Functionally Independent Drives by Quadratic Approximation (Part I, Part II) // Proceedings of the International Workshop on Computational Kinematics CK 2005. May 4-6. 2005. Cassino, Italy.

7. *Масанов Ж.К., Темирбеков Е.С., Биртанов Е.А.* Анализ сил и колебаний конструкций механизмов высоких классов пространственной топологии. Деп. КазГосИНТИ, №6871-КА96. Деп. От 12.04.96г., 254 с.

8. *Масанов Ж.К., Байгунчеков Ж.Ж., Сартаев К.З, Абдраимова Г.А.* Упругое напряженно-деформированное состояние пространственных параллельных манипуляторов // Материалы II международной конференции «Проблемы механики современных машин». Улан-Удэ, 23-29 июня 2003 г. Т.3. С.59-62.

9. *Масанов Ж.К., Абдраимова Г.А.* Квазистатическая упругая устойчивость пространственных МВК // Там же. С.62-65.

10. *Масанов Ж.К., Елеусинова А.Е., Тулепов А.С.* Квазистатика трехмерных МВК с криволинейными упругими звеньями и силами трения в кинематических парах // Вестник КазНУ. Сер. мат. мех. инфор. 2002. №2 (30). С.132-138.

11. *Масанов Ж.К., Сартаев К., Хаджиева Л.А., Жолдасов С.* Конечно-элементная модель движения упругих механизмов // Тр.VI Международный конф. Санкт-Петербург. 14-17 июня 2005. С. 299-303.

12. *Бате К., Вилсон Е.* Численные методы анализа и метод конечных элементов. М.: Стройиздат, 1982. 447 с.

13. *Курков С.В.* Метод конечных элементов в задачах динамики механизмов и приводов. СПб.: Политехника, 1991. 224 с.

14. *Liu X., Tang X., Wang J.* Singularity Analysis of a New Parallel Manipulator with Revolute Actuators. Proceedings of the XI World IFToMM Congress. 1-4 April, 2004. P. 1977-1981.Tianjin, China.

15. *Уикер мл.* Динамика пространственных механизмов. Часть 1. Точные уравнения движения // Конструирование и технология машиностроения. 1969. №1. С. 264-270.

16. *Фу К., Гансалес Р., Ли К.* Робототехника. М.:Мир, 1989. 624 с.

Резюме

Кеңістік параллель манипуляторлардың, яғни серпімді-деформацияланатын буындары бар табиғи дискретті жүйелердің динамикасы олардың қозғалысы кезінде пайда болатын күштер әсерінен шекті элемент әдісімен модельденеді.

Summary

The finite element method models the dynamic process of naturally discrete systems with elastically deformable links under dynamic forces originating when of space parallel manipulators is moving.

УДК 621.01; 539.3; 539.62

Казахстанско-Британский технический университет, г. Алматы

Поступила 02.07.2006 г.

С. С. УСУПОВ

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ИЗДЕЛИЯ НА ТОКАРНОМ СТАНКЕ С ЧПУ

В работах [1, 2, 3] рассмотрены порознь каждый элемент упругой системы и его влияние на горизонтально радиальное положение оси вала относительно режущей кромки инструмента. Таких наиболее существенных элементов оказалось шесть:

1. Изгиб оси вала под действием силы P_y.
2. Смещение линии центров под действием силы P_y.
3. Отжатие суппорта, вызванное действием силы P_y.
4. Смещение линии центров под действием момента M_x.
5. Изгиб оси вала под действием момента M_x.
6. Смещение оси вала, вызванное продольным смещением бабок.

Как было показано, влияние этих факторов на диаметр обтачиваемой поверхности за время одного движения инструмента различно: одни из них вызывают увеличение диаметра обточенной поверхности, другие, наоборот – уменьшение.

Одновременное влияние всех этих факторов выразится алгебраической суммой податливостей элементов системы:

$$\varepsilon_i = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 . \qquad (1)$$

Подставив найденные выше значения слагаемых, имеем

$$\varepsilon_i = \frac{K^2 i}{10d}(2i^2 - 3i + 1) + \frac{0,3}{K}\left((\varepsilon_n + \varepsilon_з)\left(\frac{l - i}{l}\right) - \varepsilon_п\right)$$

$$+ \frac{x^5}{3EJ_1 l^2} + \frac{1}{EJ_2}\left(\frac{l^3 - x^3}{3}\right)\left(1 - \frac{x^2}{l}\right) -$$

$$-2\left(\frac{l^2-x^2}{2}\right)\left(x-\frac{x^2}{l}\right)x(l-x)+\varepsilon_з \qquad (2)$$

Уравнение (2) является общим выражением податливости системы СПИД в любой точке приложения нагрузки.

