

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*

Совершенствование технологических процессов обработки резанием с использованием энергетического критерия эффективности стружкообразования

В течение 2012-2018 гг. в Муромском институте (филиале) Владимирского государственного университета осуществлялась лабораторная апробация структурной и параметрической оптимизации технологических процессов изготовления деталей машин, включающих операции обработки резанием, по критерию наибольшей энергетической эффективности [1, 2]. В качестве комплексной характеристики эффективности процесса резания был применён безразмерный энергетический показатель K – "энергетический КПД", представляющий собой отношение

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

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; $n_{ц}$ – число циклов изменения мощности резания $N(\tau)$ в единицу времени; $A_{ц}$ – работа, совершаемая режущим инструментом за время $\tau_{ц}$ цикла полного однократного изменения мощности резания [4].

Каждому виду обработки резанием присущи индивидуальные геометрические и кинематические особенности, вследствие которых мощность, развиваемая в зоне резания, не остаётся постоянной во времени рабочего хода инструмента, а изменяется по определённой закономерности $N=N(\tau)$. Нами сформулированы четыре типовые схемы возможного изменения мощности резания во времени рабочего хода инструмента [2]:

- мощность резания не изменяется (т.е. все геометрические и кинематические факторы процесса резания остаются постоянными во времени);
- мощность резания постепенно возрастает до своего максимального значения N_{max} , затем стремительно убывает;
- мощность резания стремительно возрастает до своего максимального значения N_{max} , затем постепенно убывает;
- мощность резания постепенно возрастает до своего максимального значения N_{max} , затем постепенно убывает (параболическая закономерность).

Применяемые в машиностроении технологические методы обработки заготовок лезвийными режущими инструментами (точение, сверление, встречное и попутное фрезерование, протягивание, разрезание, строгание и т.п.) можно отнести к одной из приведённых типовых схем. Типизация реальных закономерностей изменения мощности резания во времени позволила выявить для каждой схемы методику определения величины энергозатрат за время рабочего хода инструмента, т.е. расчёта подынтегрального выражения в (1).

В таблице 1 приведены теоретико-эмпирические выражения для расчёта показателя энергетической эффективности процесса резания K применительно к наружному продольному и поперечному точению конструкционных сталей, серых и ковких чугунов токарными резцами с пластинами из твёрдого сплава и быстрорежущей стали.

Таблица 1
Расчётные выражения показателя энергетической эффективности процесса резания при точении

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

Величина показателя K зависит от значений физико-механических свойств обрабатываемого материала (σ_b , ψ_b , T_s , E , δ , HB), диаметра заготовки D , геометрических параметров режущего инструмента ($k_{\text{оп}}$, $k_{\text{уп}}$, $k_{\text{рп}}$), режимов резания (t , s , n , v) и температуры T . Таким образом, показатель K отвечает всем требованиям, предъявляемым к критериям оптимизации технологических процессов: выражает КПД процесса резания и, следовательно, обладает физическим смыслом; просто и однозначно описывается в математическом виде; может быть сведён к виду целевой функции $K \rightarrow \max$, аргументами которой являются входные параметры системы резания. При оптимизации процессов обработки резанием по энергетическому критерию K в рассмотрение включается большое число управляемых и неуправляемых факторов обработки. Расчётные выражения показателя K легли в основу оптимизации технологических процессов обработки резанием [3]. В результате оптимизации отмечено сокращение энергетических затрат при осуществлении процессов точения заготовок до 18% по отношению к применявшимся ранее технологическим условиям обработки при обеспечении требуемых значений производительности, стойкости инструмента и качества обработанных поверхностей.

Литература

1. Karpov A.V. Towards Energy Intensity Reduction of Machining Fabrication Procedures // Applied Mechanics and Materials. Vol. 756 (2015). Pp. 111-115.
2. Албагачиев А.Ю., Карпов А.В. Энергетические критерии расчёта рациональных режимов механической обработки // Научные труды VII Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения, информатики, экономики и права». Книга «Приборостроение». – М.: МГАПИ, 2004. – С. 4-12.
3. Игнатов С.Н., Карпов А.В., Распопин А.П. Оценка эффективности лезвийной обработки с использованием безразмерного энергетического критерия // СТИН. № 12. 2004. – С. 23-26.
4. 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.