

Вид работ	Показатель структурной сложности k_c	Показатель загрузки k_z
Механическая обработка:		
однооперационная	1,43	0,32
многооперационная однопоточная	0,82	0,50
однооперационная многопоточная	0,85	0,83
Переработка пластмасс	1,88	0,61
Производство печатных плат	0,15	0,92
Гальванопокрытия	0,41	0,92
Транспортные работы	0,56	0,92

мость вспомогательного оборудования составляет значительную часть стоимости робототехнических комплексов, и эффективность ГПМ связана с интенсивностью использования вспомогательного оборудования, а это во многом зависит от структуры комплекса. Таким образом, показатель загрузки k_z желательнее увеличивать.

С помощью показателей k_c и k_z можно оценить зависимость степени сложности автоматизированных технологических комплексов (табл. 1) от числа потоков обработки и операций в потоке, т. е. сложность самих технологических процессов.

Большое число потоков обработки и продолжительная работа вспомогательного оборудования обуславливают малое значение показателя структурной сложности и большое — показателя загрузки комплексов по производству печатных плат.

Разработанная методика позволяет с единых позиций оценивать сложность автоматизированных комплексов для реализации разнообразных технологических процессов.

УДК 621.914.3

В.И.КЛЕВЗОВИЧ, канд.техн.наук (БПИ)

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Силовые воздействия при обработке резанием имеют циклический характер, обусловленный переменностью сечения срезаемого слоя, биением режущего инструмента, изменением количества одновременно режущих зубьев и т. д. Они вызывают колебательные процессы в станочной системе, сопровождающиеся резонансными явлениями в приводах, динамическими перегрузками, повышенным изнашиванием инструмента и т. п.

На показатели процесса обработки (точность, производительность, шероховатость обработанной поверхности) решающее влияние оказывает устойчивость перемещения подвижных органов станков (столов, суппортов, ползунов

и др.), которая главным образом определяется динамическими характеристиками приводов [1].

Привод подач современных станков с ЧПУ (рис. 1) характеризуется применением короткой кинематической цепи, состоящей обычно из высокомоментного электродвигателя 1 и передачи винт-гайка качения 2, обеспечивающей перемещение исполнительного органа 5 с обрабатываемой деталью 4 относительно режущего инструмента 3 [2].

Динамическая модель упругой системы привода подач с достаточной точностью может быть представлена в виде двухмассовой системы (рис. 2), движение которой описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + h_1 (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - h_0 (\dot{x}_0 - \dot{x}_1) - j_1 (x_1 - x_2) + j_0 (x_0 - x_1) = F_{\text{тр}}^H + F_{\text{тр}}^M; \\ m_2 \ddot{x}_2 + h_1 \dot{x}_2 - h_1 (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + j_2 x_2 - j_1 (x_1 - x_2) = F_{\text{тр}}^O, \end{cases}$$

где m_1 — масса стола станка с заготовкой и гайкой винтового механизма; m_2 — масса винта; h_0, j_0 — коэффициенты демпфирования и жесткости оправки с режущим инструментом; h_1, j_1 — коэффициенты демпфирования и жесткости резьбового соединения передач винт-гайка качения; h_2, j_2 — коэффициенты демпфирования и жесткости опор винта; $F_{\text{тр}}^H, F_{\text{тр}}^M, F_{\text{тр}}^O$ — сила трения соответственно в направляющих, механизме винт-гайка качения и опор.

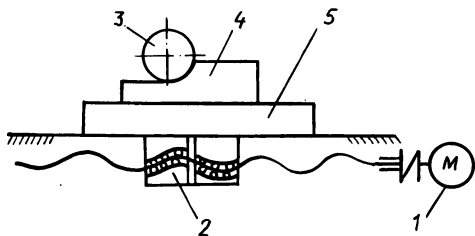


Рис. 1. Принципиальная схема упругой системы привода подач станка с ЧПУ

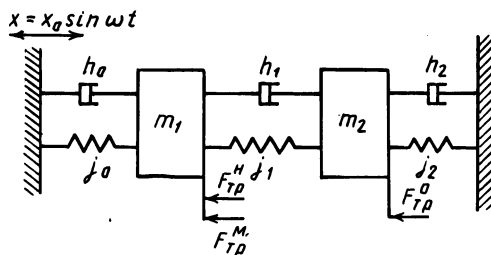


Рис. 2. Расчетная схема привода подач

Анализ и решение приведенной выше системы дифференциальных уравнений позволяют определить относительную амплитуду колебаний исполнительного органа станка (стола) в процессе обработки, которая будет характеризовать устойчивость процесса резания. При этом относительная амплитуда колебаний будет определяться значениями коэффициентов жесткости j_1 и демп-

фирования h_1 . При прочих равных условиях (h_0, h_2, j_0, j_2 — постоянны) уменьшение относительной амплитуды колебаний стола станка (масса m_1) может быть достигнуто увеличением коэффициентов жесткости j_1 и демпфирования h_1 передачи винт-гайка качения путем регулирования предварительного натяга в резьбовом соединении. Определять эти коэффициенты аналитическим путем достаточно трудно, поэтому их действительные значения выявляют чаще всего опытным путем.

