

4. *Нормухамедов Б. Ф.* Интенсивность изнашивания, условия смазывания и надежность узлов трения двигателей / Б. Ф. Нормухамедов. – М., 1997. – 316 с.
5. *Романовский Г. Ф.* Динамика упорных подшипников скольжения судовых турбомашин : монография / Г. Ф. Романовский, Н. Я. Хлопенко. – Николаев : НУК, 2007. – 140 с.
6. *Справочник по триботехнике* : в 3 т. Т. 2. Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения / под общ. ред. М. Хебды, А. В. Чичинадзе. – М., 1990. – 416 с.
7. *Румб В. К.* Прочность судового оборудования. Конструирование и расчеты прочности судовых валопроводов / В. К. Румб. – М., 2008. – 297 с.
8. *Басовский Л. Е.* Управление качеством / Л. Е. Басовский, В. Б. Протасьев. – М., 2001. – 212 с.
9. *Азгальдов Г. Г.* Теория и практика оценки качества товаров. Основы квалиметрии / Г. Г. Азгальдов. – М., 1982. – 230 с.
10. *Фомин В. Н.* Квалиметрия. Управление качеством. Сертификация : курс лекций / В. Н. Фомин. – М. : ЭКМОС, 2000. – 320 с.
11. *Карасик И. И.* Прирабатываемость материалов для подшипников скольжения : монография / И. И. Карасик. – М. : Наука, 1978. – 136 с.

УДК 621.91:530.1

В.С. Гусарев, канд. техн. наук

Ю.В. Яровой, канд. техн. наук

Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса, Украина

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ В ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

В.С. Гусарев, канд. техн. наук

Ю.В. Яровой, канд. техн. наук

Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, Україна

ЕНЕРГЕТИЧНІ КРИТЕРІЇ В ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

Vladimir Gusarev, PhD in Technical Sciences

Yuriy Yarovoy, PhD in Technical Sciences

Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine

ENERGY CRITERIA IN MECHANICAL ENGINEERING TECHNOLOGY

Рассмотрены энергетические критерии, которые применяются в технологии машиностроения. Предложен новый энергетический критерий: действие технологической системы. На основе энергетических критериев удельная работа резания, действие технологической системы и трудоемкость обработки выполнен выбор варианта обработки внутренней цилиндрической поверхности. Применение энергетических критериев наряду с технико-экономическими повышает эффективность выбора вариантов технологического процесса.

Ключевые слова: критерий, удельная работа резания, действие, технологическая система.

Розглянуто енергетичні критерії, які використовуються в технології машинобудування. Запропоновано новий енергетичний критерій: дія технологічної системи. На основі енергетичних критеріїв питома робота різання, дія технологічної системи і трудомісткість оброблення виконано вибір варіанта оброблення внутрішньої циліндричної поверхні. Застосування енергетичних критеріїв поряд з техніко-економічними підвищує ефективність вибору варіантів технологічного процесу.

Ключові слова: критерій, питома робота різання, дія, технологічна система.

The energy criteria used in mechanical engineering are considered. New energy criterion: action of technological system is offered. On the basis of energy criteria specific work of cutting, action of technological system and complexity of processing the selection of options for processing of the inner cylindrical surface is carried out. Applying of energy criteria in addition to technical-economic criteria increases the efficiency of option selection for processing.

Key words: criterion, specific work of cutting, action, technological system.

Постановка проблемы. Развитие современного машиностроения происходит путем внедрения в производство наукоемких технологий, современного оборудования, режущего инструмента и технологического обеспечения. Выбор новых технологий осуществляется по традиционным технико-экономическим критериям, как правило, по трудоемкости обработки и себестоимости изделия. Такой подход не всегда дает объективное суждение об эффективности внедрения той или иной технологии. Технич-

экономические критерии сложно использовать при анализе энергетических затрат для различных видов обработки.

Задачей современного машиностроения при оценке технологического процесса является использование не только технико-экономических критериев, но также анализ и выбор энергетических критериев. Подобные критерии должны оценивать альтернативные технологии изготовления деталей машин комплексно, а в случае необходимости производить варьирование энергетических и технико-экономических параметров обработки.

Анализ основных исследований и публикаций. Энергетические критерии используются не только в теории обработки металлов резанием, но и в теории обработки металлов давлением, а также и в экономике. Энергоемкость как показатель (затраты энергии или топлива к ВВП) широко используется для оценки энергетической эффективности национальных экономик. Удельная работа деформации используется для выбора оборудования при ковке и штамповке.

