

УДК 621.923

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИ ВЫГОДНЫХ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ

Новиков Ф.В., докт. техн. наук, Яценко Е.С.,

Ковальчук А.Н., Иванов И.Е.

Проведена оптимизация и дан расчет экономически выгодных режимов резания при механической обработке

Выбор рациональных режимов резания необходимо производить из условия обеспечения минимально возможной себестоимости и максимально возможной производительности обработки [1-4]. Учитывая лишь изменяющиеся статьи затрат, произведем укрупненный расчет себестоимости обработки C :

$$C = N \cdot t_o \cdot S_{\text{час}} \cdot k + N_o \cdot Ц , \quad (1)$$

где N и N_o - соответственно количество изготавливаемых изделий и потребляемых инструментов; t_o - основное технологическое время обработки; $S_{\text{час}}$ - тарифная ставка рабочего; k - коэффициент, учитывающий всевозможные начисления на тарифную ставку рабочего; $Ц$ - цена инструмента.

При продольном точении: $t_o = i \cdot L / S_m$, где $i = \Pi / t$ - количество продольных ходов инструмента; L - длина хода инструмента; $S_m = V \cdot S / \pi \cdot D_{\text{дет}}$ - продольная подача, м/с; Π - величина припуска; t - глубина резания; V - скорость резания; S - продольная подача, м/об; $D_{\text{дет}}$ - диаметр детали;

$$t_o = \frac{\pi \cdot D_{\text{дет}} \cdot \Pi \cdot L}{V \cdot t \cdot S} . \quad (2)$$

Числитель в зависимости (2) равен объему снимаемого материала, а знаменатель - производительности обработки Q . Стойкость инструмента T связана с t_o зависимостью $T = n \cdot t_o$, где n - количество деталей, обработанных одним инструментом; $T = \frac{C_4}{V^{m_1} \cdot t^q \cdot S^p}$, где C_4 , m_1 , q , p - постоянные для определенных условий обработки. Откуда

$$n = \frac{C_4}{\pi \cdot D_{\text{дет}} \cdot \Pi \cdot L \cdot V^{m_1-1} \cdot t^{q-1} \cdot S^{p-1}} ,$$

$$N_o = \frac{N}{n} = \frac{\pi \cdot D_{\text{дет}} \cdot \Pi \cdot L \cdot N \cdot V^{m_1-1} \cdot t^{q-1} \cdot S^{p-1}}{C_4} .$$

Обозначим $\mathcal{G}_{\text{сум}} = \pi \cdot D_{\text{дет}} \cdot \Pi \cdot L \cdot N$ - суммарный объем снимаемого материала со всех деталей. Тогда получим:

$$C = \mathcal{G}_{\text{сум}} \cdot \left(\frac{S_{\text{час}} \cdot k}{V \cdot t \cdot S} + \frac{Ц}{C_4} \cdot V^{m_1-1} \cdot t^{q-1} \cdot S^{p-1} \right) .$$

При $m_1, q, p > 1$ имеет место экстремальная зависимость C от \mathcal{G} , t и S . Экспериментально установлено: $m_1 > q > p$, $m_1 > 1$. Параметры p и q в за-

зависимости от условий обработки могут быть больше и меньше единицы. Рассмотрим случай $m_1 > 1, 0 < p < 1, 0 < q < 1$:

$$C = g_{\text{сум}} \cdot \left(\frac{S_{\text{час}} \cdot k}{V \cdot t \cdot S} + \frac{\Pi}{C_4} \cdot \frac{V^{m_1-1}}{t^{1-q} \cdot S^{1-p}} \right). \quad (3)$$

С увеличением t и S себестоимость C непрерывно уменьшается, а с увеличением V - изменяется по экстремальной зависимости. Определим экстремальные значения V и C из условия $C'_V = 0$:

$$V_{\text{экт}} = \left[\frac{S_{\text{час}} \cdot k \cdot C_4}{(m_1 - 1) \cdot \Pi \cdot t^q \cdot S^p} \right]^{\frac{1}{m_1}}. \quad (4)$$

