

койно. Наблюдается также, что с образованием на передней поверхности резца лунки износа до определенного момента процесс резания становится более спокойным, вибрации уменьшаются. Расчеты показывают, что если переднюю поверхность резца заточить с радиусом $r_p = R$, где R определяется зависимостью (4), при координатах^{х)} центра дуги заточки $Y_0 = R \cos \beta_1$ и $X_0 = R \sin \beta_1$, то каждая точка естественно завивающейся стружки будет перемещаться по дуге окружности соответствующего радиуса, а центр естественного завивания стружки будет неподвижен. Однако осуществить такую заточку резца практически редко удается, так как при этом должно быть $\chi = \beta_1$.

Л и т е р а т у р а

1. Русские ученые - основоположники науки о резании металлов. Машгиз, М., 1952.
2. Резание металлов и инструмент. Под редакцией А.М.Розенберга. М., "Машиностроение", 1964.
3. Обработка резанием жаропрочных, высокопрочных и титановых сплавов. Под редакцией Н.И.Резникова. М., "Машиностроение", 1972.

А.С.Черемисин, Б.В.Берляев

О ПРЕДСТАВЛЕНИИ СИЛЫ P_z В ВИДЕ СУММЫ ДВУХ СЛАГАЕМЫХ

С помощью установки, состоящей из двухкомпонентного высокочастотного динамометра, скоростной кинокамеры, шлейфового осциллографа, схема которого была описана ранее [1], получены осциллограммы сил резания при элементарном стружкообразовании. В качестве примера на рис. 1 представлена одна из таких осциллограмм, где видно изменение составляющих сил резания P_x и P_y с изображением изменения величины контакта стружки с резцом за время образования элемента. Величины контакта замерены по кинокадрам для соответствующих времен. После образования первого элемента процесс резания стабилизируется, и картина изменения сил для конкретного режима резания сохраняется.

Сделаем анализ осциллограммы для P_z при установившемся процессе. За время образования одного элемента сила P_z сначала растет, а в момент скола - резко падает. Аппроксимируя кривые сил резания, можно получить уравнения, выражающие изменение сил по времени как для

х) Направление координат: X - горизонтально; Y - вертикально; начало координат на режущей кромке.

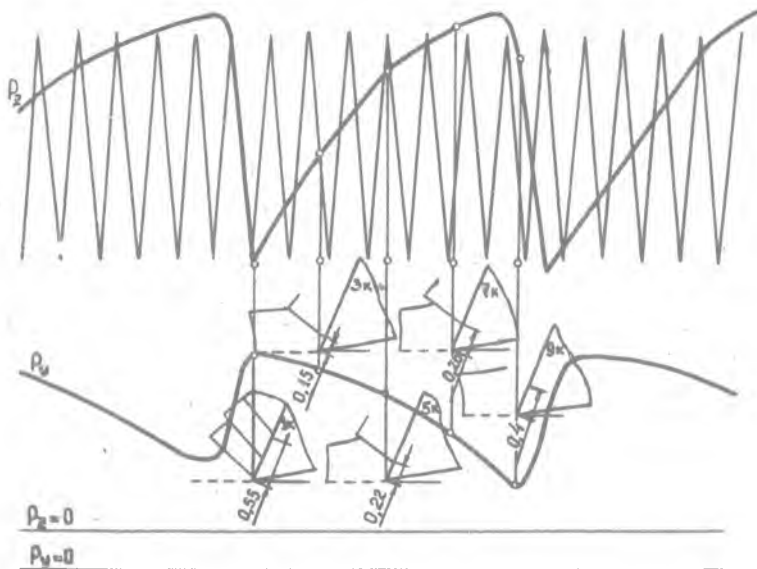


Рис.1. Осциллограмма сил резания при образовании элементной стружки. Обрабатываемый материал - титановый сплав ОТ4:

1к - $\tau = 0,0024$ сек,	$P_z = 62$ кгс,	$P_y = 31$ кгс;
3к - $\tau = 0,0365$ сек,	$P_z = 96$ кгс,	$P_y = 27$ кгс;
5к - $\tau = 0,0708$ сек,	$P_z = 117$ кгс,	$P_y = 23$ кгс;
7к - $\tau = 0,105$ сек,	$P_z = 128$ кгс,	$P_y = 18$ кгс;
9к - $\tau = 0,139$ сек,	$P_z = 120$ кгс,	$P_y = 12$ кгс

периода их нарастания, так и для периода резкого падения.

