

УДК 621.9: 658.5

И. А. Петряева, ассист., **Т. Г. Ивченко**, канд. техн. наук, доц.
Донецкий национальный технический университет
Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ЧИСТОВОГО ТОЧЕНИЯ НА ОСНОВАНИИ МУЛЬТИПЛИКАТИВНОЙ СВЕРТКИ КРИТЕРИЕВ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И СЕБЕСТОИМОСТИ

Представлены результаты многокритериальной оптимизации режимов чистового точения по критериям максимальной производительности, минимальной себестоимости и их мультипликативной свертки. Для оптимизации режимов резания по свертке критериев производительности и себестоимости использован метод геометрического программирования. Установлены аналитические зависимости оптимальных подач и скоростей резания от параметров процесса чистового точения, обеспечивающие наилучшее сочетание критериев производительности и себестоимости. Обоснованы коэффициенты взаимосвязи между режимами резания, рассчитанными по различным критериям оптимизации.

Ключевые слова: *точение, скорость, подача, производительность, себестоимость, оптимизация*

I.A. Petryaeva, T.G. Ivchenko

OPTIMIZATION OF CLEAN TURNING REGIMES ON FOUNDATION OF MULTIPLICATIVE ASSOCIATION OF THE PRODUCTIVITY AND PRIME PRICE CRITERIA

The results of multicriterion optimization of the clean turning regimes on the criteria of burst performance, minimum prime price and their multiplicative association are expected. For optimization of the cutting regimes on association of criteria of the productivity and prime price, the method of the geometrical programming is used. Analytical dependences of optimum feeds and cutting speeds from the parameters of process of the clean turning are set, providing the best combination of the productivity and prime price criteria. The coefficients of intercommunication between of the cutting regimes, expected on the different criteria of optimization, are grounded.

Key words: *clean turning, cutting speed, feed, productivity, prime price, optimization*

1. Введение

Задачи повышения производительности и снижения себестоимости механической обработки в машиностроительном производстве достаточно успешно решаются на основе оптимизации процессов резания. В связи с этим, представленная работа, посвященная совершенствованию методик оптимизации режимов резания, весьма актуальна.

В настоящее время достаточно хорошо разработаны методы двухпараметрической оптимизации скоростей резания и подач по критериям максимальной производительности или минимальной себестоимости, использующие методы линейного (МЛП) и геометрического (МГП) программирования [1, 2]. Однако эти методы позволяют решать лишь задачи однокритериальной оптимизации режимов резания.

Сравнительный анализ оптимальных режимов резания, рассчитанных по критерию максимальной производительности на основе МЛП и по критерию минимальной себестоимости на основе МГП [3, 4], свидетельствует о существенном различии оптимальных по различным критериям режимов резания. Обеспечивая за счет выбора оптимальных режимов экстремальный уровень одного из критериев, мы существенно ухудшаем другой. Современные тенденции в оптимизации режимов резания направлены на решение многокритериальных задач, обеспечивающих одновременное улучшение параметров обработки по различным критериям.

Одним из направлений многокритериальной оптимизации является использование мультипликативной свертки критериев, позволяющих различные критерии оптимизации привести к единому критерию, обеспечивающему наилучшее сочетание каждого из них [5]. Методика оптимизация режимов резания с использованием МГП, представленная в этой работе, дает аналитическое решение для определения оптимальных режимов резания при черновом растачивании. Представляет интерес дальнейшее развитие указанной методики применительно к задачам многокритериальной оптимизации режимов чистового точения и других видов обработки

Цель представляемой работы – совершенствование методики определения оптимальных режимов чистового точения на основании мультипликативной свертки критериев максимальной производительности и минимальной себестоимости обработки.

