

УДК 621.923

Ю.О. Стреляная, ассистент,**Д.А. Каинов, канд. техн. наук,****А.П. Фалалеев, доцент, канд. техн. наук***Севастопольский национальный технический университет,**ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053**tm@sevntu.com.ua***ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА РАСТАЧИВАНИЯ**

Разработана динамическая модель процесса растачивания, учитывающая основные динамические свойства технологической системы процесса обработки, износ инструмента и отклонения формы заготовки от номинальных параметров с учетом особенностей двухкомпонентного управления.

Ключевые слова: растачивание, управление, возмущения, динамика.

Современное состояние экономики выдвигает на передний план проблемы, связанные с выпуском конкурентоспособной продукции машиностроения. В свою очередь, высокий уровень требований к современным машинам обусловил ряд проблем, связанных с технологией обработки деталей машин. Повышение физико-механических характеристик прочности, твердости и износостойкости конструкционных материалов определило общую тенденцию к снижению их обрабатываемости, что приводит к повышенному износу инструмента, увеличению усилий, деформаций и температуры резания, а, следовательно – к снижению точности обработки и качества обработанных поверхностей. Множество проблем обусловлено конструктивными особенностями деталей машин. Постоянное стремление к уменьшению материалоемкости конструкций приводит к снижению жесткости и виброустойчивости деталей в процессе обработки. Отклонения формы деталей вызывает неравномерные упругие деформации в процессе резания и соответствующие им погрешности обработки. Для этих условий особую актуальность приобретают технологии, основанные на снятии тонких стружек, что обеспечивает малые усилия резания, деформации деталей и высокую их точность.

Общие проблемы обработки изначально усугубляются в процессе получения точных отверстий, что связано с неблагоприятными условиями резания и уменьшением жесткости инструмента.

Особенно актуальна эта задача для обработки точных отверстий при растачивании на расточных станках. Широкое применение операции растачивания обусловлено тем, что она позволяет обеспечивать высокую производительности и точность размеров и формы отверстий. С другой стороны отсутствие динамических моделей учитывающих влияние внешних возмущений на динамику процесса приводит к неэффективному использованию современного оборудования и ограничивает его возможности.

Целью настоящей работы является построение динамической модели технологической системы (ТС) растачивания, учитывающей влияние возмущений на выходные показатели процесса.

Технологический процесс (ТП) растачивания невозможен без силового взаимодействия обрабатываемой заготовки и инструмента. Для этого необходимо обеспечение механической (силовой) связи между основными элементами технологической системы для его осуществления – инструментом и заготовкой. Эта связь является односторонней (неудерживающей) [1]. Условие, ее характеризующее, представляется соотношением:

$$L(\tau) \leq R(\tau) - r(\tau), \quad (1)$$

где $L(\tau)$ – текущее расстояние между осью обрабатываемого отверстия и установочной базой борштанги, от которой отсчитывается положение вершины резца, $r(\tau)$ – текущий радиус обрабатываемого отверстия; $R(\tau)$ – текущее значение положения вершины резца относительно базы.

Векторы $R(\tau)$ и $r(\tau)$, могут быть представлены в форме:

$$\begin{cases} R(\tau) = R_0 + \Delta R(\tau) \\ r(\tau) = r_0 + \Delta r(\tau) \end{cases},$$

где $R_0 = \text{const}_1$, $r_0 = \text{const}_2$; $\Delta R(\tau)$, $\Delta r(\tau)$ – начальные значения соответствующих параметров и отклонений от них для текущих значений состояний инструмента и обрабатываемого отверстия.

Компонентами $\Delta R(\tau)$ и $\Delta r(\tau)$ являются: отклонения от формы отверстия и погрешность формы инструмента – $\Delta R_{\Phi}(\tau)$ и $\Delta r_{\Phi}(\tau)$; $\Delta R_u(\tau)$ и $\Delta r_c(\tau)$ – изменения текущих размеров заготовки и инструмента вследствие съема части припуска и износа; изменения размеров вследствие нагрева и

расширения – $\Delta R_{t_o}(\tau)$ и $\Delta r_{t_o}(\tau)$, а также вследствие упругих деформаций тел инструмента и заготовки в ходе ТП – $\Delta R_y(\tau)$ и $\Delta r_y(\tau)$, соответственно, т.е.

$$\begin{cases} \Delta R(\tau) = \Delta R_{\Phi}(\tau) - \Delta R_u(\tau) + \Delta R_{t_o}(\tau) - \Delta R_y(\tau) \\ \Delta r(\tau) = \Delta r_{\Phi}(\tau) - \Delta r_c(\tau) + \Delta r_{t_o}(\tau) - \Delta r_y(\tau) \end{cases} \quad (2)$$

Вторые и третьи слагаемые в каждом из уравнений системы (2) представляют относительно медленно изменяющиеся, или достаточно точно прогнозируемые величины, что позволяет учитывать их при оценке значений $R_0(\tau)$, и $r_0(\tau)$.

