

PLÁNOVANIE EXPERIMENTOV V OBRÁBANÍ

PLANNING OF EXPERIMENTS IN MACHINING

Zdenko LIPA

Autor: **Prof. Ing. Zdenko Lipa, CSc.**
Pracovisko: **Ústav výrobných technológií, Katedra obrábania a montáže,
Materiálovotechnologická fakulta STU**
Adresa: **J. Bottu 25, 917 24 Trnava, Slovenská republika**
Tel.: **+421 33-5521019**
E-mail: **zdenko.lipa@stuba.sk**

Abstract

Príspevok oboznamuje s metódou plánovania experimentov zavedenou v obrábaní. Všíma si najmä lineárny model trojfaktorového experimentu. Určuje vzťahy na jeho vyhodnotenie. Uvádza aj jeho nevýhody (možnosť získania dimenzionálne nekorektných vzťahov), zároveň uvádza autor príspevku svoju metódu na odstránenie uvedeného nedostatku.

This contribution informs about method of experiment planning in machining. The article notes primarily linear model of three-factor experiment. It defines relations for evaluation of experiment. Disadvantages are also presented (possibility of dimensional incorrect relations obtaining) and author of this paper also presents his method for elimination of this deficiency.

Key words

obrábanie, experiment, pokus, plánovanie experimentu

machining, experiment, trial, planning of experiment

Úvod

Náuka o obrábaní ako každá technická disciplína má časť teoretickú a experimentálnu. Experimentálna časť je samozrejme založená na experimentoch. Experimenty treba navrhnuť, realizovať (s prípadným pozorovaním, resp. meraním) a vyhodnotiť (včítane ich dopadu na teóriu resp. prax). Experimenty sú teda „jednou nohou“ v praxi. Teória bez experimentov by bola samoúčelná a tým v podstate pre samotné obrábanie zbytočná a tiež prax musí vychádzať z experimentálnych výsledkov náuky o obrábaní, aby sa mala o čo oprieť. Ak má obrábanie časť výskumnú a časť praktickú, potom experimentálna čiastka výskumu je vlastne je v strede medzi teóriou a praxou. Z toho vyplýva, že experimenty sú ústrednou témou obrábania a náuka o obrábaní je experimentálnou vedou.

Plánovanie experimentov v obrábaní

Metóda plánovania experimentov je veľmi účinná a efektívna metóda na návrh, realizáciu, zmeranie a vyhodnotenie experimentu.

Návrh experimentu pri metóde plánovania experimentu zohľadní optimálne vedenie experimentu z hľadiska nákladov na experimentovanie resp. času experimentovania, resp. počtu krokov v experimente čiže počtu pokusov. Terminológia pokus - experiment nie je ešte celkom ustálená. Niektorí bádatelia stotožňujú pojem pokus a experiment (vtedy sa pokus či experiment skladá z jednotlivých pozorovaní) a niektorí nadradujú pojem experiment nad pokus (a vtedy sa experiment skladá z jednotlivých pokusov). K omylu nedôjde, ak sa presne povie ako to s pokusom myslíme (či je rovný experimentu alebo či niekoľko pokusov tvorí jeden experiment). My v našom výklade sa dohodneme, že experiment bude pozostávať z jednotlivých pokusov.

V obrábaní (tak ako aj v iných experimentálnych disciplínach) máme hľadanú veličinu (závisle premennú) a veličiny od ktorých hľadaná veličina závisí (nezávisle premenné) a ktoré nazývame faktory. Počet faktorov vplyva na počet pokusov. Budeme predpokladať linearizovateľný model (ktorý sa dá úpravou previesť na model lineárny). Tento je jednoduchší a sa aj jednoduchšie spracováva. V obrábaní najčastejšie hľadáme nejakú nezávislosť (nejaký vzťah) medzi hľadanou veličinou a reznými pomermi (rezná rýchlosť, posuv, hĺbka rezu). Ide teda o trojfaktorový experiment. Pre lineárny model trojfaktorového experimentu môžeme vytvoriť model úplný.

Najprv pre faktory musíme stanoviť hornú úroveň (nastaviteľnú hodnotu faktora), dolnú úroveň a centrálnu (strednú) úroveň. Pre tri faktory z_1, z_2, z_3 a dve základné úrovne (dolnú a hornú) máme $N = 2^3 = 8$ pokusov. Experiment bude zostavený tak, že postupne sa budú meniť všetky faktory podľa určitého pravidla. Pokusy si očísľujeme od 1 do 8 (faktory v centrálnej úrovni vytvoria nultý alebo deviaty pokus). Tento môže slúžiť len na testovanie štatistickej významnosti koeficientov lineárnej rovnice popisujúcej lineárny model. Potom pristúpime ku kódovaniu faktorov (na čísla 0, 1, -1). So zakódovanými faktormi sa lepšie pracuje. Predpokladajme ešte mocninový tvar závislosti hľadanej veličiny na faktoroch. Linearizácia takéhoto vzťahu prebehne cez logaritmovanie. A máme kódované hodnoty x_1, x_2, x_3 ($x_j, j = 1, 2, 3$):

$$x_j = \frac{2(\log z_j - \log z_{j \max})}{\log z_{j \max} - \log z_{j \min}} + 1 \quad (1)$$

kde z_j je prirodzená hodnota faktora,

$z_{j \max}$ je jeho hodnota v hornej úrovni,

$z_{j \min}$ je jeho hodnota v dolnej úrovni.

Úplný lineárny model pre tri premenné (faktory) má tvar:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3, \quad (2)$$

a zjednodušený model: $y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3$. (3)

Výrazy obsahujúce $x_1 x_2, x_2 x_3, x_1 x_3, x_1 x_2 x_3$ sa nazývajú interakcie premenných. Spravidla bývajú štatisticky nevýznamné. Pridáme ešte fiktívnu premennú x_0 , ktorej hodnota bude vždy +1 (lepšie sa bude počítat' absolútny člen b_0 v rovnici (2) alebo (3). Zostavme si tabuľku (tzv. maticu experimentu):

| Číslo pokusu | z_1 | z_2 | z_3 | x_0 | x_1 | x_2 | x_3 | y_i | $x_{1i}y_i$ | $x_{2i}y_i$ | $x_{3i}y_i$ |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|
| $i = 1 \div 8$ | | | | | | | | | | | |

Vyplníme tabuľku a spočítame príslušné stĺpce a zistíme $\sum_1^8 x_{1i}y_i$, $\sum_1^8 x_{2i}y_i$, $\sum_1^8 x_{3i}y_i$, a potom pre $i = 1,2,3$ a $j = 0,1,2,3$ máme koeficienty regresnej rovnice (3).

$$b_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ji}y_i. \quad (4)$$

Ak sme „y“ získali logaritmovaním hľadanej veličiny V , tak musíme postupovať nasledovne. Stanovme:

$$\hat{y} = \log V = b_0 + b_1 \left(\frac{2(\log z_1 - \log z_{1\max})}{\log z_{1\max} - \log z_{1\min}} + 1 \right) + b_2 \left(\frac{2(\log z_2 - \log z_{2\max})}{\log z_{2\max} - \log z_{2\min}} + 1 \right) + b_3 \left(\frac{2(\log z_3 - \log z_{3\max})}{\log z_{3\max} - \log z_{3\min}} + 1 \right) \quad (5)$$

Vyčíslením rovnice (5) a jej odlogaritmovaním dostaneme hľadaný mocninový vzťah. Potiaľto sme išli podľa zaužívaných zvyklostí. Avšak spravidla tak dostaneme dimenzionálne nehomogénnu rovnicu, čo je z hľadiska fyziky nekorektné.

Autor tohto príspevku určil spôsob, kedy sa korektnosť výslednej rovnice dosiahne. Bude to vtedy, ak miesto faktorov z_j použijeme relatívne faktory $\frac{z_j}{z_{j0}}$, kde z_{j0} je hodnota faktoru z_j z centra plánu (centrálnej úroveň).

Potom máme:

$$x_j = \frac{2(\log \frac{z_j}{z_{j0}} + \log \frac{z_{j\max}}{z_{j0}})}{\log \frac{z_{j\max}}{z_{j0}} - \log \frac{z_{j\min}}{z_{j0}}} + 1 \quad (6)$$

a tiež:

$$\hat{y} = \log V = b_0 + b_1 \left(\frac{2(\log \frac{z_1}{z_{10}} - \log \frac{z_{1\max}}{z_{10}})}{\log \frac{z_{1\max}}{z_{10}} - \log \frac{z_{1\min}}{z_{10}}} + 1 \right) + b_2 \left(\frac{2(\log \frac{z_2}{z_{20}} - \log \frac{z_{2\max}}{z_{20}})}{\log \frac{z_{2\max}}{z_{20}} - \log \frac{z_{2\min}}{z_{20}}} + 1 \right) + b_3 \left(\frac{2(\log \frac{z_3}{z_{30}} - \log \frac{z_{3\max}}{z_{30}})}{\log \frac{z_{3\max}}{z_{30}} - \log \frac{z_{3\min}}{z_{30}}} + 1 \right) \quad (7)$$

Čím ako výsledné vzťahy miesto $V = C \cdot z_1^{\alpha_1} \cdot z_2^{\alpha_2} \cdot z_3^{\alpha_3}$ (8)

dostaneme $V = C' \cdot \left(\frac{z_1}{z_{10}} \right)^{\alpha_1} \cdot \left(\frac{z_2}{z_{20}} \right)^{\alpha_2} \cdot \left(\frac{z_3}{z_{30}} \right)^{\alpha_3}$ (9)

Vzťah (8) pre reálne $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ nie je dimenzionálne korektný, ale vzťah (9) áno.

Záver

Záverom možno len potvrdiť, že metóda plánovania experimentov je účinná, efektívna a veľmi úspešná pre získavanie viacfaktorových závislostí. Jej nevýhodou bolo, že pri linearizovateľných modeloch sa spravidla obdržal dimenzionálne nekorektný vzťah. Autor tohto príspevku však tento handicap metódy plánovania experimentu odstránil.

Príspevok vznikol v rámci riešenia grantového projektu ***Implementácia diferenciálnych a iných matematických metód do analytickej teórie obrábania.***

Zoznam bibliografických odkazov:

- [1] LIPA, Z. *Príspevok k stanoveniu rezných síl pri vrtaní*. Dizertačná práca. Bratislava: StF SVŠT, 1989. 250 s.
- [2] LIPA, Z. *Formulácia a riešenie vybraných problémov teórie superfinišovania*. Habilitačná práca. Trnava: MTF STU, 1992, 101 s.
- [3] BÉKES, J., ANDONOV, I. *Analýza a syntéza strojárskych objektov a procesov*. Bratislava: ALFA, 1986.
- [4] BUDA, J., SOUČEK, J., VASILKO, K. *Teória obrábania*. 2 vyd. Bratislava: ALFA, 1988, 392 s.
- [5] LIPA, Z. O vzorcoch a rovniciach v náuke o obrábaní. In *Materials Science and Technology*, 2008, č. 2. Dostupné na internete: http://www.mtf.stuba.sk/generate_page.php?page_id=2450
- [6] KUMABE, D. *Vibracionnoje rezaniji*. Moskva: Mašinstrojenie, 1985, 425 s. (preklad z japončiny)