Значение $V_{\text{экт}}$ тем меньше, чем больше t и S . Вторая производная C''_V в точке $V_{\text{экт}}$ равна:

$$C''_V = g_{\text{сум}} \cdot m_1 \left[\frac{(m_1 - 1) \cdot \Pi}{C_4} \right]^{\frac{3}{m_1}} \cdot (S_{\text{час}} \cdot k)^{1 - \frac{3}{m_1}} \cdot t^{\frac{3q-1}{m_1}} \cdot S^{\frac{3p-1}{m_1}}.$$

Как видим $C''_V > 0$, т.е. имеет место минимум функции $C(V)$, рисунок. Подставим зависимость (4) в зависимость (3):

$$C = g_{\text{сум}} \cdot m_1 \cdot \left(\frac{S_{\text{час}} \cdot k}{m_1 - 1} \right)^{1 - \frac{1}{m_1}} \cdot \left(\frac{\Pi}{C_4} \right)^{\frac{1}{m_1}} \cdot \frac{1}{t^{\frac{1-q}{m_1}} \cdot S^{\frac{1-p}{m_1}}}. \quad (5)$$

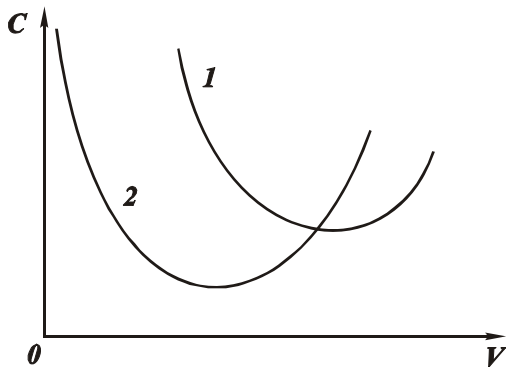


Рисунок. – Зависимость C от V при $S = \text{const}$ ($S_1 < S_2$).

Себестоимость обработки C тем меньше, чем меньше $g_{\text{сум}}, S_{\text{час}}, k, \Pi$ и больше C_4, t, S . Уменьшить $g_{\text{сум}}$ можно уменьшением припуска Π (при заданных значениях $N, L, D_{\text{дет}}$). Производительность обработки $Q = g_{\text{экт}} \cdot t \cdot S$ в точке минимума функции C равна:

$$Q = \left(\frac{C_4 \cdot S_{\text{час}} \cdot k}{(m_1 - 1) \cdot \Pi} \right)^{\frac{1}{m_1}} \cdot t^{\frac{1-q}{m_1}} \cdot S^{\frac{1-p}{m_1}}. \quad (6)$$

С увеличением t и S производительность Q увеличивается. Определим оптимальную стойкость инструмента T с учетом зависимости (4):

$$T = \frac{(m_1 - 1) \cdot \Pi}{S_{\text{час}} \cdot k}. \quad (7)$$

Оптимальная стойкость инструмента T не зависит от параметров режимов резания, а определяется экономическими параметрами $\Pi, S_{\text{час}}, k$. Параметры $S_{\text{час}}$ и k оказывают различное влияние на себестоимость обработки C и стойкость инструмента T . Следовательно, между C и T не существует

вполне однозначной зависимости. Параметр Π может изменяться в больших пределах, чем $S_{\text{час}}$ и k . Поэтому за счет снижения Π можно уменьшать параметры C и T , т.е. экономически эффективно работать с минимально возможными значениями T . Уменьшение Π ведет к увеличению Q и $V_{\text{экс}}$. Так как $q < p$, то глубина резания t в (6) входит в большей степени, чем подача S . Целесообразно в первую очередь увеличивать t до величины снимаемого припуска Π , т.е. обработку производить за один проход инструмента.