При описании зоны резания как динамического элемента механической системы интерес представляют те его характеристики, которые определяют возможность накопления потенциальной и кинетической энергии в рассматриваемом объекте вследствие перемещений инструмента и заготовки как твердых тел, а также способность к рассеиванию (диссипации) запасенной энергии.

По физическим соображениям существование такой зоны возможно только при условии, если глубина такой зоны t_f является положительной величиной, что соответствует условиям выполнения неравенства (1) и дает возможность переписать его в виде следующей системы:

$$\begin{cases} t_f = R(\tau) - r(\tau) - L(\tau) \\ t_f > 0 \end{cases} \quad (3)$$

Первое из уравнений системы (3) может рассматриваться как формальное представление описания удерживающей связи, а второе – характеризует условие ее существования. Это позволяет применить классические методы теоретической механики для построения расчетной схемы моделирования динамики перемещений инструмента и заготовки, как элементов механического эквивалента ТС. Без существенной погрешности для расчетов можно пренебречь количеством (долей) вещества в зоне резания по отношению к массам заготовки и инструмента. Также возможно не учитывать влияние отделяющихся от заготовки и инструмента стружки и продуктов износа шлифовального круга на динамику ТС.

Расчетная схема для анализа ТС представлена на рисунке 1.

При моделировании использованы следующие обозначения:

– m_1 и m_2 – массы инструмента и заготовки с координатами x_1 и x_2 , соответственно, отсчитываемыми относительно неподвижной в процессе обработки системы координат, связанной со станком; c_1 и c_2 – жесткости обрабатываемого изделия и борштанги; h_1 и h_2 – линейные коэффициенты демпфирования, характеризующие показатели диссипации энергии рассматриваемых элементов от скорости их перемещений; c_3 , h_3 – эквивалентная жесткость и коэффициент демпфирования зоны резания; V_u и V_k – линейные скорости поверхностей заготовки и инструмента, соответственно; z – расстояние между подвижной опорой борштанги и телом станка.

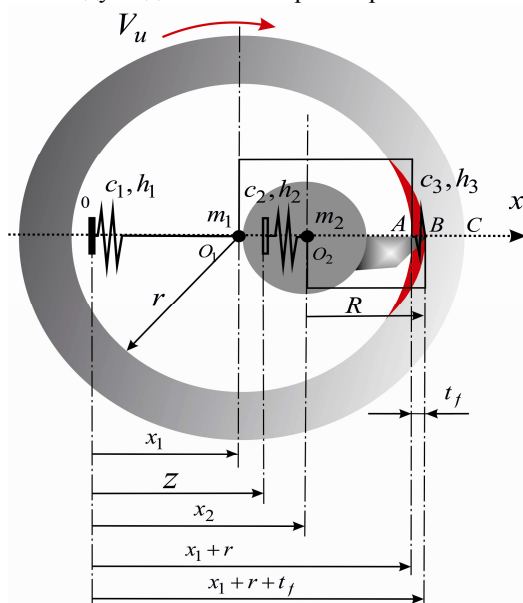


Рисунок 1 – Расчетная схема процесса растачивания

При постоянной подаче s по лимбу станка величина $z(\tau)$ определяется как

$$z(\tau) = \int_{\tau_0}^{\tau} s(t) \cdot dt = z(\tau) \Big|_{\tau=\tau_0} + s \cdot (\tau - \tau_0), \quad z_0 = z(\tau) \Big|_{\tau=\tau_0}$$

Состояния ТС целесообразно характеризовать в зависимости от величины t_f , определяемой из (3), и, с учетом принятых в расчетной схеме обозначений, переписанной в виде:

$$t_f = r - R - (x_2 - x_1). \quad (4)$$

При описании динамических характеристик ТП режим ТС, при котором $t_f < 0$ не представляет интереса. В силу (3) он соответствует либо отсутствию, либо прекращению контакта инструмента с обрабатываемой заготовкой. При этом ТП либо еще не начался, либо прерывается, а рассматриваемая в качестве носителя свойств ТП динамическая система соответствует двум несвязанным системам с независимыми описаниями: подсистеме инструмента и подсистеме заготовки, в поведении которых отсутствуют признаки, характерные для процесса обработки, т.е. ее признаки не соответствуют характеристикам протекания ТП. Движение каждой из этих подсистем осуществляется независимо друг от друга, определяется внешними воздействиями и соответствующими начальными параметрами.

Выполнению условия $t_f = 0$, соответствует момент касания инструментом заготовки. В соответствие (7), условие $x_2 - x_1 = r - R$, с учетом (4) и (3), может быть представлено в форме:

$$[x_1(\tau) - x_2(\tau) - \Delta r(\tau) + \Delta R(\tau)] \Big|_{t_f=0} = r_0 - R_0.$$

В зависимости от знака скорости сближения центров инструмента и заготовки $s(\tau)$

$$\frac{d[x_2(\tau) - x_1(\tau) + \Delta r(\tau) - \Delta R(\tau)]}{d\tau} \Big|_{t_f=0} > 0,$$

которые можно представить в виде:

$$\left\{ \frac{d[\Delta r(\tau) - \Delta R(\tau)]}{dL(\tau)} \right\} \Big|_{t_f=0} < 1. \quad (5)$$

Соотношение (5) может служить как для определения времени начала касания, а, с учетом (4) и (5), – угловых положений инструмента ($\varphi_{1,0}$) и заготовки ($\varphi_{2,0}$).

