

ВОПРОСЫ ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ.

Ходьков В.М., Меницкий И.Д.

При шлифовании в зоне резания возникают силы. Эти силы могут вызывать как возбуждение колебаний [1], так демпфирование относительных колебаний круга и изделия.

Цель статьи - выявление особенностей процесса шлифования, приводящих к появлению сил, демпфирующих относительные колебания.

При плоском шлифовании торцом круга с продольной подачей изделия (рис.1) тангенциальная и нормальная составляющие силы резания определяются скоростью резания, скоростью изделия, шириной изделия и глубиной резания [2].

Для качественного анализа процессов в зоне резания можно принять, что зависимость нормальной составляющей силы резания от глубины резания носит линейный характер,

$$P_y = kt \quad (1)$$

где k - коэффициент, зависящий от условий шлифования;

t - глубина резания.

При врезном шлифовании и неподвижном изделии (рис. 1) нормальная и тангенциальная составляющие силы резания тем больше, чем больше скорость врезания и площадь контакта круга и изделия,

$$P_y = C V_{вр} S, \quad (2)$$

где C - коэффициент, зависящий от условий шлифования;

$V_{вр}$ - скорость врезания;

S - площадь контакта круга и изделия.

Представим, что изделие имеет продольную подачу, а круг непрерывную поперечную подачу.

Нормальная и тангенциальная составляющие силы резания определяются глубиной резания, и скоростью врезания,

$$P_y = kt + C V_{вр} S \quad (3)$$

В реальном процессе шлифования всегда имеются вибрации круга относительно изделия, которые вызывают периодическое врезание круга в изделие. Скорость врезания может быть очень велика. Например, амплитуда относительных колебаний $a = 0,001$ мм, частота колебаний $f = 50$ Гц, тогда скорость врезания круга в изделие. При врезном шлифовании скорость врезания всего лишь 1-3 мм/мин.

$$V_{вр} = 2\pi af = 2\pi \times 0.001 \times 50 = 0.314 \text{ мм/с} = 18.84 \text{ мм/мин}$$

Периодическое врезание круга в изделие, в свою очередь, согласно зависимости (3) вызывает периодическое увеличение нормальной составляющей тем больше, чем больше скорость врезания и площадь контакта круга и изделия, а направление нормальной составляющей противоположно скорости врезания (скорости колебаний).

Таким образом, зону резания можно рассматривать как демпфер относительных колебаний круга и изделия, демпфирующая способность которой тем больше, чем больше площадь контакта. Необходимо отметить, что затухание в зоне резания носит нелинейный характер, так как величина коэффициента затухания зависит от направления колебаний круга относительно изделия.

Определим влияние демпфирующей способности зоны резания на колебания круга относительно изделия. Расчетная схема приведена на рис. 2.

Для упрощения анализа проведения механической системы сделаны следующие допущения:

1. Система имеет одну степень свободы.
2. При движении круга от изделия затухание равно нулю.

Поведение шлифовального круга описывается дифференциальным уравнением с нелинейным затуханием:

$$m\ddot{y} + f(\dot{y}) + y(k + J) = -kt_n + F \sin \omega \cdot t, \quad (4)$$

где m - масса системы инструмента;

y - перемещение круга относительно нейтрального положения, т.е. положения при невращающемся круге;

J - жесткость системы инструмента;

t_n - установленная (настроенная) глубина резания;

F - амплитудное значение возмущающей силы;

ω - круговая частота возмущающей силы.

