

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ УСЛОВИЙ УМЕНЬШЕНИЯ СЕБЕСТОИМОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Жовтобрюх В.А., Генеральный директор
(ООО Технический Центр “ВариУс”, Днепропетровск)

Проведен теоретический анализ изменения себестоимости обработки в зависимости от производительности и определены оптимальные условия обработки. Произведена оценка влияния режимов резания и экономических параметров обработки на себестоимость и производительность обработки

Введение и постановка задачи. Повышение качества и производительности обработки деталей машин является важнейшей задачей технологии машиностроения. Применение прогрессивных технологий, оборудования, инструментов открывает новые возможности создания конкурентоспособной машиностроительной продукции и выхода на мировые рынки. Однако при этом затраты на изготовление изделий и машин должны быть минимальными. Данному вопросу в научно-технической литературе уделено большое внимание. Разработаны научные основы определения себестоимости механической обработки [1,2]. Вместе с тем, поиск новых технологических решений требует создания математических моделей определения себестоимости обработки и на их основе решение оптимизационных задач по выбору оптимальных условий обработки.

Цель работы – определение условий снижения себестоимости и повышения производительности механической обработки.

Основное содержание работы. Для достижения поставленной цели проведем анализ себестоимости обработки C для двух основных изменяющихся статей затрат, связанных с заработной платой рабочего и затратами на инструмент [3]:

$$\tilde{N} = N \cdot t_0 \cdot S_{\text{раб}} \cdot k + N_0 \cdot \ddot{O}, \quad (1)$$

где N, N_0 – количество обрабатываемых деталей и потребляемых режущих инструментов; t_0 – основное технологическое время обработки; $S_{\text{раб}}$ – тарифная ставка рабочего; k – коэффициент, учитывающий всевозможные начисления на тарифную ставку рабочего; \ddot{O} – цена режущего инструмента.

Параметр N_0 можно выразить $N_0 = N/n$, где n – количество деталей, обработанных одним инструментом:

$$\tilde{N} = N \cdot t_0 \cdot S_{\text{раб}} \cdot k + \frac{N}{n} \cdot \ddot{O}. \quad (2)$$

Уменьшить себестоимость обработки c можно увеличением n и уменьшением параметров t_0 и \ddot{O} . В свою очередь, $n = \ddot{O}/t_0$, где T – стойкость режущего инструмента. Тогда

$$\tilde{N} = N \cdot t_0 \cdot S_{\dot{\ddot{a}}\ddot{n}} \cdot k + N \cdot \frac{t_0}{T} \cdot \ddot{O} . \quad (3)$$

Как видно, себестоимость обработки C тем меньше, чем больше T . При условии $T = N \cdot t_0$, имеем $N_0=1$. В этом случае все N деталей обрабатываются одним инструментом и зависимость (3) принимает вид

$$\tilde{N} = T \cdot S_{\dot{\ddot{a}}\ddot{n}} \cdot k + \ddot{O} . \quad (4)$$

Дальнейшее уменьшение C может быть достигнуто уменьшением T за счет уменьшения t_0 . При невыполнении условия $T = N \cdot t_0$ количество потребляемых инструментов $N_0 > 1$ и тогда справедлива зависимость (2). С учетом $t_0 = \mathcal{G} / Q$ преобразуем ее к виду

$$\tilde{N} = N \cdot \frac{\mathcal{G}}{Q} \cdot S_{\dot{\ddot{a}}\ddot{n}} \cdot k + N \cdot \frac{\mathcal{G}}{Q} \cdot \frac{\ddot{O}}{\ddot{O}} , \quad (5)$$

где \mathcal{G} – объем металла, снимаемого с одной детали, м³; $Q = V \cdot t \cdot S$ – производительность обработки (при продольном точении), м³/с; V – скорость резания, м/мин; t – глубина резания, м; S – подача, м/об.