В основу энергетических критериев, как правило, положены удельные показатели энергоемкости. В работе [1] предложен критерий удельная энергоемкость или удельная работа резания, которая характеризует энергетические затраты в единице объема удаляемого материала:

$$e = \frac{N_e}{stv}, \quad (1)$$

где N_e – эффективная мощность резания, Вт;

s – подача, мм/об;

t – глубина резания, мм;

v – скорость резания, м/мин.

Анализу энергетических критериев посвящены работы В.К. Старкова. В своих работах [2; 3], используя дислокационно-энергетический подход к процессу резания, он рассматривает энергетические критерии оптимизации, основанные на минимизации энергетических затрат. Предложенные критерии позволяют управлять пластической деформацией и упрочнением в зоне обработки. Они тесно связаны с износом инструмента, тепловым режимом и качеством поверхностного слоя детали. Примечательно, что для черновой и чистовой обработки предлагаются два различных критерия: удельная энергоемкость процесса и энергетический критерий качества.

В работах В.К. Старкова очевиден и ряд недостатков. Во-первых, для расчета скрытой энергии деформации и общей энергии стружкообразования использованы эмпирико-теоретические выражения, основанные на дислокационных представлениях и отличающиеся высокой сложностью. Во-вторых, полученные модели характеризуют только процесс точения труднообрабатываемых сталей и сплавов на установившихся режимах резания; другие процессы формообразования не рассматриваются. В-третьих, не предложен единый критерий для различных этапов обработки: критерий удельная энергоемкость рекомендуется использовать при глубине резания более 0,5 мм, а энергетический критерий качества – при глубине резания менее 0,5 мм.

С.С. Силин предложил использовать энергетический критерий, характеризующий собой тепловую активность стружки по отношению ко всей выделяющейся в зоне резания теплоте [4]. Рассмотрена методика для определения оптимальных режимов резания при точении и фрезеровании на станках с ЧПУ с учетом требований точности обработки и шероховатости обрабатываемой поверхности. Применение рассчитанных по данной методике режимов резания повышает производительность на 15 % при обработке деталей из цветных сплавов на станках с числовым программным управлением. Недостаток предложенной методики – сложность и применимость только к цветным сплавам; кроме того, в расчетах не учитывается фактор времени обработки.

А.В. Карпов в качестве критерия оптимизации технологических методов обработки поверхностей предлагает использовать коэффициент энергетической эффективности, который зависит от удельной потенциальной энергоёмкости, для вычисления которой требуется специальный математический аппарат [5].

Выделение не решенных ранее задач общей проблемы. Многие предложенные энергетические критерии определяются по разным выражениям, но имеют одинаковую размерность и одинаковый физический смысл. Многообразие энергетических критериев, применяемых для выбора технологических операций и оптимизации режимов резания, затрудняет их широкое применение в технологии машиностроения. Каждый из предложенных критериев имеет определенную сферу применения.

В литературных источниках не показаны границы применения энергетических критериев для выбора вариантов технологических процессов. В практике машиностроительных предприятий отсутствует методика выбора и анализа вариантов технологического процесса на основе энергетических критериев оптимизации.

Цель статьи. Основной целью работы является анализ и обоснование выбора методов обработки поверхностей на основе энергетических критериев.

Изложение основного материала. Рассмотрим новый энергетический критерий, который определяется по выражению

$$D = AT_o, \quad (2)$$

где A – работа формообразования поверхности, Дж;

T_o – основное время или время формообразования (обработки) поверхности, мин.

Предложенный критерий представляет собой работу, выполненную в течение времени, или, другими словами, произведение работы формообразования на время обработки поверхности. Предложенный критерий имеет размерность — Дж·мин. Данная размерность соответствует скалярной величине «действие», которая широко используется в физике, в принципе наименьшего действия [5]. Поэтому по аналогии величину D в выражении (2) будем называть «действие технологической системы» или просто «действие».

Физическое содержание действия как физической величины формулируется следующим образом: действие – это суммарное количество изменений энергии в течение определенного промежутка времени [6].

Размерность Дж·с соответствует постоянной Планка, которая используется в квантовой физике [6] и служит для определения единицы массы, т. е. килограмма.

