

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СНИЖЕНИЯ СЕБЕСТОИМОСТИ ЧИСТОВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ ТОРЦОВЫМИ ФРЕЗАМИ

Ивченко Т.Г., Жовтяник А.В.

(ДонНТУ, г. Донецк, Украина)

Тел./Факс: +38 (062) 3050104; E-mail: [tm@mech.dgtu.donetsk.ua](mailto:tm@mech.dgtu.donetsk.ua)

**Abstract:** *The optimum regime of the clean treatment by hard-alloy milling cutters is certain with the use of criterion of prime price minimum. Analytical dependences of the optimum feed and cutting speed from the parameters of face milling parameters are set. The quantitative estimation of the possibility of the prime price decline for account of the removal of temperature limitations is executed.*

**Keywords:** *milling, optimization, prime price, speed, feed, temperature.*

Снижение себестоимости изготовления деталей машин – важнейшая задача машиностроительного производства, успешно решаемая с использованием различных методов оптимизации параметров обработки. В связи с этим, представленная работа, посвященная оптимизации режимов торцевого фрезерования, весьма актуальна.

Задача оптимизации режимов резания при черновом и чистовом торцевом фрезеровании по критерию максимальной производительности решена с использованием метода линейного программирования [1]. Методика оптимизации режимов резания по критерию минимальной себестоимости методом геометрического программирования, в том числе с учетом температурных ограничений, достаточно разработана для токарной обработки [2, 3].

Развитие этой методики применительно к торцевому фрезерованию и сравнительный анализ оптимальных по критериям минимальной себестоимости и максимальной производительности режимов резания при торцевом фрезеровании представлены в работе [4] без учета температурных ограничений. Необходимость учета температурных ограничений при чистовом торцевом фрезеровании обоснована теоретическими и экспериментальными исследованиями, свидетельствующими о достаточно высоких температурах резания, существенно превышающих допустимый уровень [5].

Цель работы – определение оптимальных режимов резания, обеспечивающих минимальную себестоимость чистового торцевого фрезерования, и исследование возможностей снижения себестоимости за счет снятия температурных ограничений.

Для решения задачи обеспечения минимальной себестоимости при торцевом фрезеровании в качестве критерия оптимизации принимается переменная часть себестоимости, зависящая от режимов резания:

$$C_o = At_o + At_c t_o / T + A_u t_o / T, \quad (1)$$

где  $A$  – себестоимость станкоминуты;  $A_u$  – стоимость одного периода стойкости инструмента  $T$ ;  $t_o$  – основное время обработки;  $t_c$  – время смены инструмента.

Для определения целевой функции используем известную взаимосвязь стойкости  $T$  с параметрами фрезерования:

$$T = \left( C_V K_V D^{q_v} / V t^{x_v} S_z^{y_v} B^{u_v} z^{p_v} \right)^{1/m}, \quad (2)$$

где  $C_V, K_V$  – коэффициенты,  $m, x_v, y_v, q_v, u_v, p_v$  – показатели, характеризующие степень

влияния стойкости  $T$ , глубины  $t$ , подачи  $S$ , диаметра фрезы  $D$ , ширины фрезерования  $B$  и числа зубьев  $z$  на скорость резания  $V$ .

Основные ограничения при чистовом торцевом фрезеровании: ограничения по шероховатости обработанной поверхности и по температуре резания [1]:

$$R_{ao} \leq C_R S^{y_r}; \Theta_o \geq C_\Theta V^{n_t} S^{y_t} t^{x_t}, \quad (3)$$

где  $C_R$  - коэффициент,  $y_r$  - показатель, характеризующий степень влияния подачи  $S$  на шероховатость обработанной поверхности  $R_a$ ;  $C_\Theta$  - коэффициент,  $n_t$ ,  $y_t$ ,  $x_t$  - показатели, характеризующие степень влияния скорости резания  $V$ , подачи  $S$  и глубины  $t$  на температуру резания  $\Theta$ ;  $R_{ao}$ ,  $\Theta_o$  - допустимые уровни шероховатости и температуры резания.

При решении задачи двухпараметрической оптимизации для определения оптимальных скоростей резания  $V_o$  и подач  $S_o$  с заданной глубиной резания  $t$  в условиях однопроводной обработки с учетом температурных ограничений целевая функция выражается следующим образом [3]:

$$C = V^{-1} S^{-1} + MK_\Theta^{-1/mn_t} V^{k_V} S^{k_S}, \quad (4)$$

где  $M = (t_c + A_u/A) \left( t^{x_v} B^{u_v} z^{p_v} / C_V K_V D^{q_v} \right)^{1/m}$ ;  $k_V = 1/m - 1$ ;  $k_S = y_v/m - 1$ ;  $K_\Theta = \Theta_o/\Theta$  - коэффициент необходимого снижения температуры резания  $\Theta$  при превышении ею допустимого уровня  $\Theta_o$ .

