

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГРАНИЧНОГО АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ РАБОЧИМ ЦИКЛОМ КРУГЛОГО ВРЕЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ

Н.Н. Попок¹, Ю. Е. Махаринский², Д.Г. Латушкин²

¹Полоцкий государственный университет, Новополоцк

²Витебский государственный технологический университет

Уточнен метод определения относительных показателей граничного алгоритма управления рабочим циклом круглого врезного шлифования. Достоинством уточненных моделей ограничений производительности шлифования является то, что значительная часть их параметров имеет физический смысл.

При круглом врезном шлифовании граничным [1, 2, 3] является такое управление, при котором скорость радиальной подачи изменяется в соответствии с требованиями ограничений производительности, которые заданы в безразмерных величинах.

Для круглого врезного шлифования модели ограничений имеют вид:

1) *тепловое ограничение* [1, 3]

$$v_r \leq C_0 + C_1 \cdot \pi + C_2 \cdot \pi^2, \quad (1)$$

где $v_r = V_r / V_{rk0}$, $v_{rk} = V_{rk} / V_{rk0}$, $C_0 = (0,25 + 0,75 \cdot v_{rk})$, $C_1 = (v_{rk} - 0,13) \cdot b_k$,

$C_2 = (0,2 + 0,12 \cdot v_{rk}) \cdot b_k^2$, $\pi = \Pi \cdot V_{3z} / (3,14 \cdot d \cdot V_{rk0})$,

v_r – безразмерная линейная производительность; V_r – линейная производительность, V_{rk0} – критическая бесприжоговая линейная производительность сразу после правки шлифовального круга, V_{rk} – текущая критическая бесприжоговая линейная производительность, b_k – параметр тепловой активности при круглом врезном шлифовании;

2) *силовое ограничение*

$$v_{rc} = \frac{K_{pk} \cdot j \cdot y_m}{3,14 \cdot d \cdot B \cdot V_{rk0}}, \quad (2)$$

где K_{pk} – коэффициент режущей способности для круглого врезного шлифования, j – жесткость технологической системы, d и B – диаметр и ширина шлифуемой поверхности соответственно, а максимально допустимая к концу этапа предварительного шлифования упругая деформация технологической системы y_m может быть определена с помощью следующей модели:

$$y_m = 0,04 + \frac{T(d)}{0,5 + 3 \cdot T(d)}. \quad (3)$$

где $T(d)$ – допуск на диаметр шлифуемой детали.

3) ограничения по показателю шероховатости

$$v_r \leq v_{rR} + \frac{K_{pk}}{4 \cdot K_{Rk} \cdot V_{32}} \cdot \pi; \quad (4)$$

$$v_{rR} = \frac{(Ra_{30} - Ra_0) \cdot K_{pk}}{3,14 \cdot d \cdot K_{Rk} \cdot V_{rk0}}. \quad (5)$$

где Ra_{30} – заданное значение показателя шероховатости, K_{Rk} – коэффициент пропорциональности, Ra_0 – параметр модели шероховатости.

Поддачи граничного алгоритма управления круглым врезным шлифованием определяются из следующих соображений. Рабочий цикл состоит из следующих этапов: 1. Врезание с ускоренной подачей S_6 ; 2. Предварительное (черновое) шлифование с подачей S_1 ; 3. Чистовое шлифование с переменной подачей S_2 ; 4. Отделочное шлифование с переменной подачей S_3 .

В других случаях некоторые из этапов могут отсутствовать.

Из работ [1 и 3] известно, что для этапа врезания ускоренная подача $S_6 = 4 \cdot S_1$, $v_{r6} = 4 \cdot \sigma_1 \cdot [1 - \exp(-\tau_1)]$, где $\sigma_1 = S/V_{rk0}$ – безразмерная (относительная) скорость подачи, $\tau_1 = k \cdot t$ – безразмерное (относительное) время, k – коэффициент пропорциональности; $k = K_{pk} \cdot j / (\pi \cdot d \cdot B)$, B – ширина шлифования.

Когда v_{r6} станет равной $v_{r1} = v_{rc}$, ускоренная подача переключится на черновую σ_1 . К этому моменту время шлифования достигнет значения τ_6 и будет удален припуск, равный π_6 , где $\tau_6 = 0,2877$, $\pi_6 = 0,1507 \cdot \sigma_1 / (k \cdot k_1)$, $k_1 = 3,14 \cdot d / V_{32}$.

