

ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СТАНКА НА ТОЧНОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ, ВЫЗВАННОЙ ЛЮФТОМ ШАРИКО-ВИНТОВОЙ ПЕРЕДАЧИ

Ю.М. Орлов

Dante7100@Yandex.ru

SPIN-код: 8400-0860

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Рассмотрено влияние люфтов, возникающих в приводах металлорежущих станков, на повторяемость позиционирования рабочих органов станка. Описаны причины возникновения мертвого хода в приводах станков при движении шарико-винтовой передачи (ШВП) в различных направлениях. Рассчитано отклонение от заданной точности обработки на примере сверления отверстий в заготовке. Описан метод оптимизации перемещений приводов станков с ШВП без преднатяга с учетом повторяемости их позиционирования. Приведена формула для расчета погрешности позиционирования в случае работы двух осей с ШВП, представлены варианты возможного отклонения рабочих органов станка от заданной точности изготовления детали.

Ключевые слова

определение погрешности позиционирования, повторяемость позиционирования, люфт шарико-винтовой передачи, точность приводов станков с числовым программным обеспечением, мертвый ход, отклонение от точности, линейные перемещения, повторяемость позиционирования

Поступила в редакцию 09.11.2020

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020

Одной из наиболее распространенных задач в машиностроении является повышение качества и точности обработки заготовок на металлорежущих станках. Современные станки с числовым программным управлением (ЧПУ) отличаются высокой точностью и скоростью обработки. Высокая точность обработки обеспечивается в том числе за счет перемещения приводов подачи. Для высокопроизводительной работы необходимо добиться сочетания высокой скорости и точности обработки. Поэтому одна из важнейших задач привода подачи — это обеспечение быстрого и высокоточного выхода в заданную позицию [1].

Точность обработки на станках с ЧПУ зависит от точности станка, технологической системы и системы ЧПУ и в значительно меньшей степени — от квалификации оператора. Поэтому для станков с ЧПУ очень важно оценить точность выхода узлов в заданную позицию, поскольку эта точность служит интегральной оценкой влияния на точность обработки составляющих элементов механической и электронной частей станка.

Под воздействием силы резания, упругих колебаний, а также деформаций обрабатываемой поверхности оказываются многие элементы металлорежущего станка, что приводит к возникновению колебаний. Наибольший вклад в коле-

бания вносят упругие колебания в приводах подачи, что объясняется их большой податливостью. Упругие колебания отрицательно влияют на работу приводов подачи, способствуют снижению точности и быстродействия при обработке, появлению незатухающих вибраций, опасных резонансных явлений. Они также увеличивают динамические нагрузки на элементы станка, способствуя появлению одной из самых распространенных погрешностей, возникающей в приводах подачи металлорежущих станков и известной как люфт, или мертвый ход. Последний, в свою очередь, является важным фактором потери движения в механизмах, а также значительно влияет на повторяемость позиционирования приводов подачи станков с ЧПУ [2].

Повторяемость показывает, в каких пределах может находиться координата привода, заданная оператором станка, от требуемой точки, а если точнее, повторяемость прямо пропорциональна среднеквадратичному отклонению ошибки позиционирования, т. е. повторяемость показывает разброс ошибки позиционирования по той или иной оси.

Погрешность позиционирования привода станка с ШВП без преднатяга в данном случае представляет собой некоторое значение, обусловленное наличием зазора δ (рис. 1) [3].

Шарико-винтовые передачи имеют три класса преднатяга: люфтовой (без преднатяга), с преднатягом (незначительный преднатяг по четырем точкам контакта) и с прецизионным преднатягом (преднатяг с двумя точками контакта). Определим влияние ШВП без преднатяга на погрешность позиционирования приводов станков, так как оно дает максимальный люфт в приводах подачи [4].

В ШВП без преднатяга размер шариков меньше размера канавки, следовательно, появляется зазор между гайкой и винтом (рис. 1), поэтому между ними возможен осевой люфт, что отрицательно сказывается на повторяемости позиционирования, т. е. на способности повторно выходить в заданную точку [5].

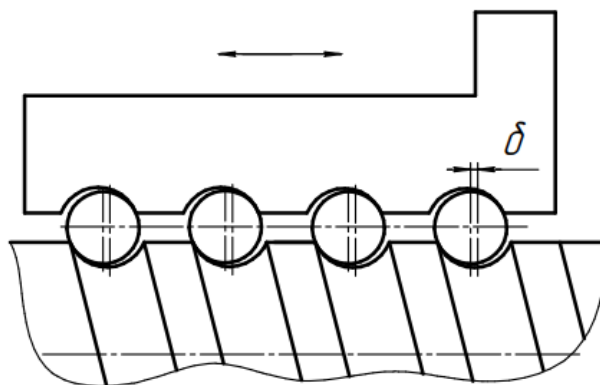


Рис. 1. ШВП без преднатяга

Наличие зазора δ в ШВП приводит к тому, что в начале движения мертвый ход возникнет до того, как этот зазор будет выбран. Ситуация усугубляется, если 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 стараются выполнять всегда только с одной стороны, так как при движении привода станка к заданной точке в одну сторону мертвый ход наблюдаться не будет и система продолжит движение с заданной точностью, потому что зазор будет устранен [6].

