ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ ЖАРОПРОЧНЫХ И ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ
Межвузовский сборник, вып. I, 1973 г.

УДК 621.9.048.6

Л.А.Краснов, М.Н.Серазутдинов

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ КИНЕМАТИКИ ВИБРОАБРАЗИВНОГО ПРОЦЕССА

При расчете производительности процесса виброабразивной обработки деталей одним из важных параметров является скорость циркуляции наполнителя (режущего абразивного материала).

Обзор литературных данных показывает, что вопрос о расчете скорости циркуляции среды применительно к виброабразивной обработке с круговым вращательным движением наполнителя требует дальнейших тщательных исследований.

В работе дается вывод уравнения средней скорости циркуляции наполнителя применительно к виброабразивной обработке деталей.

Общая масса M контейнера установки с рабочим наполнителем (режущий материал и обрабатываемые детали) определяется по следующему уравнению:

$$M=\sum_{K=1}^{n} m_K+\sum_{j=1}^{n} m_j+\sum_{i=1}^{n} m_i+\sum_{\nu=1}^{n} m_\nu , \qquad (I)$$

где m_K - масса K - ой частицы режущего материала; m_j - масса j - ой детали; m_i - масса i - ой частицы контейнера установки; m_ν - масса ν - ой частицы дебаланса.

Уравнения движения контейнера с учетом всей массы имеют вид:

$$\left.\begin{aligned} x &= A_x \cos(\omega t - \gamma), \\ y &= A_y \sin(\omega t - \gamma), \\ \varphi &= A_\varphi \cos(\omega t - \gamma_\varphi), \end{aligned}\right| \qquad (2)$$

где A_x – горизонтальная составляющая амплитуды колебания; A_y – вертикальная составляющая амплитуды; A_φ – угловая амплитуда; ω – частота вынужденных колебаний; γ – угол сдвига фаз.

Масса M совершает сложное колебательное движение: поступательное с амплитудами A_x и A_y и вращательное колебательное движение вокруг центра тяжести с угловой амплитудой A_φ.

Для подвижной системы координат, начало которой совмещено с центром тяжести массы M, координаты любой точки относительно неподвижной системы координат будут

$$\left.\begin{aligned} x_c &= x + \Delta x, \\ y_c &= y + \Delta y, \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

где

$$\Delta x = b - [a \sin\varphi + b\cos\varphi] = -a\sin\varphi + b(1-\cos\varphi),$$
$$\Delta y = a - [a\cos\varphi - b\sin\varphi] = a(1-\cos\varphi) + b\sin\varphi.$$

Вследствие малости угла φ принимаем $\cos\varphi \approx 1$, $\sin\varphi \approx \varphi$, тогда

$$\left.\begin{aligned} \Delta x &= -a\varphi, \\ \Delta y &= b\varphi, \end{aligned}\right] \qquad (4)$$

где a и b – координаты точки в подвижной системе координат.

Уравнения (3) видоизменяются с учетом выражений (2) и (4)

$$\left.\begin{aligned} x_c &= A_x\cos(\omega t - \gamma) - aA_\varphi\cos(\omega t - \gamma_\varphi), \\ y_c &= A_y\sin(\omega t - \gamma) + bA_\varphi\cos(\omega t - \gamma_\varphi). \end{aligned}\right| \qquad (5)$$

Пусть a_0 и b_0 координаты точки контейнера в подвижной системе координат. Тогда, уравнения движения контейнера относительно неподвижных осей координат запишутся в виде

$$\left.\begin{aligned} x_c &= A_x \cos(\omega t-\gamma) - a_0 A_\varphi \cos(\omega t-\gamma_\varphi), \\ y_c &= A_y \sin(\omega t-\gamma) + b_0 A_\varphi \cos(\omega t-\gamma_\varphi). \end{aligned}\right\} \quad (6)$$

Для вывода уравнения скорости циркуляции частиц принимаются следующие допущения:

I. Считается, что за один цикл колебаний характер движения точек контейнера не изменяется.

2. Движение сыпучей среды загрузки рассматривается как движение материальной точки.

