

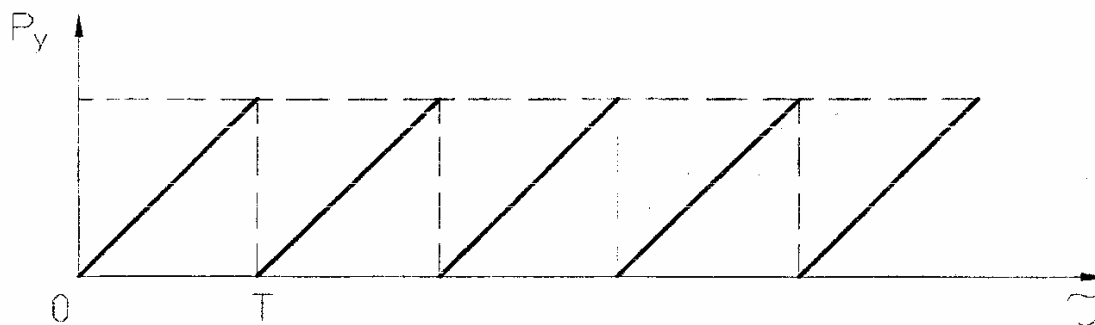
К ВОПРОСУ О ВИБРАЦИЯХ ПРИ РЕЗАНИИ МЕТАЛЛОВ

Новиков Ф.В., докт. техн. наук

(г. Харьков, Украина)

Results of study of vibration development at cutting of metals from the point of steady forces oscillations, caused by periodicity of shaving formation and auto-oscillations, have been presented.

Проблема устранения вибраций при резании металлов чрезвычайно сложна и до конца не изучена, так как нет единого мнения относительно причин возникновения вибраций [1, 2, 3, 4]. Поскольку вибрации происходят с частотой, равной частоте собственных колебаний наименее жесткого элемента технологической системы, принято считать вибрации автоколебаниями. В действительности, установившиеся колебания системы с частотой, равной собственной частоте, могут происходить и под действием периодически изменяющейся нагрузки (силы резания), обусловленной периодичностью процесса стружкообразования, см. рисунок. Период T равен времени отделения (скола) элемента металла.



В пределах периода T справедливо дифференциальное уравнение перемещения y массы m (инструмента) под действием силы резания:

$$P_y = \frac{HV \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot B \cdot V_{\text{рез}} \cdot \tau}{K_{\text{рез}}};$$

$$\ddot{y} + k^2 \cdot y = \frac{P_y}{m}, \quad (1)$$

где $k = \sqrt{\frac{c}{m}}$ - собственная частота системы; \ddot{y} - ускорение системы; c - приведенная жесткость системы; HV - твердость обрабатываемого материала; β - угол сдвига металла при струкообразовании; B - ширина резания; V - скорость резания; k - коэффициент резания; τ - время. С учетом условий совместности: $y(0) = y(T)$ и $\dot{y}(0) = \dot{y}(T)$, решение уравнения (1) имеет вид

$$y = A \cdot \left[\frac{T/2}{\sin k T/2} \sin(k\tau + \varphi) + \tau \right], \quad (2)$$

где $\varphi = -\frac{kT}{2}$; $A = \frac{HV \cdot \text{tg } \beta \cdot B \cdot V}{k}$.

При $\sin kT / 2$ в системе наступает резонанс ($y \rightarrow \infty$). Максимальное значение y получим при $\sin(k\tau + \varphi) = 1$, считая первое слагаемое определяющим

$$y_{\max} \cong A \cdot \frac{T/2}{\sin k T/2} \quad (3)$$

где $T = \frac{4 \cdot \tau \cdot a \cdot (1 + \sqrt{1 + k^2})}{HV \cdot V \cdot k}$; $\omega = \frac{\pi \cdot HV \cdot V}{2 \cdot \tau \cdot (1 + \sqrt{1 + k^2})}$;

ω - частота колебаний силы P_y ; $\tau_{\text{сдв}}$ - предел прочности обрабатываемого металла на сдвиг; a - толщина среза.

С увеличением скорости резания V частота ω увеличивается и при $\omega = k$ наступает резонанс. Следовательно, с увеличением V перемещение y_{\max} (амплитуда колебаний) изменяется по экстремальной зависимости, проходя точку максимума (с учетом диссипативных сил при $\omega = k$ перемещение y_{\max} принимает конечное значение). Преобразуем (3):

$$y_{\max} = \frac{2 \cdot B \cdot \tau}{\sin k T/2} \cdot \text{tg}^2(\alpha - \gamma) \cdot \frac{1}{\sin k T/2}, \quad (4)$$

где α - угол трения (на передней поверхности инструмента); $\text{tg } \alpha = f$ - коэффициент трения; γ - передний угол инструмента.

