

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСТОЧНОГО ИНСТРУМЕНТА С ПЛАВАЮЩИМИ РЕЗЦОВЫМИ БЛОКАМИ

Ю. Г. Юфкин, Н. Н. Веснушкина

В статье рассматриваются вопросы операции чистового растачивания самоустанавливающимися инструментами как инструментами с конструктивно реализованной системой адаптации. Устанавливаются основные источники погрешностей технологической системы; исходные погрешности формы отверстий в заготовке; погрешности установки заготовки в станке. За основу создания математической модели, описывающей процесс растачивания самоустанавливающимися инструментами, взята математическая модель процесса обработки в виде замкнутой технологической системы. Плавающие резцовые блоки рассматриваются как абсолютно жесткие тела, имеющие относительно корпуса инструмента одну степень свободы. Общими параметрами, характеризующими конструкцию расточного инструмента с плавающими резцовыми блоками, являются: их число; сила прижима каждого резцового блока в корпусе инструмента; коэффициенты трения резцовых блоков в корпусе инструмента; число режущих элементов, расположенных с каждой стороны резцового блока. Составляющие силы резания представлены в виде постоянной и переменной частей. Переменная часть составляющих силы резания представлена в виде рядов Фурье. Формализация профиля обрабатываемого отверстия учитывает его погрешности в радиальном сечении (овальность, отгранка). Текущей координатой, описывающей в заданной точке профиль обрабатываемого отверстия, является центральный угол. Полученная динамическая модель работы расточного инструмента с плавающими резцовыми блоками, учитывающая переменный характер составляющих силы резания, действующих на каждом режущем элементе, позволяет с достаточной точностью описывать его работу в реальном времени.

Ключевые слова: математическая модель, расточной инструмент, режущий элемент, составляющие силы резания, глубина резания, погрешности формы.

DYNAMIC MODEL OF A BORING TOOL WITH FLOATING CUTTER BLOCKS

Yu. G. Yufkin, N. N. Vesnushkina

The article discusses the operation of fine boring with self-positioning tools as tools with a constructively implemented adaptation system. The authors establish the main sources of error of the technological system; sources of error shape of the holes in the workpiece; error of the workpiece in the machine. The mathematical model describing the process of boring self-aligning tools is created basing on a mathematical model of processing in the form of a closed technological system. Floating cutter blocks are regarded as completely rigid body relative to the tool body having one degree of freedom. General parameters characterizing the structure of a boring tool with floating cutter blocks are their number; the pressing force of each of the insical unit in the tool body; friction coefficients of cutting blocks in the tool body; the number of cutting elements disposed on each side of the incisal block. Components of the cutting forces are presented in the form of fixed and variable parts. The variable part of the components of the cutting force is presented in the form of a Fourier series. The formalization of the profile of the hole takes into account its error in the radial section (ovality, cut). Current coordinate describing the profile at a given point of the hole is a central angle. The resulting dynamic model of the boring tool with floating cutting blocks, which takes into account the variability of the components of the cutting force acting on each cutting element, can adequately describe his work in real time.

Keywords: mathematical model, boring tools, cutting element, cutting force components, cutting depth, form error.

© Юфкин Ю. Г., Веснушкина Н. Н., 2015

Одной из наиболее трудных проблем в металлообработке является получение в деталях машин точных отверстий. Известными резервами повышения качества и снижения себестоимости операций чистового растачивания является применение самоустанавливающихся инструментов как инструментов с конструктивно реализованной системой адаптации. Применение самоустанавливающихся инструментов позволяет компенсировать основные источники погрешностей технологической системы (относительные смещения осей инструмента и обрабатываемой детали; отклонение от прямолинейности движения подачи; деформации, упругие смещения и неравномерность жесткости технологической системы; колебания и вибрации системы; исходные погрешности формы отверстий в заготовке; погрешности установки заготовки в станке и др.).

