

УСЛОВИЯ УМЕНЬШЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Энергоемкость обработки является важнейшим параметром механической обработки, определяющим его силовую напряженность, производительность и качество обработки. Поэтому знание условий его уменьшения имеет большое научное и практическое значение. Установлено, что энергоемкость обработки $A/\mathcal{G} = N/Q = P_z/S_{\text{срез}}$, по физической сути равное условному напряжению резания, описывается аналитическими зависимостями [1]:

$$\sigma = \frac{2 \cdot \tau_{\text{сдв}}}{\text{tg}\beta} = \frac{2 \cdot \tau_{\text{сдв}}}{\text{tg}\left[45^\circ - \frac{(\psi - \gamma)}{2}\right]}, \quad (1)$$

где A – работа резания, Дж; \mathcal{G} – объем снимаемого материала, м³; N – мощность резания, Вт; Q – производительность обработки, м³/с; P_z – тангенциальная составляющая силы резания, Н; $S_{\text{срез}}$ – площадь поперечного сечения среза, м² (при шлифовании – суммарная мгновенная площадь поперечного сечения среза всеми одновременно работающими зернами круга $S_{\text{срез}} = Q/V_{\text{кр}}$); $V_{\text{кр}}$ – скорость круга, м/с; $\tau_{\text{сдв}}$ – предел прочности на сдвиг обрабатываемого материала, Н/м²; β – угол сдвига материала; $\omega = (\psi - \gamma)$ – угол действия; ψ – условный угол трения обрабатываемого материала с передней поверхностью инструмента ($f = \text{tg}\psi$ – коэффициент трения); γ – передний угол инструмента.

С учетом формулы профессора А. Н. Тиме [2]: $\text{tg}\beta = \frac{\cos\gamma}{K_L - \sin\gamma}$:

$$\sigma = 2 \cdot \tau_{\text{сдв}} \cdot \frac{K_L - \sin\gamma}{\cos\gamma} \approx 2 \cdot \tau_{\text{сдв}} \cdot K_L \approx \sigma_{\text{сж}} \cdot K_L, \quad (2)$$

где K_L – коэффициент усадки стружки; $\sigma_{\text{сж}} \approx 2\tau_{\text{сдв}}$ – предел прочности на сжатие обрабатываемого материала, Н/м².

При лезвийной обработке энергоемкость обработки определяется:

$$\sigma = \frac{2 \cdot \tau_{\text{сдв}}}{K_{\text{рез}}} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + K_{\text{рез}}^2}\right), \quad (3)$$

где $K_{\text{рез}} = P_z/P_y = \text{ctg}\omega = \text{ctg}(\psi - \gamma)$ – коэффициент резания; P_y – радиальная составляющая силы резания, Н.

При абразивной обработке ($K_{\text{рез}} < 1$):

$$\sigma = \frac{4 \cdot \tau_{сдв}}{K_{рез}}. \quad (4)$$

При условии разрушения прямолинейного образца ($K_{рез} \gg 1$):

$$\sigma = 2\tau_{сдв} \approx \sigma_{сж}. \quad (5)$$

Исходя из приведенных зависимостей, уменьшить энергоемкость обработки σ можно увеличением угла сдвига β и уменьшением угла действия $\omega = (\psi - \gamma)$. При условии $\omega = (\psi - \gamma) \rightarrow 0$, т.е. при $\psi = \gamma$, имеем $\sigma \rightarrow 0$.

Как видно, чем больше коэффициент усадки стружки K_L , изменяющийся в пределах 1...8 и более (т.е. чем меньше угол β), тем больше энергоемкость обработки σ , что согласуется с известными экспериментальными данными. Исходя из зависимости (3), энергоемкость обработки σ определяется лишь одним изменяющимся параметром $K_{рез} = ctg(\psi - \gamma)$, который при $(\psi - \gamma) \rightarrow 0$ принимает значение $K_{рез} \rightarrow \infty$, а при $(\psi - \gamma) \rightarrow 90^\circ$ соответственно $K_{рез} \rightarrow 0$. Поэтому при лезвийной обработке (вследствие увеличения коэффициента резания $K_{рез}$) энергоемкость обработки σ меньше, чем при абразивной обработке. Уменьшить σ при лезвийной и абразивной обработке можно увеличением коэффициента резания $K_{рез}$ за счет снижения интенсивности трения в зоне резания и повышения режущей способности инструмента.