Периоду нарастания силы P_z по времени достаточно точно соответствует парабола вида

$$y^2 = 2px. \quad (1)$$

Следует заметить, что о параболическом характере нарастания P_z в процессе отделения элемента было указано еще К.А.Эворыкиным.

В качестве примера рассмотрим аппроксимацию кривой силы P_z по рис. 1 для толщины среза $a = 0,5$ мм при $b = 1,5$ мм и $v = 0,15$ м/мин.

функцией времени (τ). Если воспользоваться разложением этой функции [2] в ряд Фурье, то изложенным ниже методом ее можно представить в виде гармоники:

$$\Phi(\tau) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{k=\infty} \left(a_k \cos \frac{2k\pi}{\tau_0} \tau + b_k \sin \frac{2k\pi}{\tau_0} \tau \right).$$

Расчеты показывают, что ряд под знаком \sum является быстро сходящимся, поэтому без большой погрешности можно принять $K = I$.

Для

$$k = 1 \quad \Phi(\tau) = \frac{a_0}{2} + a_1 \cos \frac{2\pi}{\tau_0} \tau + b_1 \sin \frac{2\pi}{\tau_0} \tau,$$

где a_0 , a_1 и b_1 определяются из выражений

$$a_0 = \frac{2}{\tau_0} \int_0^{\tau_0} \Phi(\tau) d\tau; \quad a_k = \frac{2}{\tau_0} \int_0^{\tau_0} \Phi(\tau) \cos \frac{2k\pi}{\tau_0} \tau d\tau;$$

$$b_k = \frac{2}{\tau_0} \int_0^{\tau_0} \Phi(\tau) \sin \frac{2k\pi}{\tau_0} \tau d\tau.$$

Величина a_0 определяется по формуле

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{2}{\tau_0} \int_0^{\tau_0} \left[\frac{2(A-B)}{\tau_0} \tau - \frac{A+B}{\tau_0^2} \tau^2 \right] d\tau = \\ &= \frac{2}{\tau_0} \int_0^{\tau_0} \Phi(\tau) d\tau = \frac{4(A-B)}{\tau_0^2} \int_0^{\tau_0} \tau d\tau - \frac{2(A+B)}{\tau_0^3} \int_0^{\tau_0} \tau^2 d\tau = \\ &= \frac{4}{3} (A-B) = \frac{4}{3} (P_{z \max} - P_{z \min}). \end{aligned}$$

Коэффициент a_k - так:

$$\begin{aligned} a_k &= \frac{2}{\tau_0} \int_0^{\tau_0} \left[B + \frac{2(A-B)}{\tau_0} \tau - \frac{A+B}{\tau_0^2} \tau^2 \right] \cos \frac{2k\pi}{\tau_0} \tau d\tau = \\ &= \frac{2}{\tau_0} \left\{ B \left(\frac{\sin \frac{2k\pi}{\tau_0} \tau}{\frac{2k\pi}{\tau_0}} \right) \right\}_0^{\tau_0} + \frac{2(A-B)}{\tau_0} \left(\frac{\cos \frac{2k\pi}{\tau_0} \tau}{\frac{4k^2 \pi^2}{\tau_0^2}} + \frac{\tau \sin \frac{2k\pi}{\tau_0} \tau}{\frac{2k\pi}{\tau_0}} \right) \Big|_0^{\tau_0} - \\ &- \frac{A+B}{\tau_0^2} \left[\frac{2\tau \cos \frac{2k\pi}{\tau_0} \tau}{\frac{4k^2 \pi^2}{\tau_0^2}} + \left(\frac{\tau^2}{\frac{2k\pi}{\tau_0}} - \frac{2}{8k^3 \pi^3} \right) \sin \frac{2k\pi}{\tau_0} \tau \right] \Big|_0^{\tau_0} \right\}. \end{aligned}$$

Подставляя пределы интегрирования, получим

$$a_k = -\frac{A-B}{\tau_0^2} \frac{2\tau_0}{4k^2\pi^2} \frac{2}{\tau_0} = \frac{(A-B)\tau_0}{2k^2\pi^2} \frac{2}{\tau_0} = \frac{A-B}{k^2\pi^2}$$

Для $k = 1$ $a_k = a_1 = \frac{(A-B)}{\pi^2}$.

