

К вопросу обеспечения рационального энергопотребления технологических систем обработки резанием

Проблеме рационального энергопотребления технологических систем посвящены работы Г.И. Епифанова, П.А. Ребиндера, Г.И. Грановского, В.В. Швеца, Н.Н. Зорева, М.И. Клушина, В.С. Ивановой, В.К. Старкова, А.А. Фёдорова, В.В. Фёдорова, А.Д. Макарова, В.А. Веникова, В.Н. Подураева, А.Ю. Албагачиева, О.А. Горленко, С.С. Силина, Ф.Я. Якубова, В.С. Сальникова, Ю.Г. Кабалдина, В.Я. Коршунова, Е.М. Трента, П. Джоста, Дж. Шофилда, Р. Реебер и др.

В настоящее время общепризнана перспективность использования энергетических показателей в качестве критериев оптимизации условий обработки резанием, поскольку такие показатели характеризуют физическую природу явлений, происходящих в зоне стружкообразования, и при этом имеют устойчивые функциональные связи с управляемыми параметрами системы резания [1]. В качестве энергетического показателя, например в работах В.К. Старкова, используется удельная энергоёмкость (удельные энергозатраты, удельная работа) процесса резания, определяемая отношением работы, совершаемой режущим инструментом, к объёму срезаемого слоя. Исследовано влияние параметров системы резания на удельную энергоёмкость, на основе соответствующих эмпирических выражений построены алгоритмы оптимизации распространённых методов механической обработки [2].

Удельная энергоёмкость служит, по сути, физическим показателем эффективности процесса резания, если в результате этого процесса стружкообразование осуществляется с приемлемой производительностью при обеспечении заданного периода стойкости инструмента, а обработанные поверхности получают с требуемой формой, размерами и качеством [3]. Чем меньше величина удельной энергоёмкости при соблюдении требуемых результатов обработки, тем более эффективно протекает обработка, тем более эффективными признаются условия резания. К несомненным достоинствам удельной энергоёмкости исследователи относят простоту определения этого показателя как теоретическими, так и экспериментальными методами.

Наряду с достоинствами показателя удельной энергоёмкости процесса резания следует привести ряд недостатков, обнаруженных нами при применении вышеупомянутых методик оптимизации [4].

Во-первых, удельная энергоёмкость является размерным показателем и не позволяет определить, какая часть энергии расходуется непосредственно на деформацию и (или) разрушение единицы объёма срезаемого слоя, либо образование единицы площади новых поверхностей (полезная составляющая), а какая часть энергии затрачивается на механические и физико-химические явления, неизбежно сопровождающие стружкообразование. Во-вторых, используя показатель удельной энергоёмкости, затруднительно сопоставлять уровень энергии, развиваемой в технологической системе, с предельным энергетическим состоянием обрабатываемого материала, определяемым его физико-механическими и теплофизическими свойствами. В третьих, оперирование удельной энергоёмкостью, выражаемой отношением работы резания к объёму срезаемого слоя, предполагает изотропию материала по сечению срезаемого слоя и стружки (наружный слой стружки «уравнивается» в свойствах с прирезцовым). В-четвёртых, удельная энергоёмкость процесса резания пропорциональна мощности резания, при этом сила и мощность резания полагаются постоянными в течение времени рабочего хода, что справедливо только для стационарного резания и встречается редко.

Нами предложен и исследован интегральный показатель энергетической эффективности резания 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 Δw – удельная энергоёмкость обрабатываемого материала, Дж/мм³, определяемая в зависимости от преобладающего при заданных условиях стружкообразования вида деформации и разрушения; e – удельная работа резания, Дж/мм³, т.е. работа режущего инструмента, отнесённая к единице объёма срезаемого слоя заготовки или поверхностного слоя детали.

Секция 5. Контроль диагностика и энергосбережение

Удельная энергоёмкость Δw есть критическое приращение плотности внутренней энергии обрабатываемого материала, т.е. разность между предельным $[u]$ и начальным u_0 уровнями внутренней энергии, отнесённой к единице объёма материала:

$$\Delta w = [u] - u_0. \quad (2)$$

При определении величины $[u]$ будем руководствоваться следующей энергетической концепцией разрушения: объём материала разрушается, если накопленная в нём энергия вследствие внешнего воздействия достигла предельной величины. Тело считается разрушенным, если хотя бы в одном его локальном объёме плотность внутренней энергии возросла до критической величины $[u]$.

Получены выражения удельной энергоёмкости Δw для широкого спектра конструкционных материалов через их физико-механические и теплофизические свойства в зависимости от типа образующейся стружки и технологического назначения рабочего хода [3].

Удельная работа резания e , Дж/мм³, зависит как от характеристик заготовки (вид и свойства обрабатываемого материала, состояние поверхности), так и от управляемых факторов обработки, в случае процесса точения – от технологических параметров $[(B \times H, \varphi, \varphi_1, r)$, инструментальный материал, $\gamma, \alpha, \lambda, t, s, v, n]$. При этом

$$e = \frac{60 \cdot N \cdot k_N}{P}, \quad (3)$$

где N – мощность резания, Вт; k_N – коэффициент изменения мощности в течение времени рабочего хода инструмента; P – минутный съём стружки, мм³/мин.

Дальнейшее преобразование выражения (3), а, следовательно, и выражения (1) связано с необходимостью представления в том или ином виде мощности резания N через показатели свойств обрабатываемого и инструментального материалов, а также управляемые технологические параметры.

Предлагаемый нами показатель энергетической эффективности ("КПД процесса резания") позволит, во-первых, сопоставить величину удельной работы резания с удельной энергоёмкостью обрабатываемого материала, выражаемой его физико-механическими и теплофизическими свойствами, а, во-вторых, будет учитывать закономерное изменение мощности резания во времени рабочего хода инструмента. Всё это сделает методику оптимизации условий обработки более обоснованной и точной.

Литература

1. Карпов А.В. Об оценке энергетической эффективности технологических процессов обработки резанием // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, 2014, № 2 (20). – С. 61-68.
2. 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> (дата обращения: 10.11.2014).
3. Karpov A.V. Towards Energy Intensity Reduction of Machining Fabrication Procedures // Applied Mechanics and Materials. Vol. 756 (2015). Pp. 111-115.
4. 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.