Рассмотрим влияние мертвого хода на повторяемость позиционирования на примере заготовки плиты при сверлении нескольких отверстий, показанных на рис. 2.

При сверлении первого отверстия видно, что линейное перемещение происходит с погрешностью δ_1 от одной оси с ШВП и δ_2 от другой, так как при движении инструмента из начальной точки в приводах подачи возникает мертвый ход, обусловленный тем, что ШВП начинают двигаться в противоположных направлениях (рис. 3). Таким образом, получаем погрешность позиционирования, которая значительно влияет на точность детали и которую нельзя не учитывать [7].

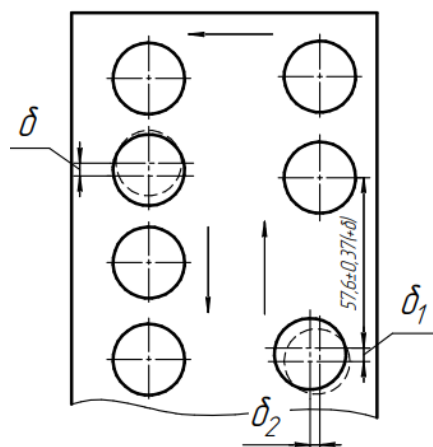


Рис. 2. Погрешности позиционирования, возникающие из-за мертвого хода

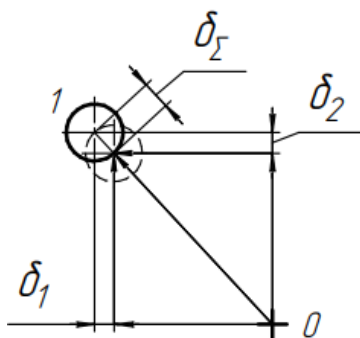


Рис. 3. Формирование погрешности позиционирования в случае работы двух осей

Значение экспериментально определяемой физической величины в большинстве случаев невозможно определить непосредственно, поскольку специальное оборудование не существует или недоступно. Необходимо измерить значение нескольких величин, которые при подстановке в соответствующие физические формулы дают возможность расчета искомой величины [8].

Погрешность позиционирования в случае работы двух осей определяется как

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2},$$

где δ_1, δ_2 — погрешности, вызванные мертвым ходом в ШВП.

Поскольку

$$\delta_1 = \delta_2 = 1 \dots 10 \text{ мкм},$$

можно записать, что

$$\delta_{\Sigma \max} = \sqrt{0,01^2 + 0,01^2} = 0,014 \text{ мм}.$$

Таким образом, максимальная погрешность от двух ШВП составит 0,014 мм.

При сверлении следующих отверстий мертвый ход в ШВП наблюдаться не будет, так как передача двигается в одну и ту же сторону, однако при выполнении следующего отверстия необходимо учитывать погрешность δ_1 от первого отверстия при движении, к которому наблюдался мертвый ход [9].

При отправлении оси в одну и ту же точку из разных положений полученный результат каждый раз будет различаться из-за механических погрешностей, возникающих вследствие возникновения мертвого хода: ось будет останавливаться на некотором расстоянии от требуемой точки [10].

Таким образом, погрешность позиционирования существенно влияет на точность обработки и сказывается на скорости перемещения и подачи рабочего органа станка, а также не зависит от длины перемещения рабочего органа станка. Поэтому необходимо учитывать данную погрешность для получения заданной точности изготовления детали. Однако при изготовлении простых деталей с невысокой точностью взаимного расположения поверхностей данная погрешность в некоторых случаях является допустимой, поэтому можно построить совершенно неточный станок со стабильной повторяемостью.

На основе этого можно сделать вывод, что возникновение погрешностей линейных перемещений в рабочих органах станка значительно влияет на точность взаимного расположения элементов на детали. Главной целью методов компенсации погрешностей является разработка очень точной математической модели предсказания погрешностей.

Литература

- [1] Савельева Л.В., Марецкая В.В. Моделирование технологического процесса изготовления деталей. *Главный механик*, 2015, № 3, с. 44–49.
- [2] Савельева Л.В., Вендин И.О. Влияние режимов резания на величину износа передней поверхности инструмента при механической обработке заготовок. *Вестник МАИ*, 2019, № 4, с. 209–215.
- [3] Савельева Л.В., Соловьев А.И., Джафарова Ш.И. Отделочно-зачистная обработка в условиях автоматизированного производства. *Технология машиностроения*, 2019, № 8, с. 13–18.
- [4] Савельева Л.В., Соловьёв А.И., Джафарова Ш.И. и др. Особенности определения погрешности базирования при установке заготовок в призмы. *Главный механик*, 2019, № 12, с. 47–51.
- [5] Албагачиев А.Ю., Краско А.С., Ильинский М.Д. и др. Современные методы диагностики и компенсации погрешностей станков с ЧПУ. *Естественные и технические науки*, 2018, № 1(115), с. 113–115.
- [6] Беляковский В.П., Кипчарский С.В. Анализ причин, определяющих погрешности позиционирования рабочих органов станков с ЧПУ. *Вестник Приазовского Государственного Технического Университета. Серия: Технические Науки*, 2001, № 23, с. 203–209.
- [7] Кочергин А.И., Василенко Т.В. Проектирование привода подачи станка с ЧПУ. Минск, БНТУ, 2014.

