

КОЛЕБАНИЯ РЕЗЦА ПРИ ТОЧЕНИИ
ЗАКАЛЕННОЙ СПЕЧЕННОЙ СТАЛИ

Колебания режущего инструмента оказывают существенное влияние на процесс резания, стойкость инструмента, качество обработанной поверхности. Исследования амплитуды колебаний державки резца при точении спеченной хромистой стали 20Х9_п НРС 54–58 на станке ТВ–320, выполненные с помощью комплекса специальной аппаратуры [1], зафиксировали ее резкое возрастание в направлении действия сил P_z и P_x при скоростях резания 20...40 м/мин и свыше 120...150 м/мин. Такой характер изменения амплитуды сохраняется в широком диапазоне частот, однако ее величина с возрастанием частоты уменьшается.

Увеличение подачи увеличивает амплитуду колебаний. При достижении величины предельного износа резца амплитуда его колебаний возрастает в 1,5...2 раза.

На изменение величины амплитуды в нашем случае не влияют такие факторы, как срывы нароста, дисбаланс детали, биения шпинделя станка или соударения зубьев шестерен коробки скоростей, так как вращение шпинделя осуществляется через ременную передачу, гасящую удары, а нарост при точении спеченных сталей отсутствует. Поэтому ранее нами было высказано предположение, что изменение амплитуды колебаний связано с воздействием на процесс резания остаточной пористости. В определенном диапазоне скоростей частота соударений краев пор с режущим лезвием может совпасть с частотой собственных колебаний державки резца, в результате чего возникает резонанс, и амплитуда колебаний резко возрастает [1, 2].

Токарный резец упрощенно можно представить как консольную заземленную балку. Дифференциальное уравнение собственных изгибных колебаний балки в случае отсутствия дополнительной нагрузки и без учета влияния инерции поворота сечения и перерезающих сил имеет вид [3]:

$$EJ \frac{\partial^4 y(x, t)}{\partial x^4} + m \frac{\partial^2 y(x, t)}{\partial t^2} = 0, \quad (1)$$

где $y(x, t)$ – функция, описывающая линию прогиба балки; m – погонная масса балки; E – модуль упругости материала балки; J – момент инерции поперечного сечения балки.

Принимая, согласно методу Фурье, $y(x, t) = f(x) \cos \omega t$, можно получить дифференциальное уравнение формы колебаний

$$\frac{\partial^4 f(x)}{\partial x^4} - \alpha^4 f(x) = 0, \quad (2)$$

где $\alpha^4 = \omega^2 \frac{m}{EJ}$; $\omega = 2\pi f$ - круговая частота; f - частота изгибных колебаний.

Общее решение уравнения (2) можно представить в виде

$$f(x) = A \sin \alpha x + B \cos \alpha x + C \operatorname{sh} \alpha x + D \operatorname{ch} \alpha x, \quad (3)$$

где A, B, C, D - постоянные, величины которых определяются из граничных условий.

Для нашего случая уравнение (3) принимает вид

$$\operatorname{ch} \alpha \cos \alpha + 1 = 0. \quad (4)$$

Корни уравнения равны $\alpha_0 = 1,875$; $\alpha_1 = 4,694$; $\alpha_i \approx$

$$\approx \frac{2(i+1) - 1}{2} \pi \quad (i > 1).$$

Подставив цифровые значения α , можно получить частоты собственных колебаний балки:

$$\text{для основного тона } f_0 = \frac{3,52}{2\pi l^2} \sqrt{\frac{EJ}{m}}; \quad (5)$$

$$\text{для первого обертона } f_1 = \frac{8,81}{2\pi l^2} \sqrt{\frac{EJ}{m}}. \quad (6)$$

Подставляя в формулы (5, 6) конкретные цифровые значения параметров балки, легко увидеть, что частоты колебаний державки реза в направлениях действия сил P_x и P_z лежат в пределах $f_0 = 20 \dots 30$ кГц, $f_1 = 52 \dots 75$ кГц.

Однако в процессе резания более правильно рассматривать резец как консольную балку с сосредоточенной нагрузкой (силой резания) на свободном конце. В этом случае уравнение (4) преобразуется в

$$E(\alpha) - k \alpha B(\alpha) = 0, \quad k = \frac{M}{ml}, \quad (7)$$

где $E(\alpha) = \operatorname{ch} \alpha \cos \alpha + 1$; $B(\alpha) = \operatorname{ch} \alpha \sin \alpha - \operatorname{sh} \alpha \cos \alpha$; M - масса сосредоточенной нагрузки.

