

УДК 621.91.01

РАСЧЕТ ИДЕАЛЬНОГО КПД РЕЗАНИЯ

Мария Сергеевна Потапова

*Студентка 5 курса,
кафедра «Инструментальная техника и технологии»,
Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана*

*Научный руководитель: Д.В. Виноградов,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и
технологии»,
Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана*

Энергетическую эффективность процесса резания можно оценивать количественно с помощью безразмерного показателя, представляющего собой энергетический КПД механической обработки. Данный показатель равен отношению работы, необходимой для мгновенного разрыва межатомных связей в образце сечением 1×1 мм к удельной работе, затрачиваемой на образование новой поверхности при механической обработке заготовки. Ниже представлен расчет КПД резания на примере обработки алюминиевой заготовки точением и строганием.

Для оценки потенциала взаимодействий атомов в металле используется метод вложенного атома. Суть данного метода заключается в том, что энергия набора атомов есть сумма энергии парных взаимодействий и энергии необходимой для внедрения каждого атома в электронную плотность, которая создается всеми другими атомами. Общий вид потенциала имеет простую аналитическую форму и может использоваться для моделирования больших атомных систем в рамках метода молекулярной динамики. Такое приближение математически формулируется следующим образом:

Суммарная энергия E_{Σ} системы из N атомов [4]:

$$E_{\Sigma} = \sum_{n=1}^N E_n, \quad E_n = F(\rho_n) + \frac{1}{2} \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq n}}^N \varphi(r_{nm}), \quad \rho_n = \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq n}}^N \rho(r_{nm}),$$

где ρ_n – электронная плотность в точке положения атома; $F(\rho_n)$ – энергия необходимая для того, чтобы поместить атом в электронную плотность ρ_n ; $\varphi(r_{nm})$ – парный потенциал взаимодействия между атомами n и m , находящимися на расстоянии r_{nm} ; $\rho(r_{nm})$ – вклад электронной плотности от атома m в точку положения атома n .

Окончательно:

$$E_{\Sigma}^{\text{физ}} = \sum_{n=1}^{N_{\text{ат}}^{\text{гр}} + N_{\text{ат}}^{\text{у}}} (E_n^{\text{у}} + E_n^{\text{гр}}) = 4,15 \cdot 10^{-6} \text{ Дж},$$

Определим количество узловых атомов $N_{\text{ат}}^{\text{у}}$ и атомов в гранях кристаллической решетки $N_{\text{ат}}^{\text{гр}}$ в сечении 1×1 мм:

$$N_{\text{ат}}^{\text{у}} = \left(\frac{1}{a}\right)^2 = \left(\frac{1}{4,05 \cdot 10^{-7}}\right)^2 = 6,1 \cdot 10^{12} \approx N_{\text{ат}}^{\text{гр}}$$

a – период кристаллической решетки алюминия.

Суммарная энергия атомов, находящихся в узлах $\Sigma E_n^{\text{у}}$ и гранях $\Sigma E_n^{\text{гр}}$ кристаллической решетки:

$$E_{\Sigma}^y = 2,18585 \cdot 1,62 \cdot 10^{-19} \cdot 6,1 \cdot 10^{12} = -2,13 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$$

$$E_{\Sigma}^{\text{рп}} = 2,0289 \cdot 1,62 \cdot 10^{-19} \cdot 6,1 \cdot 10^{12} = -2,005 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$$

Для определения величины работы, совершаемой при резании, рассмотрим точение и свободное строгание алюминиевой заготовки.

Точение выполнялось на прутке диаметром $D=20$ мм и длиной $l=30$ мм резцом из быстрорежущей стали марки Р6М5 с главным углом в плане $\varphi=90^\circ$ (глубина резания $t=3$ мм).

$$A_{\text{уд}} = \frac{A}{F} = \frac{P_z L}{F} = \dots = \frac{k'_c t}{S_o^m (\sin \varphi)^m} = 3,28 \frac{\text{Дж}}{\text{мм}^2}$$

где A – работа, затрачиваемая при обработке поверхности площадью F , $L = \pi dl / S_o$ – путь резания, [м], P_z – окружная сила резания, [Н] [3]:

$$P_z = bhk_c = bh \frac{k'_c}{h^m}$$

где b, h – ширина и толщина срезаемого слоя, [мм]; k_c – удельная сила резания, [Н/мм²]; k'_c – удельная сила резания при поперечном сечении стружки $A = 1$ мм²; m – показатель степени.

$$\text{КПД} = \frac{A_{\text{уд}}^{\text{физ}}}{A_{\text{уд}}} = \frac{4,14 \cdot 10^{-6}}{3,28} \cdot 100\% = 1,26 \cdot 10^{-4}\%$$

Рассмотрим второй вариант механической обработки – однократное строгание бруска шириной $b=3$ мм, на длину $l=10$ мм (припуск $t = 0,3$ мм).

$$A_{\text{уд}} = \frac{A}{F} = \frac{P_z L}{F} = \dots = 0,83 \cdot h^{0,77} = 0,33 \frac{\text{Дж}}{\text{мм}^2}$$

$$\text{КПД} = \frac{A_{\text{уд}}^{\text{физ}}}{A_{\text{уд}}} = \frac{4,14 \cdot 10^{-6}}{0,33} \cdot 100\% = 1,25 \cdot 10^{-3}\%$$

В общем случае строгание является на порядок более производительным методом обработки по сравнению с точением.

Литература

1. Карпов А.В. Энергетическая эффективность процессов резания конструкционных материалов: способы оценки и пути повышения. – Режим доступа: http://science-bsea.narod.ru/2011/mashin_2011_14/karpov_energ.htm
2. Карпов А.В., Соколик Н.Л., Соколик А.И. К вопросу снижения энергозатрат при обработке заготовок лезвийными инструментами // Новые материалы и технологии в машиностроении. Сборник научных трудов. Выпуск 2. – Брянск: БГИТА, 2003.
3. GARANT. Справочник по обработке резанием.[Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.hoffmann-group.com/fileadmin/catalog/en>
4. ВК_ZHB_2009_en/blaetterkatalog/index.html
Зализняк В. Е., Золотов О.А. Универсальный потенциал взаимодействия для чистых металлов // Наносистемы: физика, химия, математика.- 2012. №3 (6). С. 64–69.