

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА ОСНОВЕ МУЛЬТИПЛИКАТИВНОЙ СВЕРТКИ КРИТЕРИЕВ

Король К. О., Ивченко Т.Г. (ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Современные тенденции в оптимизации режимов резания направлены на решение многокритериальных задач, обеспечивающих одновременное улучшение параметров обработки по различным критериям [1, 2]. Одним из направлений многокритериальной оптимизации является использование мультипликативной свертки критериев, позволяющих различные критерии оптимизации привести к единому критерию, обеспечивающему наилучшее сочетание каждого из них.

Для практического использования представляет интерес возможность выполнения аналитических расчетов оптимальных режимов резания, что достаточно просто обеспечивается методом геометрического программирования. Методика оптимизация режимов резания с использованием МГП, представленная в работе [3], дает аналитическое решение для определения оптимальных режимов резания при точении по критерию минимальной себестоимости. Представляет интерес дальнейшее развитие МГП применительно к задачам многокритериальной оптимизации с применением мультипликативных критериев.

Цель представляемой работы – с использованием МГП разработать методику определения оптимальных режимов резания по мультипликативному критерию, обеспечивающему наилучшее сочетание критериев максимальной производительности и минимальной себестоимости обработки точением.

В представляемой работе в качестве критерия оптимизации принимается переменная часть себестоимости обработки детали режущим инструментом, зависящая от режимов резания, отнесенная к производительности обработки, выраженной площадью обработанной поверхности:

$$\tilde{N} = (At_o + At_{\tilde{n}}t_o/T)nS, \quad (1)$$

где A - себестоимость станко - минуты, t_o - основное время обработки; t_c - время смены инструмента; T - стойкость инструмента, S – подача; n – частота вращения детали.

При решении задачи двухпараметрической оптимизации, то есть определения оптимальных значений скорости резания и подачи с заданной глубиной резания в условиях однопроходной обработки, целевая функция, с учетом известных соотношений основного времени обработки и стойкости инструмента с режимами, имеет вид:

$$C = V^{-2}S^{-2} + MV^{k_V-1}S^{k_S-1}, \quad (2)$$

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

Для чернового точения наиболее распространенным является ограничение по прочности пластины режущего инструмента:

$$C_1S^{y_p} \leq 1, \quad (3)$$

где коэффициент для точения $C_1 = C_P K_P t^{x_p} / 34 \tilde{n}^{1.35} t^{0.77} (\sin 60^\circ / \sin \varphi)^{0.8}$;

c – толщина пластины φ - главный угол в плане; C_P, K_P - коэффициенты и x_p, y_p – показатели, характеризующие степень влияния глубины и подачи на силу резания P_z , определяемые в зависимости от условий обработки.

Для чернового и чистового растачивания в связи с возможным значительным вылетом державки расточного инструмента необходимо учитывать ограничение по жесткости режущего инструмента:

$$C_2 S^{y_p} \leq 1, \quad (4)$$

где коэффициент для растачивания $C_2 = 4 C_P K_P t^{x_p} l^3 / f_p E d^4$;

l - вылет державки резца; d – диаметр оправки (размер державки резца); E - модуль упругости материала державки резца; f_p - допустимая стрела прогиба резца: для черновой обработки $f_p = 0,1$ мм; для чистовой - $f_p = 0,05 \dots 0,03$ мм.