Исходя из зависимости (5), себестоимость обработки C уменьшается с уменьшением \mathcal{G} и увеличением Q . Однако, очевидно, с увеличением производительности обработки Q будет уменьшаться стойкость режущего инструмента T , что приведет к увеличению себестоимости обработки C . Следовательно, имеет место неоднозначный характер изменения себестоимости обработки c от производительности Q . Для определения C воспользуемся подходом, предложенным в работе [3] применительно к продольному точению, представляя стойкость режущего инструмента (резца) T в виде [4]:

$$T = \frac{\tilde{N}_4}{V^{m_1} \cdot t^q \cdot S^p} , \quad (6)$$

где C_4, m_1, q, p – постоянные для определенных условий обработки ($m_1 > p > q$).

Обозначим $\alpha_1 = N \cdot \mathcal{G} \cdot S_{\dot{\ddot{a}}\ddot{n}} \cdot k$; $\alpha_2 = N \cdot \frac{\mathcal{G} \cdot \ddot{O}}{\tilde{N}_4}$; $\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{\ddot{O}}{\tilde{N}_4 \cdot S_{\dot{\ddot{a}}\ddot{n}} \cdot k}$. Тогда зависимость (5) с учетом (6) выразится

$$C = \frac{\alpha_1}{Q} + \alpha_2 \cdot \frac{Q^{m-1}}{S^{m-p} \cdot t^{m-q}} . \quad (7)$$

Данная зависимость содержит три переменные величины: Q , S и t . С увеличением S и t себестоимость обработки c однозначно уменьшается. Следовательно, при продольном точении целесообразно съём припуска осуществлять за один проход инструмента, устанавливая глубину резания t равной величине снимаемого припуска. Подачу S необходимо устанавливать максимально возможной, исходя из прочности режущей части инструмента.

С увеличением производительности обработки Q себестоимость обработки C изменяется неоднозначно, т.к. первое слагаемое зависимости (7) уменьшается, а второе увеличивается. Следовательно, имеет место экстремум

функции C от производительности обработки Q . Для его определения подчиним функцию C необходимому условию экстремума: $\tilde{N}'_Q = 0$. Тогда

$$\tilde{N}'_Q = -\frac{\alpha_1}{Q^2} + \alpha_2 \cdot \frac{(n-1) \cdot Q^{m-2}}{S^{m-p} \cdot t^{m-q}} = 0. \quad (8)$$

Разрешим данное уравнение относительно величины $Q = Q_{y\hat{e}\tilde{n}\delta}$:

$$Q_{y\hat{e}\tilde{n}\delta} = \left[\frac{\alpha_1}{\alpha_2 \cdot (n-1)} \cdot S^{m-p} \cdot t^{m-q} \right]^{\frac{1}{m}} \quad \text{или} \quad (9)$$

$$Q_{y\hat{e}\tilde{n}\delta} = \left[\frac{S_{\hat{a}\tilde{n}} \cdot k \cdot \tilde{N}_4}{\ddot{O} \cdot (n-1)} \cdot S^{m-p} \cdot t^{m-q} \right]^{\frac{1}{m}}. \quad (10)$$

Как видно, экстремальное значение производительности обработки $Q_{y\hat{e}\tilde{n}\delta}$ тем больше, чем больше параметры $S_{\hat{a}\tilde{n}}$, k , C_4 , S , t и меньше \ddot{O} . Соответствующие данной производительности обработки $Q_{y\hat{e}\tilde{n}\delta}$ экстремальные значения скорости резания $V_{y\hat{e}\tilde{n}\delta}$ и стойкости инструмента $\dot{O}_{y\hat{e}\tilde{n}\delta}$ равны

$$V_{y\hat{e}\tilde{n}\delta} = \frac{Q_{y\hat{e}\tilde{n}\delta}}{S \cdot t} = \left[\frac{S_{\hat{a}\tilde{n}} \cdot k \cdot C_4}{\ddot{O} \cdot (n-1)} \right]^{\frac{1}{m}} \cdot \frac{1}{S^{\frac{p}{m}} \cdot t^{\frac{q}{m}}}; \quad (11)$$

$$\dot{O}_{y\hat{e}\tilde{n}\delta} = \frac{\ddot{O} \cdot (n-1)}{S_{\hat{a}\tilde{n}} \cdot k}. \quad (12)$$

