

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*

### **К вопросу распределения припуска между элементами технологического процесса механической обработки поверхностей деталей машин**

В [1, 2] нами предложен и обоснован интегральный показатель энергетической эффективности процесса механической обработки  $K$  ("энергетический КПД резания"), записываемый в обобщённом виде следующим образом:

$$K = \frac{\{\text{полезная работа}\}}{\{\text{затраченная работа}\}} = \frac{\Delta w}{e} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где  $\Delta w$  – удельная энергоёмкость обрабатываемого материала, Дж/мм<sup>3</sup>, определяемая в зависимости от преобладающего при заданных условиях стружкообразования вида деформации и разрушения;  $e$  – удельные энергозатраты резания, Дж/мм<sup>3</sup>, т.е. работа режущего инструмента, отнесённая к единице объёма срезаемого слоя заготовки или поверхностного слоя обработанной поверхности детали.

Учитывая, что работа, совершаемая режущим клином, напрямую зависит от изменения мощности резания во времени [3, 4], энергетический показатель  $K$  запишем в виде [5]:

$$K = \frac{\Delta w \cdot V}{n_{\text{ц}} \cdot A_{\text{ц}}} = \frac{\Delta w \cdot V}{n_{\text{ц}} \cdot \int_0^{\tau_{\text{ц}}} N(\tau) d\tau}, \quad (2)$$

где  $V$  – объём срезаемого слоя;  $n_{\text{ц}}$  – число циклов изменения мощности резания  $N(\tau)$  в единицу времени;  $A_{\text{ц}}$  – работа резания за время  $\tau_{\text{ц}}$  одного цикла изменения мощности резания.

Выражения (1), (2) относятся к одному рабочему ходу режущего инструмента относительно обрабатываемой поверхности заготовки. Иными словами, они характеризуют энергетическую эффективность единичного (конкретного) технологического воздействия на обрабатываемый материал. Нами получены теоретико-эмпирические выражения для расчёта удельных энергозатрат и показателя энергетической эффективности  $K$  при обработке углеродистых и легированных сталей, чугунов, цветных конструкционных сплавов точением, сверлением, фрезерованием и шлифованием [5]. Эти выражения нашли применение в методиках параметрической оптимизации технологических процессов обработки резанием деталей машин на иерархическом уровне «рабочих ходов», когда глубина резания  $t$  задана и постоянна во времени [6].

Сложнее обстоит вопрос с исследованием энергетической эффективности нескольких, последовательно осуществляемых рабочих ходов одного инструмента или различных инструментов при обработке конкретной поверхности заготовки. Обычно технологический процесс обработки резанием предусматривает несколько технологических операций при формообразовании каждой поверхности детали. Например, ответственные поверхности рычагов получают фрезерованием (получистовым, чистовым) и плоским шлифованием, цилиндрические поверхности валов – точением (черновым, получистовым, чистовым) и круглым шлифованием (либо тонким окончательным точением) и т.д. Даже в том случае, если на механическую обработку конкретной поверхности отведена одна технологическая операция, то, как правило, она включает в себя несколько различных по своему назначению технологических переходов (черновой, получистовой, чистовой). Таким образом, формообразование поверхности заготовки есть результат последовательных рабочих ходов одного или различных режущих инструментов, причём энергетическая эффективность каждого рабочего хода может быть количественно охарактеризована с помощью выражений (1), (2).

В общем случае, с целью повышения производительности и сокращения суммарных энергозатрат стремятся удалить весь припуск, предусмотренный на конкретную поверхность

детали, за один рабочий ход инструмента. Если это затруднительно ввиду недостаточной жёсткости технологической системы или прочности инструмента, либо невозможно ввиду высоких требований к качеству получаемой поверхности, приходится осуществлять несколько последовательных рабочих ходов в пределах одного технологического перехода, либо несколько последовательных технологических переходов в пределах одной технологической операции, либо даже несколько технологических операций. Возникает задача такого распределения припусков  $t_1/t_2$  между двумя последовательными рабочими ходами инструмента 1, 2, при котором суммарные удельные энергетические затраты  $e_{1,2} = (e_1 + e_2)$  были бы минимальны. Принцип решения задачи представим в форме следующих условий:

$$\frac{\partial e_{1,2}}{\partial t_1} = 0 \quad \text{и} \quad \frac{\partial^2 e_{1,2}(t_1)}{\partial t_1^2} > 0 \quad (3)$$

На примере цилиндрического фрезерования плоской поверхности заготовки из углеродистой конструкционной стали решением уравнений (2) стали новые выражения для расчёта оптимального значения глубины резания  $t_1$  первого рабочего хода фрезы. При использовании быстрорежущих и твердосплавных фрез эти выражения получили вид:

$$t_1 = \frac{t}{1 + \left( \frac{v_2 \cdot s_{M1}}{v_1 \cdot s_{M2}} \right)^{0,25}} \quad \text{и} \quad t_1 = \frac{t}{1 + \left( \frac{v_2 \cdot s_{M1}}{v_1 \cdot s_{M2}} \right)^{0,22}} \quad (4)$$

где  $v_2/v_1$ ,  $s_{M1}/s_{M2}$  – отношение значений соответственно скоростей резания и минутных подач на рабочих ходах 1, 2. Значения  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $s_{M1}$ ,  $s_{M2}$  назначают, пользуясь традиционными методиками, – из условия обеспечения требуемой стойкости фрезы и (или) шероховатости обработанной поверхности. Минимизацию суммарных удельных энергозатрат предлагаем учитывать распределением припуска в соответствии с выражениями (4). Значение глубины резания при осуществлении второго рабочего хода фрезы:  $t_2 = t - t_1$ . В общем случае  $v_1 \neq v_2$ ,  $s_{M1} \neq s_{M2}$ , и рабочие ходы 1, 2 представляют собой при этом два последовательных перехода в пределах одной технологической операции "Фрезерная". Если  $v_1 = v_2$ ,  $s_{M1} = s_{M2}$  и  $t_1 = t_2 = t/2$ , то рабочие ходы 1, 2 представляют собой два одинаковых последовательных прохода 1, 2 фрезы в пределах одного технологического перехода внутри операции "Фрезерная".

Аналогично можно получить расчётные выражения для энергетически экономичного распределения припуска при осуществлении других технологических операций механической обработки поверхностей заготовок деталей машин - точения, сверления, шлифования и т.п.

### Литература

1. Karpov A.V. Towards Energy Intensity Reduction of Machining Fabrication Procedures // Applied Mechanics and Materials. Vol. 756 (2015). Pp. 111-115.
2. 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.
3. 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.
4. Игнатов С.Н., Карпов А.В., Распопин А.П. Оценка эффективности лезвийной обработки с использованием безразмерного энергетического критерия // СТИН. № 12. 2004. – С. 23-26.
5. Карпов А.В. К вопросу снижения энергоёмкости технологических процессов обработки резанием // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 2; URL: <http://www.science-education.ru/108-8697>.
6. 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.