

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ В MATHCAD

В статье выполнен анализ существующих рекомендаций по выбору режимов резания для токарной обработки, разработана математическая модель для определения рациональных условий обработки на основе решения линейных целевой функции и ограниченной-неравенств. В качестве целевой функции выбран показатель производительности, а в качестве ограниченной-неравенств - ограничения, связанные с функциональными параметрами и параметрами, определяющими качество обработки.

Ключевые слова: целевая функция, подача резания, скорость резания, ограничения.

A.A.ORIJAN, V.V.STRELBITSKIY, B.O.TKATSHENKO
Odessa national polytechnic university, Odessa

REALIZATION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF RATIONAL CUTTING REGIMES AT TOKAR TREATMENT IN MATHCAD

Determination of optimal cutting conditions is one of the most important technical and economic tasks of modern machine building, since the correctness of their choice depends on the cost, productivity and accuracy of processing, the quality of the surface layer and the operational properties of individual parts and machines in general.

In the current conditions of fierce competition, the enterprise, regardless of the form of ownership, must constantly reduce production costs. For example, the use of modern cutting tools will bring additional profit, only with the use of optimal cutting modes, and reducing the computer time by reducing the main and auxiliary time will lead to a decrease in the consumption of expensive electricity. It should be noted that the solution of the problem of envy from the choice of the objective function and the technical limitations of the controlled parameters.

The parametric optimization of blade machining has recently received a lot of attention. So in [1-9] the optimization mathematical models are presented, which are constructed on the basis of simplified functional dependencies and do not take into account all the necessary restrictions, and as a consequence, do not always correspond to the conditions of accuracy and adequacy.

The authors of [10-13] considered the processing mode, which ensures the lowest cost of processing, provided all requirements for the quality of the product and the given productivity of the machine are satisfied, with a constant value of tool life. Analysis of literature sources showed that it is difficult to find analytical formulas reflecting the interdependence of all factors affecting the cutting process.

The article analyzes the existing recommendations on the choice of cutting modes for turning, a mathematical model is developed to determine the rational processing conditions based on the solution of linear objective function and inequality constraints. The performance indicator is chosen as the objective function, and as constraints-inequalities - the restrictions associated with the functional parameters and parameters that determine the quality of processing.

Using the mathematical calculation algorithm developed in the MathCAD, theoretical studies of the dependence of the main parameters of the cutting regimes n , s of the shaft turning from steel 40X, the length of the machined surface is 300 mm, on the lathe 16K20, by cutting tools made of a hard alloy T15K6 with coolant cooling. The radius at the tip of the tool is $r = 1$ mm.

Keywords: target function, cutting feed, cutting speed, processing constraints..

Постановка проблемы

Определение оптимальных режимов резания является одной из важнейших технико-экономических задач современного машиностроения, так как от правильности их выбора зависят себестоимость, производительность и точность обработки, качество поверхностного слоя и эксплуатационные свойства отдельных деталей и машин в целом.

В современных условиях жесткой конкуренции предприятию, вне зависимости от форм собственности, необходимо постоянно сокращать издержки производства. К примеру, использование современного режущего инструмента принесет дополнительную прибыль, только при использовании оптимальных режимов резания, а сокращение машинного времени за счет снижения основного и вспомогательного времени приведет к уменьшению потребления дорогой электроэнергии. Следует отметить, что решение выше указанной задачи зависти от выбора целевой функции и технических ограничений управляемых параметров.

Анализ последних публикаций

Вопросам параметрической оптимизации лезвийной обработки в последнее время уделяется большое внимание. Так в работах [1-9] представлены оптимизационные математические модели, которые построены на основе упрощенных функциональных зависимостей и не учитывающие все необходимые ограничения, и как следствие, не всегда отвечающие условиям точности и адекватности.

Авторами [10-13] рассмотрен режим обработки, обеспечивающий наименьшую себестоимость обработки при условии удовлетворения всех требований к качеству продукции и заданной производительности станка, при постоянной величине стойкости инструмента.

