

уровня будет соответствовать переменная v_i , $i = \overline{1, N}$, то первому столбцу таблицы R присвоим значения i -ого столбца таблицы A. Аналогичные действия проведём для остальных $N-1$ столбцов таблицы R. Затем, когда всем столбцам будут присвоены значения, вычислим значения функции для нового порядка расположения переменных: для i -ой строки, $i = \overline{0, N-1}$, запишем слева направо значения её переменных, образуя, таким образом, число в двоичной форме записи. Затем переводим это число в десятичную форму записи и получаем номер строки j ; $j = \overline{0, N-1}$, которая будет содержать значение функции для строки i , таблицы R, в столбце значений таблицы A.

Предложенный алгоритм позволяет найти порядок расположения переменных по уровням, при котором БДР будет минимальной. Алгоритм имеет экспоненциальную сложность, как и другие существующие в данное время алгоритмы решения этой задачи (см. [1], [3]). Данный алгоритм не является универсальным средством решения задач данного типа, т.к. он ограничен вычислительной мощностью компьютера, а также имеет ограничения, связанные со средой разработки программ, в которой реализуется алгоритм.

Алгоритм может быть применён при автоматизированной оптимизации структуры программ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпов, Ю.Г. Теория автоматов/ Ю.Г. Карпов – СПб.: Питер, 2002.
2. Орлов, С.А. Технологии разработки программного обеспечения. Учебное пособие. / С.А. Орлов. – СПб.: Питер, 2003.
3. Prasad, P.W.C. Binary Decision Diagrams: An Improved Variable Ordering using Graph Representation of Boolean Functions/ P.W.C. Prasad, A.Assi, A. Harb, V.C. Prasad – International Journal of Computer Science Volume 1 Number 1.

УДК 621.9.06

Рудюк А.Н.

Научный руководитель: доцент Горбунов В.П.

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПЕРЕДАЧИ ВИНТ-ГАЙКА КАЧЕНИЯ НА ТОЧНОСТЬ КООРДИНАТНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ В СТАНКАХ С ЧПУ

В настоящее время одной из основных целей в технологии механической обработки является достижение требуемой точности изготовления деталей: точность её размеров, формы, взаимного расположения и шероховатость поверхности. К тому же ужесточились и сами параметры точности. Данные параметры точности обработки деталей формируются точностью самого станка, а именно – геометрической точностью, кинематической точностью, жёсткостью и точностью позиционирования.

В автоматизированном производстве наибольшее значение имеет использование станков с ЧПУ, где точность обработки должна обеспечиваться автоматически за счёт точного перемещения рабочих органов станка, использования систем автоматического управления и других факторов [3].

Точность координатных перемещений на станках с ЧПУ характеризуются точностью позиционирования $\Delta_{\text{поз}}$, под которой понимается отклонение действительного положения рабочего органа станка X от запрограммированного $X_{\text{прог}}$ при его многократном двухстороннем позиционировании в различных точках по пути его перемещения по одной из координатных осей [2]. Точность позиционирования формируется всем комплексом станка с ЧПУ (его механической частью и системой управления) и зависит от многих факторов: погрешности блоков и элементов устройства ЧПУ, погрешности привода подач, геометрических погрешностей станка, погрешностей измерительных преобразований и др.

В большей степени оказывают влияние погрешности привода подач, которые формируются двигателем, передаточными механизмами, тяговым устройством.

В современных конструкциях приводов подач стремятся сокращать передаточные механизмы или вообще исключить их, тогда структура привода будет состоять из двигателя (чаще всего следящий двигатель постоянного тока) и тягового устройства.

Тяговые устройства, используемые в станках с ЧПУ, должны обладать следующими характеристиками: высокий к.п.д.; низкий коэффициент трения; постоянство скорости; чувствительность к малым перемещениям; регулируемость натяга и зазора и др. Этим параметрам отвечает передача винт-гайка качения (ВГК) (рис. 1).