Из условия равенства работ действительной силы сопротивления и силы, эквивалентной за период следует

$$f(\dot{y}) = \frac{cs}{2} \dot{y}$$

Тогда уравнение (4) примет вид

$$m\ddot{y} + \frac{cs}{2} \dot{y} + (k + J)y = -kt_n + F \sin \omega \cdot t \quad (5)$$

Решение дифференциального уравнения имеет вид:

$$y = \frac{F}{\sqrt{(J+k-m\omega^2)^2 + \left(\frac{cs\omega}{2}\right)^2}} \sin(\omega t + \varphi) - \frac{kt_n}{J+k} \quad (6)$$

Отношение амплитуд колебаний шлифовального круга при различной площади контакта при прочих равных условиях выражается зависимостью:

$$\frac{a_1}{a_2} = \sqrt{\frac{(J+k-m\omega^2)^2 + \left(\frac{cs_2\omega}{2}\right)^2}{(J+k-m\omega^2)^2 + \left(\frac{cs_1\omega}{2}\right)^2}} \quad (7)$$

ПРИМЕР: $J=2 \cdot 10^7 \text{ Н/м}$, $k=4.2 \cdot 10^6 \text{ Н/м}$, $m=20 \text{ кг}$, $\omega=314 \text{ 1/с}$,
 $c=4.5 \cdot 10^9 \text{ Нс/м}^3$, $S_1=0$, $S_2=10^{-4} \text{ м}^2$.

Тогда $a_1/a_2=32$

Из приведенного примера видно, что влияние демпфирующей способности зоны резания на амплитуду относительных колебаний круга и изделия при большой площади контакта последних может быть велико. Поэтому тонкое шлифование (доводка, конингование, притирка, сверхтонкая), когда требуется обеспечить малые шероховатость и волнистость, отсутствие прижогов обработанной поверхности, обычно производится при большой площади контакта круга и изделия.

При грубом шлифовании увеличивать площадь контакта круга и изделия не всегда целесообразно, так как при грубом шлифовании выделяется большое количество тепла, а условия охлаждения при большой площади контакта ухудшаются, что может привести к прижогам обработанной поверхности.

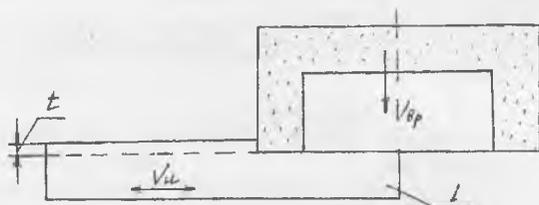
Рассмотренный эффект соответствует эффекту сил на задней поверхности резцов [1]. В отличие от резания резцом, где роль демпфирующих сил играют силы трения, при шлифовании такую роль играют силы резания.

ВЫВОДЫ

1. В зоне резания кроме сил, возбуждающих колебания, возникают силы, демпфирующие колебания круга относительно детали.
2. Демпфирующие силы тем больше, чем больше скорость врезания. Эти силы имеют нелинейный характер.
3. Демпфирующая способность зоны резания тем больше, чем больше площадь контакта круга и изделия.
4. Для повышения качества шлифованных поверхностей при тонком шлифовании целесообразно развивать "заднюю поверхность" круга /торцовую часть/.

ЛИТЕРАТУРА:

1. В.А. Кудинов. Динамика станков. Изд. "Машиностроение", Москва, 1987.
2. Е.Н. Маслов. Основы теории шлифования металлов. Машиз, Москва, 1985.



1-обрабатываемое изделие; 2-шлифовальный круг.

Рис. 1. Схема плоского шлифования.

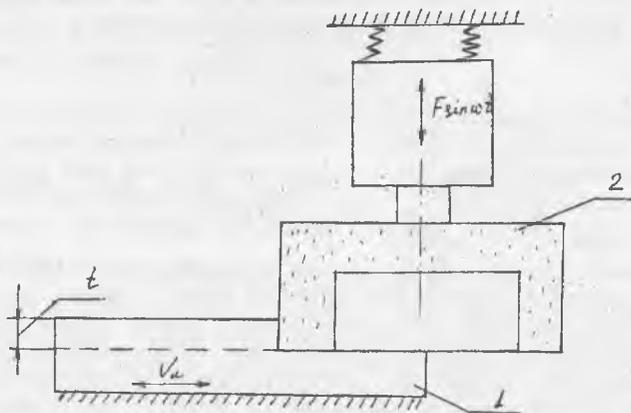


Рис. 2. Расчетная схема для определения влияния демпфирующей способности зоны резания на колебания круга относительно изделия.