Были проведены экспериментальные исследования с целью определения влияния предварительного натяга в резьбовом соединении на жесткость и демпфирование передач винт-гайка качения.

Объектом исследования служили передачи со следующими основными параметрами: диаметр винта $d_0 = 40$ мм, диаметр шариков $d_1 = 4$ мм, шаг резьбы $t = 6$ мм.

Для определения коэффициента демпфирования h_1 из известного соотношения

$$h_1 = \frac{\psi_1}{2\pi} \sqrt{m_1 j_1}$$

необходимо знать коэффициенты жесткости j_1 и относительного рассеяния энергии ψ_1 передачи винт-гайка качения.

Коэффициент жесткости j_1 исследуемого винтового механизма легко установить по графику зависимости деформации резьбового соединения $\Delta\delta$ от осевой нагрузки ΔP ($j_1 = \Delta P / \Delta\delta$).

Коэффициент ψ_1 определяется из осциллограмм затухающих колебаний по логарифмическому декременту λ , который связан с ним зависимостью [3]

$$\psi_1 = 2\lambda \frac{4\pi}{4\pi^2 - \lambda^2}$$

Результаты экспериментальных исследований, представленные на рис. 3, свидетельствуют о том, что с увеличением силы предварительного натяга P жесткость резьбового соединения j_1 увеличивается, а демпфирующая способность ψ_1 — уменьшается. Объясняется это особенностями контакта рабочих поверхностей винта и гайки с телами качения. Повышение силы предварительного натяга способствует увеличению фактической площади контакта тел качения с поверхностями винта и гайки, что приводит к возрастанию контактной жесткости резьбового соединения и уменьшению его демпфирующей способности.

Анализ полученных результатов показывает, что изменением предварительного натяга можно регулировать соотношение между жесткостью и демпфирующей способностью передачи винт-гайка качения. Как указывалось ранее, для повышения устойчивости процесса резания за счет улучшения динамических характеристик привода подач необходимо, чтобы значения коэффициентов жесткости j_1 и демпфирования h_1 были максимальными. Для исследуемой упругой системы привода подач это условие будет выполняться (см. рис. 3) при силе предварительного натяга свыше 4 кН, что соответствует осевому смещению двух гаек на 20...22 мкм. Создание предварительного натяга более 5000 Н нецелесообразно в связи со значительным уменьшением долговечности передачи. Если же передача работает при осевых нагрузках 5...7 кН,

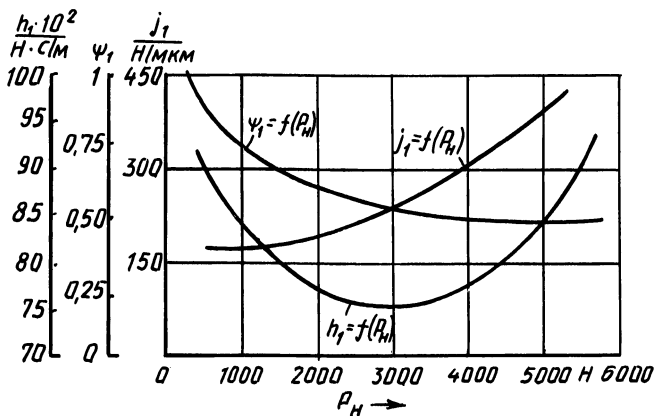


Рис. 3. Зависимость жесткости и демпфирования резьбового соединения передачи винт-гайка качения от силы предварительного натяга

сила предварительного натяга должна составлять 0,5...1,5 кН.

Было также установлено, что оптимальное соотношение между жесткостью и демпфированием передачи винт-гайка качения способствует повышению устойчивости процесса фрезерования. Это выразалось уменьшением амплитуды относительных колебаний инструмента и обрабатываемой заготовки, что обеспечивало снижение параметров шероховатости обрабатываемой поверхности и увеличение стойкости режущего инструмента (на 20...30 %).

Таким образом, проведенные исследования подтвердили возможность улучшения динамических характеристик упругой системы привода подач станков с ЧПУ за счет регулировки предварительного натяга в передаче винт-гайка качения, обеспечивающей оптимальное соотношение между жесткостью и демпфированием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Повышение демпфирования колебаний в приводе подач станков с числовым программным управлением: Методические рекомендации. — М., 1975. — 45 с.
2. Модзелевский Л.А., Соловьев А.В., Лонг В.А. Многооперационные станки. — М., 1981. — 261 с.
3. Чернявский П.М., Локтев В.И. Количественные оценки рассеивания энергии механических систем // Изв. вузов. Машиностроение. — 1979. — № 3.

УДК 621.914.4-86

В.Ф.ГОРОШКО, канд.техн.наук (БПИ),
Н.А.КОЗЛОВСКИЙ, канд.техн.наук (АН БССР)

УЛУЧШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИВодОВ ПОДАЧ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ

Уровень вибрации при работе фрезерных станков в большой мере зависит от демпфирующей способности приводов подач. Установлено, что демпфирование, создаваемое потерями на трение в направляющих исполнительных меха-