Оно также может оказаться полезным для определения ограничений при выборе режимов подач в зависимости от погрешностей начальных форм детали и инструмента.

При построении статистических характеристик описаний форм эти соотношения позволяют построить функции плотностей распределений рассматриваемых величин.

Невыполнение соотношений (5) соответствует прекращению соприкосновения и отрыву инструмента от детали. Если в дальнейшем скорость изменения расстояния между осью обрабатываемого отверстия и установочной базой борштанги не меняет знак, условие (5) вновь может начать выполняться, что соответствует многократным касаниям инструментом заготовки.

Состояние номинального режима обработки характеризуется условием ТС $t_f = t_{f_{noml}} > 0$. При разработке программного управления, например, для станков с ЧПУ, обычно считают отсутствующими отклонения от расчетных величин размеров инструмента и заготовки ($\Delta R_\Phi = 0$ и $\Delta r_\Phi = 0$). При этом считается, что как заготовка, так и инструмент не имеют дисбалансов, износ инструментов соответствует технологическим нормам, съем материала соответствует расчетным параметрам.

На основании (4), с учетом (2), при указанных выше условиях, глубина резания определяется как:

$$t_f(\tau) = x_2(\tau) - x_1(\tau) + r_0(\tau) - R_0(\tau) \quad (6)$$

В соотношении (6) присутствует две переменных, т.е. рассматриваемая система имеет две степени свободы.

В соответствие с расчетной схемы положение точки B в системах координат, связанных с заготовкой и инструментом, определится как

$$x_B = x_1 + r + t_f \quad \text{и} \quad x_B = x_2 + R,$$

соответственно, что позволяет определить глубину зоны резания как

$$t_f = x_2 - x_1 + (r - R). \quad (7)$$

С использованием принципа Даламбера при построении динамического описания ТС можно охарактеризовать силовой баланс и с учетом (7) представить результаты в форме пространства состояний:

$$\left\{ \begin{array}{l} m_1 \cdot \frac{d^2 x_1}{d\tau^2} + h_1 \cdot \frac{dx_1}{d\tau} + c_1 \cdot x_1 = h_3 \cdot \frac{d(x_2 - x_1 + \Delta r(\tau) - \Delta R(\tau))}{d\tau} + \\ + c_3 \cdot (x_2 - x_1 + \Delta r(\tau) - \Delta R(\tau) + r_0 - R_0) \\ m_2 \cdot \frac{d^2 x_2}{d\tau^2} + h_2 \cdot \frac{dx_2}{d\tau} + c_2 \cdot x_2 = h_2 \cdot \frac{ds}{d\tau} + c_2 \cdot s - \\ - h_3 \cdot \frac{d(x_2 - x_1 + \Delta r(\tau) - \Delta R(\tau))}{d\tau} - c_3 \cdot (x_2 - x_1 + \Delta r(\tau) - \Delta R(\tau) + r_0 - R_0) \end{array} \right. \quad (8)$$

Построенные соотношения (8) могут служить как для анализа динамических свойств процессов растачивания, при построении и коррекции программ для станков с ЧПУ и проектировании нового оборудования.

Библиографический список использованной литературы

1. Маркеев А.П. Теоретическая механика / А.П. Маркеев. — М.: Наука, 1990. — 416 с.
2. Смирнов В.И. Курс высшей математики / В.И. Смирнов. — М.: ГРФМЛ «Наука», 1974. — Т. 2. 655 с.
3. Каинов Д.А. Моделирование пространственного взаимодействия инструмента и заготовки при круглом наружном шлифовании / Д.А. Каинов. // Вісник ДДМА: зб. наук. пр. — Краматорськ, 2007. — № 3 (9). — С. 91–96.

Поступила в редакцию 19.03.2012 г.

Стреляна Ю.О., Каинов Д.О., Фалалеев А.П. Динамічна модель процесу розточування

Розроблена динамічна модель процесу розточування, що враховує основні динамічні властивості технологічної системи процесу обробки, знос інструменту і відхилення форми заготовки від номінальних параметрів з урахуванням особливостей двокомпонентного управління.

Ключові слова: розточування, управління, збурення, динаміка.

Strelianaya Y.O., Kainov D.A., Falaleev A.P. Dynamic model of boring process

The dynamic model of boring process, taking into account basic dynamic properties of the technological system of process of treatment, is developed, wear of instrument and rejection of form of purveyance from nominal parameters taking into account the features of double-base management.

Keywords: boring, management, indignations, dynamics.