Для чистового точения и растачивания необходимо учитывать ограничение по предельно допустимой шероховатости обработанной поверхности R_a :

$$C_3 S^{k_1} V^{k_3} \leq 1, \quad (5)$$

где коэффициент для чистового точения и растачивания $C_3 = k_0 r^{k_2} / R_a$;

k_0, k_1, k_2, k_3 – коэффициент и показатели, характеризующие степень влияния подачи S , радиуса при вершине r , скорости V на шероховатость обработанной поверхности R_a : k_0, k_1, k_2, k_3 – коэффициент и показатели, характеризующие степень влияния подачи S , радиуса при вершине r , скорости V на шероховатость обработанной поверхности R_a :

Математическая модель задачи оптимизации скорости резания и подачи при точении представляется следующим образом:

1) прямая задача МГП - минимизировать

$$g(V, S) = V^{-2} S^{-2} + M V^{k_V - 1} S^{k_S - 1} \quad (6)$$

при ограничениях $V > 0, S > 0, M > 0$;

2) двойственная задача МГП - максимизировать

$$V(W) = (1/W_{01})^{w_{01}} (M/W_{02})^{w_{02}} C_i^{W_{11}} \quad (7)$$

при ограничениях по прочности пластины и жесткости режущего инструмента

$$\begin{aligned} W_{01} + W_{02} &= 1; \\ -2W_{01} + (k_V - 1)W_{02} &= 0; \\ -2W_{01} + (k_S - 1)W_{02} + y_p W_{11} &= 0. \end{aligned} \quad (8)$$

по предельно допустимой шероховатости обработанной поверхности

$$\begin{aligned}
W_{01} + W_{02} &= 1; \\
-2W_{01} + (k_V - 1)W_{02} + k_3W_{11} &= 0; \\
-2W_{01} + (k_S - 1)W_{02} + k_1W_{11} &= 0.
\end{aligned} \tag{9}$$

Согласно МГП на первом этапе оптимизации скорости резания и подачи решается система линейных уравнений для определения коэффициентов весоностей W_{01}, W_{02}, W_{11} .

Для черновой обработки:

$$W_{01} = 1 - 2m; \quad W_{02} = 2m; \quad W_{11} = \frac{(1 - 2m)y_v + 2m - y_v}{my_p}. \tag{10}$$

Для чистовой обработки:

$$\begin{aligned}
W_{01} &= \frac{(k_S - 1)k_3 - (k_V - 1)k_1}{(k_S - 1)k_3 - (k_V - 1)k_1 + k_3 - k_1}; \\
W_{02} &= \frac{k_3 - k_1}{(k_S - 1)k_3 - (k_V - 1)k_1 + k_3 - k_1}; \quad W_{11} = \frac{W_{01}k_V - (k_V - 1)y_v}{k_3}.
\end{aligned} \tag{11}$$

Для сравнения представлены результаты расчетов этих коэффициентов для критерия минимальной себестоимости [3]:

$$\begin{aligned}
W_{01} &= 1 - m; \quad W_{02} = m; \quad W_{11} = \frac{1 - y_v}{y_p}. \\
W_{01} &= \frac{k_S k_3 - k_V k_1}{k_S k_3 - k_V k_1 + k_3 - k_1}; \quad W_{02} = \frac{k_3 - k_1}{k_S k_3 - k_V k_1 + k_3 - k_1}; \quad W_{11} = \frac{W_{01}(1 + k_V) - k_V}{k_3}.
\end{aligned}$$

На основании найденного экстремума целевой функции $V(W)$ составляется система линейных уравнений для определения оптимальных режимов резания:

$$\begin{cases} V(W)W_0 \bar{1} = V^{-2}S^{-2}; \\ V(W)W_0 \bar{2} = M W^{-1}S^{k_S-1}. \end{cases} \tag{12}$$

В результате решения этой системы и подставки рассчитанных значений коэффициентов весоностей W_{01}, W_{02}, W_{11} (6), определяются оптимальные подача S_o и скорость резания V_o :

$$S_o = C_{11}^{-1/y_p}; \quad V_o = \left(\frac{2m}{(1-2m)M} \right)^m S_o^{-y_v}; \quad V_{o1} = \left(\frac{2m}{(1-2m)M} \right)^m C_{11}^{\frac{y_v}{y_p}}. \tag{13}$$

