

УДК 621.923

СТАБИЛИЗАЦИЯ ВОЛНИСТОСТИ ШЛИФОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЦИКЛАМИ УПРАВЛЕНИЯ, ПОСТРОЕННЫМИ НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Крылов И.В., Сопин П.К., Каинов Д.А.

Рассматриваются проблемы динамического моделирования образования волнистости, позволяющие рассчитывать циклы управления операцией шлифования для обеспечения заданных параметров качества при обработке на станках с ЧПУ.

Задача оптимизации режима при врезном шлифовании с учетом динамики процесса обработки может быть сформулирована следующим образом. Состояние детали в каждый момент времени характеризуется двумя фазовыми координатами: величиной съема материала $z_c(\tau)$ и величиной погрешности формы или положения обрабатываемой поверхности $\delta(\tau)$.

Конечное фазовое состояние детали – точка A с координатами $z_c(\tau_p)$ и $\delta(\tau_p)$, задается чертежом или технологическим эскизом. Начальное фазовое состояние – точка B с координатами $z_c(0)$ и $\delta(0)$, определено параметрами заготовки. Существует множество траекторий, переводящих деталь из состояния B в состояние A .

При оптимизации цикла шлифования необходимо найти алгоритм изменения управляющих параметров, переводящих деталь из начального положения в конечное по такой траектории, для которой критерий оптимальности имеет экстремальное значение при условии выполнения всех ограничений. Для решения этой задачи необходимо прежде всего иметь динамическую модель процесса врезного шлифования с регулируемой величиной радиальной составляющей силы резания. Расчетная схема модели, изображена на рисунке 1.

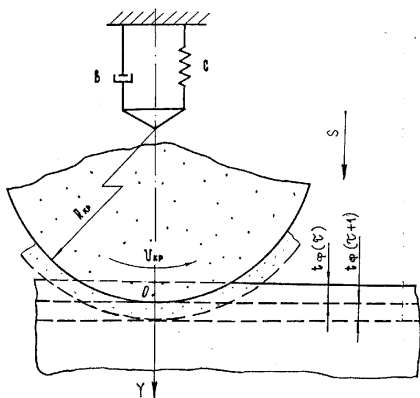


Рисунок 1 – Расчетная схема

Движение системы под действием обобщенной возмущающей силы P описывается дифференциальным уравнением [1]:

$$a\ddot{q} + b\dot{q} + cq = P, \quad (1)$$

где a , b и c – приведенные масса, жесткость и демпфирование системы соответственно.

Обобщающая сила определяется дисбалансом H и изменением радиальной составляющей силы резания P_r . В свою очередь, воздействие

дисбаланса представляется уравнением [2]:

$$P = H \sin(\omega \tau + \varphi_0), \quad (2)$$

где ω – частота вращения круга, φ_0 – фаза дисбаланса.

Сила P_y , действующая на абразивные зерна, в общем случае может быть описана выражением [3]

$$P_y = \tau_{сдв} F_{ср} K_H, \quad (3)$$

где $\tau_{сдв}$ – среднее касательное напряжение в плоскости сдвига; $F_{ср}$ – площадь поперечного сечения среза; K_H – безразмерный параметр процесса стружкообразования для нормальной составляющей силы резания.

Если с обрабатываемой поверхностью в процессе абразивной обработки контактирует n_k зерен, то общую нормальную силу резания можно определить суммированием сил от единичных срезов (3), после чего получим уравнение:

$$P_y = 11,8 \tau_{сдв} t^2(z) \frac{(1 + \xi)^3}{\xi} n_k, \quad (4)$$

где $t(z)$ – глубина микрорезания и n_k – количество зерен могут быть определены по формулам, предложенным Новоселовым Ю.К.

Подставив формулы (2) и (4) в выражение (1) получим уравнение

$$a\ddot{q} + b\dot{q} + cq = H \sin(\omega \tau + \varphi_0) + 11,8 t^2(z) \tau_{сдв} \frac{(1 + \xi)^3}{\xi} n_k, \quad (5)$$

решение которого позволит уточнить выражение, описывающее баланс перемещений в технологической системе

$$t_\phi(\tau) = R_0 - \int_0^\tau \dot{S}_R d\tau + h_0 - \int_0^\tau \dot{h} d\tau - A_0 + \int_0^\tau \dot{S}_{yn} d\tau - \Delta A_0(\tau), \quad (6)$$

где R_0 – радиус средней окружности круга в начальный момент времени $\tau = t_0$; S_R – износ инструмента в единицу времени; h_0 – исходный размер заготовки; $\dot{h} = Q_\Sigma$ – интенсивность съема материала; A_0 – расстояние от базовой поверхности детали до центра вращения инструмента в момент первого касания круга с заготовкой; S_{yn} – значение номинальной подачи по лимбу подач станка; $\Delta A_y(\tau)$ – приращение упругих отжатий, температурных деформаций в технологической системе.

На практике, при изготовлении различных изделий, могут быть установлены определенные технологические требования по точности, шероховатости, волнистости. В случае если лимитирующими параметрами являются первых два фактора, расчет циклов осуществляется при непосредственном использовании уравнения баланса перемещений (6). В случае, когда в роли лимитирующего фактора выступает волнистость, непосредственное использование формулы (6) нерационально, ввиду того, что ряд

ее составляющих (R_0 и A_0) не оказывают прямого влияния на величину волнистости. Для исключения последних рассмотрим принципиальную схему изменения упругих деформаций, постоянной составляющей фактической глубины шлифования t_{ϕ} , силы и мощности резания.

