УДК 621.923

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ПО КРИТЕРИЯМ СЕБЕСТОИМОСТИ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ

Якимов А.В., докт. техн. наук, Новиков Ф.В., докт. техн. наук
(г. Одесса, г. Харьков, Украина)

The idealized approach to definition of optimum conditions of process of cutting is offered

Выбор рациональных режимов резания необходимо производить из условия обеспечения минимально возможной себестоимости и максимально возможной производительности обработки. Учитывая лишь изменяющиеся статьи затрат, укрупненный расчет себестоимости обработки C произведем по зависимости

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

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

При продольном точении $t_o = i \cdot \dfrac{L}{S_м}$,где $i = \dfrac{П}{t}$ - количество родольных ходов инструмента; L - длина хода инструмента ;

$S_м = V \cdot \dfrac{S}{\pi \cdot D_{дет}}$ - продольная подача, м/с ; $П$ – величина нимаемого припуска; t – глубина резания; V – скорость резания; S – родольная подача, м/об; $D_{дет}$ -диаметр детали .

Стойкость инструмента T связана с t_o зависимостью $T = n \cdot t_o$, где n - оличество деталей, обработанных одним инструментом.

С использованием результатов многофакторного планирования ксперимента стойкостью T выражается [1]

$$T = \frac{C_4 \cdot}{\vartheta^{m_1} \cdot t^q \cdot S^p} \; , \qquad (2)$$

где C_4, m_1, q, p - постоянные для определенных условий обработки; V – скорость резания; t – глубина резания.

С учетом преобразований, обозначая $\vartheta_{сум} = \pi \cdot D_{дет} \cdot П \cdot L \cdot N$ - суммарный объем снимаемого материала со всех деталей, имеем

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

При m_1, q, p>1 имеет место экстремальная зависимость C от ϑ, t и S. Экспериментально установлено : $m_1 \rangle q \rangle p$, m_1>1. Параметры p и q в зависимости от условий обработки могут быть больше и меньше единицы. Рассмотрим случай $m_1 > 1$, 0< p <1 , 0< q <1 . Зависимость (3) примет вид

$$C = \vartheta_{сум} \cdot \left(\frac{S_{час} \cdot k}{V \cdot t \cdot S} + \frac{Ц}{C_4} \cdot \frac{\vartheta^{m_1 - 1}}{t^{1-q} \cdot S^{1-p}} \right). \quad (4)$$

С увеличением t и S себестоимость C непрерывно уменьшается, а с увеличением ϑ - изменяется по экстремальной зависимости. Определим экстремальные значения ϑ и C из условия C'_{ϑ} =0 :

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

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

Себестоимость обработки C тем меньше, чем меньше $\vartheta_{сум}$, $S_{час}$, k, $Ц$ и больше C_4, t, S. Уменьшить $\vartheta_{сум}$ можно уменьшением снимаемого припуска $П$ (при заданных значениях $N, L, D_{дет}$).

Производительность обработки Q в точке минимума функции C равна

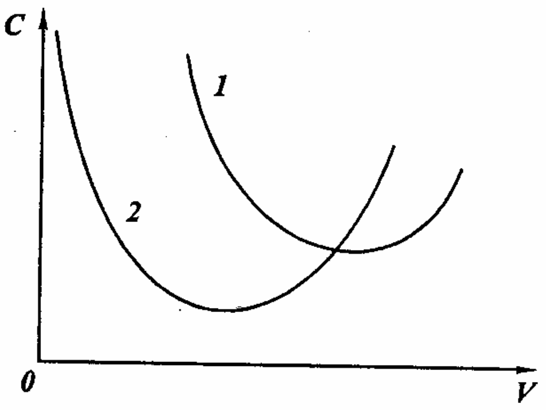

Рис.1. Зависимость C от V при $S=const$ ($S_1<S_2$)

$$Q=\vartheta_{экст}\cdot t\cdot S=\left(\frac{C_4\cdot S_{час}\cdot k}{(m_1-1)\cdot Ц}\right)^{\frac{1}{m_1}}\cdot t^{1-\frac{q}{m_1}}\cdot S^{1-\frac{p}{m_1}}. \qquad (6)$$

С увеличением t и S производительность Q увеличивается. Следовательно, добиться уменьшения C при одновременном увеличении Q можно увеличением t и S и уменьшением $\vartheta_{экст}$ по зависимости (4).