Однако, как показал анализ литературных источников, что сложно найти аналитические формулы отражающие взаимозависимость всех факторов влияющих на процесс резание.

Целью данной работы является создание уточненной математической модели для исследования рациональных режимов резания при токарной обработке, а также ее решение в Mathcad.

Изложение основного материала

В качестве примера рассмотрим обработка одним резцом наружной поверхности вала диаметром D . Переменными (оптимизируемыми) параметрами являются продольная подача суппорта S и скорость резания V , выраженная через частоту вращения шпинделя n .

Применительно к поставленной задаче в качестве оптимизации целесообразно использовать показатель производительности.

Для построения математической модели вначале запишем ограничения по технологическим возможностям оборудования (\min – минимальное значение, \max – максимальное значение):

$$n_{\min} \leq n \leq n_{\max}; \quad (1)$$

$$S_{\min} \leq S \leq S_{\max}; \quad (2)$$

Определим ограничение по стойкости инструмента.

Так как табличная скорость резания согласно [14]:

$$V_{\dot{0}} = \frac{\tilde{N}_v}{T^m \cdot t^{xv} \cdot S^{yv}} \cdot K_v, \quad (3)$$

где C_x , m , x , y – коэффициент и показатели степени; T – период стойкости резца; $K_v = K_{Mv} \cdot K_{\dot{I}v} \cdot K_{\dot{E}v} \cdot K_{\varphi v} \cdot K_{\dot{I}v}$ – поправочный коэффициент на скорость резания, учитывающий фактические условия резания.

а действительная скорость:

$$V_{\dot{A}} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}. \quad (4)$$

после несложных преобразований формул (3) и (4), получим ограничение:

$$n S^{yv} \leq \frac{1000 \cdot C_v \cdot K_v}{\pi \cdot D \cdot T^m \cdot t^{xv}}. \quad (5)$$

Для определения ограничение по мощности станка, вначале запишем выражение мощности затрачиваемой на процесс резания [14]:

$$N_D = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60} \quad (6)$$

где P_z - окружная составляющая усилия резания, согласно [14]:

$$P_z = C_p \cdot t^{x_p} \cdot S^{y_p} \cdot v^{z_p} \cdot K_p \quad (7)$$

где C_p , K_p , x_p , y_p , z_p , - коэффициенты и показатели степени силы резания:

Тогда условие обработки запишем в виде:

$$N_p \leq N_C \cdot \eta, \quad (8)$$

где N_p – мощность резания; N_C – мощность станка; η – КПД станка.

После подстановки (6), (7) в (8) и последующих преобразований, получим:

$$n^{z_p+1} S^{y_p} \leq \frac{1020 \cdot 60 \cdot 1000^{z_p+1} \cdot N \cdot \eta}{C_p \cdot t^{x_p} \cdot K_p (\pi \cdot D)^{z_p+1}} \quad (9)$$

Сформируем ограничение по прочности слабого звена механизма подачи - режущего инструмента. Для этого представим резец в виде балки, нагруженной на одном конце сосредоточенной силой P_z (окружная составляющая силы резания), на другом – жестко заделанной, тогда:

$$\sigma_u \geq \frac{M_{\dot{e}c} \cdot K_{\dot{c}i}}{W} \quad (10)$$

где σ_u – предел прочности материала державки резца при изгибе; $M_{из}$ – изгибающий момент от действия окружной силы резания; K_{zn} – коэффициент запаса прочности; W – момент сопротивления сечения державки резца.

С учетом того, что изгибающий момент:

в месте закрепления резца определяется по формуле:

$$M_{\dot{e}c} = P_z \cdot l_{\dot{a}\delta}, \quad (11)$$

где $l_{\dot{a}\delta}$ – вылет резца из резцедержателя, мм.

