

К РАСЧЕТУ БЕЗВИБРАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ

Установлено, что образование металлической стружки является периодическим процессом [1..4]. Стружка, образующаяся при скоростном резании, состоит из микроэлементов, разделенных зонами локализации пластической деформации.

Сила резания за период образования микроэлемента является переменной величиной, обусловленной изменением деформаций, напряжений, контактного трения и других факторов. Изменение силы резания во времени при устойчивом резании, если судить по осциллограммам вибрационного ускорения, является случайным процессом, при котором изменяются как случайные величины частота или амплитуда или одновременно оба эти параметра. При этом характер процесса зависит от условий обработки. При обработке с весьма малыми подачами, когда доминирующей является сила трения на задней поверхности инструмента, случайной является амплитуда, а частота остается постоянной; при наростообразовании частота и амплитуда одновременно изменяются как случайные величины; при скоростном резании с достаточно большими подачами случайной величиной является амплитуда. При неустойчивом резании, т.е. вибрациях, сила изменяется по закону, близкому к синусоидальному, как при низко-, так и высокочастотных вибрациях.

Вибрации, возникшие при данных условиях обработки, продолжают с увеличением скорости резания до определенного ее значения. Затем резание снова переходит в устойчивую область. Стружка, образующаяся при наличии вибраций при скоростном резании, имеет резко выраженное элементное строение. Микроэлементы стружки разделены зонами локализации пластической деформации. В интервале скоростей неустойчивого резания с увеличением скорости возрастает шаг между зонами, или увеличивается опережающая зона течения металла.

На рис. 1 изображена стружка с возрастающим шагом между зонами локализации в зависимости от скорости резания. После выхода из зоны вибраций стружка утрачивает элементарное строение. Таким образом, в зависимости от скорости резания имеются две области без вибрационного резания, одна из которых соответствует низким, другая — высоким скоростям резания.

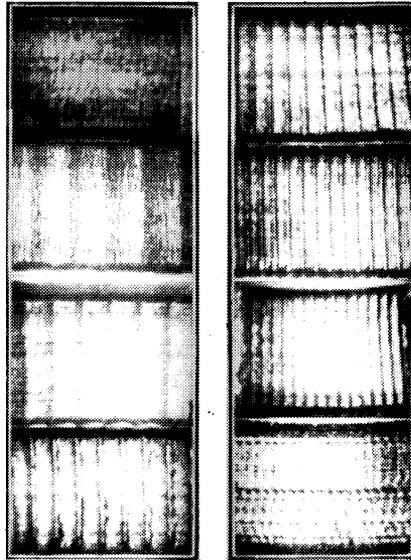


Рис. 1. Вид свободной поверхности стружки, полученной при вибрациях (Ст.45. $\gamma^* = 0$; $s = 0,39$ мм/об; $t = 2,5$ мм; X10).

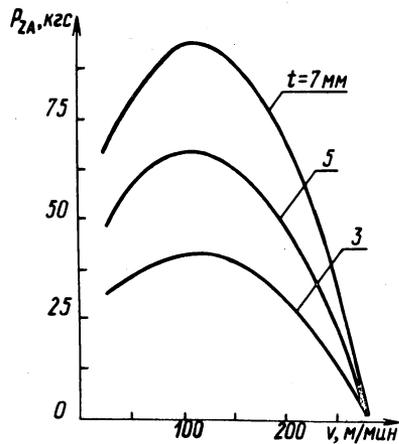


Рис. 2. Зависимость амплитуды от скорости резания.

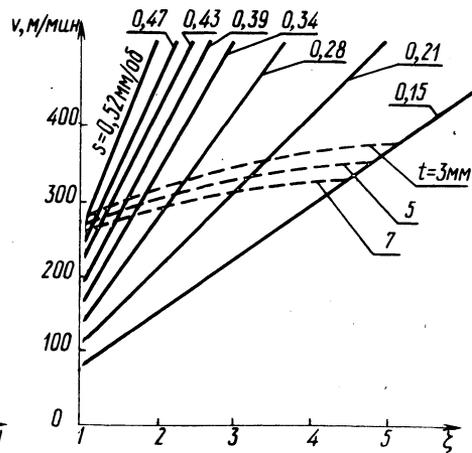


Рис. 3. К определению безвибрационных скоростей резания.

При неустойчивом резании колебания силы подчиняются синусоидальному закону. Принимая во внимание теоретические формулы силы резания [1] и значения коэффициентов трения при образовании зон локализации пластической деформации [3], получим формулу для амплитуды тангенциальной составляющей силы резания

$$P_{zA} = 0,5\zeta st\zeta \varepsilon \frac{\sin \varphi_2}{\cos(\varphi_2 - \gamma)} + \Delta\zeta tS\zeta \frac{\cos(\eta_{\text{макс}} - \gamma)}{\cos(\varphi_2 + \eta_{\text{макс}})} \times \frac{x}{-\gamma) \cos(\varphi_2 - \gamma)} \quad (1)$$

Амплитуды других составляющих силы резания выразятся аналогичными формулами. Формула частоты колебаний силы резания найдена из условия, что объем металла, заключенный между зонами локализации пластической деформации в стружке, принадлежит опережающей зоне течения в момент деформирования. Эта формула имеет вид

$$f = \frac{1000 v \sin \beta \cos(\varphi_2 - \gamma)}{60 s \sin \varphi \sin(\varphi_2 - \beta_1) \left[1 + \zeta + \frac{A \sin(\varphi_2 - \beta_1)}{\sin \beta_1 \cos(\varphi_2 - \gamma)} \right]} \quad (2)$$