При установившемся режиме обработки работу формообразования можно представить в виде

$$A = NT_o, \quad (3)$$

где N – мощность, затрачиваемая на формообразование поверхности, Вт.

Подставим выражение для работы формообразования (3) в выражение для действия (2). В результате выражение для определения критерия «действие» для технологического перехода выглядит следующим образом:

$$D = NT_oT_o = NT_o^2. \quad (4)$$

Анализ данного выражения показывает, что критерий «действие технологической системы» будет минимальным в следующих случаях: мощность резания и время формообразования стремятся к минимуму; мощность резания стремится к максимуму, а время формообразования – к минимуму.

Сравнивая варианты технологического процесса (методы обработки поверхностей), необходимо определить критерий «действие» и выбрать вариант с его наименьшим значением.

При проектировании технологического процесса актуален вопрос выбора методов обработки внутренних цилиндрических поверхностей. Выбирая способы обработки основного отверстия $\varnothing 95H7$ (длина обрабатываемой поверхности $l = 104$ мм) в детали «Цилиндр» гидравлической машины, технолог сталкивается с большим разнообразием вариантов (рис. 1).

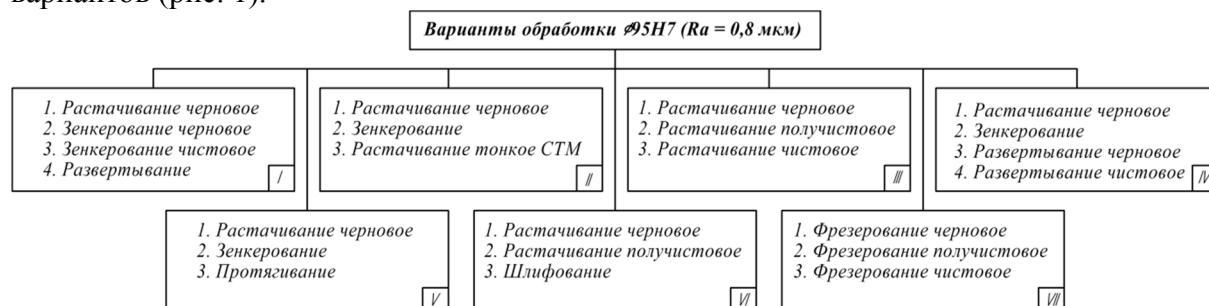


Рис. 1. Варианты обработки основного отверстия

Каждый из вариантов обработки позволяет получить заданное качество поверхности. Анализ вариантов обработки основного отверстия проведен на основе режимов резания, которые используются на действующем производстве, а для некоторых видов обработки – по рекомендациям фирм-производителей режущего инструмента (табл.).

Таблица

Режимы резания для вариантов обработки основного отверстия

Варианты обработки	Режимы резания				
	D, мм	t, мм	s, мм	n, мин ⁻¹	v, м/мин
Вариант I					
Растачивание черновое	92	3,5	0,25	250	72,2
Зенкерование черновое	93,4	0,7	1,5	50	14,7
Зенкерование чистовое	94,4	0,5	1,4	50	14,7
Развертывание	95	0,3	2	20	6
Вариант II					
Растачивание черновое	92	3,5	0,25	250	72,2
Зенкерование	94,4	1,1	1,5	50	14,8
Растачивание СТМ	95	0,3	0,05	1600	478
Вариант III					
Растачивание черновое	92	3,5	0,25	250	72,2
Растачивание чистовое	94,4	1,1	0,15	315	91,5
Растачивание тонкое	95	0,3	0,05	1000	299
Вариант IV					
Растачивание черновое	92	3,5	0,25	250	72,2
Зенкерование	94,4	1,1	1,5	50	14,8
Развертывание черновое	94,82	0,21	3	25	7,5
Развертывание чистовое	95	0,09	2	25	7,5
Вариант V					
Растачивание черновое	92	3,5	0,25	250	72,2
Зенкерование	93,4	0,7	1,5	50	14,7
Протягивание	95	0,57	0,1	25	7,5
Вариант VI					
Растачивание черновое	92	3,5	0,25	250	72,2
Растачивание чистовое	94,4	1,1	0,15	315	91,5
Шлифование	95	0,3	0,005	150	3200
Вариант VII					
Фрезерование черновое	92	3,5	0,75	1210	190
Фрезерование чистовое	94,4	1,1	0,45	1210	190
Фрезерование тонкое	95	0,3	0,3	1210	190

Выбор варианта обработки произведен по энергетическим критериям и основному времени (рис. 2). Сравнение методов обработки выполнено по следующим критериям: трудоемкость обработки, удельная работа резания, действие технологической системы. Мощность резания и трудоемкость обработки, входящие в выражения (1) и (4) определены по стандартным методикам [8; 9].

