

Карпов А.В.

*Муромский институт (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
602264, г. Муром, Владимирская обл., ул. Орловская, 23
krash75@mail.ru*

Расчёт показателя энергетической эффективности стружкообразования при точении и фрезеровании

В 2012-2019 гг. каф. технологии машиностроения Муромского института (филиала) Владимирского государственного университета разрабатывалась и апробировалась методика структурной и параметрической оптимизации технологических процессов обработки резанием с использованием комплексного критерия наибольшей энергетической эффективности стружкообразования $K \rightarrow \max$, представляющего собой отношение

$$K = \frac{\Delta w \cdot V}{n_{\text{ц}} \cdot A_{\text{ц}}} = \frac{\Delta w \cdot V}{n_{\text{ц}} \cdot \int_0^{\tau_{\text{ц}}} N(\tau) dt}, \quad (1)$$

где Δw – удельная энергоёмкость обрабатываемого материала, Дж/мм³, определяемая в зависимости от преобладающего при заданных условиях стружкообразования вида деформации и разрушения срезаемого слоя; V – объём срезаемого слоя; $n_{\text{ц}}$ – число циклов изменения мощности резания $N(\tau)$ в единицу времени; $A_{\text{ц}}$ – работа, совершаемая режущим инструментом за время $\tau_{\text{ц}}$ цикла полного однократного изменения мощности резания [1, 2].

В [3] нами рассмотрены четыре типовые схемы изменения мощности резания $N=N(\tau)$ во времени рабочего хода:

- мощность резания не изменяется во времени;
- мощность резания постепенно возрастает до максимального значения N_{\max} , затем стремительно убывает;
- мощность резания стремительно возрастает до максимального значения N_{\max} , затем постепенно убывает;
- мощность резания постепенно возрастает до максимального значения N_{\max} , затем постепенно убывает (параболическая закономерность).

Различные виды обработки заготовок лезвийными режущими инструментами (точение, сверление, фрезерование, протягивание, разрезание, строгание и т.п.) можно отнести к одной из типовых схем. Типизация реальных закономерностей изменения мощности резания во времени позволила выявить для каждой схемы методику определения величины энергозатрат за время рабочего хода (подынтегральное выражение в (1)).

В таблицах 1 и 2 приведены теоретико-эмпирические выражения для расчёта показателя энергетической эффективности стружкообразования K применительно к наиболее распространённым видам обработки резанием – точению и фрезерованию.

Значение K зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала ($\sigma_{\text{в}}$, $\psi_{\text{в}}$, T_s , E , δ , $HВ$), диаметра заготовки или фрезы D , геометрических параметров инструмента ($k_{\text{фр}}$, $k_{\text{гр}}$, $k_{\text{р}}$), режимов резания (t , s , n , v), температуры T . Показатель K может быть сведён к целевой функции вида $K \rightarrow \max$, аргументами которой являются управляемые технологические параметры. Расчётные выражения показателя K легли в основу оптимизации технологических процессов обработки резанием. В результате оптимизации отмечено сокращение энергетических затрат при осуществлении процессов точения и фрезерования заготовок до 15-18% по отношению к рекомендованным в справочной литературе технологическим условиям обработки при обеспечении требуемых значений производительности, стойкости инструмента, качества обработанных поверхностей.