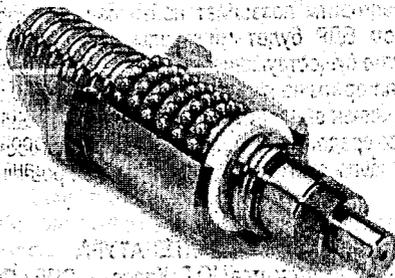


Рис. 1. Передача винт-гайка качения

На точность координатных перемещений влияют следующие характеристики тягового устройства:

1. Точность изготовления составляющих передачи винт-гайка качения;
2. Точность установки;
3. Жёсткость конструкции.

Суммарная погрешность передачи винт-гайка качения $\Delta_{\text{ГК}}$ представляет собой в общем виде функцию от всех перечисленных параметров и может быть записана следующим образом:

$$\Delta_{\text{ГК}} = f(\Delta_{\text{в}}; \Delta_{\text{г}}; \Delta_{\text{оп}}; \Delta_{\text{д}}; \Delta_{\text{уст}}) \quad (1)$$

где $\Delta_{\text{в}}$ – погрешность изготовления винта;

$\Delta_{\text{г}}$ – погрешность изготовления гайки;

$\Delta_{\text{оп}}$ – погрешность изготовления опор;

$\Delta_{\text{д}}$ – погрешность, вызванная упругими деформациями;

$\Delta_{\text{уст}}$ – погрешность установки.

Точность изготовления передачи ВГК определяется классом точности станка (Н, П, В, А, С – ГОСТ 8-81), для которого устанавливается свое допустимое значение $\Delta_{\text{ГК}}$.

В свою очередь все передачи винт-гайка качения имеют свой класс точности, который определяется ошибкой шага винта.

В зависимости от точности шага винты делят по классам:

- по ISO 3408: IT1; IT3; IT5; IT7; IT10;

- по DIN 69051: 5; 10; 25; 50; 100; 200;

- 0, 1, 2, 3 (отечественные ходовые винты).

Обычно рассматривается накопленная ошибка шага и внутришаговая ошибка.

Накопленная ошибка шага – это абсолютная величина разности между фактическим перемещением гайки вдоль оси винта и номинальным перемещением, кратным шагу винта.

Внутришаговая ошибка – это величина размаха отклонения фактического перемещения гайки вдоль оси винта от номинального перемещения, соответствующего заданному углу поворота в пределах одного шага передачи.

Существуют различные способы нормирования точности передачи ВГК:

1. Накопленная ошибка шага V_{300P} в пределах основной базовой длины $l=300$ мм;
2. Накопленная ошибка шага $V_{2ПР}$ в пределах хода винта равного 2п оборота;
3. Линейная зависимость (накопленная ошибка шага на заданной длине) [3]:

$$V_{IP} = 0,01 + 0,01 \cdot \frac{l}{1000} \quad (2)$$

где l – длина перемещения рабочего органа, мм.

Значение накопленной ошибки шага V_{300P} используется в основном в процессе эксплуатации передачи при непосредственной обработке деталей на станке. Но значение базовой длины $l=300$ мм не является аксиомой. Так, например, в станке МС12-250 максимальное перемещение стола составляет 250 мм, а в обрабатывающем центре ИР300-320 мм, поэтому для таких станков целесообразнее вводить показатель точности на меньших длинах – V_{50P} , V_{100P} , V_{150P} .

В свою очередь – накопленная ошибка шага $V_{2ПР}$ более точная характеристика и поэтому используется для закладки точности винта и всей передачи винт-гайка качения.

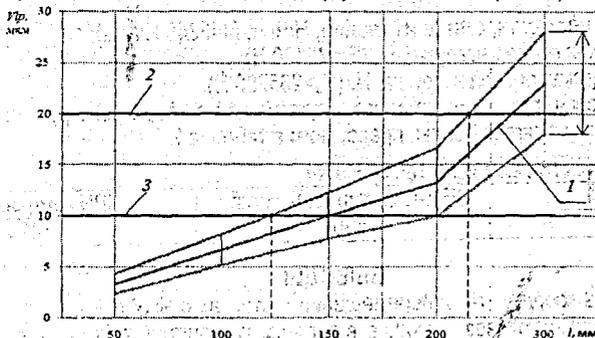
Линейная зависимость (2) позволяет рассчитывать погрешность позиционирования на длинах, отличающихся от базовой длины: 50 мм, 100 мм, 150 мм и т.д.

