

## ВЛИЯНИЕ ЗАТУПЛЕНИЯ ШЛИФОВАЛЬНОГО КРУГА НА АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ РАБОЧИМ ЦИКЛОМ КРУГЛОГО ВРЕЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ

Разработан алгоритм определения сочетания параметров управления ступенчатым рабочим циклом круглого врезного шлифования, не приводящего к нарушению силовых и теплового ограничений производительности и минимизирующего затраты времени на выполнение рабочего цикла [1]. При этом принимались допущения, что режущая способность и радиус шлифовального круга в течение рабочего цикла не изменяются. Однако, режущая способность круга может значительно изменяться за время нескольких рабочих циклов, особенно первое время после правки. Затупление круга зависит от режима работы и правки круга. Принимать коэффициент режущей способности постоянным можно только как первое приближение при анализе влияния условий шлифования на алгоритм управления рабочим циклом.

Для более точной оптимизации рабочего цикла шлифования необходимо получить новые модели переходных процессов и ограничений с учетом затупления.

Модель изменения производительности и радиальной силы во время переходного процесса можно получить из анализа уравнения баланса скоростей. Для случая круглого врезного шлифования скорость радиальной подачи  $S$  шлифовального круга "расходуется" на скорость изменения радиуса заготовки  $\gamma$ , на скорость изменения упругой деформации  $U$  технологической системы (износ круга не учитывается). Из уравнения баланса скоростей получаем

$$S = \frac{dx}{dz} + \frac{dy}{dz} = \frac{K_p P_y}{\pi \cdot d \cdot B} + \frac{1}{f} \frac{dK_y}{dz} \quad (1)$$

где  $\tau$  - время шлифования;  $K_p$  - коэффициент режущей способности шлифовального круга;  $f$  - жесткость технологической системы;  $d$ ,  $B$  - соответственно, диаметр и ширина шлифования.

На основании немногочисленных опубликованных результатов экспериментов можно предположить следующую модель затупления круга [2]

$$K_p = K_{p_0} \frac{\beta + \gamma \tau}{\beta + \tau} \quad ; \quad K_3 = \frac{\beta + \gamma \tau}{\beta + \tau} \quad (2)$$

где  $K_{p_0}$  - коэффициент режущей способности сразу после правки, время после правки,  $K_3$  - коэффициент затупления,  $\beta$  и  $\gamma$  - параметры модели, зависящие от условий шлифования и правки круга.

В соответствии с [3] были получены приблизительные зависимости параметров  $\beta$  и  $\gamma$  от радиальной силы

$$\beta = \frac{A_p \cdot P_y}{B_p + P_y} \quad ; \quad \gamma = \frac{A_s \cdot P_y}{B_s + P_y} \quad (3)$$

Но модель (2) можно использовать только для расчета переходного процесса сразу после правки ( $\tau_0 = 0$ ). Если в некоторый момент времени  $\tau_0$  коэффициент режущей способности равен  $K_{p_2}$ , а радиальная сила -  $P_{y_0}$ , то можно предположить модель затупления

$$K = \frac{K_{p_1}}{K_{p_0}} \frac{K_p}{K_{p_2}} = K_{3_0} \cdot K_3' \quad ; \quad K_3' = \frac{\beta' + \gamma' \Delta \tau}{\beta' + \Delta \tau} \quad ; \quad \Delta \tau = \tau - \tau_0 \quad (4)$$

$\beta'$  и  $\gamma'$  в модели  $K_3'$  имеют тот же смысл, что  $\beta$  и  $\gamma$  в модели  $K_3$ .

$\gamma$  равно значению, которое принимает  $K_3$ , когда время работы круга после правки бесконечно. То есть

$$\gamma = K_3 (\tau = \infty) \quad ; \quad \gamma' = K_3' (\Delta \tau = \infty)$$

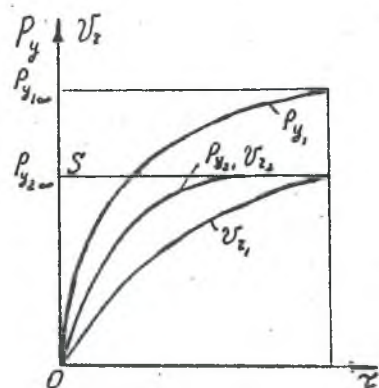
Тогда  $\gamma' = \frac{\gamma}{K_{s0}}$  (5)

$\beta$  - время, за которое  $K_3$  принимает среднее значение;  $\beta'$  - время, за которое  $K_3'$  принимает среднее значение. После преобразований получаем

$$\beta' = \beta + \tau_0 \quad (6)$$

Для определения модели изменения радиальной силы во время переходного процесса уравнение (1) можно представить в виде

Рис. 1. Зависимость радиальной силы и линейной производительности от времени с учетом (1) и без учета (2) затупления



$$\frac{dP_y}{d\tau} = S - K_3 P_y, \quad K = \frac{K_{ad}}{\pi d B} \quad (7)$$

Из-за сложной зависимости  $K_3$  от силы  $P_y$  уравнение можно решить только численно. Уравнение решалось методом Рунге-Кутты на ЭВМ при начальных условиях  $\tau_0, P_{y0}, K_3$ .

Также можно определить изменение во времени линейной производительности, представив уравнение (1) в виде

Рис. 2. Изменение формы ограничений линейной производительности при затуплении круга



1 - ограничения без учета затупления  
2 - после 1-го рабочего цикла  
3 - после 2-го рабочего цикла

$$V_z = S - \frac{1}{j} \cdot \frac{dP_y}{d\tau} \quad (8)$$

Заменив  $\frac{dP_y}{d\tau}$  на  $\frac{\Delta P_y}{\Delta \tau}$ , где  $\Delta \tau$  - очень мало (при решении -  $\Delta \tau = 0.001$  с). Зная изменение радиальной силы

и линейной производительности во времени, можно рассчитать значение  $K_3$  в каждый момент времени

$$K_3 = \frac{\pi \cdot d \cdot B \cdot V_z}{K_{p0} \cdot P_y} \quad (9)$$

Выводы:

1. Разработан алгоритм, позволяющий рассчитывать значения радиальной силы, линейной производительности и коэффициента режущей способности в любой момент времени при некоторых начальных условиях.
2. Разработанный алгоритм может быть использован для оптимизации ступенчатого рабочего цикла круглого врезного шлифования с учетом затупления шлифовального круга.
3. В результате установлено, что значения радиальной силы и линейной производительности шлифования, рассчитанные с учетом затупления, могут значительно отличаться от значений, полученных без учета затупления (рис. 1).
4. Установлено, что с затуплением круга изменяется форма ограниченной линейной производительности (рис. 2).

Литература:

1. Отделочно-упрочняющая технология в машиностроении. Сборник тезисов докладов международной научно-технической конференции. / Под ред. д.т.н., проф. В.А.Горохова. Часть 1. - Мн.: Федерация НТОМ СНГ, НТОМ РБ, 1994.
2. Махаринский Е.И. Технологические основы управления процессом шлифования. - М.: СНИО СССР, 1990.
3. Кенджаев Х.Х. Исследование затупления шлифовального круга. Передовой научно-технический и производственный опыт. Режущие инструменты, абразивы, заточные работы и организация инструментального хозяйства. - М.: Филиал ВИНТИ, 1957.