Из зависимости (11) следует, что $V_{y\hat{e}\tilde{n}\delta}$ тем больше, чем больше параметры $S_{\hat{a}\tilde{n}}$, k , C_4 и меньше \ddot{O} , S и t . Учитывая то, что параметры S и t устанавливаются максимально возможными, увеличить скорость резания $V_{y\hat{e}\tilde{n}\delta}$ можно за счет увеличения параметров $S_{\hat{a}\tilde{n}}$, k , C_4 и уменьшения \ddot{O} .

Экстремальное значение стойкости инструмента $\dot{O}_{y\hat{e}\tilde{n}\delta}$, исходя из зависимости (12), тем больше, чем больше отношение $\ddot{O} / (S_{\hat{a}\tilde{n}} \cdot k)$.

Оценим характер экстремума функции C с точки зрения наличия минимума или максимума. Для этого определим знак второй производной \tilde{N}''_Q :

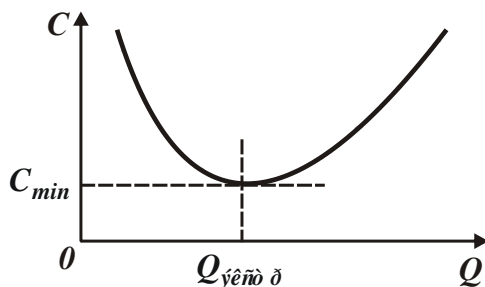


Рис. 1. Общий вид зависимости себестоимости обработки C от Q .

$$\tilde{N}''_Q = \frac{2 \cdot \alpha_1}{Q^3} + \alpha_2 \cdot \frac{(n-1) \cdot (n-2) \cdot Q^{m-3}}{S^{m-p} \cdot t^{m-q}}. \quad (13)$$

Как видно, при $m > 2$ однозначно вторая производная $\tilde{N}''_Q > 0$. Следовательно, имеет место минимум функции C от производительности обработки Q (рис. 1). При $m < 2$ знак второй производной \tilde{N}''_Q будет зависеть от соотношения первого и второго слагаемых зависимости (13) в точке экстремума.

Определим минимальное значение функции C , для чего в зависимость (7) подставим (9):

$$\tilde{N}_{min} = \frac{1}{S^{1-\frac{p}{m}} \cdot t^{1-\frac{q}{m}}} \cdot \left[\frac{\alpha_2 \cdot (n-1)}{\alpha_1} \right]^{\frac{1}{m}} \cdot \left[\alpha_1 + \frac{\alpha_1}{n-1} \right]. \quad (14)$$

Как следует из зависимости (14), в точке экстремума первое слагаемое больше второго слагаемого при условии $m > 1$. Из этого можно сделать вывод, что и при $m < 2$, согласно зависимости (13), вторая производная $\tilde{N}_Q'' > 0$, а, следовательно, функция C будет проходить точку минимума (рис. 1). После преобразования зависимость (14) окончательно примет вид

$$\tilde{N}_{min} = \frac{N \cdot \vartheta \cdot \ddot{O}^{\frac{1}{m}} \cdot S_{\dot{\alpha}\ddot{n}} \cdot k^{\frac{1}{m}}}{\tilde{N}_4^{\frac{1}{m}} \cdot S^{1-\frac{p}{m}} \cdot t^{1-\frac{q}{m}}} \cdot \frac{m}{(n-1)^{\frac{1}{m}}}. \quad (15)$$

Минимальное значение C_{min} тем меньше, чем меньше параметры $N, \vartheta, \ddot{O}, S_{\dot{\alpha}\ddot{n}}, k$ и больше C_4, S и t , т.е. необходимо добиваться снижения цены инструмента и увеличения его стойкости (определяемой параметром C_4), а также устанавливать максимально возможные значения подачи S и глубины резания t .