Рассчитаем значения погрешности и результат отобразим в таблице 1.

Табл. 1. Накопленная ошибка шага

Показатель	V_{50P}	V_{100P}	V_{150P}	V_{200P}	V_{250P}
Длина перемещения рабочего органа, мм	50	100	150	200	250
Накопленная ошибка шага, мкм	3,3	6,7	10	13,3	23

По данным расчёта построим график допустимой погрешности перемещения с учетом накопленной ошибки шага V_{IP} и допустимого рассеивания P_s погрешности позиционирования с учетом класса точности станка (Π) и величины перемещения l [2] (рис. 2).



- 1 – накопленная ошибка шага; 2 – накопленная ошибка шага V_{300P} для 2 класса точности винта; 3 – накопленная ошибка шага V_{300P} для 1 класса точности винта

Рис. 2. Допустимая погрешность перемещения

По графикам видно, что для больших перемещений (например > 250 мм) целесообразнее использовать V_{300P} , а для малых перемещений – V_{IP} .

Также на точность координатных перемещений влияет жёсткость механизмов ВГК. Данная характеристика формируется в первую очередь конструкцией механизма гайки и величиной регулируемого натяга.

По профилю резьбы различают: полукруглый – наиболее распространённый в станкостроении; арочный – образуется из двух арок окружности (арочный профиль позволяет осуществлять передачу без зазора или с натягом за счет применения шариков, диа-

метр которых несколько больше номинального).

По устройству возврата шариков различают: канал возврата шариков представляет собой изогнутую трубку, в которую шарики направляются и переходят на предыдущий виток вне гайки; канал возврата сверлится вдоль гайки и соединяется с началом первого и концом последнего витка резьбы короткими каналами, профрезерованными в торцовых шайбах гайки; каналом возврата шариков служит специальный вкладыш, вставляемый в окно гайки и соединяющий два соседних витка.

По метода регулирования натяга: регулируется относительное осевое расположение гаек при их неизменном угловом положении; создается постоянный технологический натяг в одной гайке.

В настоящее время наиболее используемыми передачами являются: DIN 69051, SEM-E-C фирмы Rexroth, HBN компании THK.

Приведем пример расчета для винта диаметром $d_0=50$ мм, шагом $p=10$ мм, по схеме закрепления, когда один конец винта жестко закреплен, а второй «плавающий» и при тяговой силе равной 6050 Н.

Жесткость гайки DIN 69051 определяем по следующей формуле [3]:

$$J_{\text{ВГК}} = 6 \cdot k_g \cdot u \cdot \left(\frac{d_0}{p} - 1 \right) \cdot \sqrt{0,1 \cdot P_H \cdot p}, \quad (3)$$

где $k_g=0,3...0,5$ – коэффициент, учитывающий погрешности изготовления гайки, а так же деформации в винтовом механизме и во всех его стыках;

P_H – величина силы натяга, Н;

u – число рабочих витков, ($u=4$).

Жесткость гайки SEM-E-C фирмы Rexroth определяем по каталогу производителя [4].

Жесткость гайки HBN компании THK определяем по формуле [5]:

$$J_{\text{ВГК}} = J \cdot \left(\frac{F_a}{0,3 \cdot C_a} \right)^3 \cdot 0,8, \quad (4)$$

где J – значение жесткости, взятое из таблиц, Н/мкм, ($J=2345$ Н/мкм);

F_a – статическая осевая нагрузка, Н, ($F_a=73100$ Н);

C_a – динамическая осевая нагрузка, Н, ($C_a=235700$ Н).

Результаты расчетов, которые могут служить для выбора конструкции передачи DUR в зависимости от тяговой силы, представим в таблице 2:

Табл. 2. Жесткость механизма гайки, Н/мкм

DIN 69051	SEM-E-C фирмы Rexroth	HBN компании THK
368,5	590	1896

Выводы

1. На точность координатных перемещений в станках с ЧПУ оказывают существенное влияние погрешности, возникающие в тяговом устройстве, а именно, в передачах ВГК, которые зависят от класса точности винта и жесткости механизма гайки.