2. Основное содержание и результаты работы

При решении задач оптимизации в качестве основных критериев оптимизации принимаются переменные части производительности P и себестоимости C , зависящие от режимов резания. Целевые функции, выражающая зависимость критериев от скорости резания V , и подачи S представляются в виде:

$$P = VS \rightarrow \max, C = V^{-1}S^{-1} + MV^{k_V} S^{k_S}, \quad (1)$$

где $M = (t_c + A_u/A)(t^{x_v}/C_V K_V)^{1/m}$; $k_V = 1/m - 1$; $k_S = y_v/m - 1$; A – стоимость станко - минуты, A_u – стоимость одного периода стойкости инструмента; t_c – время смены инструмента; C_V, K_V – коэффициенты и x_v, y_v, m – показатели, характеризующие степень влияния глубины t , подачи S и стойкости T на скорость резания V .

Оптимальная подача при чистовом точении S_o , независимо от критерия оптимизации и определяется, исходя из требуемой шероховатости обработанной поверхности R_a .

Оптимальные скорости резания определяются с учетом критерия оптимизации: V_{oP} – для критерия максимальной производительности, V_{oC} – для критерия минимальной себестоимости.

$$S_o = (R_a/C_R K_R)^{1/y_r}; V_{oP} = C_V K_V / T^m t^{x_v} S_o^{y_v}; V_{oC} = (m/(1-m)M)^m S_o^{y_v}, \quad (2)$$

где C_R, K_R – коэффициенты и y_r - показатель степени, учитывающий влияние подачи на шероховатость обработанной поверхности;

Примеры определения оптимальных скоростей резания и подач приведены для чистового точения конструкционной стали 45 резцами Т15К6 (передний угол $\gamma = 0^\circ$; главный угол резца в плане $\varphi = 45^\circ$, радиус при вершине $r = 1$ мм); глубина резания $t = 1$ мм; стоимость станкоминуты $A = 5$ коп/мин; стоимость 1 периода стойкости инструмента $A_u = 50$ коп/период; время смены инструмента $t_c = 5$ мин; требуемая шероховатость обработанной поверхности $R_a = 2,5$ мкм.

Принятые значения параметров: $C_V = 420$; $K_V = 1$; $x_v = 0,15$; $y_v = 0,2$; $m = 0,2$; $C_R = 15$; $K_R = 1$; $y_r = 1,5$.

Для заданных условий обработки оптимальные режимы резания: $S_o = 0,22$ мм/об; $V_{oP} = 330$ м/мин; $V_{oC} = 250$ м/мин.

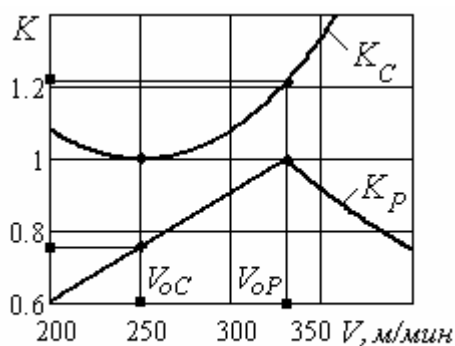


Рис. 1. Зависимость коэффициентов изменения производительности и себестоимости обработки от скорости резания

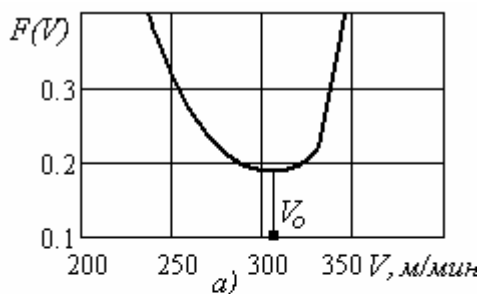
Графики изменения целевых функций (1) в зависимости от скорости резания при значении подачи $S = S_o$ (рис. 1) целесообразно представить в относительном виде, что позволяет выполнить сравнительный анализ различных целевых функций - производительности и себестоимости:

$$K_P = \frac{VS}{V_{oP}S_o} = \begin{cases} V/V_o, & V \leq V_{oP}; \\ (V/V_o)^{(1-1/y_v)}, & V \geq V_{oP}. \end{cases} \quad (3)$$

$$K_C = \frac{V^{-1}S^{-1} + MV^{k_v}S^{k_s}}{V_{oC}^{-1}S_o^{-1} + MV_{oC}^{k_v}S_o^{k_s}}. \quad (4)$$

