

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

О количественной оценке показателя удельной энергоёмкости изделия, технологического процесса и его элементов

Разрабатывая методику оптимизации технологических процессов по критерию наибольшей энергетической эффективности [1], возникает вопрос: какой именно физический показатель принять в качестве рассматриваемого критерия.

Очевидно, выбор такого показателя предопределяет алгоритм параметрической оптимизации и вытекающую из него инженерную методику расчёта оптимальных технологических режимов обработки. Ранее было показано, что главными требованиями при выборе критерия оптимизации должны служить, в частности, простота определения, зависимость его от основных параметров оптимизируемого процесса, однозначность количественного определения и т.д. [2]. Установлено, что физической величиной, отвечающей этим требованиям, может служить энергоёмкость (удельная энергоёмкость) процесса. В литературных источниках и обзорах, касающихся показателя энергоёмкости, выявлена значительная вариативность к её трактовке и количественному определению на различных уровнях иерархии производственного и технологического процесса изготовления изделия.

Во-первых, как один из показателей технологичности конструкции изделия, общая удельная энергоёмкость изделия $\mathcal{E}_{уд}$ включает две составляющие: производственную ($\mathcal{E}_{пр.уд}$) и эксплуатационную ($\mathcal{E}_{экс.уд}$).

Удельная производственная энергоёмкость изделия рассчитывается как отношение:

$$\mathcal{E}_{пр.уд} = \frac{\mathcal{E}_{пр}}{P \cdot \tau}, \quad (1)$$

где $\mathcal{E}_{пр}$ – суммарный расход ресурсов (топлива, энергии) на изготовление единицы изделия;

P – полезный эффект от эксплуатации изделия, определяемый по результатам научных исследований для конкретного вида изделия; τ – предполагаемый срок службы изделия.

Удельная эксплуатационная энергоёмкость изделия определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{экс.уд} = \frac{\mathcal{E}_{экс}}{P \cdot \tau}, \quad (2)$$

где $\mathcal{E}_{экс}$ – расход топлива или энергии на эксплуатацию изделия за полный срок его службы.

Общая удельная энергоёмкость изделия $\mathcal{E}_{уд}$ равна их сумме:

$$\mathcal{E}_{уд} = \mathcal{E}_{пр.уд} + \mathcal{E}_{экс.уд}. \quad (3)$$

Очевидно, входящие формулы 1-3 параметры являются глобальными, зависят от множества частных параметров и являются трудноопределимыми в условиях реализации конкретных технологических процессов и их элементов – технологических операций, технологических переходов, рабочих ходов.

В качестве меры энергозатрат на процесс обработки резанием Г.И. Грановский предложил величину \mathcal{E} , кВт·ч/кг, равную отношению энергии, затраченной в течение 1 часа непрерывной работы режущего инструмента к массе, снятой за это время стружки $m_ч$, кг:

$$\mathcal{E} = \frac{1,67 \cdot 10^{-2} \cdot F_t \cdot v_c}{m_ч}, \quad (4)$$

где F_t – величина тангенциальной составляющей силы резания,

N ; v_c – величина скорости резания, м/мин.

Отметим, что числитель формулы 4 представляет собой эффективную мощность резания N , кВт, а знаменатель (массу снятой стружки) можно понимать как результат обработки.

В.К. Старков, рассматривая процесс стружкообразования с позиций дислокационно-энергетической теории, предложил отдельную трактовку показателя удельной энергоёмкости для черновой (предварительной) η_1 и чистовой (окончательной) η_2 обработки:

$$\eta_1 = \frac{U}{v_c \cdot f_n \cdot a_p}, \quad (5)$$

где U – общие затраты энергии стружкообразования;

f_n – величина подачи;

a_p – величина глубины резания;

$$\eta_2 = \frac{U_c}{v_c \cdot f_n}, \quad (6)$$

где U_c – скрытая энергия деформации поверхностного слоя детали после резания.

Входящие в эти зависимости энергетические параметры U и U_c также являются трудноопределимыми в конкретных технологических условиях: они зависят, например, от параметров кристаллической решётки, плотности распределения дислокаций в материале и т.п.

Удельная энергоёмкость резания e следует рассматривать как работу режущего инструмента по образованию единичного объёма стружки. Величина e , помимо вида и свойств обрабатываемого материала, зависит от конкретных условий осуществления рабочего хода: параметров инструмента (типоразмер, материал, геометрия режущей части, число зубьев и т.д.), элементов режима резания (глубина резания, подача, скорость резания), типа СОТС (при наличии) и других, которые все вместе и составляют систему управляемых (оптимизируемых) технологических параметров.

Достоинством показателя e являются её устойчивые функциональные связи с вышеуказанными параметрами, выбор, назначение или расчёт которых есть актуальная задача технологической подготовки производства изделий с использованием операций механической обработки.

С учётом того, что в течение времени рабочего хода мощность резания N может либо оставаться условно постоянной ($N = \text{const}$), либо меняться (однократно или циклически) по определённой закономерности $N = N(T)$, нами предложено обобщённое выражение удельной энергоёмкости процесса резания в следующем виде [3]:

$$e = \frac{A_{\text{рез}}}{V} = \frac{n_{\text{ц}} \cdot A_{\text{ц}}}{V} = \frac{n_{\text{ц}} \cdot \int_0^{T_{\text{ц}}} N(T) dT}{V} = \frac{n_{\text{ц}} \cdot k_N \cdot N_{\text{max}} \cdot T_{\text{ц}}}{V} = \frac{k_N \cdot N_{\text{max}}}{\Pi}, \quad (7)$$

где $A_{\text{рез}}$ – работа резания;

V – объём стружки;

$n_{\text{ц}}$ – количество циклов изменения мощности за время резания;

$T_{\text{ц}}$ – продолжительность одного полного цикла изменения мощности;

k_N – коэффициент аппроксимации (приближения) реального графика изменения мощности $N = N(T)$ к одному из типовых, наиболее часто встречающихся графиков, содержащих ординату N_{max} (максимальное значение мощности за цикл её изменения);

Π – производительность стружкообразования (съём материала в единицу времени).

Литература

1. Карпов А.В. Модель параметрической оптимизации операций обработки резанием по критерию наибольшей энергетической эффективности // Современные наукоемкие технологии. – 2020. – № 6-1. – С. 50-55; URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=38070> (дата обращения: 30.12.2022).

2. 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).

3. Карпов А.В. Энергетический критерий оптимизации технологических процессов обработки резанием // Современные наукоемкие технологии. – 2020. – № 5. – С. 50-55; URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=38031> (дата обращения: 30.12.2022).