Коэффициент b_k равен

$$b_k = \frac{2}{\tau_0} \int_0^{\tau_0} \left[B + \frac{2(A-B)}{\tau_0} \tau - \frac{A-B}{\tau_0^2} \tau^2 \right] \sin \frac{2k\pi}{\tau_0} \tau d\tau =$$

$$= \frac{2}{\tau_0} \left[B \left(-\frac{\tau_0}{2k\pi} \right) \cos \frac{2k\pi}{\tau_0} \tau \right] \Big|_0^{\tau_0} + \frac{2(A-B)}{\tau_0} \times$$

$$\times \left[\frac{\sin \frac{2k\pi}{\tau_0} \tau}{\frac{4k^2\pi^2}{\tau_0^2}} - \frac{\tau \cos \frac{2k\pi}{\tau_0} \tau}{\frac{2k\pi}{\tau_0}} \right] \Big|_0^{\tau_0} - \frac{A-B}{\tau_0^2} \times$$

$$\times \left[\frac{2\pi}{4k^2\pi^2} \sin \frac{2k\pi}{\tau_0} \tau - \left(\frac{\tau^2}{2k\pi} - \frac{2}{8k^3\pi^3} \right) \cos \frac{2k\pi}{\tau_0} \tau \right] \Big|_0^{\tau_0}$$

Подставляя пределы интегрирования, получим

$$b_k = \frac{2}{\tau_0} \left[\frac{(A-B)}{2k\pi} \tau_0 - \frac{2(A-B)}{2k\pi} \tau_0 \right] = \frac{B-A}{k\pi}$$

Для $k = 1$ $b_k = b_1 = -\frac{A-B}{\pi}$.

Определив коэффициенты a_1 и b_1 , можно записать полученную формулу для P_2 в следующем виде

$$P_2 = b + \varphi(\tau) = P_{2\min} + \frac{2}{3} (P_{2\max} - P_{2\min}) - \frac{P_{2\max} - P_{2\min}}{\pi^2} \cos \frac{2\pi\tau}{\tau_0} -$$

$$- \frac{P_{2\max} - P_{2\min}}{\pi} \sin \frac{2\pi\tau}{\tau_0}$$

$$P_{z \min} + \frac{2}{3} P_{z \max} - \frac{2}{3} P_{z \min} = \frac{2}{3} P_{z \max} + \frac{1}{3} P_{z \min} \approx P_{z \text{ ср.}}$$

Таким образом, главная составляющая силы резания может быть представлена в следующем виде:

$$P_z = P_{z \text{ ср.}} - (P_{z \max} - P_{z \min}) \left(0,1 \cos \frac{2\pi t}{T_0} + 0,32 \sin \frac{2\pi t}{T_0} \right) \quad (6)$$

Из уравнения (6) видно, что сила P_z состоит из двух частей - постоянной $P_{z \text{ ср.}}$ и переменной, изменяющейся по гармоническому закону с периодом T_0 , равным времени на отделение одного элемента при установившейся работе.

Л и т е р а т у р а

1. Д е п и л и н В.И., Ч е р е м и с и н А.С. Аппаратура и методика исследования мгновенного состояния зоны резания. Производительность, качество обработки и надежность в эксплуатации изделий из жаропрочных и титановых сплавов. Труды КуАИ, выпуск 43, Куйбышев, 1970.
2. Р е з н и к о в Н.И. Учение о резании металлов. М., 1947.

А.Н.Волков, И.Г.Попов

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ СПЛАВА В93 ДВУХПЕРЫМИ ФРЕЗАМИ

При обработке деталей сложной конфигурации из высокопрочного алюминиевого сплава В93 на станках с программным управлением широкое распространение находят концевые двухзубые фрезы с большой длиной режущей части.

Чтобы избежать поломок инструмента и связанного с ними брака изделий, назначение режимов резания необходимо производить с учетом максимальных значений сил, действующих на фрезу при резании с вибрациями, которые обычно сопровождают процесс обработки сплава В93.