Для вариантов схем ограничений, при которых отсутствует силовое ограничение, в начале рабочего цикла производительность ограничивается только тепловым ограничением. В этом случае можно записать следующую систему моделей:

$$v_{r6} = C_0 + C_1 \cdot (\pi_0 - \pi_6) + C_2 \cdot (\pi_0 - \pi_6)^2, \quad v_{r6} = \sigma_6 \cdot [1 - \exp(-\tau_6)], \quad (6)$$

$$k \cdot k_1 \cdot \pi_6 = \sigma_6 \cdot \{\tau_6 - [1 - \exp(-\tau_6)]\}.$$

Из третьей модели $\pi_6 = 0,0377 \cdot v_{r6} / (k \cdot k_1)$. Подставив это значение π_6 в первую модель системы, можно определить искомое значение v_{r6} .

$$v_{r6} = \left(B - \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot v_{r6}} \right) / (2 \cdot A); \quad \text{и} \quad \sigma_{sp} = 4 \cdot v_{r6}$$

где $A = C_2 \cdot \frac{0,02274}{k^2 \cdot k_1^2}$; и $B = 1 + \frac{0,1508}{k \cdot k_1} \cdot (C_1 + 2 \cdot C_2 \cdot \pi_0)$.

Известно [1, 3], что дифференциальное уравнение баланса скоростей при круглом врезном шлифровании имеет вид

$$S = V_r + \frac{dy}{dt}; \quad (7)$$

где упругая деформация технической системы «у» определяется из выражения $y = V_r / k$.

Тогда, подставив значение y , поделив обе части равенства 7 на V_{rk0} , получим

$$\sigma = v_r \cdot \left(1 + \frac{1}{k \cdot k_1} \frac{dv_r}{d\pi} \right). \quad (8)$$

Значения $dv_r / d\pi$ и v_r зависят от вида ограничения, которые действуют при рассматриваемом значении относительного припуска π , который осталось удалить. Для участка, который соответствует тепловому ограничению можем записать

$$v_r = C_0 + C_1 \cdot (\pi_m - \pi_c) + C_2 \cdot (\pi_m - \pi_c)^2; \quad (9)$$

$$\text{тогда } \frac{dv_r}{d\pi_c} = -[C_1 + 2 \cdot C_2 \cdot (\pi_m - \pi_c)];$$

и согласно модели 8 скорость относительной подачи должна изменяться в соответствии со следующей моделью:

$$\sigma = v_r \cdot \left\{ 1 - \frac{1}{k \cdot k_1} \cdot [C_1 + 2 \cdot C_2 \cdot (\pi_m - \pi_c)] \right\}. \quad (10)$$

Аналогично, для участка, соответствующего ограничению по показателю шероховатости, можно записать

$$v_r = v_{rR} + \frac{K_{rk}}{4 \cdot K_{Rk} \cdot V_{3z}} \cdot (\pi_R - \pi_c); \text{ тогда } \frac{dv_r}{d\pi_c} = -\frac{K_{rk}}{4 \cdot K_{Rk} \cdot V_{3z}}; \quad (11)$$

и согласно модели 8 скорость относительной подачи должна изменяться в соответствии со следующей моделью:

$$\sigma = v_r \cdot \left(1 - \frac{K_{rk}}{4 \cdot K_{Rk} \cdot V_{3z} \cdot k \cdot k_1} \right). \quad (12)$$

Таким образом, уточнен метод определения относительных (безразмерных) показателей граничного алгоритма управления рабочим циклом круглого врезного шлифования.

Литература

1. Махаринский, Е.И. Технологические основы управления процессом шлифования / Е.И. Махаринский. – М.: СНИО СССР, 1990. – 53 с.
2. Михелькевич, В.Н. Автоматическое управление шлифованием / В.Н. Михелькевич. – М.: Машиностроение, 1975. – 304 с.
3. Махаринский, Е.И. Моделирование ограничений производительности при круглом врезном шлифовании. Машиностроение: сб. науч. трудов. Вып. 18 / Е.И. Махаринский, Ю.Е. Махаринский; под ред. И.П. Филонова. – Минск: УП «Технопринт», 2002.