Однако, согласно [14]:

$$M_{\dot{\epsilon}\zeta} = C_p \cdot t^{xp} \cdot s^{yp} \cdot v^{zp} \cdot K_p \cdot l_{\dot{\alpha}\delta}, \quad (12)$$

учитывая то, что поперечное сечения реза имеет прямоугольную форму:

$$W = \frac{BH^2}{6} \quad (13)$$

после подстановок (13), (12), (11) в неравенство (10) и последующих преобразований, получим:

$$n^{zp} s^{yp} \leq \frac{1000^{zp} \cdot B \cdot H^2 \cdot \sigma_{\dot{\epsilon}\zeta}}{6 \cdot \tilde{N}_p \cdot t^{xp} \cdot K_p \cdot \pi^{zp} \cdot D^{zp} \cdot l_{\dot{\alpha}\delta} \cdot K_{\zeta i}} \quad (14)$$

Ограничение по допустимой шероховатости обработанной поверхности обработки [1-9]:

$$Ra = \frac{C_r \cdot Kr \cdot t^{xr} \cdot n^{zr} \cdot s^{yr}}{K1r} \leq Ra_{\dot{a}\ddot{i}\ddot{i}} \quad (16)$$

откуда,

$$n^{zr} \cdot s^{yr} \leq \frac{Ra \cdot K1r}{C_r \cdot Kr \cdot t^{xr}} \quad (17)$$

где $C_r, Kr, K1r, xr, zr, yr$ - постоянные и показатели степеней, зависящие от условий обработки.

Запишем целевую функцию:

$$f = (ns) \rightarrow \max \quad (18)$$

Сведем полученные ограничения и уравнение целевой функции в одну систему.

$$F = \begin{cases} n \geq n_{\min} \\ n \leq n_{\max} \\ S \geq S_{\min} \\ S \leq S_{\max} \\ ns^{yv} \leq \frac{1000 \cdot C_v \cdot K_v}{\pi \cdot D \cdot T^m \cdot t^{xv}} \\ n^{zp+1} s^{yp} \leq \frac{1020 \cdot 60 \cdot 1000^{zp+1} \cdot N \cdot \eta}{C_p \cdot t^{xp} \cdot K_p (\pi \cdot D)^{zp+1}} \\ n^{zp} s^{yp} \leq \frac{1000^{zp} \cdot B \cdot H^2 \cdot \sigma_{\dot{\epsilon}\zeta}}{6 \cdot \tilde{N}_p \cdot t^{xp} \cdot K_p \cdot \pi^{zp} \cdot D^{zp} \cdot l_{\dot{\alpha}\delta} \cdot K_{\zeta i}} \\ n^{zr} \cdot s^{yr} \leq \frac{Ra \cdot K1r}{C_r \cdot Kr \cdot t^{xr}} \\ ns \rightarrow \max \end{cases} \quad (19)$$

Для приведения системы (19) к линейной прологарифмируем каждое уравнение.

Полученная математическая модель F представляет собой универсальную модель процесса резания, а входящие в нее неравенства характеризуют основные технические ограничения, в рамках которых протекает сам процесс.

Обозначив $x_1 = \ln(n)$, $x_2 = \ln(s)$, C_1, C_2, \dots, C_n , - логарифмы правых частей неравенств, получим следующую систему:

$$W \begin{cases} x_2 \geq C_1 \\ x_2 \leq C_2 \\ x_1 \geq C_3 \\ x_1 \leq C_4 \\ x_1 + yv \cdot x_2 \leq C_5 \\ (zp + 1)x_1 + (yp)x_2 \leq C_6 \\ (zp)x_1 + (yp)x_2 \leq C_7 \\ (zr)x_1 + (yr)x_2 \leq C_8 \\ x_1 + x_2 \rightarrow \max \end{cases} \quad (20)$$

Полученная система (20) представляет собой формальное описание процесса токарной обработки, она описывает все важные для решения поставленной задачи связи оптимизируемых параметров с показателями операции и учитывает технологические возможности системы.