Подставим (4) в (2)

$$T=\frac{(m_1-1)\cdot Ц}{S_{час}\cdot k}. \qquad (7)$$

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

Параметр $Ц$ может изменяться в больших пределах, чем $S_{час}$ и k. Поэтому за счет снижения $Ц$ можно уменьшать параметры C и T, т.е. экономически эффективно работать с минимально возможными значениями T. Уменьшение $Ц$ ведет к увеличению Q и $\vartheta_{экст}$. Так как $q<p$, то глубина резания t в (5) входит в большей степени, чем подача S. Целесообразно в первую очередь увеличивать t до величины снимаемого припуска $П$, т.е. обработку производить за один проход инструмента. Подачу S необходимо увеличивать с учетом технических ограничений,

например мощности станка, прочности инструмента и привода станка, шероховатости обработки и т.д. Очевидно, при заданной площади поперечного сечения среза эффективно увеличить глубину резания и уменьшать подачу, что согласуется с практическими данными. Зависимость (5) с учетом (6) преобразуется

$$C = \vartheta_{сум} \cdot \frac{S_{час} \cdot k}{Q} \cdot \frac{1}{1 - \frac{1}{m_1}} . \quad (8)$$

По-сути, пришли к зависимости (4), в которой второе слагаемое выражено через первое. Значение C, определяемое (8), всегда больше первого слагаемого в (4) в $\left(1 - \frac{1}{m_1}\right)$ раз. Исходя из (8), уменьшить C можно, увеличивая Q путем увеличения t и S и уменьшения $Ц$, согласно (6) .При этом скорость резания должна устанавливаться в соответствии с зависимостью (4) . Таким образом показано, что уменьшение себестоимости обработки C достигается за счет увеличения производительности Q. Вполне однозначная связь между C и Q позволяет выбор рациональных режимов резания производить из условий обеспечения минимально возможной себестоимости обработки или максимально возможной производительности. Оба условия равносильны. К аналогичным результатам можно прийти, используя решение приведенные в работе [1], в котором установлена экстремальная зависимость между себестоимостью обработки и стойкостью инструмента (в нашем случае исследуется экстремальная зависимость “себестоимость-скорость резания”).

Как правило, $m_1 > p > 1$, $q < 1$. Тогда, согласно (3), имеет место экстремальная зависимость C от ϑ и S. Однако параметры ϑ и S связаны кинематическим соотношением $\vartheta \cdot S = S_м \cdot \pi \cdot D_{дет}$. Подставляя его в (3), приходим к экстремальной зависимости C от $S_м$. Экстремальное значение $S_м$ устанавливается аналогично предыдущему случаю. В результате получаем зависимости (4)-(8).

Различного рода ограничения обработки например, точность и чистота обработки, приводят к ограничению параметров режима резания t и S, и согласно (6), производительности Q. Себестоимость C по зависимости (8) принимает относительно большие значения. Уменьшить C можно выполнением обработки в две и более операции. Пусть Q_1 - производительность обработки, соответствующая минимуму себестоимости C, а Q_2 - производительность, обеспечивающая заданные значения точности и чистоты обработки, $Q_1 > Q_2$. Тогда $C_1 < C_2$, согласно(8).

При выполнении обработки в две операции себестоимость равна

$$C = L \cdot \pi \cdot D_{дет} \cdot N \cdot З_{час} \cdot k \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{1}{m_1}\right)} \cdot \left[\frac{П_1}{Q_1} + \frac{П_2}{Q_2}\right],$$

где $П_1$, $П_2$-припуски, снимаемые на первой и второй операциях, $П_1 + П_2 = П$.