Таблица 1 - Расчёт показателя энергетической эффективности при точении

Вид токарной обработки	Инструментальный материал	Обрабатываемый материал	Расчетное выражение
Точение продольное цилиндрическое	Быстрорежущая сталь	Конструкционная сталь, $\sigma_b \leq 600 \text{ МПа}$	$K \approx \frac{5,556 \cdot 10^{-3}}{k_{\text{оп}} \cdot k_{\text{уп}} \cdot k_{\text{рп}}} \cdot \frac{\sigma_b^{0,65}}{1-1,7\psi_b} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_S}\right) \cdot s^{0,25} \cdot \left(1 - \frac{t}{D}\right)$
		Конструкционная сталь, $\sigma_b > 600 \text{ МПа}$	$K \approx \frac{7,848 \cdot 10^{-2}}{k_{\text{оп}} \cdot k_{\text{уп}} \cdot k_{\text{рп}}} \cdot \frac{\sigma_b^{0,25}}{1-1,7\psi_b} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_S}\right) \cdot s^{0,25} \cdot \left(1 - \frac{t}{D}\right)$
	Твердый сплав	Конструкционная сталь	$K \approx \frac{2,204 \cdot 10^{-2}}{k_{\text{оп}} \cdot k_{\text{уп}}} \cdot \frac{\sigma_b^{0,25}}{1-1,7\psi_b} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_S}\right) \cdot \frac{s^{0,25} \cdot n^{0,15} \cdot (D-t)}{D^{0,85}}$
		Серый чугун	$K \approx \frac{1,136 \cdot 10^{-2}}{k_{\text{оп}} \cdot k_{\text{уп}}} \cdot \frac{\sigma_b^2}{E \cdot \text{HB}^{0,4}} \cdot s^{0,25} \cdot \left(1 - \frac{t}{D}\right)$
		Ковкий чугун	$K \approx \frac{1,174 \cdot 10^{-2}}{k_{\text{оп}} \cdot k_{\text{уп}}} \cdot \frac{\sigma_b \cdot \delta}{\text{HB}^{0,4}} \cdot s^{0,25} \cdot \left(1 - \frac{t}{D}\right)$
Точение поперечное цилиндрическое (торцовое)	Быстрорежущая сталь	Конструкционная сталь, $\sigma_b \leq 600 \text{ МПа}$	$K \approx \frac{5,556 \cdot 10^{-3}}{k_{\text{оп}} \cdot k_{\text{уп}} \cdot k_{\text{рп}}} \cdot \frac{\sigma_b^{0,65}}{1-1,7\psi_b} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_S}\right) \cdot s^{0,25}$
		Конструкционная сталь, $\sigma_b > 600 \text{ МПа}$	$K \approx \frac{7,848 \cdot 10^{-2}}{k_{\text{оп}} \cdot k_{\text{уп}} \cdot k_{\text{рп}}} \cdot \frac{\sigma_b^{0,25}}{1-1,7\psi_b} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_S}\right) \cdot s^{0,25}$
	Твердый сплав	Конструкционная сталь	$K \approx \frac{2,204 \cdot 10^{-2}}{k_{\text{оп}} \cdot k_{\text{уп}}} \cdot \frac{\sigma_b^{0,25}}{1-1,7\psi_b} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_S}\right) \cdot (Dn)^{0,15} \cdot s^{0,25}$
		Серый чугун	$K \approx \frac{1,136 \cdot 10^{-2}}{k_{\text{оп}} \cdot k_{\text{уп}}} \cdot \frac{\sigma_b^2}{E \cdot \text{HB}^{0,4}} \cdot s^{0,25}$
		Ковкий чугун	$K \approx \frac{1,174 \cdot 10^{-2}}{k_{\text{оп}} \cdot k_{\text{уп}}} \cdot \frac{\sigma_b \cdot \delta}{\text{HB}^{0,4}} \cdot s^{0,25}$

Таблица 2 - Расчёт показателя энергетической эффективности при фрезеровании

Вид фрезерной обработки	Инструментальный материал	Обрабатываемый материал	Расчетное выражение
Фрезерование цилиндрическое	Быстрорежущая сталь	Конструкционная сталь	$K \approx 3,153 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\sigma_b^{0,25}}{1-1,7\psi_b} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_S}\right) \cdot \frac{t^{0,14} \cdot s_M^{0,28}}{D^{0,14} \cdot z^{0,28} \cdot n^{0,28}}$
		Серый чугун	$K \approx 3,44 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{\sigma_b^2}{E \cdot \text{HB}^{0,55}} \cdot \frac{t^{0,17} \cdot s_M^{0,35}}{D^{0,17} \cdot z^{0,35} \cdot n^{0,35}}$
		Ковкий чугун	$K \approx 3,021 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{\sigma_b \cdot \delta}{\text{HB}^{0,55}} \cdot \frac{t^{0,14} \cdot s_M^{0,28}}{D^{0,14} \cdot z^{0,28} \cdot n^{0,28}}$
	Твердый сплав	Конструкционная сталь	$K \approx 2,129 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\sigma_b^{0,7}}{1-1,7\psi_b} \cdot \left(1 - \frac{T}{T_S}\right) \cdot \frac{t^{0,12} \cdot s_M^{0,35}}{D^{0,13} \cdot z^{0,25} \cdot n^{0,25}}$
		Серый чугун	$K \approx 0,532 \cdot \frac{\sigma_b^2}{E \cdot \text{HB}} \cdot \frac{t^{0,1} \cdot s_M^{0,2}}{D^{0,1} \cdot z^{0,2} \cdot n^{0,2}}$
	Разрезание круглого проката дисковой пилой	Быстрорежущая сталь	Конструкционная сталь
Твердый сплав		Конструкционная сталь	$K \approx 1,708 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\sigma_b^{0,7}}{1-1,7\psi_b} \cdot \frac{d^{0,1} \cdot D^{0,1} \cdot s_M^{0,2}}{B^{0,1} \cdot z^{0,2} \cdot n^{0,1}}$

Литература

1. Karpov A.V. Determining the effective conditions for machining fabrication procedures based on the cutting process energy patterns // Procedia Engineering. Vol. 129 (2015). Pp. 116-120.
2. Карпов А.В. Показатели энергетической эффективности процесса резания // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. Том 14. № 1. 2012. – Пермь: Издательство Пермского национального исследовательского политехнического университета, 2012. – С. 51-59.
3. Карпов А.В. Совершенствование технологических процессов обработки резанием с использованием энергетического критерия эффективности стружкообразования // Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России. XI Всероссийские научные Зворыкинские чтения: сб. тез. докл. Всероссийской межвузовской научной конференции. Муром, 8 февр. 2019 г. – Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2019.– С. 209-210.– [Электронный ресурс]: 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).