

НОВЫЙ КРИТЕРИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ВАРИАНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

В.С. Гусарев, Ю.В. Яровой. Новый критерий для анализа вариантов технологических операций. Розглянуто критерії вибору варіантів технологічних процесів. Запропоновано критерій вибору варіантів технологічних процесів на основі принципу найменшої дії. Виконано аналіз однорізцевої та багаторізцевої обробки за критеріями “питома робота” і “дія технологічної системи”.

В.С. Гусарев, Ю.В. Яровой. Новый критерий для анализа вариантов технологических операций. Рассмотрены критерии выбора вариантов технологических процессов. Предложен критерий выбора вариантов технологических процессов на основе принципа наименьшего действия. Выполнен анализ одностружечной и многостружечной обработки по критериям “удельная работа” и “действие технологической системы”.

V.S. Gysarev, Yu.V. Yarovoy. A new criterion for analyzing the variants of technologic operations. Criteria of choosing the variants of technologic processes are considered. The criterion based on minimal action principle for variant of technologic processes choosing is suggested. Analysis of single-cutter and multi-cutter machining using the criteria “specific work” and “action of technologic system” is carried out.

Выбор и оценка вариантов технологических операций в технологии машиностроения осуществляются по различным критериям оптимизации, которые условно можно разделить на технико-экономические, физические и энергетические [1, 2].

Традиционно выбор и анализ технологических операций выполняют по технико-экономическим критериям, широкое распространение среди которых получили трудоемкость и себестоимость. Достоинством является стремление этих критериев к минимуму целевой функции. Однако оба критерия имеют широкий диапазон значений переменных факторов, что затрудняет их применение в частных случаях для различных по физической сути технологических операций: штамповки, резания, немеханического воздействия.

Проведены исследования, связанные с различными энергетическими критериями [2, 3]. Основное внимание уделено критерию удельная работа (или энергоёмкость)

$$a = \frac{E}{V}, \quad (1)$$

где E — энергия, затрачиваемая на съём материала;
 V — объём снимаемого материала.

Этот критерий используется для определения предельных значений удельной работы при выполнении разных операций, а также для выбора вариантов технологических процессов [2...4].

Предлагаются результаты анализа критериев удельная работа, действие технологической системы и выбор вариантов технологических процессов на их основе.

Теоретическое исследование базируется на основных положениях теории резания, технологии машиностроения и физики (вариационные принципы механики).

Критерий удельная работа позволяет сравнивать технологические операции точения и шлифования в равных объемах снимаемого материала [4]

$$k = \frac{a_{ш}}{a_{т}} = 30, \quad (2)$$

где $a_{ш} = (5,1...7,5) \cdot 10^4$ Дж/см³, $a_{т} = (1,7...2,5) \cdot 10^3$ Дж/см³ — удельная работа, затрачиваемая на шлифование и точение, соответственно.

Таким образом, показано, что операции шлифования более высокзатратны по энергии, чем точение. Аналогичным образом можно сравнивать другие технологические операции, выполняемые разными методами обработки. Например, для растачивания и протягивания сквозных отверстий

$$k = \frac{a_{\text{п}}}{a_{\text{т}}} = 1, 4 \dots 1, 6,$$

где $a_{\text{п}} = (2, 5 \dots 4, 0) \cdot 10^3$ Дж/см³ — удельная работа, затрачиваемая на протягивание.

Таким образом, критерий удельная работа позволяет сравнивать разноплановые методы обработки, следовательно, выбирать оптимальные варианты технологического процесса.

Рассмотрим критерий удельная работа при анализе операций, выполняемых одним тем же методом обработки. Покажем это на примере обработки точением вала длиной L однорезцовым и многорезцовым методом. Для анализа обработки примем следующие допущения — глубина резания, скорость резания и подача остаются постоянными (рис. 1).

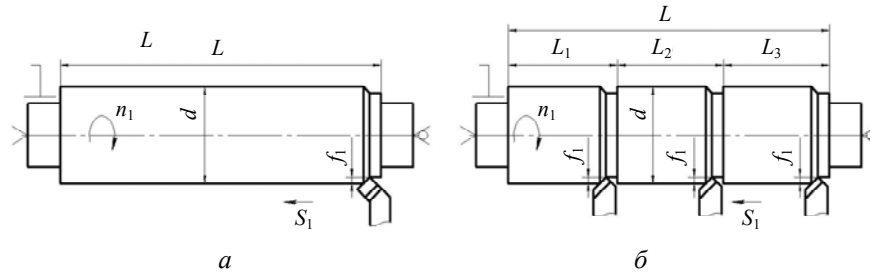


Рис. 1. Схемы обработка вала: а — однорезцовая; б — многорезцовая

Известно, что работа определяется выражением

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

где F — приложенная сила;

L — путь, пройденный резцом, длина обрабатываемой поверхности.