Графики иллюстрируют характер изменения целевых функций и наличие экстремумов: минимума у функции себестоимости K_C и максимума у функции производительности K_P . Обеспечивая за счет выбора оптимальной по себестоимости скорости резания V_{oC} минимум себестоимости ($K_C(V_{oC}) = 1$), получаем снижение производительности в 1,32 раза ($K_P(V_{oC}) = 0,76$). Выбирая скорость резания V_{oP} , оптимальную по производительности, обеспечиваем максимум производительности ($K_P(V_{oP}) = 1$), но получаем повышение себестоимости в 1,21 раза ($K_C(V_{oP}) = 1,21$). То есть, обеспечивая экстремальный уровень одного из критериев, мы существенно ухудшаем другой.

Минимальных потерь каждой из целевых функций - производительности и себестоимости можно достичь, рассмотрев относительную функцию изменения разности $F(V)$ и исследовав ее на наличие экстремума:



$$F(V) = \frac{K_C(V) - K_P(V)}{K_P(V)}; \quad (5)$$

$$F(V) = \left(\frac{V^{-1}S^{-1} + MV^{k_v}S^{k_s}}{V_{oC}^{-1}S_o^{-1} + MV_{oC}^{k_v}S_o^{k_s}} \right) \frac{V_{oP}S_o}{VS} - 1. \quad (6)$$

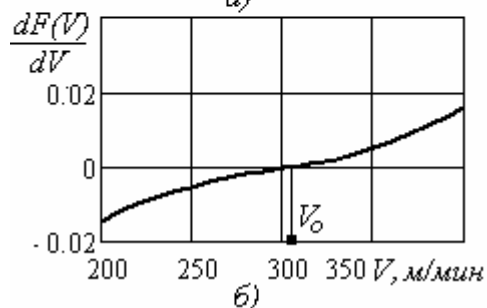


Рис. 2. Графики зависимости функции $F(V)$ - а) и ее производной - б) от скорости резания

Графики функции $F(V)$ и ее производной $dF(V)/dV$, представленные на рис. 2, свидетельствуют о том, что исследуемая функция имеет экстремум и существует значение скорости резания, его обеспечивающее. Численными методами решения уравнения $dF(V)/dV = 0$ установлено значение $V_o = 304$ м/мин.

При выборе этой скорости резания обеспечивается наилучшее сочетание критериев производительности и себестоимости - потери каждого из них будут минимальными, что подтверждается проведенными исследованиями.

Для решения задачи оптимизации и получения аналитических зависимостей режимов резания от условий обработки, необходимо преобразовать функцию $F(V)$, исключив из нее постоянные параметры. В этом случае критерий оптимизации будет представлять собой мультипликативную свертку критериев, а именно – отношение критериев себестоимости и производительности, а целевая функция имеет вид

$$C_M = V^{-2} S^{-2} + M V^{k_V - 1} S^{k_S - 1}, \quad (7)$$

Оптимальные подача S_{o2} и скорость резания V_{o2} определяются с использованием МГП в результате решения системы линейных уравнений:

$$\begin{cases} V(W)W_{01} = V^{-2} S^{-2}; \\ V(W)W_{02} = M V^{k_V - 1} S^{k_S - 1}, \end{cases} \quad (8)$$

где $V(W) = (1/W_{01})^{w_{01}} (M/W_{02})^{w_{02}} C_1^{w_{11}}$ – специальная функция; W_{01}, W_{01}, W_{11} – коэффициенты весомостей, определяемые из системы линейных уравнений:

$$\begin{cases} W_{01} + W_{02} = 1; \\ -2W_{01} + (k_V - 1)W_{02} = 0; \\ -2W_{01} + (k_S - 1)W_{02} + y_r W_{11} = 0. \end{cases} \quad (9)$$

Решение этой системы:

$$W_{01} = \frac{k_V - 1}{k_V + 1}; W_{02} = \frac{2}{k_V + 1}; W_{11} = \frac{2(k_V - k_S)}{(1 + k_V)y_r}. \quad (10)$$

С учетом преобразований $W_{01} = 1 - 2m$, $W_{02} = 2m$, $W_{11} = 2(1 - y_r)/y_r$.