Преобразуя зависимость (1) с учетом: $t_0 = l / S_m$, $T = n \cdot t_0$, $T = A / S_m^{k_1}$ (где n - количество переходов; A , k_1 - параметры, зависящие от условий обработки), имеем: $C = N \cdot l \cdot \left(\frac{S_{\text{час}} \cdot k}{S_m} + \frac{\Pi}{A} \cdot S_m^{k_1-1} \right)$. В зависимости от показателя степени k_1 себестоимость C с увеличением подачи S_m может уменьшаться ($k_1 \leq 1$) или изменяться по экстремальной зависимости ($k_1 > 1$), проходя точку минимума. В последнем случае экстремальная подача $S_{\text{экс}}$ определяется из

условия $C'_s = 0$, тогда $S_{\text{экс}} = \left[\frac{S_{\text{час}} \cdot A \cdot k}{(k_1 - 1) \cdot \Pi} \right]^{\frac{1}{k_1}}$. Экстремальная (минимальная) себестоимость обработки $C_{\text{экс}}$ равна:

$$C_{\text{экс}} = N \cdot l \cdot S_{\text{час}} \cdot k \cdot \frac{k_1}{(k_1 - 1)} \cdot \left[\frac{(k_1 - 1) \cdot \Pi}{S_{\text{час}} \cdot k \cdot A} \right]^{\frac{1}{k_1}}.$$

Влияние параметров N и l на $C_{\text{экс}}$ более значительно, чем параметров $S_{\text{час}}$, k , Π и A при $k_1 > 1$. Следовательно, основным путем снижения себестоимости обработки является уменьшение произведения $N \cdot l$. Уменьшить l можно за счет оптимизации траектории движения инструмента при обработке сложных деталей на станках с ЧПУ. Однако при этом в зависимость необходимо ввести второе слагаемое Π_1 , равное стоимости станка с ЧПУ. Эффект будет иметь место в том случае если первое слагаемое больше второго, т.е. при относительно большом значении N . Применение станков с ЧПУ снижает затраты, связанные с изготовлением технологической оснастки, но создает дополнительные затраты Π_2 по подготовке управляющих программ. Тогда

$$C_{\text{экс}} = N \cdot l \cdot S_{\text{час}} \cdot k \cdot \frac{k_1}{(k_1 - 1)} \cdot \left[\frac{(k_1 - 1) \cdot \Pi}{S_{\text{час}} \cdot k \cdot A} \right]^{\frac{1}{k_1}} + \Pi_1 + \Pi_2. \quad (8)$$

Если стоимость технологической оснастки Π_2 преобладает в (8), то ее существенное уменьшение (практически до уровня стоимости управляющих программ) позволит уменьшить себестоимость обработки $C_{\text{экс}}$ даже при относительно небольшой программе изделий N . Следовательно, станки с ЧПУ эффективно применять при изготовлении сложных деталей (эффект создает-

ся за счет оптимизации траекторий движения инструмента и уменьшения l) и при изготовлении небольших партий деталей (эффект создается за счет уменьшения затрат на технологическую оснастку).

Уменьшить $C_{\text{экс}}$ можно уменьшением соотношения C/A , т.е. уменьшением стоимости инструмента (или его переточки) и повышением его эксплуатационных характеристик (обобщенно определяемых параметром A) путем применения эффективных технологических сред, упрочнения инструмента, оптимизации режимов резания и т.д. Эффективно применение прогрессивных высокопроизводительных технологий и инструментов, обеспечивающих уменьшение соотношения C/A . Представим зависимость (1) в виде:

$$C = N \cdot (t_0 + t_1) \cdot S_{\text{час}} \cdot k + N \cdot l \cdot \frac{C}{A} \cdot S_m^{k_1-1}, \quad (9)$$

где t_1 – вспомогательное время обработки, с.

Важным условием уменьшения C является уменьшение вспомогательного времени обработки t_1 за счет применения станков – автоматов. Однако при этом в (9) необходимо ввести третье слагаемое C_3 , равное стоимости станка – автомата. Эффект будет иметь место в том случае, если третье слагаемое существенно меньше суммы первых двух слагаемых, т.е. при большом значении N . С этих позиций можно объяснить также эффективность применения многооперационных станков и станков с ЧПУ, т.к. они обеспечивают снижение вспомогательного времени обработки t_1 .

Список литературы:

1. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. – М.: Машиностроение, 1975. – 243 с.
2. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учеб. пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, Б.С. Серов, А.А. Якимов. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 450 с.
3. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. Ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В 10 томах. – Т.2. “Теплофизика резания материалов” – Одесса: ОНПУ, 2003. – 625 с.
4. Резание металлов / Филоненко С.Н. – К.: Вища школа, 1969. – 260 с.