Недостатком существующих теоретических исследований процессов растачивания самоустанавливающимися инструментами на основе создания математических моделей, описывающих динамику их работы, является то, что они проводились без учета переменного характера сил резания, действующих на инструмент. Для учета переменного характера сил резания необходимо при составлении математической модели представить процесс обработки в виде замкнутой технологической системы [1]. При этом плавающие резцовые блоки рассматриваются как абсолютно жесткие тела, имеющие относительно корпуса инструмента одну степень свободы. Корпус инструмента в осевом сечении и в направлении, перпендикулярном движению плавающих резцовых блоков, рассматривается абсолютно жестким [2]. Общими параметрами, характеризующими конструкцию расточного инструмента с плавающими резцовыми блоками, являются: n – число плавающих резцовых блоков ($i = 1 \div n$); m_i – масса i -го резцового блока; N_i – сила прижима i -го резцового блока в корпусе инструмента; $f_{ТП}$ – коэффициент

трения i -го резцового блока в корпусе инструмента; P_{ij} – число режущих элементов, расположенных с j -й стороны i -го резцового блока ($j = 1 \div 2$); $k = 1 \div P_{ij}$; $P_{xi,j,k}$; $P_{yi,j,k}$; $P_{zi,j,k}$ – составляющие силы резания, действующие на k -ю режущую вставку, расположенную с j -й стороны i -го резцового блока; t_B – текущее время работы инструмента.

В процессе работы инструмента в зависимости от значений технологических параметров для каждого режущего элемента (S ; V ; $t_{i,j,k}$) на них действуют определенные значения составляющих силы резания. Силы, действующие на режущие элементы, действуют на резцовые блоки. В зависимости от величины суммарных составляющих результирующих сил и направления их действия, резцовые блоки перемещаются на определенную величину. Это перемещение изменяет значение глубины резания на каждом из режущих элементов, что, в свою очередь, ведет к изменению составляющих силы резания на режущих элементах. Таким образом, общее уравнение движения i -го резцового блока относительно корпуса инструмента описывается в следующем виде:

$$m_i \ddot{y}_i = P \sum_{k=1}^{P_{i,1}} P_{yi,1,k}(t_B) - \sum_{k=1}^{P_{i,2}} P_{yi,2,k}(t_B) - \left[N_i + \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^{P_{i,j}} P_{xi,j,k}(t_B) + P_{zi,j,k}(t_B) \right] \times f_{ТП}$$

Изменяющиеся по времени составляющие силы резания представлены в математической модели в виде рядов Фурье:

$$P_{xi,j,k}(t_B) = A_{0xi,j,k} + \sum_{c=1}^r A_{xi,j,k,c}$$

$$\sin \omega_x t_B + \sum_{c=1}^r B_{xi,j,k,c} \cos c \omega_x t_B,$$

$$P_{yi,j,k}(t_B) = A_{0yi,j,k} + \sum_{c=1}^r A_{yi,j,k,c}$$

$$\sin c \omega_y t_B + \sum_{c=1}^r B_{yi,j,k,c} \cos c \omega_y t_B,$$

где $P_{xi,j,k}; P_{yi,j,k}$ – составляющие силы резания, действующие на k -й режущий элемент, расположенный с j -й стороны i -го резового блока;

$A_{xi,j,k,c}; B_{xi,j,k,c}$ – амплитудные составляющие рядов;

$\omega_x; \omega_y$ – частотные составляющие гармоник рядов;

c – номер гармоники;

r – число гармоник.

Амплитудные и частотные составляющие гармоник рядов связаны эмпирическими зависимостями с технологическими параметрами обработки и геометрическими параметрами инструмента.

Далее рассмотрим задачу формализации профиля обрабатываемого отверстия в радиальном сечении. Для данного случая наиболее частыми погрешностями формы являются овальность (эллипсность) и огранка. Текущей координатой, описывающей в заданной точке профиль обрабатываемого отверстия в его радиальном сечении, может являться центральный угол (φ_i), образованный плоскостью, проходящей через ось инструмента, и осью, расположенной в радиальной плоскости (перпендикулярной оси инструмента), проходящей через вершину рассматриваемого режущего элемента. По числу оборотов инструмента в единицу времени и текущему времени работы инструмента можно определить значение центрального угла.

Для определения реальной глубины резания для i -го режущего элемента (R_{pi}) необходимо знать угол поворота режущего элемента относительно плоскости, проходящей через ось инструмента, и разницу значений номинального и реального профилей в рассматриваемой точке. Описывая погрешности профиля обрабатываемого отверстия в его радиальном сечении, рассмотрим координатную систему, оси которой совпадают с осями эллипса, характеризующего погрешность формы отверстия. Пусть большая полуось эллипса равна $R_{max.i}$ а малая – $R_{min.i}$, номинальный радиус обрабатываемого отверстия равен R_{nomi} .