В результате решения системы (8) и подстановки рассчитанных значений коэффициентов весомостей W_{01}, W_{01}, W_{11} , определяются оптимальные подача S_o и скорость резания V_o :

$$S_o = (R_a / C_R K_R)^{1/y_r}; V_{oM} = (2m / (1 - 2m) M)^m S_o^{-y_v}. \quad (11)$$

Для заданных ранее условий обработки оптимальные по мультипликативной свертке критериев производительности и себестоимости режимы резания: $S_o = 0,22$ мм/об; $V_{oM} = 304$ м/мин. Полученное аналитическим путем значение оптимальной скорости резания V_{oM} соответствует рассчитанному ранее численным методом значению V_o , что подтверждает правильность расчетов.

В результате сравнения аналитических зависимостей для расчета оптимальных скоростей резания (2) и (11) установлено, что оптимальная по себестоимости скорость резания меньше скорости, оптимальной по производительности (коэффициент изменения K_{VC}); оптимальная по мультипликативной свертке критериев скорость резания

меньше скорости резания, оптимальной по производительности (коэффициент изменения K_{VM}):

$$K_{VC} = \frac{V_{oC}}{V_{oP}} = \left[\frac{mT}{(1-m)(t_c + A_u/A)} \right]^m ; K_{VM} = \frac{V_{oM}}{V_{oP}} = \left[\frac{2mT}{(1-2m)(t_c + A_u/A)} \right]^m . \quad (12)$$

Таким образом, рассчитав оптимальную по производительности скорость резания V_{oP} , можно установить оптимальные по другим критериям скорости резания достаточно простым расчетом: $V_{oC} = K_{VC} V_{oP}$, $V_{oM} = K_{VM} V_{oP}$.

Заключение

Обосновано существование критерия оптимизации, обеспечивающие наилучшее сочетание критериев производительности и себестоимости, представляющего собой мультипликативную свертку этих критериев, а именно – отношение критериев себестоимости и производительности

С использованием метода геометрического программирования установлены аналитические зависимости оптимальных подач и скоростей резания от параметров процесса чистового точения, обеспечивающие минимальное значение мультипликативной свертки критериев производительности и себестоимости. Обоснованы коэффициенты взаимосвязи между режимами резания, рассчитанными по различным критериям оптимизации.

Представленная методика позволяет для любых условий точения выполнять расчеты оптимальных режимов резания по мультипликативному критерию, обеспечивающему наилучшее сочетание критериев максимальной производительности и минимальной себестоимости обработки. Разработанная методика определения оптимальных режимов резания может быть использована для любых видов обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оптимизация и управление процессом резания: / О. С. Кроль, Г. Л. Хмеловский. – К.: УМК ВО, 1991. – 140с.
2. Ивченко Т. Г. Использование метода геометрического программирования для расчета оптимальных режимов резания при точении / Т. Г.Ивченко // Научный вестник ДГМА. – Краматорск: ДГМА, 2011. – №2 (8 Е). – С.110–116.
3. Івченко Т. Г., Полякова Є. В. Двохкритеріальна оптимізація режимів різання під час обробки чавунів інструментами з надтвердих матеріалів / Т. Г. Івченко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2011. – №. 41. – С.152–158.
4. Ивченко Т. Г. Повышение эффективности тонкого точения закаленных сталей за счет оптимизации режимов резания / Т. Г. Ивченко, Е. О. Лыхманюк // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Донецк: ДонНТУ, 2014. – №. (50). – С.107–112.
5. Ивченко Т. Г. Использование мультипликативных критериев при оптимизации режимов резания / Т. Г. Ивченко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – Краматорськ, ДДМА. – №30, 2012. – С.325–330.

Поступила в редколлегию 10.12.2015 г.