С учетом $П_1 = \alpha \cdot П$, $П_2 = (1-\alpha)\,П$, $Q_1 = r \cdot Q_2$ (где $0 \le \alpha \le 1$, $r > 1$), имеем

$$C = \vartheta_{сум} \cdot \frac{З_{час} \cdot k}{\left(1 - \frac{1}{m_1}\right) \cdot Q_1} \cdot [\alpha + r \cdot (1-\alpha)] \quad . \qquad (9)$$

Выражение, стоящее в квадратных скобках (обозначим его $\bar{\alpha}$), изменяется от r (при α=0) до 1 (при α=1), рис.2.

Устанавливая припуск $П_2$, достаточный для выполнения технологических требований на обработку, за счет увеличения α можно уменьшить себестоимость C.

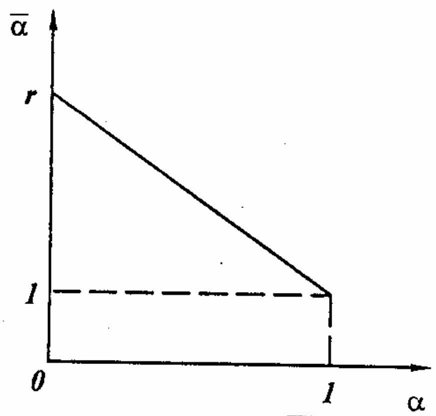

Рис.2. Зависимость $\bar{\alpha}$ от α

Например, при r=3, α=0.7 себестоимость уменьшается в 1.88 раз (в относительных единицах: от $\overline{\alpha}$=3 до $\overline{\alpha}$=1.6). Аналогичным образом определяется C при многооперационной обработке. При выполнении обработки в три операции

$$\overline{\alpha} = \alpha + r \cdot (1-\alpha) \cdot \alpha_1 + r \cdot r_1 \cdot (1-\alpha) \cdot (1-\alpha_1),$$

где $П_1 = \alpha П$; $П_2 = (1-\alpha) \cdot \alpha_1 \cdot П$; $П_3 = (1-\alpha)(1-\alpha_1) \cdot П$;

$$Q_1 = Q_2 \cdot r;\ Q_2 = Q_3 \cdot r.$$

Начальное значени $\overline{\alpha}$ =9 ($\alpha = \alpha_1$=1, $r = r_1$ =3).

При $\alpha=\alpha_1$=0.7 ; $r=r_1$=3, имеем $\overline{\alpha}$=2.14, т.е. параметр $\overline{\alpha}$ уменьшается в 4.2 раза.

При выполнении обработки в четыре операции

$$\begin{aligned} \overline{\alpha} &= \alpha + r \cdot (1-\alpha) \cdot \alpha_1 + r \cdot r_1 \cdot (1-\alpha) \cdot (1-\alpha_1) \cdot \alpha_2 + \\ &+ r \cdot r_1 \cdot r_2 \cdot (1-\alpha) \cdot (1-\alpha_2) \cdot (1-\alpha_3) \end{aligned},$$

где $П_4 = (1-\alpha) \cdot (1-\alpha_1) \cdot (1-\alpha_2) П$; $Q_3 = Q_4 \cdot r_2$.

Принимая $\alpha = \alpha_1 = \alpha_2$=0.7 ; $r = r_1 = r_2$ =3, имеем $\overline{\alpha}$=2.63. Начальное значение $\overline{\alpha}$=27 ($\alpha = \alpha_1 = \alpha_2$=1; $r = r_1 = r_2$ =3) .

Список литературы:

1. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов.-М.: Машиностроение, 1975.-344с.
2. Теоретические основы резания и шлифования материалов: Учебн. пособие / А.В.Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, Б.С. Серов, А.А. Якимов – Одесса: ОГПУ, 1999.-450с.