Анализируя энергетические критерии и основное время для каждого варианта обработки основного отверстия, необходимо отметить, что наименьшие значения критериев обеспечивает вариант VII (рис. 2) – фрезерная обработка внутренней цилиндрической поверхности с винтовой интерполяцией (интерполяцией по трем координатам). Из более привычных вариантов обработки наименьшие показатели обеспечивает вариант V, который включает протягивание отверстия. Обработка отверстий осевым инструментом приводит к увеличению основного времени и дополнительных затрат на перетачивание инструмента.

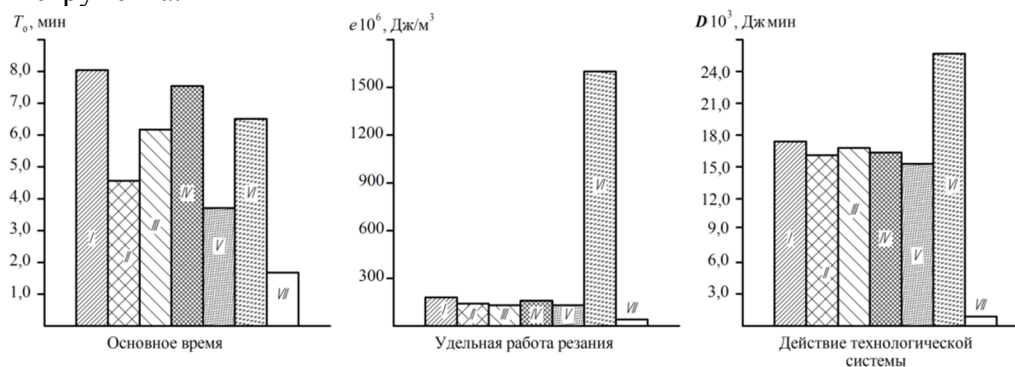


Рис. 2. Сравнение вариантов обработки внутренней цилиндрической поверхности

Современное станкостроение позволяет получать высокую точность отверстий на операциях фрезерования и тонкого растачивания без использования станков повышенной точности.

Выводы и предложения. Энергетические критерии действия технологической системы и удельная работа формообразования не являются альтернативой технико-экономическим критериям, а предназначены для более детального анализа проектируемого перспективного технологического процесса.

Список использованных источников

1. Остафьев В. А. Диагностика процесса металлообработки / В. А. Остафьев, В. С. Антонюк, Г. С. Тымчик. – К. : Техника, 1991. – 152 с.
2. Старков В. К. Алгоритм оптимизации процесса резания по энергетическому критерию качества / В. К. Старков, М. В. Киселев // Станки и инструмент. – 1992. – № 10. – С. 18–20.
3. Старков В. К. Физика и оптимизация резания металлов / В. К. Старков. – М. : Машиностроение, 2009. – 640 с.
4. Силин С. С. Оптимизация операций механической обработки по энергетическим критериям / С. С. Силин, А. В. Баранов // Станки и инструменты. – 1999. – № 1. – С. 16–17.
5. Карпов А. В. Снижение энергетических затрат при обработке заготовок деталей машин лезвийным инструментом : автореф. ... канд. техн. наук : спец. 05.02.08 «Технология машиностроения» / А. В. Карпов. – М., 2005. – 18 с.
6. Ландау Л. Д. Теоретическая физика / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М. : Физматлит, 2004. – Т. 1: Механика. – 224 с.
7. Физические величины : справочник / [А. П. Бабичев, Н. А. Бабушкина, А. М. Братковский и др.]; под общ. ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
8. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 2 / под ред. А. М. Дальского, А. Г. Сулова, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова. – М. : Машиностроение-1, 2001. – 944 с.
9. Технологія машинобудування / П. П. Мельничук, А. А. Боровик, П. А. Лінчевський, Ю. В. Петраков. – Житомир : ЖДТУ, 2005. – 882 с.