2. Целесообразно использовать стандартные и обобщенные показатели для определения класса точности винта и значения накопленной погрешности шага для больших перемещений рабочего органа станков с ЧПУ (более 300 мм), а для станков с малыми величинами перемещения можно рекомендовать пользоваться полученной зависимостью.

3. Результаты расчета ВГК на жесткость показали, что гайка HBN компании THK обладает наибольшей жесткостью (1896 Н/мкм), следовательно ее рекомендовано использовать в станках с большими нагрузками и тяговыми силами. Гайку SEM-E-C фирмы Rexroth (590 Н/мкм) можно применять в специальных и универсальных станках с умеренными тяговыми силами. Гайка DIN 69051 обладает наименьшей жесткостью (368,5 Н/мкм), поэтому ее рекомендуется применять в станках с малыми нагрузками (отделочные).

ЛИТЕРАТУРА

1. Горбунов В.П., Григорьев В.Ф. Баланс погрешностей выходного параметра многоцелевого станка в системе привода подач – подвижный орган// Вестник БрГТУ – Машиностроение, автоматизация, ЭВМ. – 2002; - № 4(16). – с 4-7.
2. Григорьев В.Ф., Горбунов В.П. Методические указания к лабораторной работе «Измерение точности позиционирования рабочих органов станков с ЧПУ» – БрГТУ, 2000.
3. Кордыш Л.М. и др. Исполнительные механизмы приводов подач подвижных узлов металлорежущих станков. Обзор. – М., НИИмаш, 1980.:
4. Шариковинтовые приводы Rexroth. Концевые опоры и корпуса гаек./ R310RU 3301 (2006.02)
5. Шариковинтовые приводы THK. / CATALOG No. 003-1EU.

УДК 621.9.06

Рудюк А.Н.

Научный руководитель: доцент Григорьев В.Ф.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ НАПРАВЛЯЮЩИХ КАЧЕНИЯ АГРЕГАТНОГО СТАНКА НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ

Привод подачи предъявляет определённые требования к направляющим исполнительного механизма: низкий коэффициент трения; высокая жёсткость в направлении, перпендикулярном направлению подачи, высокое демпфирование; высокая износостойкость [1].

В агрегатных станках с программным управлением благодаря своим характеристикам широкое распространение получили направляющие качения, так как они обеспечивают наивысшую точность координатных перемещений рабочих органов.

Направляющие качения имеют следующие основные достоинства:

- малый коэффициент трения (0,003—0,005);
- практическая независимость коэффициента трения от скорости подачи рабочего органа (исключается прерывистое движение в конце хода рабочего органа);
- незначительный износ тел качения и направляющих элементов.

Низкое сопротивление движению обеспечивает равномерность медленных перемещений, долговечность при интенсивном использовании подвижного органа длительное время и снижение мощности электродвигателя подачи.

У направляющих с опорами качения можно выделить следующие основные разновидности [2]:

- подшипниковые опоры;
- направляющие планки или кольца с телами качения, удерживаемые сепараторами;
- «танкетки» с возвратом тел качения.

Широкое применение получили опоры качения в виде так называемых «танкеток», в которых тела качения циркулируют по замкнутой траектории. Танкетка является самостоятельным узлом, который крепится к подвижному органу станка. Эти опоры применяются в паре с закалёнными и шлифованными накладными стальными направляющими, которые характеризуются высокой нагрузочной способностью, жёсткостью и износостойкостью.

На точность обработки наиболее существенное влияние оказывают такие показатели направляющих, как жёсткость и долговечность.

При проектировании привода подач агрегатного станка для фрезерной обработки блока цилиндра было рассмотрено три наиболее распространённые конструкции направляющих качения: Rexroth 1851-35 (рис. 1, а); THK SNR35 RH (рис. 1, б); THK SC 35UU (рис. 1, в).