При однорезцовой обработке резец проходит путь $L_1=L$, при этом для глубины резания t необходима сила резания F_1 . При многорезцовой обработке при использовании n резцов, последовательно установленных и выполняющих последовательную обработку обрабатываемой поверхности, резец проходит путь $L_2 = L/n$, при этом для обеспечения глубины резания nt необходима сила резания $F_2 = F_1 n$. Таким образом, можно заметить, что при многорезцовой обработке пройденный путь сокращается в n раз, а сила резания возрастает в n раз. Работа резания для первого и второго методов обработки составит соответственно

$$\begin{aligned} A_1 &= F_1 L_1; \\ A_2 &= F_2 L_2 = n F_1 \frac{L_1}{n} = F_1 L_1. \end{aligned} \quad (4)$$

Очевидно, что при обоих методах обработки работы и объемы снимаемого материала равны, т.е. $A_1=A_2$ и $V_1=V_2$, следовательно удельная работа и энергия тоже будут равны, т.е. $a_1=a_2$, $E_1=E_2$. Поэтому для сравнения вариантов обработки, основанных на одном методе, использовать критерий удельная работа невозможно.

Для исследования биологических, химических, социальных систем используется один из вариационных принципов механики, а именно принцип наименьшего действия [5]. При его применении в технологии машиностроения методы обработки деталей машин необходимо рассматривать как механическую систему, которая характеризуется определенной функцией Лагранжа

$$L(x, \dot{x}, T), \quad (5)$$

где x — координата системы;

\dot{x} — скорость системы;

T — время движения системы.

Действие механической системы

$$D = \int_{T_1}^{T_2} L(x, \dot{x}, t) dT, \quad (6)$$

где $T_1 \dots T_2$ — интервал времени действия механической системы.

В соответствии с принципом наименьшего действия любая механическая система должна стремиться к минимальному действию, т.е. $D \rightarrow \min$.

Функция Лагранжа (5) является функцией не только координат, скорости и времени движения системы, но и разностью между кинематической и потенциальной энергиями системы [6], поэтому

$$L(x, \dot{x}, T) = K(x, \dot{x}, T) - U(x, T)$$

Следовательно, действие механической системы в соответствие с выражением (7)

$$D = \int_{T_1}^{T_2} (K(x, \dot{x}, t) - U(x, t)) dt$$

Рассмотрим действие механической системы как физическую величину. Разложим ее в ряд Маклорена по степени T [7]

$$D(T) = D(0) + \frac{dD(0)}{dT} T + \frac{d^2 D(0)}{2! dT^2} T^2 + \dots$$

Из анализа выражений (8) и (9) следует, что необходимо учитывать только вторую составляющую ряда Маклорена, которая определяет мгновенную мощность.

Действие технологической системы для операций формообразования можно описать обобщенной формулой

$$D = \int_{T_n}^{T_k} PLdT, \quad (10)$$

где F — сила резания, которая затрачивается на формообразование поверхности;

T_n, T_k — время начала и конца обработки, соответственно.

Поскольку сила резания и длина обрабатываемой поверхности при формообразовании — скалярные величины, выражение для действия технологической системы может выглядеть как

$$D = AT. \quad (11)$$

Таким образом, действие технологической системы является работой формообразования, затраченной за промежуток времени.

Используем критерий действие технологической системы для сравнения однорезцовой и многорезцовой обработки вала. При условии постоянства режимов резания время обработки при однорезцовой обработке составит T_1 , а при многорезцовой с использованием n инструментов — $T_2 = T_1/n$. Критерий действие технологической системы в первом варианте обработки

$$D_1 = A_1 T_1, \quad (12)$$

во втором варианте обработки

$$D_2 = A_2 T_2 = A_2 \frac{T_1}{n}. \quad (13)$$

Из выражения (4) следует, что при однорезцовой и многорезцовой обработке вала длиной L работы резания равны. Таким образом, из выражений (12) и (13) получены соотношения

$$D_2 = \frac{D_1}{n} \quad \text{и} \quad \frac{D_1}{D_2} = n, \quad (14)$$

т.е. критерий действие технологической системы D_2 для многорезцового варианта обработки вала будет в n раз меньше критерия действия технологической системы D_1 при однорезцовой обработке.