- [8] Чернавский С.А. Проектирование механических передач. М., Машиностроение, 1976.
- [9] Проничев Н.Д., Смелов В.Г. Инновационный курс лекций. Многоосевые обрабатывающие центры. Самара, СГАУ им. С.П. Королева, 2013.
- [10] Глубокий В.И., Якимович А.М., Глубокий А.С. Расчет приводов подач и направляющих. Минск, БНТУ, 2013.

Орлов Юрий Михайлович — студент кафедры «Технологии машиностроения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Савельева Любовь Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии машиностроения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Орлов Ю.М. Влияние погрешности позиционирования рабочих органов станка на точность изготовления детали, вызванной люфтом шарико-винтовой передачи. *Политехнический молодежный журнал*, 2020, № 11(52). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2020-11-657>

**INFLUENCE OF THE POSITIONING ERROR OF THE MACHINE TOOL
WORKING BODIES CAUSED BY THE BACKLASH
OF THE BALL SCREW ON THE ACCURACY OF MANUFACTURING A PART**

Yu.M. Orlov

Dante7100@Yandex.ru

SPIN-code: 8400-0860

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The paper considers the influence of backlash arising in drives of metal-cutting machines on the positioning repeatability of the machine working bodies. The causes of backlash in machine tool drives are described when the ball screw moves in different directions. The deviation from the specified machining accuracy is calculated using the example of drilling holes in the workpiece. A method is described for optimizing the movements of drives of machine tools with ball screws without pre-load, taking into account the repeatability of their positioning. The formula is presented for calculating the positioning error in the case of operation of two axes with ball screws, options are presented for the possible deviation of the machine working bodies from the specified accuracy of manufacturing the part.

Keywords

Determination of positioning error, positioning repeatability, ball screw backlash, drive accuracy of machine tools with numerical software, backlash, deviation from accuracy, linear movements

Received 09.11.2020

© Bauman Moscow State Technical University, 2020

References

- [1] Savelyeva L.V., Maretskaya V.V. Issues of simulating technological process of parts manufacturing. *Glavnyy mekhanik* [Chief Mechanical Engineer], 2015, no. 3, pp. 44–49 (in Russ.).
- [2] Savelyeva L.V., Vendin I.O. Cutting conditions effect on tool front surface wear rate while workpieces machining. *Vestnik MAI* [Aerospace MAI Journal], 2019, no. 4, pp. 209–215 (in Russ.).
- [3] Savelyeva L.V., Solov'yev A.I., Dzhafarova Sh.I. Finishing and cleaning treatment in the automated production condition. *Tekhnologiya mashinostroeniya*, 2019, no. 8, pp. 13–18 (in Russ.).
- [4] Savelyeva L.V., Solov'yev A.I., Dzhafarova Sh.I., et al. Features of determining the locating error when placing workpieces in v-block. *Glavnyy mekhanik* [Chief Mechanical Engineer], 2019, no. 12, pp. 47–51 (in Russ.).
- [5] Albagachiev A.Yu., Krasko A.S., Il'inskiy M.D., et al. Modern diagnostics and compensation methods for error CNC machines. *Estestvennyye i tekhnicheskiye nauki* [Natural and Technical Sciences], 2018, no. 1(115), pp. 113–115 (in Russ.).
- [6] Belyakovskiy V.P., Kipcharskiy S.V. Analysis of the causes that determine the positioning error of the working bodies of NC. *Vestnik Priazovskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta. Seriya: Tekhnicheskiye Nauki* [Reporter of the Priazovskiy State Technical University. Section: Technical Sciences], 2001, no. 23, pp. 203–209 (in Russ.).

- [7] Kochergin A.I., Vasilenko T.V. Proektirovanie privoda podachi stanka s ChPU [Design of CNC machine feeder]. Minsk, BNTU Publ., 2014 (in Russ.).
- [8] Chernavskiy S.A. Proektirovanie mekhanicheskikh peredach [Design of mechanical transmission]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1976 (in Russ.).
- [9] Pronichev N.D., Smelov V.G. Innovatsionnyy kurs lektsiy. Mnogoosovnyye obrabatyvayushchie tsenry [Innovative lecture course. Multi-axis machining centers]. Samara, SGAU im. S.P. Koroleva Publ., 2013 (in Russ.).
- [10] Glubokiy V.I., Yakimovich A.M., Glubokiy A.S. Raschet privodov podach i napravlyayushchikhtey [Calculation of feeder and slideways]. Minsk, BNTU Publ., 2013 (in Russ.).

Yu.M. Orlov — Student, Department of Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Savelyeva L.V., Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Orlov Yu.M. Influence of the positioning error of the machine tool working bodies caused by the backlash of the ball screw on the accuracy of manufacturing a part. *Politekhnicheskyy molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2020, no. 11(52). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2020-11-657.html> (in Russ.).