

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

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

*Theoretically motivated guidelines of raising efficiency of technology
of machine building.*

Снижение себестоимости и повышение производительности и качества обработки – основные проблемные вопросы технологии машиностроения. К настоящему времени накоплен огромный опыт их решения. Существует множество технических решений, связанных с созданием прогрессивных методов обработки, инструментов, оборудования, оснастки, сложных технологических автоматизированных систем и т.д. Для анализа их возможностей рассмотрим аналитическую зависимость для расчета себестоимости обработки, учитывающую две изменяющиеся статьи затрат, связанные с заработной платой рабочего и стоимостью израсходованных инструментов:

$$C = N \cdot \tau \cdot S_{\text{час}} \cdot K_{\text{д}} + M \cdot Ц, \quad (1)$$

где N - годовая программа выпуска изделий; $\tau = \tau_1 + \tau_2$ - время обработки изделия, с; τ_1, τ_2 - основное и вспомогательное время обработки изделия, с; $S_{\text{час}}$ - тарифная ставка рабочего; $K_{\text{д}}$ - коэффициент, учитывающий всевозможные начисления на тарифную ставку рабочего; M - количество израсходованных инструментов; $Ц$ - цена инструмента.

Принимая $\tau_1 = l/S$, $\tau_2 = 0$, $T = n \cdot \tau_1$, $T = \frac{A}{S^k}$ (где l - длина технологического перехода, м; S - скорость основной подачи, м/с; T - стойкость инструмента, с; n - количество переходов; A, k - параметры, зависящие от условий обработки, устанавливаются экспериментально, с

учетом $M = \frac{N}{n}$ и

$$n = \frac{A}{l} \cdot \frac{l}{S^{\kappa-1}}, \text{ имеем}$$

$$C = N \cdot l \cdot \left(\frac{S_{\text{час}} \cdot K_{\partial}}{S} + \frac{\Pi}{A} \cdot S^{\kappa-1} \right). \quad (2)$$

В зависимости от показателя степени κ себестоимость C с увеличением S может уменьшаться ($\kappa \leq 1$) или изменяться по экстремальной зависимости ($\kappa > 1$), проходя точку минимума. В последнем случае экстремальное значение подачи $S_{\text{экс}}$ определяется из условия $C'_S = 0$, тогда

$$S_{\text{экс}} = \left[\frac{S_{\text{час}} \cdot A \cdot K_{\partial}}{(\kappa - 1) \cdot \Pi} \right]^{\frac{1}{\kappa}}. \quad (3)$$

Экстремальное (минимальное) значение себестоимости обработки $C_{\text{экс}}$ равно

$$C_{\text{экс}} = N \cdot l \cdot S_{\text{час}} \cdot K_{\partial} \cdot \frac{\kappa}{(\kappa - 1)} \cdot \left[\frac{(\kappa - 1) \cdot \Pi}{S_{\text{час}} \cdot K_{\partial} \cdot A} \right]^{\frac{1}{\kappa}}. \quad (4)$$

Влияние параметров N и l на $C_{\text{экс}}$ более значительно, чем параметров $S_{\text{час}}$, K_{∂} , Π и A при $\kappa > 1$. 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 (4) 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. Зависимость (4) опишется

$$C_{\text{экс}} = N \cdot l \cdot S_{\text{час}} \cdot K_{\partial} \cdot \frac{\kappa}{(\kappa - 1)} \cdot \left[\frac{(\kappa - 1) \cdot \Pi}{S_{\text{час}} \cdot K_{\partial} \cdot A} \right]^{\frac{1}{\kappa}} + \Pi_1 + \Pi_2. \quad (5)$$

Если стоимость технологической оснастки Π_2 преобладает в (5), то ее существенное уменьшение (практически до уровня стоимости управляющих программ) позволит уменьшить себестоимость обработки $C_{экс}$ даже при относительно небольшой программе изделий N . Следовательно, станки с ЧПУ эффективно применять при изготовлении сложных деталей (эффект создается за счет оптимизации траекторий движения инструмента и уменьшения l) и при изготовлении небольших партий деталей (эффект создается за счет уменьшения затрат на технологическую оснастку).

Согласно зависимости (4), уменьшить $C_{экс}$ можно уменьшением соотношения Π/A , т.е. уменьшением стоимости инструмента (или его переточки) и повышением его эксплуатационных характеристик (обобщенно определяемых параметром A) путем применения эффективных смазочно – охлаждающих технологических сред, упрочнения инструмента, оптимизации режимов резания и т.д. Эффективно применение прогрессивных высокопроизводительных технологий и инструментов, обеспечивающих уменьшение соотношения Π/A .

Представим зависимость (1) в виде

$$C = N \cdot (\tau_1 + \tau_2) \cdot S_{\text{час}} \cdot K_d + N \cdot l \cdot \frac{\Pi}{A} \cdot S^{k-1} \quad (6)$$

Важным условием уменьшения C является уменьшение вспомогательного времени обработки τ_2 за счет применения станков – автоматов. Однако при этом в (6) необходимо ввести третье слагаемое Π_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, так как они обеспечивают снижение вспомогательного времени обработки τ_2 .

Уменьшить себестоимость обработки можно применением многоинструментных станков. Зависимость (6) с учетом стоимости станка Π_3 примет вид

$$C = N \cdot (\tau_1 + \tau_2) \cdot S_{\text{час}} \cdot K_d + N \cdot l \cdot \frac{\Pi}{A} \cdot S^{k-1} + \Pi_3 \quad (7)$$

где $N_1 = \frac{N}{z}$; z - количество одновременно работающих инструментов. Уменьшение C происходит в том случае, если третье слагаемое меньше суммы первых двух, т.е. при больших значениях N .

Принимая $\tau_2 = 0$, $\tau_1 = \frac{l}{S}$, зависимость (7) опишется

$$C = N \cdot l \cdot \left(\frac{S_{\text{час}} \cdot K_d}{z \cdot S} + \frac{Ц}{A} \cdot S^{k-1} \right) + Ц_3. \quad (8)$$

Экстремальные значения $S_{\text{экс}}$ и $C_{\text{экс}}$ равны

$$S_{\text{экс}} = \left[\frac{S_{\text{час}} \cdot A \cdot K_d}{(k-1) \cdot z \cdot Ц} \right]^{\frac{1}{k}}, \quad (9)$$

$$C_{\text{экс}} = N \cdot l \cdot S_{\text{час}} \cdot K_d \cdot \frac{1}{z} \cdot \frac{k}{(k-1)} \cdot \left[\frac{(k-1) \cdot z \cdot Ц}{S_{\text{час}} \cdot K_d \cdot A} \right]^{\frac{1}{k}} + Ц_3. \quad (10)$$

Значения $S_{\text{экс}}$ и $C_{\text{экс}}$ тем меньше, чем больше z . Очевидно, для каждого значения N существуют оптимальные значения z и $Ц_3$, определяющие характеристики многоинструментного станка.

Данный анализ справедлив для $k > 1$. Для $k \leq 1$, согласно зависимости (2), экстремум функции C от S отсутствует: себестоимость C с увеличением S непрерывно уменьшается. Ограничениями увеличения S могут быть требования по качеству и точности обработки. Определить оптимальную подачу S можно на основе оптимизации режимов резания с учетом ограничений, например, по шероховатости и точности обработки, остаточным напряжениям в поверхностном слое детали и т.д.