Оптимальные подача  $S_o$  и скорость резания  $V_o$  для чистового фрезерования:

$$S_o = \left( \frac{R_a}{C_R} \right)^{\frac{1}{y_r}}; V_o = \begin{cases} \left( \Theta / C_\Theta t_2^{x_t} S_{o2}^{y_t} \right)^{1/n_t}, & K_{\Theta_o} \leq 1; \\ \left( \frac{m}{1-m} \right)^m \frac{(t_c + A_u/A) C_V K_V D^{q_v}}{t^{x_v} S_{o2}^{y_v} B^{u_v} z^{p_v}}, & K_{\Theta_o} \geq 1; \end{cases}, \quad (5)$$

$$K_{\Theta_o} = \Theta_o / C_\Theta \left( \frac{m}{(1-m)M} \right)^m \left( \frac{C_R}{R_a} \right)^{(y_v n_t - y_t)/y_r} t^{x_t}. \quad (6)$$

Пример определения оптимальных режимов резания, приведен для следующих условия: обрабатываемый материал сталь 45; торцевые фрезы Т15К6 (главный угол в плане  $\varphi = 67^\circ$ , вспомогательный угол в плане  $\varphi_l = 5^\circ$ , радиус при вершине  $r = 1$ мм); диаметр фрезы  $D = 125$ мм, ширина фрезерования  $B = 100$ мм; глубина резания  $t = 1$ мм; шероховатость поверхности  $R_a = 1,25$ мкм.

Для учета ограничений приняты следующие зависимости температуры резания  $\Theta$  и шероховатости обработанной поверхности от режимов обработки [1]:

$$\Theta = 302,4 V^{0.23} S^{0.21}; R_a = 11,6 S^{1.62}. \quad (7)$$

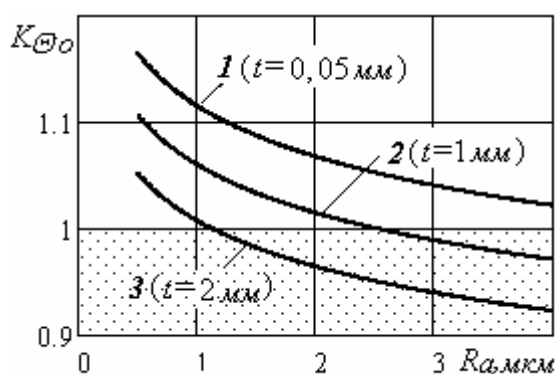


Рис. 1. Графики граничных значений коэффициентов снижения температуры резания  $K_{\Theta}$  в зависимости от шероховатости обработанной поверхности  $R_a$

Графики граничных значений коэффициентов снижения температуры резания  $K_{\Theta}$ , свидетельствующие о необходимости учета температурных ограничений, в зависимости от шероховатости поверхности  $R_a$  представлены на рис.1. Температурные ограничения необходимо учитывать в той области, где граничные значения коэффициентов  $K_{\Theta}$  не превышают 1.

С увеличением шероховатости поверхности коэффициентов  $K_{\Theta}$  уменьшается. Граничное значение шероховатости обработанной поверхности  $R_{ao}$ , при достижении которого необходимо учитывать температурное ограничение:

$$R_{ao} = C_R \left[ \left( C_{\Theta} t^{x_t} / \Theta_o \right) (m / (1 - m) M)^m \right]^{y_r / (y_v n_t - y_t)}. \quad (8)$$

Графики зависимости оптимальных значений подачи  $S_o$  и скорости резания  $V_o$  от шероховатости обработанной поверхности  $R_a$  для различных радиусов при вершине лезвия фрезы  $r$  представленные на рис. 2, позволяют регламентировать оптимальные режимы чистового фрезерования.