Для анализа относительного движения материальной частицы по поверхности сферы, начало координат поместим в точке касания частицы с поверхностью, а оси координат направим по нормали и касательной к поверхности в данной точке. Уравнения движения контейнера относительно новых осей, повернутых на угол α, будут:

$$\left.\begin{aligned} x_\alpha &= x_c \cos\alpha + y_c \sin\alpha, \\ y_\alpha &= y_c \cos\alpha - x_c \sin\alpha. \end{aligned}\right\} \quad (7)$$

Преобразуем уравнения (7) с учетом выражений (6), тогда получим

$$\left.\begin{aligned} x_\alpha &= A_y \sin(\omega t-\gamma)\sin\alpha + A_\varphi \cos(\omega t-\gamma_\varphi)[b_0 \sin\alpha - \\ &\quad - a_0 \cos\alpha] + A_x \cos(\omega t-\gamma)\cos\alpha, \\ y_\alpha &= -A_x \sin\alpha \cos(\omega t-\gamma) + A_y \cos\alpha \cdot \sin(\omega t-\gamma) + \\ &\quad + A_\varphi \cos(\omega t-\gamma_\varphi)[b_0 \cos\alpha + a_0 \sin\alpha]. \end{aligned}\right\} \quad (8)$$

Учитывая, согласно рис. I, что

$$b_0 = r_0 \sin\alpha, \quad (9)$$

$$a_0 = c_0 - r_0 \cos\alpha, \quad (10)$$

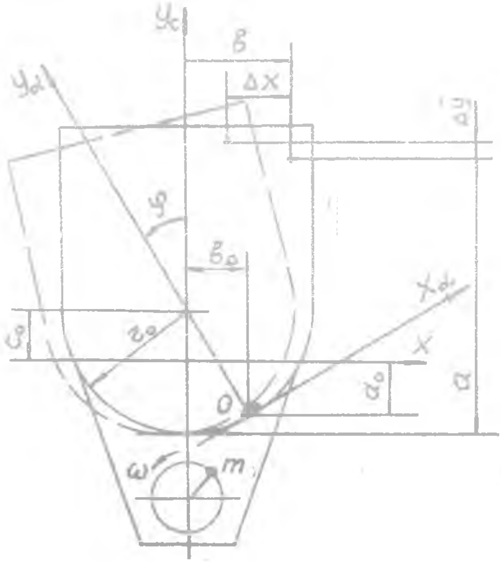

Рис. I. Схема процесса виброабразивной обработки

уравнения (8) представим в следующем виде:

$$x_\alpha = A_x \cos\alpha \cdot \sin\left(\omega t - \gamma + \frac{\pi}{2}\right) + A_y \sin\alpha \cdot \sin(\omega t - \gamma) + A_\varphi \sin\left(\omega t - \gamma_\varphi + \frac{\pi}{2}\right)\left[r_0 - C_0 \cos\alpha\right], \qquad (11)$$

$$y_\alpha = -A_x \sin\alpha \cdot \sin\left(\omega t - \gamma + \frac{\pi}{2}\right) + A_y \cos\alpha \cdot \sin(\omega t - \gamma) + A_\varphi \sin\left(\omega t - \gamma_\varphi + \frac{\pi}{2}\right)\left[C_0 \cdot \sin\alpha\right].$$

Для частиц, имеющих уравнение движения вида

$$x = a \cdot \sin(\omega t + \varepsilon),$$
$$y = b \cdot \sin(\omega t + \varepsilon), \qquad (12)$$

где a и b – суммарные амплитуды колебаний; ω – частота; – сдвиг фаз относительно осей координат x_α и y_α.

Средняя скорость относительного движения частицы определяется по формуле [I]:

$$V = a\omega\left[\frac{\pi p'(\omega_o, R)}{\omega_o}\,\frac{1+R}{1-R}\cos\varepsilon - \right.$$
$$\left. -\sqrt{1-\left[\frac{\pi p'(\omega_o, R)}{\omega_o}\right]^2\left(\frac{1-R}{1+R}\right)^2}\sin\varepsilon\right] - \qquad (13)$$
$$-\frac{\pi p'(\omega_o, R)}{\omega}\,\frac{2-\lambda}{\lambda}\sin\alpha ,$$

где $p' = \frac{T}{T_o}$ – отношение продолжительности полета частицы к периоду колебаний; $\lambda = 1 - \frac{\dot{X}'_n}{\dot{X}_n}$ – коэффициент мгновенного трения; $\dot{X}_n$, $\dot{X}'_n$ – продольная составляющая скорости частицы до и после удара; $R = \frac{\dot{y}_n}{\dot{y}_o}$ – коэффициент восстановления при упругом ударе; $\dot{y}_o$, $\dot{y}_n$ – проекция скорости частицы на ось y_α до и после удара.

Находим для режима движения с непрерывным подбрасыванием параметр $\omega_o = \frac{b\omega^2}{g\cos\alpha}$ и параметр p, указывающий, во сколько раз период переключений больше периода колебаний плоскости, следующей функцией параметра ω_o и коэффициента восстановления R.