При шлифовании коэффициент резания $K_{рез} = ctg(\psi + \gamma)$ в связи с увеличением угла действия $\omega = (\psi + \gamma)$ принимает меньшие значения, чем при лезвийной обработке, поэтому энергоемкость обработки σ – выше. В случае затупления режущего зерна $\omega = (\psi + \gamma) \rightarrow 90^\circ$, соответственно, $K_{рез} \rightarrow 0$, а $\sigma \rightarrow \infty$ и процесс резания неосуществим. Следовательно, уменьшить σ при шлифовании можно уменьшением угла действия $\omega = (\psi + \gamma)$ за счет применения импрегнированных и прерывистых кругов, эффективных методов правки круга, в особенности электрофизикохимических методов правки алмазных кругов на металлических связках. При условии разрушения прямолинейного образца, т.е. при угле $\beta = 45^\circ$, энергоемкость обработки σ принимает, по сути, наименьшее значение $\sigma = 2\tau_{сдв} \approx \sigma_{сж}$, которое достигается при обработке металлов давлением. На рис. 1 приведены графики изменения σ и $K_{рез}$ в зависимости от различных параметров для $\tau_{сдв} = 400 \text{ Н/мм}^2$.

Как видно, энергоемкость обработки σ с увеличением углов β , γ и коэффициента резания $K_{рез}$ уменьшается, а с увеличением условного угла трения обрабатываемого материала с передней поверхностью инструмента ψ , наоборот, увеличивается, принимая значения, большие $\tau_{сдв}$. Коэффициент резания $K_{рез}$ с увеличением угла сдвига обрабатываемого материала β увеличивается в пределах от 0 до 45° .