С увеличением переднего угла инструмента γ , приведенной жесткости c и уменьшением параметров B и τ при $\omega = k$ перемещение y_{\max} уменьшается. С увеличением толщины среза a частота ω

уменьшается от ∞ до 0. Следовательно, возможно возникновение резонанса ($\omega=k$).

Аналогично скорости резания с увеличением a перемещение y_{\max} может изменяться по экстремальной зависимости.

Механические характеристики обрабатываемого металла (HV/τ) и параметр k на частоту ω влияют несущественно. Однако с увеличением τ и угла трения α перемещение y_{\max} значительно увеличивается. Этим показано преобладающее влияние T и ω на интенсивность колебаний. Уменьшить амплитуду колебаний можно исключением резонансного состояния ($\omega=k$) путем регулирования условиями обработки. Теоретические результаты согласуются с экспериментальными [4].

Радиальная составляющая силы резания P_y описывается зависимостью

$$P_y = 2 \cdot \tau \cdot S \cdot \frac{\sin(\alpha - \gamma)}{1 - \sin(\alpha - \gamma)},$$

где S - площадь поперечного сечения среза.

При $(\alpha - \gamma) \rightarrow 90^\circ$ справедливо $P_y \rightarrow \infty$. В этом случае процесс резания будет протекать неустойчиво, возможно возникновение автоколебаний. Повысить устойчивость процесса можно уменьшением угла трения α и увеличением переднего угла инструмента γ . Доказано, что угол α зависит от коэффициента трения и длины контакта стружки с передней поверхностью инструмента. С увеличением этих параметров α увеличивается и может принимать значения, близкие к 90° . Поэтому повысить устойчивость процесса можно прежде всего уменьшением угла α за счет перевода поверхностного слоя обрабатываемого материала из пластичного состояния в хрупкое, дроблением стружки, обработкой в «холоде», уменьшением коэффициента трения (в том числе путем увеличения скорости резания и т.д.).

Изучены условия возникновения автоколебаний при резании, исходя из дифференциального уравнения:

$$\ddot{y} + 2 \cdot n \cdot \dot{y} + k^2 \cdot y = \frac{2 \cdot \tau}{m} \cdot S \cdot \frac{\sin(\alpha - \gamma)}{1 - \sin(\alpha - \gamma)}, \quad (5)$$

где $n = \frac{k_1}{2 \cdot m}$; k_1 - коэффициент пропорциональности.

Учитывая то, что коэффициент трения на передней поверхности инструмента зависит от скорости скольжения по ней сходящей стружки, в

уравнении (5) появляются (после преобразований) новые слагаемые, содержащие \dot{y} - скорость перемещения системы.

При отрицательном значении приведенного коэффициента, стоящего при \dot{y} имеет место неустойчивость движения системы (возникают автоколебания). Амплитуда колебаний A_1 определяется методом энергетического баланса, согласно которому стационарные автоколебания описываются гармоническим законом $y_1 = A_1 \cdot \sin k\tau$ с частотой собственных колебаний системы k :

$$A_1 = \frac{2,84 \cdot \operatorname{tg} 2\beta}{k} \cdot \sqrt{1 - \frac{n \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot \operatorname{tg} 2\beta \cdot m}{\tau \cdot S}} \quad (6)$$

С увеличением угла сдвига β (скорости резания) амплитуда колебаний A_1 изменяется по экстремальной зависимости, проходя точку максимума. По мере затупления инструмента угол β уменьшается, что за счет подкоренного выражения в (6) ведет к увеличению A_1 .

При шлифовании $S = \frac{B \cdot V}{V} \cdot t$, где V , V - соответственно

скорости детали и круга; t - глубина шлифования. Исходя из (6), амплитуда колебаний A_1 тем больше, чем больше B, V, t и меньше V .

Теоретические данные согласуются с экспериментальными. Например, увеличение A_1 с течением времени шлифования связано с затуплением круга, уменьшением угла сдвига β и увеличением подкоренного выражения в (6).

Таким образом, рассмотрены два механизма возникновения вибраций при резании металлов. Оба соответствуют практическим данным. Проведенные численные расчеты показали на более однозначную связь теоретических и экспериментальных данных в рамках первого механизма, т.е. рассматривая вибрации как установившиеся периодические вынужденные колебания, обусловленные особенностями стружкообразования при резании. Это требует дальнейших исследований физики вибраций с целью их устранения.

Список литературы: 1. Жарков И.Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом. - Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1986. - 184 с. 2. Кудинов В.А. Динамика станков. - М.: Машиностроение, 1967. - 357 с. 3. Мурашкин А.С., Мурашкин С.А. Прикладная нелинейная механика станков. - Л.: Машиностроение, 1977. - 192 с. 4. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. - М.: Машиностроение, 1975. - 343 с.