Произведем количественную оценку зависимости (7). Для этого представим производительность обработки в виде $Q = z \cdot Q_{y\dot{e}n\ddot{o}d}$, где $z > 0$ – положительная величина. Тогда зависимость (7), аналогично зависимости (14), выразится

$$\tilde{N} = \frac{1}{S^{1-\frac{p}{m}} \cdot t^{1-\frac{q}{m}}} \cdot \left[\frac{\alpha_2 \cdot (n-1)}{\alpha_1} \right]^{\frac{1}{m}} \cdot \alpha_1 \cdot \left[\frac{1}{z} + \frac{z^{m-1}}{n-1} \right]. \quad (16)$$

В работе [4] показано, что при точении углеродистой конструкционной стали твердосплавным резцом параметры $m=5; p=1,75; q=0,75$. Принимая $m=5$, по зависимости (16) определим в относительных величинах первое и второе слагаемые, соответственно равные $1/z$ и $0,25 \cdot z^4$, а также определим их сумму $\bar{C} = 1/z + 0,25 \cdot z^4$, выражающую относительную себестоимость обработки \bar{C} (табл. 1).

Таблица 1

Расчетные значения величин $1/z; 0,25 \cdot z^4$ и $\bar{C} = 1/z + 0,25 \cdot z^4$ для $m=5$

z	0,1	0,5	1	2	3
$1/z$	10	2	1	0,5	0,33
$0,25 \cdot z^4$	$0,25 \cdot 10^{-4}$	0,015	0,25	4	20,25
$\bar{C} = 1/z + 0,25 \cdot z^4$	10	2,015	1,25	4,5	20,58

Как следует из табл. 1, при изменении величины z в пределах $0,1 \dots 1$ первое слагаемое больше второго. При значениях $z \geq 2$, наоборот, второе слагаемое больше первого, причем, второе слагаемое интенсивно увеличивается, вы-

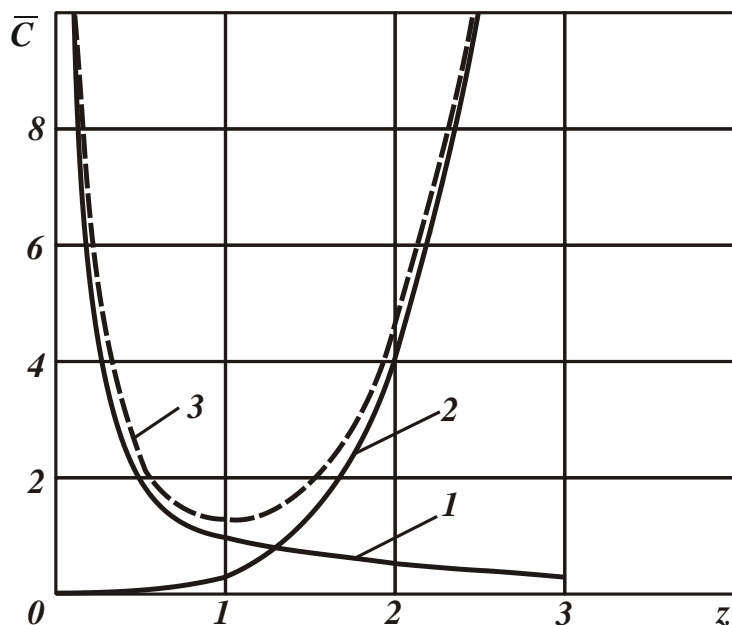


Рис. 2. Характер изменения функций $1/z$ (1), $0,25 \cdot z^4$ (2) и $1/z + 0,25 \cdot z^4$ (3) для $m=5$.