Для подтверждения выражения (14) произведен расчет основного времени T_0 , удельной работы формообразования a и действия D технологической системы для вала длиной $L=200$ мм, диаметром $d=50$ мм; режимы резания: $t=3$ мм, $s=0,21$ мм/об, $v=114$ м/мин. Результаты расчета полностью подтверждают сделанные при сравнении одинаковых методов обработки выводы: о равенстве удельных работ формообразования a_1, a_2 и о соотношении действий технологической системы D_1, D_2 (рис. 2).

На практике, если известны все параметры обрабатываемой детали, режимы резания и мощность резания, можно воспользоваться критерием действие технологической системы в виде

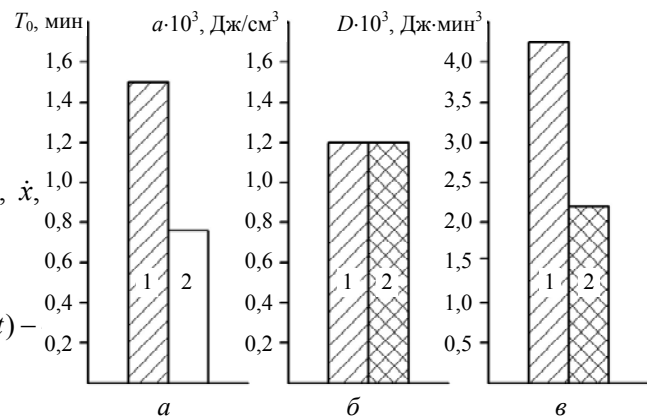


Рис. 2. Сравнительные характеристики методов обработки вала на однорезцовом станке 16К20 (1) и многорезцовом станке 1Н713 (2): основное время обработки T_0 (а); критерий удельная работа $a \cdot 10^3$ (б); критерий действие технологической системы $D \cdot 10^3$ (в)

$D = AT = (N_e T)T = N_e T^2$, где N_e — мощность резания, что позволяет применять его для сравнения методов обработки как различных, так и одинаковых по своей физической сути.

Сравнение различных вариантов обработки позволяет сделать следующие выводы:

— критерий удельная работа может быть применен только для сравнения различных по своей физической природе процессов и методов обработки, например, тонкого точения и шлифования;

— критерий действие технологической системы является универсальным и позволяет сравнивать технологические процессы, которые имеют как одинаковую, так и различную физическую природу, например, однорезцовую и многорезцовую обработку, тонкое точение и шлифование.

Литература

1. Старков, В.К. Технологические методы повышения надежности обработки на станках с ЧПУ / В.К. Старков. — М.: Машиностроение, 1984 — 120 с.
2. Швец, В.В. Некоторые вопросы теории технологии машиностроения / В.В. Швец. — М.: Машиностроение, 1967 — 63 с.
3. Подураев, В.П. Технология физико-механических методов обработки / В.П. Подураев. — М.: Машиностроение, 1985 — 264 с.
4. Гусарев, В.С. Энергетическая эффективность технологических процессов / В.С. Гусарев // Авиационно-космическая техника и технология, сб. научных трудов. — Харьков, ТАКУ им. Н.Е. Жуковского, 2000, вып. 14, — С. 41 — 44.
5. Горелов, А.П. О физических принципах развития / А.П. Горелов, Р.Г. Савченко // Вопросы кибернетики. Вып. 32. Энергетический подход к исследованию систем / Под ред. Б.В. Бирюкова и В.А. Веникова. — М.: Наука, 1977. — С. 90 — 102.
6. Яровский, Б.М. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов / Б.М. Яровский, А.А. Детлаф, А.К. Лебедев. — М.: ООО "Издательство Оникс": ООО "Издательство "Мир и образование", 2006 — 1053 с.
7. Гусак А.А. Справочник по высшей математике / А.А. Гусак, Г.М. Гусак, Е.А. Бричикова. — Минск: ТетраСистемс, 1999. — 640 с.

Рецензент д-р техн наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Ларшин В.П.

Поступила в редакцию 9 октября 2009 г.