

О результатах оптимизации технологических процессов обработки резанием по критерию минимальной удельной энергоёмкости

В течение 2012-2015 гг. кафедрой технологии машиностроения Муромского института (филиала) Владимирского государственного университета созданы и успешно апробированы методики структурной и параметрической оптимизации технологических процессов изготовления деталей машин, включающих операции обработки резанием, по критерию минимальной удельной энергоёмкости стружкообразования [1-3, 6]. Удельная энергоёмкость процесса резания численно характеризует количество энергии, затрачиваемой режущим инструментом на отделение в виде стружки единицы объёма срезаемого слоя, либо на образование единицы площади обработанной поверхности детали [4].

Теоретически и экспериментально исследовано влияние управляемых факторов системы резания (глубины резания, скорости подачи, скорости резания, геометрических параметров режущей части инструмента, вида инструментального материала) на удельную энергоёмкость точения и фрезерования заготовок из конструкционных углеродистых и легированных сталей, серых и ковких чугунов.

Установлено [1-8]:

- снижению удельных энергозатрат при резании в наибольшей степени способствует форсирование минутной подачи до значений, ограничиваемых требуемыми показателями качества обработанных поверхностей, стойкостью инструмента и технологическими возможностями оборудования;
- при одной и той же производительности наружного точения энергетически более эффективным является увеличение подачи на оборот в противоположность увеличению скорости резания;
- при увеличении скорости резания удельные энергозатраты при токарной обработке сокращаются благодаря пропорциональному росту производительности, а фрезерной – увеличиваются ввиду уменьшения подачи на зуб;
- одновременное увеличение переднего угла с 0 до 10 градусов и главного угла в плане с 45 до 90 градусов твердосплавных токарных резцов способствует снижению удельных энергозатрат точения на 6-9 %. При использовании быстрорежущих резцов установлен экстремальный характер зависимости энергозатрат от главного угла в плане, имеющей минимум при значении этого угла 60 градусов;
- удельные энергозатраты при попутном цилиндрическом фрезеровании в среднем на 9-12 % меньше, чем при встречном.

При цилиндрическом фрезеровании заготовок из сталей впервые выявлена взаимосвязь энергетически экономичного распределения припуска между двумя последовательными технологическими переходами фрезерной операции с соотношением скоростей резания и минутных подач на этих переходах.

Создана и апробирована математическая модель регулирования скорости подачи дисковой пилы с сегментами из быстрорежущей стали (ГОСТ 4047-82) с целью стабилизации мощности разрезания стального цилиндрического проката на фрезерно-отрезных полуавтоматах модели 8Г663-100, что позволило увеличить производительность операции на 7-10%, сократить суммарные энергозатраты на 12-14% при обеспечении требуемой стойкости зубьев пилы.

Перечисленные результаты исследований легли в основу оптимизации технологических процессов изготовления ряда деталей на машиностроительных предприятиях г. Мурома в части коррекции режимов резания и геометрических параметров режущих инструментов [5-7]. В результате оптимизации отмечено сокращение энергетических затрат при осуществлении процессов точения, фрезерования и разрезания заготовок до 18% по отношению к применявшимся ранее технологическим условиям обработки при обеспечении требуемых значений производительности, стойкости инструмента и качества обработанных поверхностей [1, 5, 6].

В качестве интегральной характеристики эффективности процесса резания нами применялся безразмерный энергетический показатель K – "энергетический КПД":

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

где Δw – удельная энергоёмкость обрабатываемого материала, Дж/мм³, определяемая в зависимости от преобладающего при заданных условиях стружкообразования вида деформации и разрушения; 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.

Уравнения показателя энергетической эффективности K получены для различных методов лезвийной обработки сталей, чугунов, цветных конструкционных сплавов и приведены в [1, 3, 6]. Результаты исследований свидетельствуют о том, что предложенный показатель K отвечает всем требованиям, предъявляемым к критериям оптимизации технологических процессов: во-первых, он выражает КПД процесса резания и, следовательно, обладает физическим смыслом; во-вторых, он просто и однозначно описывается в математическом виде; в-третьих, он может быть сведён к виду целевой функции $K \rightarrow \max$, аргументами которой являются входные параметры системы резания. Таким образом, при оптимизации процессов обработки резанием по энергетическому критерию K в рассмотрение включается большое число факторов.

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.
7. Карпов А.В. Показатели энергоэффективности обработки заготовок режущими инструментами // Известия Орловского государственного технического университета. Серия «Машиностроение, приборостроение». № 1-2, январь-июнь 2003 г. – Орёл: ОрёлГТУ, 2003. – С. 15-19.
8. Карпов А.В., Распопин А.П., Лазуткин С.Л. Показатели энергоэффективности проектируемых и действующих технологических процессов машиностроительных производств // Механика и процессы управления. Труды XXXII Уральского семинара. Миасс, 24 декабря 2002 г. – Екатеринбург, Уральское отделение РАН, 2002. – С. 592-600.