Отклонение от прямолинейности	+	+	+
Объемная погрешность	+	-	+
Тепловые погрешности	+	+	+
Трение сцепления	-	+	-

Компенсация погрешности шага ходового винта

Рассмотрим более подробно компенсацию погрешности шага ходового винта на примере системы ЧПУ FANUC [2].

При помощи лазерного интерферометра производится замер положения исполнительного органа станка через определенные расстояния. Ошибки в позиционировании, полученные при замере, заносятся в таблицу в памяти системы ЧПУ. Во время отработки команд система ЧПУ читает из таблицы значение компенсации, соответствующее текущей позиции исполнительного органа, и добавляет его к необходимому перемещению. Для промежуточных точек используется значение погрешности, полученное методом интерполяции между двумя ближайшими точками измерений. Для большей точности может применяться двунаправленная компенсация, когда значения погрешностей замерыются интерферометром при перемещении оси как в одном, так и в другом направлении и компенсируются также в разных направлениях. Точность позиционирования, обеспечиваемая системой ЧПУ, зависит от количества точек на оси, для которых замеряется значения погрешности, и от длины оси.

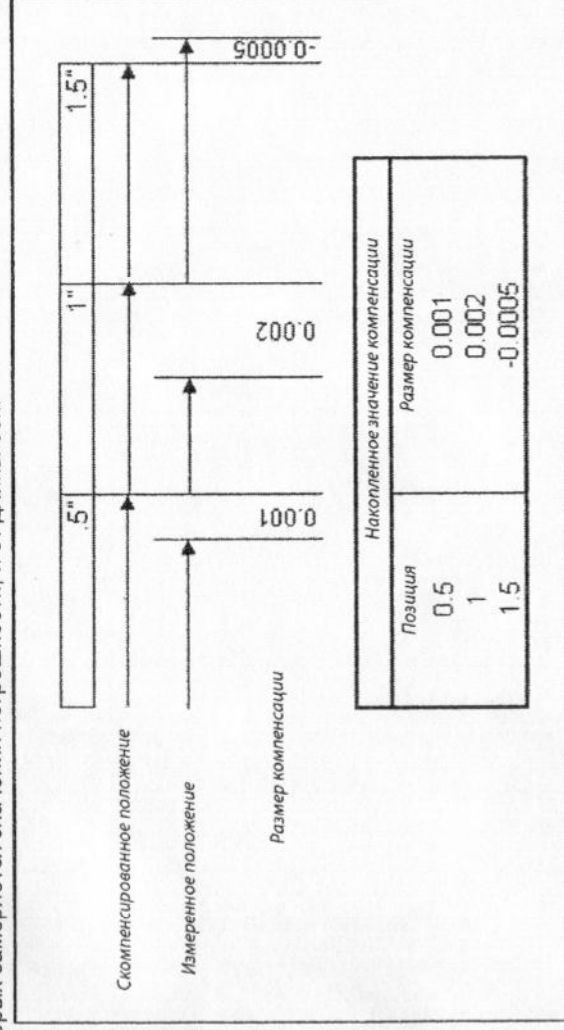


рис. 4 Компенсация погрешности шага винта

Модуль компенсации геометрических и тепловых погрешностей в системе ЧПУ АксиОМА CTRL

Архитектура геометрической задачи системы ЧПУ типа PCNC предусматривает наличие интерпретатора, который на входе принимает управляющую программу и создает IPD-код для интерполятора, который, в свою очередь, генерирует команды управления для приводов и электроавтоматики [3].

Место модуля компенсации геометрических и тепловых погрешностей находится между буфером подготовленных кадров и интерполятором. Перед тем, как пойти на интерполатор, микрокоманды перемещения проходят через блок компенсации погрешностей, где происходит изменение координат перемещений в соответствии с собранными данными о геометрических погрешностях станка и тепловыми погрешностями станка.

Общая структура системы ЧПУ АксиОМА CTRL с модулем компенсации погрешности представлена на рисунке 5.

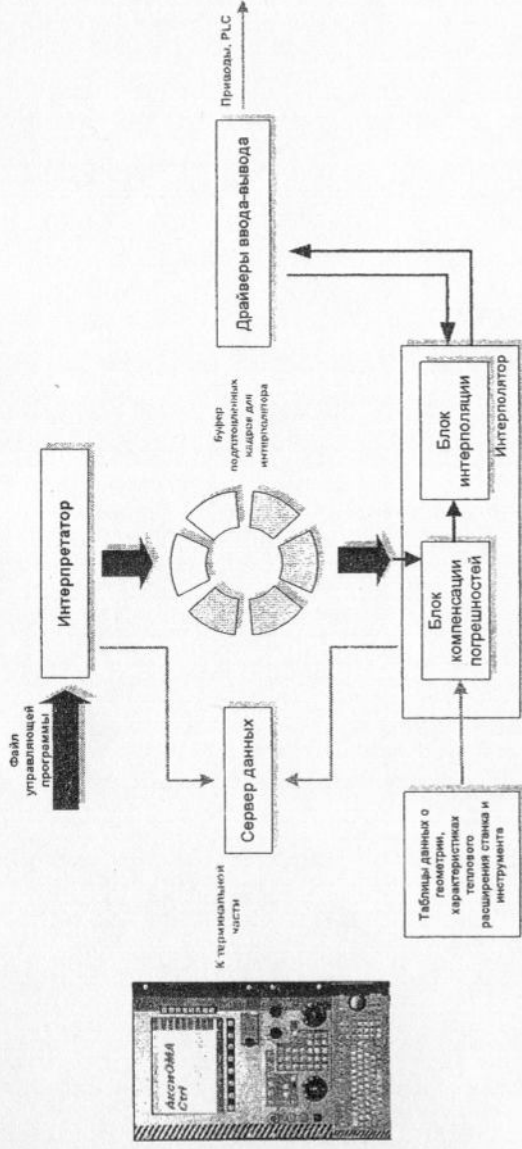


рис. 5 Компенсация погрешности шага винта

Заключение

Решение задач компенсации геометрических и тепловых погрешностей на уровне ЧПУ обеспечивает высокую конкурентоспособность технологического оборудования, так как повышает точность и степень использования оборудования, в том числе токарно-фрезерных станков.

Также, в процессе эксплуатации механическая система станка подвергается износу, однако при периодической поверке станка и обновлении таблиц, используемых алгоритмами коррекции системы ЧПУ, можно добиться высокой точности перемещений в течение всего времени эксплуатации станка.

Литература

1. Станочное оборудование автоматизированного производства: Учебник для машиностроительных специальностей ВУЗов / Под редакцией В.В. Бушуева. Т. 1. – М.: Изд-во «Станкин», 1993. – 581с.
2. Fapic Programming Manual (www.fapic.co.jp/en/).
3. Мартинова Л.И., Козак Н.В., Нежметдинов Р.А., Пушков Р.Л. Реализация открытости управления электроавтоматикой станков в системе ЧПУ класса PCNC // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2011. № 2.