В случае $0 < R < 1$ справедливо равенство $p' = p$, и

$$p' = p'(\omega_o, R) = \frac{1}{2\pi}\left[\frac{1+R}{1-R} + \sqrt{\frac{1+R}{1-R}}\right]\omega_o .$$

Подставляя выражения ω_o и p', в (13), после несложных преобразований приходим к формуле средней скорости в устойчивых установившихся режимах с непрерывным подбрасыванием

$$V = a\omega\left[\frac{1}{2}\left(1+\sqrt{\frac{1+R}{1-R}}\right)\cos\varepsilon - \sqrt{1-\frac{1}{4}\left(1+\sqrt{\frac{1-R}{1+R}}\right)^2}\sin\varepsilon\right] -$$
$$-\frac{b\omega^2}{2\cos\alpha}\left[\frac{1+R}{1-R} + \sqrt{\frac{1+R}{1-R}}\right]\frac{2-\lambda}{\lambda}\sin\alpha . \qquad (14)$$

При значениях ω_o, удовлетворяющих условию

$$\omega_o > \frac{1+R^2}{(1+R)^2} \qquad (15)$$

обеспечивающему наличие достаточного интенсивного подбрасывания, можно приближенно полагать, что

$$\frac{1}{2}\left[1+\sqrt{\frac{1-R}{1+R}}\right]=\cos\delta_o\ , \qquad (16)$$

где δ_o - фазовый угол, соответствующий моменту отрыва частицы от вибрирующей поверхности.

С учетом выражений (15), (16) и подстановки их в (14) получим

$$V=a\omega\cos(\delta_o+\varepsilon)-\frac{b\omega}{2\cos\alpha}\left[\frac{1+R}{1-R}+\sqrt{\frac{1+R}{1-R}}\right]\frac{2-\lambda}{\lambda}\sin\alpha \qquad (17)$$

Для формул (11), описывающих движение частицы, применим полученный результат к каждому члену суммы, в правой части формул, отдельно. В результате получим

$$V=A_x\cos\alpha\,\omega\cos\left(\delta_o-\gamma+\frac{\pi}{2}\right)+\frac{\omega}{2}\left[\frac{1+R}{1-R}+\sqrt{\frac{1+R}{1-R}}\right]\frac{2-\lambda}{\lambda}A_x\frac{\sin^2\alpha}{\cos\alpha}+$$ для первых членов сумм

$$+\omega A_y\sin\alpha\cos(\delta_o-\gamma)-A_y\frac{\omega}{2}\left[\frac{1+R}{1-R}+\sqrt{\frac{1+R}{1-R}}\right]\frac{2-\lambda}{\lambda}\sin\alpha+$$ для вторых членов сумм

$$+\omega A_\varphi[z_o-C_o\cos\alpha]\cos\left(\delta_o-\gamma_\varphi+\frac{\pi}{2}\right)-A_\varphi\frac{\omega}{2}\left[\frac{1+R}{1-R}+\sqrt{\frac{1+R}{1-R}}\right]\frac{2-\lambda}{\lambda}C_o\frac{\sin^2\alpha}{\cos\alpha}$$ для третьих членов сумм (18)

Скорость циркуляции наполнителя можно с некоторым приближением определить как среднюю величину непрерывной функции $V=F(\alpha)$ при изменении α от $-\frac{\pi}{2}$ до $+\frac{\pi}{2}$:

$$V_u=\frac{\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}}F(\alpha)\,d\alpha}{\frac{\pi}{2}-\left(-\frac{\pi}{2}\right)}=\frac{1}{\pi}\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}}F(\alpha)\,d\alpha \qquad (19)$$

Преобразуя выражение (I9), получим уравнение средней скорости циркуляции слоя материала

$$V_ц = -\frac{2}{\pi}\left[A_x \sin(\delta_o - \gamma) + \left(\frac{\pi}{2} r_o - C_o\right) A_\varphi \sin(\delta_o - \gamma_\varphi)\right]\omega + \frac{\omega}{2}\left[\frac{1+R}{1-R} + \sqrt{\frac{1+R}{1-R}}\right]\frac{2-\lambda}{x}\left[A_x - C_o A_\varphi\right] 11,474 \qquad (20)$$

В работе [2] получена формула для средней скорости циркуляции слоя сыпучей среды относительно контейнера

$$V_ц = -0,637\left[A_x \sin(\delta_o - \gamma) + (1,571 r_o - C_o) \times A_\varphi \sin(\delta_o - \gamma_\varphi)\omega\right. \qquad (21)$$

Выражение (20) отличается от выражения (2I) последним членом, и позволяет более точно определить среднюю скорость циркуляции наполнителя, удельную производительность, а также эффективную мощность микрорезания. Оно может быть рекомендовано для практического использования при проектировании виброабразивных установок.

Литература

I. Блехман И.И., Джанелидзе Г.Ю. Вибрационное перемещение. "Наука" М., I964.

2. Зеленцов Л.К. Прогрессивные методы отделочной обработки деталей машин", НИИТМ, I968.