зывая увеличение суммы двух слагаемых (относительную себестоимость обработки \bar{C}). Следовательно, с увеличением величины z , что соответствует увеличению производительности обработки, относительная себестоимость обработки \bar{C} первоначально интенсивно уменьшается (за счет уменьшения первого слагаемого), затем интенсивно увеличивается (за счет увеличения второго слагаемого). Поэтому при выборе оптимальных параметров обработки необходимо строго соблюдать

условие минимума себестоимости обработки, т.к. незначительное отклонение величины z от значения $z=1$ будет приводить к увеличению \bar{C} (рис. 2).

Таблица 2

Расчетные значения величин $1/z$; $0,5 \cdot z^2$ и $\bar{C} = 1/z + 0,5 \cdot z^2$ для $m=3$

z	0,1	0,5	1	2	3
$1/z$	10	2	1	0,5	0,33
$0,5 \cdot z^2$	0,005	0,125	0,5	2	4,5
$\bar{C} = 1/z + 0,5 \cdot z^2$	10	2,125	1,5	2,5	4,83

Известно, что применение более прогрессивных конструкций режущих инструментов способствует повышению их стойкости. Это выражается в уменьшении коэффициента m , например, до значения $m=3$ и ниже. Поэтому проведем анализ относительной себестоимости обработки \bar{C} в соответствии с зависимостью (16) для $m=3$. В этом случае первое слагаемое зависимости (16) остается прежним, а второе – принимает вид $0,5 \cdot z^2$. Тогда их сумма равна $\bar{C} = 1/z + 0,5 \cdot z^2$.

В табл. 2 приведены результаты расчетов для случая $m=3$, которые показывают, что по сравнению со случаем $m=5$ второе слагаемое, а соответственно и сумма двух слагаемых, уменьшаются, причем, для $z > 1$ – значительно. Это указывает на необходимость применения инструментальных материалов, обладающих повышенной износостойкостью и способных сохранять свои режущие свойства при высоких температурах резания, что позволяет повысить стойкость режущего инструмента. Уменьшение себестоимости обработки, естественно, обеспечивает повышение производительности обработки и в целом эффективности производства.

Выводы: В работе теоретически решена задача минимизации себестоимости обработки и показано, что выбор оптимальных режимов резания, обеспечивающих наименьшую себестоимость и наибольшую производительность обработки, всецело зависит от стойкости режущего инструмента. Исходя из этого, сформулированы практические рекомендации по повышению эффективности механической (лезвийной) обработки на основе критерия наименьшей себестоимости. Они состоят, прежде всего, в применении инструментальных материалов, обладающих повышенной износостойкостью и способных сохранять свои режущие свойства при высоких температурах резания, что позволяет повысить стойкость режущего инструмента.

Список литературы

1. Маталин А.А. Технология машиностроения: учебник / А.А. Маталин. – Л.: Машиностроение, 1985. – 496 с.
2. Технологія машинобудування: підручник / О.В. Якимов, В.М. Царюк, О.О. Якимов, Г.О. Оборський, В.П. Ларшин, О.В. Самойленко. – Одеса: Астропринт, 2001. – 608 с.
3. Теоретические основы резания и шлифования материалов: учеб. пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, Б.С. Серов, А.А. Якимов. – Одеса: ОГПУ, 1999. – 450 с.
4. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / В.Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 343 с.

Анотація

Теоретичний аналіз умов зменшення собівартості механічної обробки

Проведено теоретичний аналіз зміни собівартості обробки залежно від продуктивності й визначені оптимальні умови обробки. Виконано оцінку впливу режимів різання й економічних параметрів обробки на собівартість і продуктивність обробки

Abstract

A theoretical analysis of the conditions to reduce the cost of machining

The theoretical analysis of change the prime price of treatment is conducted depending on the productivity and the optimum terms of treatment are certain. The estimation of influence of the modes of cutting and economic parameters of treatment is produced on a prime price and proizvoditel'nost' of treatment