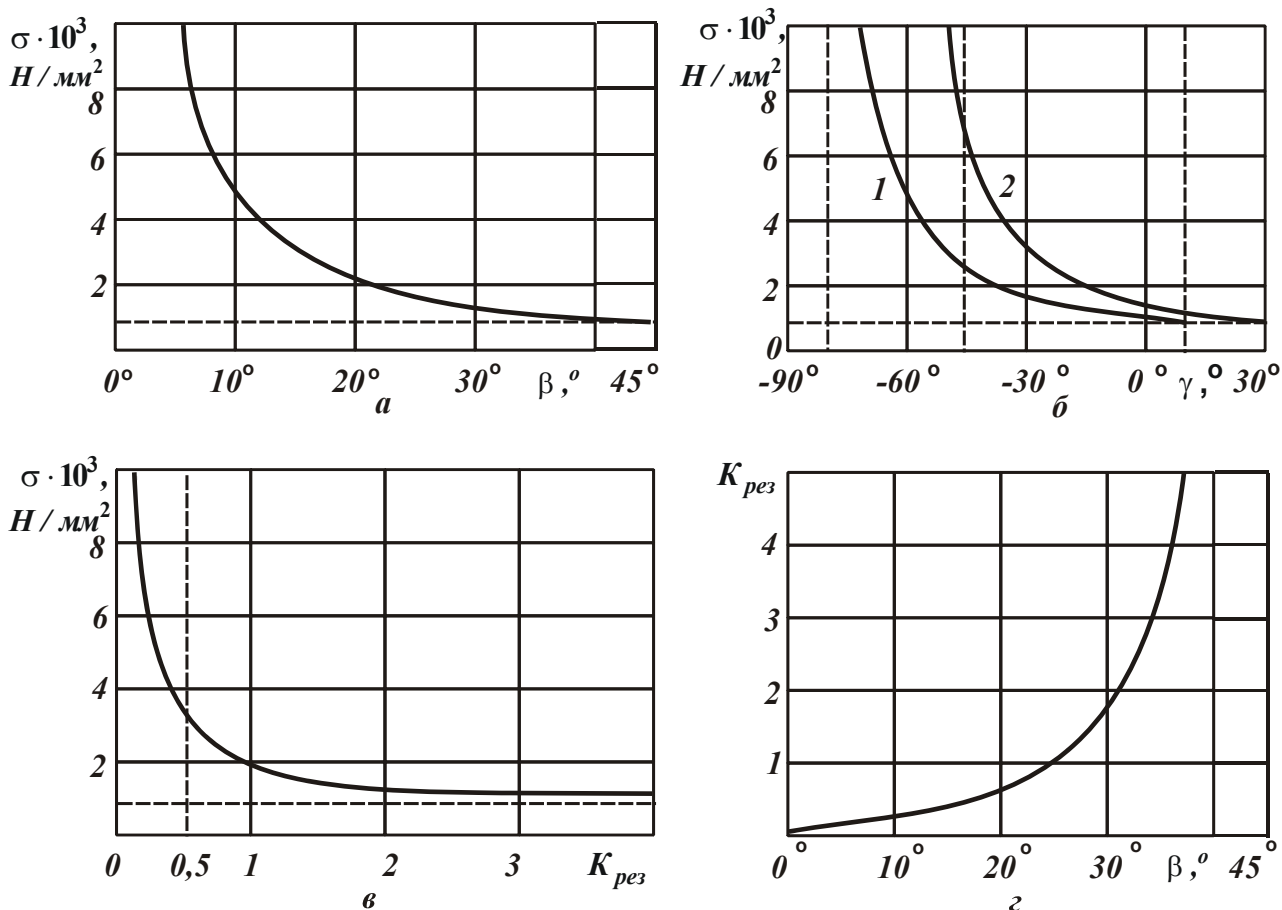


Рисунок 1 – Зависимости энергоемкости обработки σ от угла β (а), угла γ (б), коэффициента резания $K_{рез}$ (в) и $K_{рез}$ от β (г): 1 – $\psi = 10^\circ$; 2 – $\psi = 30^\circ$.

Теоретические результаты согласуются с экспериментальными данными. Так, по данным В. В. Швеца (табл. 1), энергия, затрачиваемая на сьем материала, меньше, а производительность обработки больше при резании лезвийным инструментом. Как видно, с переходом от точения к развертыванию и шлифованию, энергия, затрачиваемая на сьем материала, увеличивается. Операции обработки материалов давлением (по экспериментальным данным В.В. Швеца) характеризуются наименьшей энергоемкостью, что также согласуется с приведенными теоретическими результатами.

Таблица 1 – Характеристика типовых операций механической обработки

Операции	Площадь поперечного сечения срезаемого слоя, мм ²	Энергия, затрачиваемая на сьем, 10^{-3} Дж/см ³	Скорость резания, м/с	Производительность обработки, см ³ /с
Точение	1,0	0,5 – 0,7	1,5 – 7,5	$5 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10^{-1}$
Протягивание	0,5	2,5 – 3,7	0,01 – 0,1	$4 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-1}$
Фрезерование	0,3	5,0 – 7,5	2 – 6	$2 \cdot 10^{-3} - 1$
Развертывание	0,1	12 – 30	0,15 – 1,6	$5 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-1}$
Шлифование	0,00005	55 – 70	25 – 50	$5 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-2}$

Результаты исследований использованы для разработки и внедрения в производство эффективных технологических процессов лезвийной и абразивной обработки высокоточных деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Одесса: ОНПУ, 2002. – Т. 1. «Механика резания материалов». – 580 с.
2. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / В.Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 343 с.
3. Новіков Ф. В. Високопродуктивне алмазне шліфування: монографія / Ф. В. Новіков. – Х. : Вид. ХНЕУ, 2014. – 412 с.
4. Новіков Ф. В. Основи струминно-абразивної обробки дрібних деталей: монографія / Ф. В. Новіков, О. О. Анділахай. – Х. : Вид. ХНЕУ, 2014. – 348 с.
5. Новіков Ф. В. Математичне моделювання і оптимізація процесів металообробки: монографія / Ф. В. Новіков. – Х. : Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2014. – 385 с.