В нашем случае $M \gg ml$, поэтому $\alpha_0 = 0,4$; $\alpha_1 \approx 3,9$ [3], а частоты собственных колебаний равны:

$$\text{для основного тона } f_0 = \frac{0,16}{2\pi l^2} \sqrt{\frac{EJ}{m}}; \quad (8)$$

$$\text{для первого обертона } f_1 = \frac{0,40}{2\pi l^2} \sqrt{\frac{Ej}{m}}. \quad (9)$$

Подставляя значения параметров резца в (8, 9), получим $f_0 = 950 \dots 1500$ Гц, $f_1 = 2400 \dots 3700$ Гц.

Рассмотрим расположение пор в обрабатываемом материале [4]. Предположим, что наша деталь разбита на ячейки размерами $2r \times 2r \times 2r$ мм, в которые вписаны поры сферической (наиболее характерной) формы. Тогда число ячеек в горизонтальном слое равно $n = \frac{bn}{4r^2}$, а в вертикальном столбике

$N = \frac{L}{2r}$. Объем вертикального столбика $V = 4r^2 L$, а число ячеек, занятых сферическими порами объемом $4/3\pi r^3$, составит

$$d = \frac{3L}{\pi r} P, \quad (10)$$

где P — величина пористости.

Вероятность того, что в произвольной ячейке вертикального столбика будет находиться пора, равна

$$\varphi = \frac{d}{N} = \frac{6}{\pi} P. \quad (11)$$

Вероятность того, что в сечении, состоящем из n ячеек, находится m пор, может быть записана в виде биномиального распределения. Оно используется тогда, когда производится n независимых испытаний, в каждом из которых одна и та же вероятность φ появления интересующего нас события и требуется определить вероятность появления этого события m раз.

Анализируя форму кривой плотности вероятности биномиального распределения, нетрудно заметить, что число пор, которое наиболее часто встречается в сечениях образца, равно

$$m^* = (1 + n)\varphi. \quad (12)$$

При обработке пористой детали в течение одной секунды при скорости резания V м/мин резец проходит через

$$n = \frac{1000v}{120r} \text{ ячеек.}$$

Тогда

$$m_c^* = \left(1 + \frac{1000v}{120r}\right) \varphi \approx \frac{50vP}{\pi r}. \quad (13)$$

По формулам (13) и (8) можно рассчитать скорость резания, обеспечивающую совпадение частоты соударения резца с краями пор с частотой собственных колебаний державки резца:

$$v = \frac{\pi r f_0}{50P}. \quad (14)$$

Принимая диаметр поры равным толщине срезаемого слоя, можно получить, что для сталей с пористостью 5% резонанс должен возникать в диапазоне скоростей 24...38 м/мин. Это хорошо согласуется с результатами стойкостных испытаний резцов при обработке спеченной стали [2].

Л и т е р а т у р а

1. Ящерицын П.И., Фельдштейн Е.Э. Качество обработанной поверхности при тонком точении спеченных сталей. – В кн.: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. "Динамика станков". Куйбышев, 1980.
2. Фельдштейн Е.Э. Токарная обработка спеченной стали, легированной хромом. – Порошковая металлургия, 1980, № 5.
3. Ананьев И.В. Справочник по расчету собственных колебаний упругих систем. – М., 1946.
4. Трощенко В.Т., Руденко В.Н. Прочность металлокерамических материалов и методы ее определения. – Киев, 1965.

УДК 621.91.01

Хак А.К.М.Нурул, инженер (БПИ),
А.И.Кочергин, канд. техн. наук (БПИ)

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗНОСА РЕЗЦОВ

Случайный характер процесса изнашивания режущих инструментов приводит к рассеиванию их стойкости и приращений износа через одинаковые интервалы времени. В данной работе показаны особенности изнашивания резцов в лабораторных условиях, когда колебания свойств инструментов и обрабатываемых заготовок сведены к минимуму, резание производится на одном станке и в результате рассеивание стойкости инструментов значительно меньше по сравнению с производственными условиями. С учетом статистических свойств процесса изнашивания инструментов можно создать совершенные методы исследования их режущих свойств и обрабатываемости металлов.

Опыты выполнялись при поперечном точении на станке мод. 1А616 втулок из стали 9ХС, имеющих наружный диаметр 40 мм и внутренний 18 мм. Резание производилось резцами с четырехгранными неперетачиваемыми пластинками из сплава Т15К6 при глубине резания 0,25 мм, подаче 0,065 мм/об и