

КАРПОВ А.В., ЕФИМОВ Т.А.

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

Представление удельной энергоёмкости резания с позиции термодинамического подхода к стружкообразованию

Полезным результатом технологического перехода обработки резанием является формирование в материале новой поверхности с требуемыми размерами, точностью, качеством. Новые поверхности образуются вследствие термомеханического воздействия режущего клина на срезаемый слой. Величина работы резания $A_{рез}$ зависит как от заданных показателей обрабатываемого материала и объективных кинематических закономерностей вида обработки, так и от комплекса управляемых факторов, значениями которых можно варьировать, стремясь обеспечить необходимые выходные характеристики (качество поверхностного слоя, производительность, стойкость инструмента) при наименьших совокупных затратах. К числу управляемых параметров относятся режимы резания, инструментальный материал, геометрические параметры режущей части инструмента, способ охлаждения и параметры СОТС.

Поиск эффективных технологий неизбежно сталкивается с проблемой обеспечения наименьшей себестоимости выпускаемых изделий, которая определяется совокупными затратами труда, вложенного в производство. Трудозатраты опосредованно характеризуются затратами энергии, благодаря чему показатель удельной энергоёмкости удобно рассматривать как физический критерий эффективности проектируемых и действующих технологий.

Применительно к черновой обработке резанием удельную энергоёмкость перехода предложено оценивать в виде отношения величины совершённой в течение основного времени работы резания $A_{рез}$ к объёму снятой стружки V :

$$e = \frac{A_{рез}}{V} \quad (1)$$

Согласно термодинамическим представлениям [1, 2], работа $A_{рез}$, совершаемая режущим клином, превращается в тепло Q и частично запасается в приповерхностных слоях детали $\Delta U_{дет}$, стружки $\Delta U_{стр}$ и инструмента $\Delta U_{инстр}$:

$$A_{рез} = Q + \Delta U, \quad (2)$$

или в раскрытом виде:

$$\begin{aligned} A_{рез} &= Q_{деф} + Q_{т.п.} + Q_{т.з} + Q_{дисп} + \Delta U = \\ &= (Q_{дет} + Q_{стр} + Q_{инстр} + Q_{о.с.}) + (\Delta U_{дет} + \Delta U_{стр} + \Delta U_{инстр}), \end{aligned} \quad (3)$$

где $\Delta U = \Delta U_{дет} + \Delta U_{стр} + \Delta U_{инстр}$ - приращение внутренней энергии в приповерхностных слоях детали, стружки, инструмента; $Q_{деф}$, $Q_{т.п.}$, $Q_{т.з}$, $Q_{дисп}$ - теплота деформации, трения по передней и задней граням инструмента, диспергирования; $Q_{дет}$, $Q_{стр}$, $Q_{инстр}$, $Q_{о.с.}$ - теплота, переходящая в деталь, стружку, инструмент, окружающую среду.

Запасённая внутренняя энергия ΔU имеет относительный доленой вклад в общие энергозатраты порядка 0,5-3,0% и в исследованиях процессов черновой обработки не учитывается, т.к. целью является обеспечение режима максимальной производительности стружкообразования при заданной стойкости инструмента [1]. Показатель удельной энергоёмкости стружкообразования e , определяемый формулой (1), численно характеризует отношение работы резания в единицу времени (мощности N) к съёму стружки в ту же единицу времени Π [3]:

$$e = \frac{A_{рез}}{V} = \frac{N}{\Pi}. \quad (4)$$

Это есть удельные энергозатраты стружкообразования, отнесённые к объёму V срезаемого слоя заготовки в пределах одного технологического перехода. Так, применительно к обработке паза дисковой фрезой диаметром D , числом зубьев z и шириной B на горизонтально-фрезерном станке [4]:

$$e = 5,13 \cdot 10^{-5} \frac{P_z \cdot D}{B \cdot t \cdot S_z \cdot z} = 5,13 \cdot 10^{-5} \frac{P_z \cdot D \cdot n}{B \cdot t \cdot S_m}, \text{ Вт} \cdot \text{мин} / \text{мм}^3, \quad (6)$$

где P_z – тангенциальная составляющая силы резания, Н; n , S_m , S_z , t – режимы резания.

По величине удельной энергоёмкости e можно оценивать "энергетическую эффективность" применённых режимов обработки на конкретном технологическом переходе. Применительно к задаче оптимизации показатель удельной энергоёмкости резания, основанный на термодинамических закономерностях стружкообразования как совокупности процессов деформации и разрушения, может быть приведён к целевой функции вида $e \rightarrow \min$. Выбор управляемых технологических факторов (в первую очередь, режимов резания) по этому условию обеспечит максимально возможный "энергетический КПД" обработки, при котором создаются наиболее благоприятные условия для работы режущего инструмента вследствие снижения тепловой и динамической напряжённости.

Таким образом, удельная энергоёмкость выступает в качестве универсального критерия, позволяющего оценить энергетическую эффективность выбранных способов и параметров обработки и количественно сравнить между собой имеющиеся альтернативные технологические варианты (стратегии) обработки резанием [5].

Ключевым достоинством показателя удельной энергоёмкости в сравнении с другими критериями оптимизации технологических процессов в машиностроении (прежде всего, в сравнении с экономическими критериями) является доступность его определения в производственных условиях путём соотнесения количества израсходованной энергии к полученному результату – объёму снятой стружки или площади вновь образованных поверхностей детали [1, 5].

Литература

1. Старков В.К. Физика и оптимизация резания материалов. – М.: Машиностроение, 2012. 640 с.
2. Карпов А.В. К вопросу повышения энергетической эффективности технологических процессов обработки резанием // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – № 3. – С. 43-47; URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=37439> (дата обращения: 10.01.2021).
3. Карпов А.В. К вопросу управления процессом резания на основе энергетических закономерностей деформации и разрушения твёрдых тел // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2011. № 1. С. 37–49.
4. Карпов А.В. Расчёт показателя энергетической эффективности стружкообразования при точении и фрезеровании // Наука и образование в развитии промышленной, социальной и экономической сфер регионов России. XII Всероссийские научные Зворыкинские чтения: сб. тез. докл. Всероссийской межвузовской научной конференции. Муром, 7 февр. 2020 г.– Муром: Изд.-полиграфический центр МИ ВлГУ, 2020.– С. 141-142.– [Электронный ресурс]: 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
5. Карпов А.В. Энергетический критерий оптимизации технологических процессов обработки резанием // Современные наукоемкие технологии. – 2020. – № 5. – С. 50-55; <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=38031> (дата обращения: 10.01.2021).