Как видно из рисунка 2, при шлифовании без предварительного натяга на этапе врезания в начальный момент времени почти вся вертикальная подача идет на приращение упругих деформаций технологической системы. С ростом t_{ϕ} увеличивается P и P_y и снижается величина $\delta\Delta$, которая на эта-

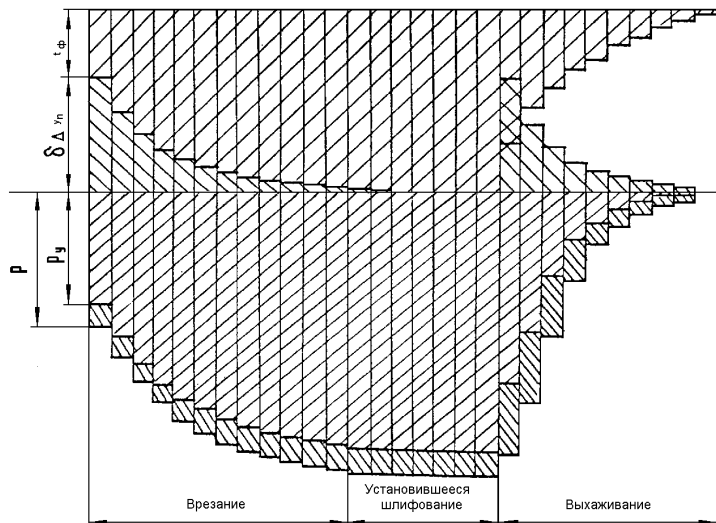


Рисунок 2 – Диаграмма зависимости фактической глубины шлифования t_{ϕ} , изменения упругих деформаций $\delta\Delta_{уп}$, осевой составляющей силы резания P_y и мощности шлифования P

пе установившегося шлифования стремится к нулю. На этапе выхаживания приращения упругих деформаций системы отрицательны и асимптотически стремятся к нулю.

Из рассмотренной схемы ясно, что на этапе установившегося шлифования $t_{\phi} = t_r$, а следовательно, выражение (6) в момент врезания круга в заготовку можно представить следующим образом

$$t_{\phi} = t_r + \frac{P_y(t_r)}{C} - t_k, \quad (7)$$

где t_k – колебательная составляющая фактической глубины шлифования, которая обусловлена текущим радиальным биением рабочей поверхности круга $A(\tau)$ и величиной $q(\tau)$.

Значение $A(\tau)$ зависит от максимальной величины радиального биения рабочей поверхности круга и определяется выражением:

$$A(\tau) = \frac{D}{2} [\sin(\omega \tau + \psi) + 1]. \quad (8)$$

С учетом (7) и (8) можно записать:

$$t_\phi = t_r - \frac{D}{2} [\sin(\omega \tau + \psi) + 1] - q + \frac{P_y(t_r)}{C}. \quad (9)$$

При выполнении численного анализа уравнения (9) установлено, что из-за большой погрешности формы круга t_ϕ может принимать значения меньше нуля, то есть, происходит потеря контакта круга с деталью. В этом случае величину t_ϕ необходимо формально приравнять к нулю.

Совместное решение уравнений (7), (9) с выражением, описывающим волнистость:

$$W_z = \sum_{j=1}^5 \left(\frac{r_{j \max} - r_{j \min}}{5} \right) \quad (10)$$

и съем материала:

$$r = \frac{t_\phi^2}{1,478 + \frac{13,66 S_{\text{пр}}}{\kappa_c V_\kappa n_3 \sqrt{D_{\kappa \phi_3}}}}, \quad (11)$$

позволяет теоретически вычислить величину волнистости.

Уточненную математическую модель волнистости обработанной поверхности можно представить системой выражений (5), (9), (10), (11).

Аналитическое представление решения этой системы затруднительно ввиду присутствия нелинейного дифференциального уравнения. Поэтому величину q находили численным методом Рунге-Кутты.

Для практической реализации модели разработаны алгоритм и программа вычислений на ПЭВМ типа IBM PC AT.

Предложенная модель дополняет методику [4] – учитывает динамику изменений упругих деформаций в технологической системе при построении циклов управления операциями шлифования, что позволяет снизить волнистость обрабатываемых на станках с ЧПУ деталей.

Библиография

- 1 Тверской М.М. Автоматическое управление режимами обработки деталей на станках. — М.: Машиностроение, 1982. — 208 с.
- 2 Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний. — М.: Наука, 1971. — 240 с.
- 3 Королев В.А. Исследование процессов образования поверхностей инструмента и детали при абразивной обработке. — Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1975. — 192 с.
- 4 Братан С.М. Повышение эффективности анодно-механической обработки прецизионных деталей приборов на основе автоматического оптимального управле-

ния съемом припуска: Автореф. дис...канд. техн. наук: 05.13.07/СевГТУ; Севастополь, 1990. — 21 с.

Поступила в редакцию 18.09.1999 г.