На основе приведенной математической модели (20) был разработан алгоритм расчета, который реализован в MathCAD, а также выполнены теоретические исследования зависимости основных параметров режимов резания n , S точения вала, диаметром 70 мм, из стали 40Х, длина обрабатываемой поверхности составляет 300 мм., на токарном станке 16К20 проходными резцами из твердого сплава Т15К6, радиус при вершине 1 мм., с охлаждением СОЖ. Шероховатость обработанной поверхности 3,2 мкм. Результаты расчета сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Зависимость рациональных параметров n и S от глубины резания t

Оптимальные значения параметров резания	Глубина резания t , мм											
	Шероховатость поверхности R_a , мкм											
	<u>0,25</u> 2,5	<u>0,25</u> 3,2	<u>0,25</u> 6,3	<u>0,5</u> 2,5	<u>0,5</u> 3,2	<u>0,5</u> 6,3	<u>0,75</u> 2,5	<u>0,75</u> 3,2	<u>0,75</u> 6,3	<u>1</u> 2,5	<u>1</u> 3,2	<u>1</u> 6,3
S , мм/об	0,22	0,26	0,4	0,19	0,22	0,34	0,17	0,22	0,3	0,16	0,19	0,28
n , об/мм	1034	979	843	988	936	806	963	912	785	945	895	770

Анализ данных в таблице 1 показывает, что полученные значения рациональных n и S лежат в области рекомендуемых [14]. При одной и той же шероховатости с увеличением глубины резания увеличивается подача и уменьшается скорость резания (количество оборотов).

Следует отметить, что предложенная модель и алгоритм может быть реализованы в других системах.

Выводы

В результате выполненных исследований была разработана математическая модель выбора рациональных режимов резания при точении, созданный на ее основе алгоритм и методика расчета в системе Mathcad позволяют существенно повысить производительность проектирования, снизить трудоемкость технологических операций.

Литература

- Капустин Н.М. Разработка технологических процессов обработки деталей на станках с помощью ЭВМ / Н.М. Капустин. – М.: Машиностроение, 1980. – 256 с.
- Сикора Е.А. Оптимизация процессов обработки резанием с применением вычислительных машин / Е.А.Сикора. – М.: Машиностроение, 1983. – 226 с.
- Системы автоматизированного проектирования технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов. / Под ред. С.Н.Корчака. – М.: Машиностроение, 1988. – 352 с.
- Горанский, Г. К. Автоматизация технического нормирования работ на металлорежущих станках с помощью ЭВМ / Г. К. Горанский, Е. В. Владимирова, Л. Н. Ламбин. — М.: Машиностроение, 1970. — 224 с.
- Гильман А.М. Оптимизация режимов обработки на металлорежущих станках/ А.М. Гильман, Л.А. Брахман, Д.И. Батищев. – М.: Машиностроение, 1972. – 188 с.
- Игумнов Б.Н. Расчет оптимальных режимов обработки для станков и автоматических линий. - М.: Машиностроение, 1974. –200 с.
- Оптимизация технологических процессов механической обработки / Э.В. Рыжов, В.И. Аверченков.- Киев: Наук. Думка, 1989.- 192 с.
- Ашманов С.А., Тимохов А.В. Теория оптимизации в задачах и упражнениях.- М.: Наука, 1991.-

448 с.

9. Расчет на ЭВМ оптимальных режимов резания: Методич. указания. Тольяттинский политехн. ин-т /Сост. В.И. Пилинский, В.В. Щипанов. Тольятти, 1990. 34 с.
10. Ящерицын П.И. Основы резания материалов и режущий инструмент/ П.И. Ящерицын, М.Л. Еременко, М.И. Жигалко. – Минск: Выш. школа, 1975. – 528 с.
11. Ящерицын П.И. Основы резания материалов и режущий инструмент/ П.И. Ящерицын, М.Л. Еременко, М.И. Жигалко. – Минск: Выш. школа, 1981. – 560 с.
12. Основы теории резания металлов: Пидручник для вищ. навч закладів/М.П.Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок, В.О. Залого, Ю.К. Новоселов, Ф.Я. Якубов; під заг. ред. М.П. Мазура. – Львів: Новий світ, 2009. – 422 с.
13. Солоненко В.Г. Резание металлов и режущие инструменты: Учебное пособие/ В.Г. Солоненко, А.А. Рыжкин. – М.: ИНФРА-М, 2013. – 416 с.
14. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова.- М.:Машиностроение. 1986.-496 с.
15. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.1 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова.- М.:Машиностроение. 1986.-656 с.