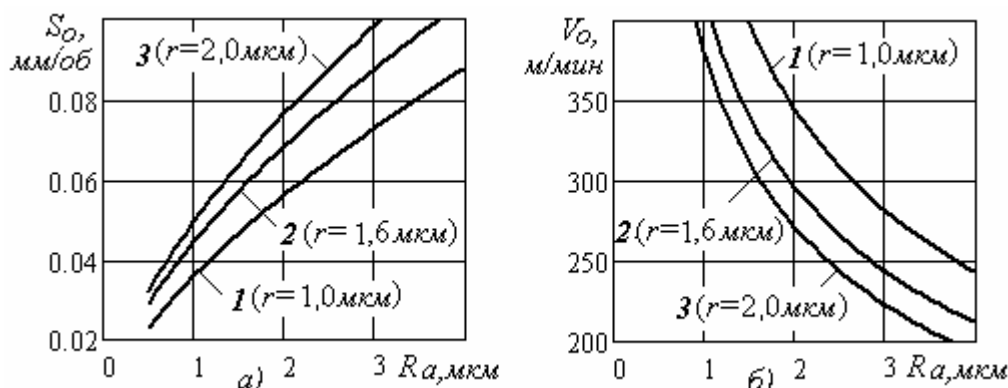


Рис. 2. Графики зависимости оптимальных значений подачи  $S_o$  – а) и скорости резания  $V_o$  – б) от шероховатости обработанной поверхности  $R_a$  при чистовом торцевом фрезеровании для различных радиусов при вершине  $r$

Для заданных условий обработки оптимальные режимы резания при чистовом фрезеровании определяются без учета температурных ограничений:  $S_o = 0,05$ мм/зуб;  $V_o = 317$ м/мин ( $K_{\Theta 2} = 1,04$ ).

В этих же условиях при изменении требуемого уровня шероховатости от  $R_a = 1,25$ мкм до  $R_a = 3,2$ мкм коэффициент снижения температуры резания  $K_{\Theta} = 0,98$ , что свидетельствует о необходимости учета температурных ограничений. В этом случае оптимальная подача  $S_o = 0,09$ мм/зуб, а оптимальная скорость резания  $V_o = 250$ м/мин.

Эффективным способом снижения температур резания является использование смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС). Количественная оценка возможностей снижения себестоимости при снятии температурных ограничений может быть выполнена на основании коэффициента снижения себестоимости  $K_C$ :

$$K_C = \left(1 + MV^{k_V} + 1S^{k_S} + 1\right) / \left(1 + MK_{\Theta}^{-1/mn_t} V^{k_V} + 1S^{k_S} + 1\right). \quad (9)$$

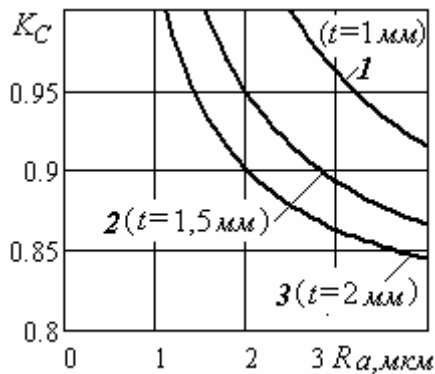


Рис. 3. Графики зависимости коэффициента снижения себестоимости от параметра шероховатости  $R_a$

Обоснованы граничные значения коэффициента необходимого снижения фактической температуры при резании  $\Theta$  в сравнении с ее допустимым уровнем, свидетельствующие о необходимости учета температурных ограничений. Установлено граничное значение шероховатости обработанной поверхности  $R_{a0}$ , при достижении которого необходимо учитывать температурное ограничение:

Для условий чистового фрезерования выполнена оценка возможностей снижения себестоимости при устранении температурных ограничений. Разработанная методика может быть использована для любых видов обработки.

**Список литературы: 1.** Івченко Т.Г. Підвищення продуктивності торцевого фрезерування за рахунок оптимізації режимів різання / Т.Г. Івченко // Прогресивные технологии и системы машиностроения:– Донецк: ДонНТУ, 2012. Вып. 43 . – С.148-155. **2.** Івченко Т.Г. Использование метода геометрического программирования для расчета оптимальных режимов резания при точении / Т.Г. Івченко // Научный вестник ДГМА. – Краматорск: ДГМА, 2011. – №1 (5 Е). – С. 47–52. **3.** Івченко Т.Г. Учет температурных ограничений при оптимизации режимов резания методом геометрического программирования / Т.Г. Івченко // Прогресивные технологии и системы машиностроения:– Донецк: ДонНТУ, 2014. Вып. 1(47). – С.144-148. **4.** Жовтяник А.В., Івченко Т.Г. Оптимизация режимов резания при торцевом фрезеровании по критериям производительности и себестоимости // ИНЖЕНЕР: Студенческий научно – технический журнал / Донецк: ДонНТУ, 2015, № 1(19) - №2(20). - С.22-25. **5.** Івченко Т.Г. Удосконалення методики аналітичного розрахунку температури різання під час торцевого фрезерування // Прогресивные технологии и системы машиностроения:– Донецк: ДонНТУ, 2014. Вып. 3(49). – С.78-84.