В формулах (1) и (2) приняты следующие обозначения: ε — величина сдвиговой деформации для опережающей зоны течения со свободной поверхностью в виде дуги окружности [2]. Эта деформация зависит в основном от контактного трения на передней поверхности инструмента и определяется по формуле

$$\varepsilon = \operatorname{tg}(\varphi_2 - \gamma) + \frac{\operatorname{ctg} \beta_1}{\xi^2} - \frac{\sin(\varphi_2 - \beta_1)}{\zeta \sin \beta_1 \cos(\varphi_2 - \gamma)} - \left[\frac{\sin(\varphi_2 - \beta_1)}{\zeta \sin \beta_1 \cos(\varphi_2 - \gamma)} \right]^2 A, \quad (3)$$

$$A = 2 \operatorname{ctg} \frac{\delta}{2} \left(1 - \frac{\delta}{2} \operatorname{ctg} \frac{\delta}{2} \right);$$

где v , s , t — элементы режима резания; ζ — касательное напряжение в зонах локализации пластической деформации; $\Delta\zeta$ —

разность между касательными напряжениями при максимальном и минимальном значениях силы резания; $\eta_{\text{макс}}$ — максимальное значение угла трения на передней поверхности инструмента; ξ — коэффициент продольной усадки стружки; f — частота возникновения зон локализации пластической деформации; φ — главный угол в плане; δ, γ — углы резания и передний; β_1 — условный угол сдвига; φ_2 — угол верхней границы опережающей зоны течения.

Изменение амплитуды тангенциальной составляющей силы резания в зависимости от скорости показано на рис. 2.С увеличением скорости амплитуда растет, достигает максимума, затем уменьшается до нуля. С увеличением глубины и подачи амплитуда возрастает, причем наибольшее влияние оказывает глубина резания. С уменьшением переднего угла инструмента амплитуда увеличивается.

Безвибрационные условия обработки будут иметь место при

$$P_{zA} = 0,5 \zeta s t \zeta \varepsilon \frac{\sin \varphi_2}{\cos(\varphi_2 - \gamma)} = 0$$

или

$$\varepsilon = 0. \quad (4)$$

По уравнению

$$a \operatorname{tg}^2 \varphi_2 + b \operatorname{tg} \varphi_2 + c = 0, \quad (5)$$

найденному из условия (4), определится угол верхней границы опережающей зоны течения, соответствующий условиям безвибрационной обработки. В уравнении (5) значения коэффициентов следующие:

$$a = \cos^2(\beta_1 - \gamma) \operatorname{tg} \gamma - \cos^2 \beta_1 \operatorname{tg} \gamma - \frac{A \cos^2 \beta_1}{\cos^2 \gamma};$$

$$b = \frac{2 \cos^2(\beta_1 - \gamma)}{\operatorname{tg} 2\gamma} - \frac{\cos(\beta_1 - \gamma) \cos(\beta_1 + \gamma)}{\cos^2 \gamma} +$$

$$+ \frac{\sin 2\beta_1 (0,5 \sin 2\gamma + A)}{\cos^2 \gamma};$$

$$C = \sin 2\beta_1 - \cos^2(\beta_1 - \gamma) \operatorname{tg} \gamma + \frac{\sin^2 \beta_1 (0,5 \sin 2\gamma - A)}{\cos^2 \gamma} .$$

Безвибрационная скорость резания определится по формуле, полученной из зависимости (2):

$$v = \frac{60 s f \sin \varphi \sin(\varphi_2 - \beta_1)}{1000 \sin \beta_1 \cos(\varphi_2 - \gamma)} \left[1 + \zeta + \frac{A \sin(\varphi_2 - \beta_1)}{\sin \beta_1 \cos(\varphi_2 - \gamma)} \right] . \quad (6)$$

На рис. 3 даны кривые безвибрационных скоростей резания для различных подач и глубин резания при прочих постоянных условиях. Кривые, отмеченные подачами, определялись по формуле (6), а кривые, отмеченные глубинами резания, — по формуле [4]:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^{x_v} s^{y_v}} K_v . \quad (7)$$

Расчеты проведены для всех подач, указанных на рис. 3. При этом в качестве инструментального материала принят сплав ТЗОК4 ($K_{av} = 1,4$) со стойкостью $T = 30$ мин; обрабатываемый материал — сталь 45 ($\sigma_B = 65$ кг/мм², $K_{\mu v} = 1,15$). Остальные поправочные коэффициенты в формуле (7) при расчетах приняты равными единице.

Точки пересечения кривых, приведенных на рис. 3, определяют безвибрационные скорости резания для данных условий обработки. Эти данные показывают, что современные твердые сплавы позволяют работать при нормативной стойкости на безвибрационных скоростях резания верхнего предела.

Л и т е р а т у р а

1. Молочков А.В. Анализ теоретических уравнений силы резания. — В сб.: Мат-лы УІ науч.-теор. конф. Могилев, 1969.
2. Молочков А.В. Экспериментальные и теоретические исследования пластических деформаций в зоне стружкообразования. — В сб.: Новая техника и прогрессивная технология. Минск, 1969.
3. Молочков А.В. Уравнение направления сдвига при стружкообразовании. — В сб.: Машиностроение и приборостроение. Вып. 6. Минск, 1974.
4. Справочник технолога-машиностроителя. Т.2. Изд. 2-е. Под ред. А.Н. Мало-ва. М., 1972.