References

1. Kapustin N.M. Razrabotka tehnologicheskikh processov obrabotki detalej na stankah s pomoshh'ju JeVM / N.M. Kapustin. – М.: Mashinostroenie, 1980. – 256 s.
2. Sikora E.A. Optimizacija processov obrabotki rezaniem s primeneniem vychislitel'nyh mashin / E.A.Sikora . – М.: Mashinostroenie, 1983. – 226 s.
3. Sistemy avtomatizirovannogo proektirovanija tehnologicheskikh processov, prispособlenij i rezhushhijh instrumentov. / Pod red. S.N.Korchaka. – М.: Mashinostroenie, 1988. – 352 s.
4. Goranskij, G. K. Avtomatizacija tehničeskogo normirovanija rabot na metallorezhushhijh stankah s pomoshh'ju JeVM / G. K. Goranskij, E. V. Vladimirova, L. N. Lambin. — М.: Mashinostroenie, 1970. — 224 s.
5. Gil'man A.M. Optimizacija rezhimov obrabotki na metallorezhushhijh stankah/ A.M. Gil'man, L.A. Brahman, D.I. Batishhev. – М.: Mashinostroenie, 1972. – 188 s.
6. Igumnov B.N. Raschet optimal'nyh rezhimov obrabotki dlja stankov i avtomaticheskijh linij. - М.: Mashinostroenie, 1974. – 200 s.
7. Optimizacija tehnologicheskikh processov mehanicheskoj obrabotki / Je.V. Ryzhov, V.I. Averchenkov.- Kiev: Nauk. Dumka, 1989.- 192 s.
8. Ashmanov S.A., Timohov A.V. Teorija optimizacii v zadachah i uprazhnenijah.- М.: Nauka, 1991.- 448 s.
9. Raschet na JeVM optimal'nyh rezhimov rezanija: Metodich. ukazanija. Tol'jattinskij politehn. in-t /Sost. V.I. Pilinskij, V.V. Shhipanov. Tol'jatti, 1990. 34 s.
10. Jashhericyн P.I. Osnovy rezanija materialov i rezhushhijh instrument/ P.I. Jashhericyн, M.L. Eremenko, M.I. Zhigalko. – Minsk: Vysh. shkola, 1975. – 528 s.
11. Jashhericyн P.I. Osnovy rezanija materialov i rezhushhijh instrument/ P.I. Jashhericyн, M.L. Eremenko, M.I. Zhigalko. – Minsk: Vysh. shkola, 1981. – 560 s.
12. Osnovi teorii rizannja metaliv:Pidruchnik dlja vishh. navch zakladiv/M.P.Mazur, Ju.M. Vnuков, V.L. Dobroskok, V.O. Zaloga, Ju.K. Новоселов, F.Ja. Jakubov; pid zag. red. M.P. Mazura. – L'viv: Novij svit, 2009. – 422 s.
13. Solonenko V.G. Rezanie metallov i rezhushhie instrumenty: Uchebnoe posobie/ V.G. Solonenko, A.A. Ryzhkin. – М.: INFRA-M, 2013. – 416 s.
14. Spravochnik tehnologa-mashinostroitelja. V 2-h t. T.2 / Pod red. A.G. Kosilovoj i R.K. Meshherjakova.- М.:Mashinostroenie. 1986.- 496 s..
15. Spravochnik tehnologa-mashinostroitelja. V 2-h t. T.1 / Pod red. A.G. Kosilovoj i R.K. Meshherjakova.- М.:Mashinostroenie. 1986.- 656 s..

Рецензія/Peer review : 13.11.2017 р.

Надрукована/Printed :13.01.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією