



МАТЕМАТИЧЕСКИ МОДЕЛ НА ОБРАБОТВАНЕ НА ДЕТАЙЛИ СЪС СЛОЖНА РОТАЦИОННА ФОРМА ВЪРХУ МАШИНИ С ЦПУ

MATHEMATICAL MODELS OF MACHINING PARTS WITH COMPLICATED ROTATION FORM ON CNC MACHINES

Тодор Кузманов^{*}
ТУ-Габрово

Христо Метев
ТУ-Габрово

Калин Крумов
ТУ-Габрово

Статията е постъпила на 20 септември 2013 г.; приета за отпечатване на 14 октомври 2013 г.

Summary:

Increasing the efficiency of lathe machining parts with complex shapes by CNC machines in a non-stationary cutting, based on an optimization of the many passing processing in probabilistic formulation of the problem and the analysis of different variants of cutting the additive is actual task. Solving of this task is possible with the development of a mathematical model for determining the time of cutting, durability and tool wear, as with many passing processing in non-stationary conditions of cutting, so and with variable cutting during the working stroke of the tool.

Key words: model, complex profile surface, non-stationary conditions of cutting, addition, variants of cutting the additive, technologic cost price.

УВОД

Оптимално машиностроително производство е това, при което всеки технологичен процес в него се характеризира с максимална ефективност при задължително получаване на качествена продукция за установен период от време.

Повишаване ефективността на обработването на детайли със сложна форма на машини с ЦПУ в условията на нестационарно (променливо) рязане, базиращо се на оптимизиране на многопроходното обработване при вероятностно формулиране на проблема и анализа на различни варианти на изрязване на прибавката е актуална задача.

Решаването ѝ е възможно с разработването на математически модели за определяне на времето на рязане, трайността и износването на инструмента, при обработване на детайли със сложна форма, както при многопроходно обработване в условията на нестационарно рязане, така и при променливо рязане по време на работния ход на инструмента.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Задачата, свързана с оптимизирането на процеса за механично обработване на детайли, има структурата

$$\begin{cases} C = C(\vec{W}, \vec{Y}, \vec{X}) \rightarrow \min(\max); \\ Y = Y(W, X); \\ Y \in [Y_{\min}, Y_{\max}]; \\ X \in [X_{\min}, X_{\max}] \end{cases}, \quad (1.1)$$

където C е критерий за оптималност, който е функция на входящите измерими, входящите управляващи и изходящите (неизвестни) параметри; $\vec{W}$ - вектор на входящите измерими (първоначални) параметри (коэффициенти и други постоянни параметри за поставената задача), $\vec{Y}$ - вектор на входящите управляващи (променливи) параметри (сила на рязане, мощност, износване и др.), явяващи се функция на първоначалните и променливите параметри; $Y_{\min}, Y_{\max}$ - граници на допустимите значения на фазовите параметри; $\vec{X}$ - вектор на неизвестните (търсени) параметри (скорост на рязане, подаване, дълбочина на рязане и др.); $X_{\min}, X_{\max}$ - граници на вариране на търсените параметри.

Системата (1.1) се използва за оптимизиране на технологичните процеси при механично обработване [4,5,7,13], но използването ѝ за оптимизиране на обработването на детайли със сложна форма върху стругови машини с ЦПУ е трудно и почти невъзможно. Решението на (1.1) е възможно само при известни компоненти на вектора на входящите измерими параметри $\vec{W}$. При струговане на детайли със сложна форма са възможни множество варианти за снемане на общата прибавка и векторът $\vec{W}$ се определя за конкретния вариант

$$\vec{W} = \vec{W}(B),$$

където B е вектор на вариантите на снемане на общата прибавка.

Струговането на ротационни детайли със сложна форма в повечето случаи се явява многопроходно и критерия за оптималност на струговата операция в то-

^{*}Тел. (066 827464), e-mail: tkuzmanov@abv.bg

зи случаи е сумарен и представлява сума от критериите за оптималност на всички проходи, т.е.

$$C = \sum_{i=1}^p C_i \bar{X}, \bar{W}$$

където C_i – критерии за оптималност на $i^{\text{та}}$ проход, p – брой на проходите.

В системата (1.1) се предполага, че търсените параметри (на $\bar{X}$) са постоянни, но при струговането на детайли със сложна форма режима на рязане за един работен ход на инструмента може да бъде променлив, което предполага, че и режимите на рязане при различните ходове могат да бъдат променливи, т.е.

$$X = var.$$

Съществуващите зависимости за определяне на променливите параметри на $\bar{Y}$, по търсените параметри на $\bar{X}$ се явяват функция на постоянни неизвестни величини. Трябва да се намери необходимата зависимост между променливите параметри Y и променливите търсени параметри X .

Физическите явления, съпровождащи реалния процес на рязане на металите, в по-голямата си степен носят вероятностен характер и за това коефициентите в уравненията и неравенствата, описващи този процес, приемат случайни стойности. Функция на случайни величини се явяват и зависимостите за определяне на променливите параметри Y .

В системата (1.1) всички величини са детерминирани и внасят грешка в модела на процеса за обработване чрез рязане. От това следва, че:

$$\begin{aligned} W &= M[W(B)]; \\ Y &= M[Y(W, X)], \end{aligned}$$

където $M[W]$ е математическо очакване на случайния вектор W .

В тази последователност критерия за оптималност се явява функция на случайните изходни и променливи параметри и носи случаен характер. Отчитайки това, че при дадено ниво на вероятност p_v реално полученото значение за C ще бъде, нито по-голямо „>“, нито по-малко „<“ от стойността на C_v определена при решаването на задачи, свързани с параметрите на режимите на рязане

$$P_v[C > C_v, C < C_v] \geq p_v,$$

където $P_v[C]$ е вероятността на събитието C .

Желателно е:

$$\begin{aligned} Y &\in [Y_{min}, Y_{max}] \text{ и} \\ P_v[Y \in [Y_{min}, Y_{max}]] &\geq p_v. \end{aligned}$$

От това следва, че задачата за оптимизация на операцията за обработване на детайли със сложна форма върху стругови машини с ЦПУ може да бъде формулирана така: с отчитане на случайните фактори да се намери такова решение за $X \in [X_{min}, X_{max}]$, което при зададено ниво на вероятност за целевата функция и зададени ограничения, да осигурява оптимално значение на показателя на ефективност C за всички възможни

варианти на многопроходно обработване на детайли със сложна форма.

Структурата на тази задача в общ вид може да бъде представена със системата (1.2)

$$\begin{cases} C = \sum_{i=1}^p C_i \bar{X}, \bar{W} \rightarrow \min(\max); \\ P_v[C > C_v, C < C_v] \geq p_v; \\ C_i = M[C_i(W, Y, X)]; \\ W = M[W(B)]; \\ X = var; \\ Y = M[Y(W, X)]; \\ P_v[Y \in [Y_{min}, Y_{max}]] \geq p_v; \\ X \in [X_{min}, X_{max}] \end{cases} \quad (1.2)$$

Решението на системата (1.2) е по-сложно от това на (1.1), тъй като е доказано, че оптималното решение на една многопроходна операция не е равно на сумата от оптималните решения за всеки един отделен проход.

За да се реши (1.2) е необходимо да се намерят всички необходими зависимости между параметрите на $\bar{X}$ и параметрите на $\bar{Y}$ и след това да се определи оптималното решение за всеки вариант за снемане на прибавката при многопроходно обработване. Сравнявайки резултатите от оптимизацията на всички варианти и отчитайки случайните фактори се намира най-добрият вариант за снемане на прибавката, който е възможно решение на системата (1.2) и да може да се използва като критерий за оптимизация на операцията за механично обработване.

В разработката е разгледана една възможност за определяне целевата функция на операцията струговане на ротационни детайли със сложна форма.

За оценяване на ефективността на технологичните процеси за обработване на детайлите, а също и на отделните операции, в качеството на критерия за оптималност C се използва най-често технологическата себестойност C_T . При определяне на себестойността на операцията (прохода), трябва да се отчитат само разходите зависещи от режимите на рязане – скорост V_c , подаване за оборот f и дълбочина a_p (машинното време и времето за смяна на инструмента).

Някои автори [3,8-10] предлагат зависимости за определяне технологическата себестойност на операцията, отчитайки влиянието върху нея на такива фактори като точност на обработването, нестабилност на входните параметри на заготовката и трайността на инструмента, действието на систематически изменящи се фактори (като размерното износване на инструмента), комплексния подход към понятието трайност и др. Една такава зависимост е:

$$\begin{aligned} C_T &= \{ (R_{M,II} + R_3) (I + \kappa_{IC}) T + \\ &+ [(R_{M,II} + R_3 + R_{3H}) (I + \kappa_{IC}) (\tau_{PIII} b + \tau_{HH} + \tau_{SMI}) + R_{HT}] \} \cdot \\ &\cdot (I + \kappa_{CIII}) / n_T + (R_{M,II} + R_3) \cdot \\ &\cdot (I + \kappa_{IC}) \tau_{PSP} + (R_{M,II} + R_3 + R_{3H}) T_{II} / n \end{aligned} \quad (1.3)$$

където $R_{M,II}$ – разходи за една минута работа на машината и приспособлението, лв./min; R_3 – разходите

за заплати на основните работници за единица време, лв./min; $\kappa_{ИС}$ - коефициент за използване на работното време; T - трайност на инструмента, min; $R_{ЗН}$ - разход за заплатата на настройчика за единица време; $\tau_{РПИ}$ - време за работа на инструмента при една поднастройка, min; $\tau_{НИ}$ - време за размерно настройване на инструмента, min; $\tau_{СМИ}$ - време за смяна на инструмента, min; b - брой на поднастройките на инструмента; $R_{ИТ}$ - разходи за инструменти за периода на трайността, лв.; $\kappa_{СПИ}$ - коефициент, отчитащ случайните повреди на инструмента по време на работа; n_T - броя на детайлите обработвани за периода на трайност, бр.; $\tau_{РСП}$ - ръчно спомагателно време, min; $T_{ПЗ}$ - подготвително заключително време, min, n - брой на детайлите в партидата.

Съставлящите на целевата функция C_T могат да се определят от изразите [10]:

$$\begin{aligned}\tau_{РПИ} &= K_{РПИ} \cdot T_{ПРИ}^{\beta}; \\ \tau_{НИ} &= K_{НИ} \cdot T_{НИ}^{\beta},\end{aligned}\quad (1.4)$$

където $K_{РПИ}$, $K_{НИ}$, β са опитно получени коефициенти, $T_{ПРИ}$ и $T_{НИ}$ - допуски на размерното поднастройкаване и размерно настройване на инструмента, mm.

$$b = \frac{\Delta p}{T_P - \varepsilon_{ПС} - \varepsilon_{ИЗМ} - \varepsilon_{НД} - \varepsilon_{РПИ}} - 1, \quad (1.5)$$

където Δp - величината на изместване на центъра на групиране на размерите за периода на трайност на инструмента T ; T_P - допуск на размера от технологичната база, mm; $\varepsilon_{ПС}$ и $\varepsilon_{ИЗМ}$ - неточности от постоянни систематични грешки и грешки от измерването, mm; $\varepsilon_{НД}$ - неточност от динамичното настройване, mm; $\varepsilon_{РПИ}$ - неточност от размерното настройване и поднастройкаване на системата МПИД, mm.

$$n_T = \frac{F_T}{F_D} \quad (1.6)$$

където F_T - общата площ обработвана за периода на трайност на инструмента T , mm²; F_D - площта от повърхнината на детайла, обработвана при операцията, mm².

Изразът (1.3) за определяне на технологичната себестойност на еднопроходна операция при обработване с постоянен режим на рязане е практически проверен, но използването му в качеството на критерий за оптималност при обработване на детайли със сложна форма не е възможно поради следните причини:

1. Обработването на детайли със сложна форма в повечето случаи е многопроходно и себестойността на многопроходната операция е не само сума от технологичните себестойности на отделните проходи, но съдържа в себе си и загубите, характерни за операцията като цяло.

2. Обработването на детайли със сложна форма се характеризира с многообразието на варианти за реализиране, но наличието на модели за определяне на оптималните режими на рязане за един определен вариант, не го определят като най-добрия такъв.

3. Режимите на рязане при струговане на ротационни детайли със сложна форма за един работен ход на инструмента могат да бъдат променливи, а режимът на рязане за операцията като цяло се явява нестационарен и във връзка с това използването на съществуващите зависимости за определяне на периода на трайност и износването на инструмента, получени при обработване на детайли с постоянни режими на рязане, не е възможно.

4. Използването на параметъра F_T в (1.6) е възможно при обработване с постоянни режими на рязане (при известни подаване, скорост на рязане и трайност на инструмента) [11]

$$F_T = f \cdot V_c \cdot T,$$

докато при обработването на детайли със сложна форма режимите на рязане могат да бъдат променливи, тогава няма смисъл от използването на параметъра F_T и в такъв случай, за да се определи броя на детайлите обработвани за периода на трайност - n_T , може да се използва израз

$$n_T = T/\tau_o, \quad (1.7)$$

където T е трайност на инструмента, min; τ_o - основно време за обработване на един детайл, min.

5. Построеният модел трябва да може да се прилага за детайли с произволна геометрична конфигурация, докато съществуващите модели, които са използвани до сега са само за обстъргване на цилиндрични повърхнини, следователно трябва да бъде построен универсален модел, в който обстъргването на цилиндрични повърхнини да е негов частен случай. Моделите за всеки отделен случай трябва да се определят, в зависимост от условията на обработване и геометричните характеристики на заготовката и детайла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отчитайки горните особености при обработване на детайли със сложна форма върху стругови машини с ЦПУ, можем да определим съставлящата целева функция, т.е. технологичната себестойност на $i^{\text{та}}$ проход при многопроходната операция и да съставим целевата функция - технологичната себестойност на многопроходната операция при струговане на детайли със сложна форма като цяло.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Вентцель Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. М. Наука, 1980, 208с.
- [2] Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. М. Наука, 1988, 480с.
- [3] Георгиев В. и др. Оптимизационни методи при технологичната подготовка на производството. Изд. „ЕКС-ПРЕС“ ООД - Габрово, П., 2009.
- [4] Гильман А. М., Брахман Л. А., Батишев Д. И., Матцева Л. К. Оптимизация режимов обработки на металлорежущих станках. М. Машиностроение, 1972, 188с.
- [5] Горанский Г. К., Владимиров Е. В., Ламбин Л. Н. Автоматизация технического нормирования работ на металлоре-

- жущих станках с помощью ЭВМ. М. Машиностроение, 1970, 222с.
- [6] Ивата К., Муруцу И., Оба Ф. Оптимизация режимов резания многопроходных операций с учетом вероятностного характера процессов механической обработки. Труды Ам. общ. инж. - мех., Серия В - Констр. и тех. маш., № 2, 1978, с. 152-160.
- [7] Клушин Н. И., Гостев Г. В. Применение электронно-вычислительных машин при оптимизации режима резания. Горький, ГПИ, 1982, 88с.
- [8] Кузманов Т., Х. Метев. Технология на машиностроенето ч.1 (Основи на машиностроителните технологии). Изд. „ЕКС-ПРЕС“ ООД – Габрово, Г., 2005.
- [9] Кузманов Т., Х. Метев. Технология на машиностроенето ч.4 (Технологически процеси за машини с ЦПУ). Изд. „ЕКС-ПРЕС“ ООД – Габрово, Г., 2007.
- [10] Соломенцев Ю. М., Басин А. М. Оптимизация технологических процессов механической обработки и сборки в условиях серийного производства. М. НИИМаш, 1977, 72с.
- [11] Соломенцев Ю. М., Митрофанов В. Г., Протопопов С. П., Рыбкин И. М., Тимирязев В. А. Адаптивное управление технологическими процессами. М. Машиностроение, 1980, 536с.
- [12] Эрмер С., Кромодихадьо С. Оптимизация режима обработки за несколько проходов при наличии ограничений. – Труды Ам. общ. инж. мех., Серия В Констр. и тех. маш., № 4, 1981, с. 281-289.
- [13] Якобс Г. Ю., Якоб Э., Кохан Д. Оптимизация резания. М., Машиностроение, 1981, 280с.