Положение R_{nomi} на реальном профиле определяется как

$$R_{nomi} = R_{mini} + \frac{(R_{maxi} - R_{mini})}{2}.$$

Рассматриваемая развертка профиля в функциональной зависимости $R_{pi} = f(\varphi_i)$ является периодической с периодом

$$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i},$$

где ω_i – циклическая частота, описывающая движение режущего инструмента.

Амплитуда (A_i) функции равна

$$A_i = \frac{(R_{maxi} - R_{mini})}{2}.$$

Таким образом, разница значений (ΔR_i) номинального и реального профилей в рассматриваемой точке определится следующим образом:

$$\Delta R_i = A_i \cos(\omega_i t_B),$$

где t_B – текущее время работы инструмента.

Для определения циклической частоты (ω_i) обозначим через N_{ob} число оборотов инструмента в единицу времени. Тогда частоту основной гармоники функции можно определить как

$$\vartheta_i = 2N_{ob}.$$

Циклическая частота определяется:

$$\omega_i = 4\pi N_{ob}.$$

Отсюда следует, что один оборот инструмента равен двум периодам функции $R_{pi} = f(\varphi_i)$.

С увеличением числа граней (случай огранки с n числом граней) циклическая частота функции $R_{pi} = f(\varphi_i)$ во столько же раз возрастает. Величина текущего радиуса R_{pi} при данном угле φ_i будет определяться как векторная сумма но-

минального радиуса и приращения периодической погрешности, вызванной погрешностью формы в поперечном сечении обрабатываемого отверстия:

$$R_{pi} = R_{nom i} + \frac{1}{2}(R_{max i} - R_{min i}) \cos(2\pi n N_{ob} t_B).$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Козочкин, М. П.** Динамика процесса резания / М. П. Козочкин. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 296 с.
2. **Кудинов, В. А.** Динамика станков / В. А. Кудинов. – Москва : Машиностроение, 1976. – 369 с.

Поступила 18.09.2014 г.

Об авторах:

Юфкин Юрий Гаврилович, доцент кафедры металлообрабатывающих станков и комплексов Рузаевского института машиностроения (филиала) ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Рузаевка, ул. Ленина, д. 93), кандидат технических наук, yuriyfkin@mail.ru

Веснушкина Нина Николаевна, доцент кафедры технологии машиностроения Рузаевского института машиностроения (филиала) ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва» (Россия, г. Рузаевка, ул. Ленина, д. 93), nina.vesnushkina@mail.ru

Для цитирования: Юфкин, Ю. Г. Динамическая модель расточного инструмента с плавающими резцовыми блоками / Ю. Г. Юфкин, Н. Н. Веснушкина // Вестник Мордовского университета. – 2015. – Т. 25, № 1. – С. 101–104. DOI: 10.15507/VMU.025.201501.101

REFERENCES

1. Kozochkin M. P. Dinamika processa rezaniya [Dynamics of the process of cutting]. LAP LAMBERT Academic Publ., 2013, 296 p.
2. Kudinov V. A. Dinamika stankov [Dynamics of machines]. Moscow, Mechanical Engineering Publ., 1976, 369 p.

About the authors:

Yufkin Yuriy Gavrilovich, associate professor (docent) of Machine Tools and Systems chair of Ruzaevka Machine Engineering Institute, branch of Ogarev Mordovia State University (93, Lenin Str., Ruzaevka, Russia), Candidate of Sciences (PhD) degree holder in Engineering sciences, yuriyfkin@mail.ru

Vesnushkina Nina Nikolayevna, associate professor (docent) of Machine Engineering Technology chair of Ruzaevka Machine Engineering Institute, branch of Ogarev Mordovia State University (93, Lenin Str., Ruzaevka, Russia), nina.vesnushkina@mail.ru

For citation: Yufkin Yu. G., Vesnushkina N. N. Dinamicheskaya model rastrochnogo instrumenta s plavayushchimi reztsovymi blokami [Dynamic model of a boring tool with floating cutter blocks]. *Vestnik Mordovskogo Universiteta* – Mordovia University Bulletin. 2015, vol. 25, no. 1, pp. 101–104. DOI: 10.15507/VMU.025.201501.101