Для сравнения представлены результаты расчетов оптимальных подачи S_{o1} и скорости резания V_{o1} для критерия минимальной себестоимости [3]:

$$S_{o1} = C_{11}^{-1/y_p}; \quad V_{o1} = \left(\frac{m}{(1-m)M} \right)^m S_o^{-y_v}; \quad V_{o1} = \left(\frac{m}{(1-m)M} \right)^m C_{11}^{\frac{y_v}{y_p}}.$$

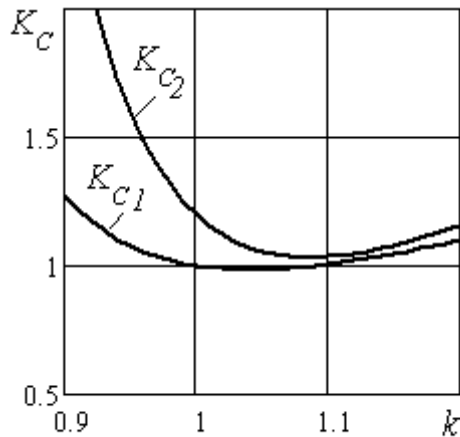


Рис. 1. Зависимость коэффициента изменения себестоимости обработки от степени отклонения режимов резания от оптимальных k

Примеры определения оптимальных скорости резания V и подачи S , обеспечивающих минимальное соотношение себестоимости и производительности, приведены для чернового растачивания основного отверстия корпуса диаметром $D=100\text{мм}$, длиной $L = 250\text{мм}$ из серого чугуна СЧ20 (НВ 190).

Условия чернового растачивания: резцы ВК8 (передний угол $\gamma = 0^\circ$; главный угол резца в плане $\varphi = 45^\circ$); глубина резания $t = 4\text{мм}$; толщина пластины $s = 4,76\text{мм}$; стоимость станкоминуты $A = 5\text{коп/мин}$; стоимость 1 периода стойкости инструмента $A_u = 15\text{ коп/период}$; время смены инструмента $t_c = 1\text{мин}$.

Для заданных условий обработки коэффициенты весомости: $W_{01} = 0,6$; $W_{02} = 0,4$; $W_{11} = 2,13$; оптимальные режимы резания $V_o = 100\text{м/мин}$; $S_o = 0,62\text{мм/об}$.

Для сравнения представлены результаты расчетов оптимальных подачи S_{01} и скорости резания V_{01} для критерия минимальной себестоимости [4]: коэффициенты весомости: $W_{01} = 0,8$; $W_{02} = 0,2$; $W_{11} = 1,07$; оптимальные режимы резания $V_o = 83\text{м/мин}$; $S_o = 0,62\text{мм/об}$.

Коэффициент изменения себестоимости обработки при отклонении выбранных режимов резания от их оптимального значения $S = kS_o$, $V = kV_o$. (k – степень отклонения) [3], представленный на рис. 1, свидетельствует о том, что минимальная себестоимость обработки имеет место при $k = 1$, то есть при оптимальных по себестоимости режимах резания (кривая K_{c1}). При отклонении режимов резания, как в меньшую, так и в большую сторону от оптимальных, себестоимость увеличивается. Рассмотренный мультипликативный критерий (кривая K_{c2}), также как и критерий себестоимости, имеет экстремум – минимум (кривая K_{c2}), однако для этого критерия оптимальные режимы резания, а также себестоимость и производительность обработки выше (в 1,1 раза).

$$K_C = W_{01}k^{1-y_v+y_pW_{11}} + W_{02}k^{-k_V(1-y_v+y_pW_{11})+k_S-k_V} = K_1 + K_2. \quad (14)$$

Таким образом, 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 себестоимость обработки. Разработанная методика определения оптимальных режимов резания может быть использована для любых видов обработки.

Список литературы: 1. Старков В.К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве. - М.: Машиностроение. 1989. - 296с. 2. Оптимизация и управление процессом резания: / О.С. Кроль, Г.Л. Хмеловский. – К.: УМК ВО, 1991. – 140с. 3. 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.