Из учения о резании металлов известно

$$P_y = C_p K_y t^{x_y} s^{y_y} v^{n_y}. \qquad (3)$$

Из уравнения (3) можно получить следующую зависимость:

$$S = \sqrt[y_y]{\frac{P_y}{C_p K_y t^{x_y} v^{n_y}}}. \qquad (4)$$

Проанализировов зависимость (4), можно сделать вывод, что изменяя значение продольной подачи S, можно регулировать величину P_y, а поскольку величина прогиба вала определяется из соотношения $Y_i = \varepsilon_i P_y$, то это значит, что погрешностью профиля вала можно управлять путем надлежащего изменения подачи. Таким образом, при $Y_i = t_{зад} = const$, подставив (2) в (4), можно записать

$$S = \sqrt[y_y]{\frac{\varepsilon_i - \varepsilon_з}{\left(\begin{array}{l}\dfrac{K^2 i}{10d}(2i^2-3i+1)+\dfrac{0{,}3}{K}\left((\varepsilon_n+\varepsilon_з)\left(\dfrac{l-i}{l}\right)-\varepsilon_n\right)+\dfrac{x^5}{3EJ_1 l^2}+\\ +\dfrac{1}{EJ_2}\left(\dfrac{l^3-x^3}{3}\right)\left(1-\dfrac{x^2}{l}\right)-2\left(\dfrac{l^2-x^2}{2}\right)\left(x-\dfrac{x^2}{l}\right)x(l-x)\end{array}\right)K_y C_p t^{x_y} v^{n_y}}} \qquad (5)$$

Применение систем числового программного управления в металлорежущих станках позволяет с высокой точностью осуществлять позиционирование инструмента. Однако попытка включить сам процесс резания в замкнутую систему управления сталкивается с множеством проблем, связанных с трудностью его точного описания. Управление силами резания в реальном времени увеличивает чистоту поверхности и точность размеров деталей, срок службы инструмента, способствует более рациональному использованию возможностей станка и повышает, таким образом, его производительность. При точении управление силами резания производится обычно надлежащим изменением подачи, определяющей толщину стружки. В установившемся режиме соотношение между силой резания P, толщиной стружки h и глубиной резания b можно записать в виде

$$P = K_u b h^p, \qquad (6)$$

где K_u представляет собой коэффициент пропорциональности, зависящий от свойств материала и состояния инструмента. Поскольку качество регулирования определяется характеристиками переходных процессов, при разработке замкнутой системы управления необходимо учитывать зависимость между подачей и толщиной стружки в неустановившемся режиме. Кроме того, необходимо принимать во внимание зависимость сил резания от свойств материала, состояния инструмента и глубины резания. Так как влияние этих параметров трудно рассчитать заранее, управление силой резания целесообразно осуществлять с помощью адаптивных систем.

Известно также, что деформация детали Y равна произведению силы резания P и податливости системы СПИД ε:

$$Y = P\varepsilon. \qquad (7)$$

В связи с тем что значение податливости системы СПИД ε было определено из предыдущих расчетов, можно записать

$$Y = P_y \left(\begin{array}{l} \frac{K^2 i}{10d}(2i^2 - 3i + 1) + \frac{0{,}3}{K}\left((\varepsilon_n + \varepsilon_з)\left(\frac{l-i}{l}\right) - \varepsilon_n \right) + \frac{x^5}{3EJ_1 l^2} + \\ + \frac{1}{EJ_2}\left(\frac{l^3 - x^3}{3}\right)\left(1 - \frac{x^2}{l}\right) - 2\left(\frac{l^2 - x^2}{2}\right)\left(x - \frac{x^2}{l}\right) x(l - x) \end{array} \right) \qquad (8)$$

Величина податливости ε является производной от координаты x по длине детали, тем самым внося дополнительную нелинейность в процесс резания. Однако эта нелинейность может быть программно компенсирована дополнительным изменением силы резания P в процессе точения. Следовательно, можно считать величину $\varepsilon = K_\varepsilon = const$. Тогда уравнение (7) примет вид

$$Y = K_u K_\varepsilon b h^p = K_p b h^p. \qquad (9)$$

Далее рассматривается дискретная модель, которая в отличие от уравнения (9) позволяет описывать процесс резания в динамике. Моделирование осуществлялось путем идентификации объекта по соотношениям между входными и выходными сигналами, а также на основе геометрических соображений, помогающих установить закономерность изменения толщины стружки.

Из изложенного можно сделать слеющие выводы:

1) согласно уравнению (8) величина податливости имеет нелинейную зависимость, и при составлении программы необходимо учесть этот фактор за счет изменения силы резания в процессе точения;

2) разработанная математическая модель процесса резания позволяет приступить к созданию адаптивной системы управления применительно к токарному станку.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Усупов С.С.* Математическая модель для определения усилия, воспринимаемого центрами станка // Вестник КазАТК. 2006. №1. С. 131-135.

2. *Усупов С.С.* Деформация обрабатываемой детали от действия осевых сил при резании // Поиск. 2006. №2. С. 298-300.

3. *Усупов С.* Деформация системы, вызванная действием поперечной силы резания при токарной обработке // Вестник КазАТК. 2006. №1. С. 135-138.

Резюме

Аспаптың жону қырын салыстыра білік осінің горизонталды радиалды орналасуының серпімді технологиялық жүйенің маңызды элементтеріне әсерлері қарастырылған. Жону станогының адаптивті басқару жүйесін құру үшін математикалық модель ұсынылған.

Summary

Were considered, the influences of the most essential elements of an elastic technological system on the horizontal radial position of the axis, shaft relative to tool cutting edge. Were proposed a mathematical model of the process of cutting, which will make it possible to create an adaptive system of control of the turning by a machine tool.

УДК 621.941

Казахстанско-Британский технический университет, г. Алматы

Поступила 02.06.2006 г.