

UTILIZAREA MODELĂRII MATRICEALE CORESPUNZĂTOARE METODEI TAGUCHI PENTRU STUDIUL RUGOZITĂȚII SUPRAFETEI REZULTATE LA FREZARE

Ionuț CONDREA*, Bogdan OROIAN, Carmen BOTEZATU

Departamentul de Tehnologia Construcțiilor de Mașini, Facultatea de Construcții de Mașini și Management Industrial,
Universitatea Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași, România

*Autorul corespondent: Ionuț Condrea, e-mail: ionutcondrea@yahoo.com

Rezumat. Prelucrarea mecanică prin frezare permite obținerea de piese de diferite forme și dimensiuni și care pot fi utilizate ulterior în diferite echipamente sau structuri mecanice. Atât pentru îmbunătățirea stării suprafeței, cât și din punctul de vedere al costurilor, este necesară studierea influenței exercitate de factorii de intrare ai procesului de frezare asupra unor parametri de interes tehnologic. Prezenta lucrare științifică a urmărit determinarea gradului de semnificație a unor factori de intrare în procesul de frezare asupra stării suprafeței rezultate. Utilizând metoda Taguchi, s-a studiat gradul de semnificație a factorilor supuși analizei ce exercită influență asupra unui parametru de ieșire al procesului. În plus, metoda menționată permite conceperea și materializarea planului de încercări experimentale în urma cărora s-au determinat valorile medii empirice ale parametrului de rugozitate R_a . Datele astfel obținute au fost prelucrate cu ajutorul unui set de relații matematice specifice metodei, ce a permis în final realizarea de grafice și respectiv analizarea pantelor segmentelor de dreaptă corespunzătoare intensității influenței exercitate de fiecare factor în parte.

Cuvinte cheie: frezare plană, cercetare experimentală, factori de intrare, rugozitatea suprafeței.

Introducere

Prelucrările mecanice prin așchiere sunt incluse în domeniul mai larg al ingineriei industriale. Ele se referă la utilizarea unor scule ce au caracteristici așchietoare capabile să îndepărteze sub formă de așchii adaosul de prelucrare. Sunt cunoscute mai multe tipuri de astfel de procese de prelucrare mecanică prin așchiere, între acestea aflându-se și frezarea. Prin frezare se înțelege îndepărtarea surplusului de material cu ajutorul unor scule așchietoare cu unul sau mai mulți dinți așchietori, denumite freze, care execută o mișcare principală de rotație, în timp ce mișcarea de avans are loc în lungul unei direcții continuate, de obicei, într-un plan perpendicular pe axa de rotație a frezei [1].

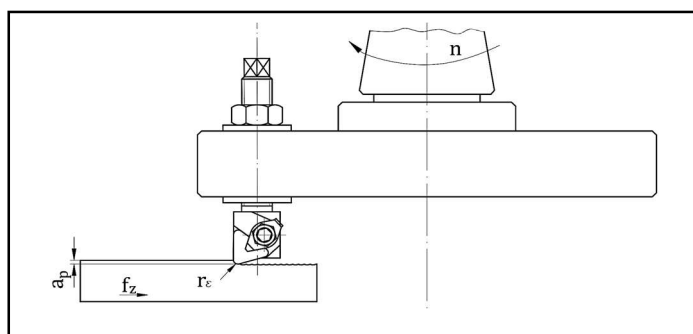


Figura 1. Schemă de prelucrare

Ingineria industrială urmărește, între altele, optimizarea proceselor sau a sistemelor [2]. Prin cercetarea experimentală în conformitate cu un plan de încercări experimentale, poate fi urmărită și optimizată influența variabilelor independente asupra variabilelor dependente [3,4].

De-a lungul timpului, cercetătorii din domeniu au utilizat modelarea matriceală conform principiilor de aplicare a metodei Taguchi. Metoda permite modelarea și eventual optimizarea influenței exercitate de către factorii de intrare ai procesului de frezare asupra valorilor unor parametri de interes tehnologic. De exemplu, în lucrarea realizată de Pop et al. s-a utilizat metoda pentru generarea planului experimental, preferându-se o matrice ortogonală, în scopul de a determina efectul pe care îl exercită trei dintre factorii regimului de așchiere (viteza de așchiere, adâncimea de așchiere și avansul pe dinte) asupra valorii parametrului de rugozitate Ra . Experimentul a utilizat un plan factorial care a condus la un număr total de 8 încercări (2^3 , 3 factori la 2 niveluri) [5].

Într-o altă lucrare, autorii au utilizat metoda Taguchi în cazul strunjirii dure. Au fost selecționați ca factori de intrare viteza de așchiere v , avansul de lucru f , adâncimea de așchiere d și respectiv raza la vârf a plăcuței r , pe de o parte pentru optimizarea valorilor parametrilor de ieșire, iar pe de altă parte pentru a identifica factorul cu influență determinantă asupra valorii parametrului de rugozitate Ra [6].

Introdusă în perioada anilor 1950-1960 de Genichi Taguchi, metoda a cărui nume îi poartă a înregistrat un real succes, o dată cu utilizarea pentru prima dată în Statele Unite, în anul 1980. Începând din acea perioadă, metoda a atras atenția proiectanților, producătorilor, statisticienilor și respectiv a experților în calitate. Popularitatea metodei a crescut considerabil și continuă să crească, fiind utilizată în construcția de automobile, în electronică, medicină, telecomunicații etc. [7].

Considerații inițiale

Metoda Taguchi are la bază o aproximare experimentală ce ia în considerare așa-numita metodă a matricelor ortogonale [8]. Obiectivul urmărit este cel de a reduce varianța rezultatelor din proces printr-un set de experimente riguros planificate în etapa de proiectare a cercetării experimentale. De asemeni, Taguchi a propus un algoritm ce permite evidențierea influențelor exercitate de către fiecare variabilă și respectiv de interacțiunile respectivelor variabile. Se utilizează niște matrice notate simbolic cu L4, L8, L9, L12, L16...L50 [9].

În scopul de a evalua pantele segmentelor de dreaptă ce evidențiază intensitatea influenței exercitate de fiecare factor luat în considerare la proiectarea experimentului, s-a reprezentat cu ajutorul unei scheme logice succesiunea de etape ce trebuie aplicate pentru a determina valorile unor constante incluse în modelul de tip matriceal. După cum se poate observa în reprezentarea grafică din Fig. 2, este necesară efectuarea unor calcule matematice cu ajutorul unui set de valori și reglementări caracteristice metodei Taguchi. Forma generală a modelului matematic din cadrul metodei este descrisă de relația (1) [10]:

$$Y \sim = M + \sum_{i=1}^n ([Ef_{i,1}Ef_{i,2} \cdots Ef_{i,k}]) + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j \\ i < j}}^n \left({}^t[Af_i] \cdot \begin{vmatrix} If_{i,1}f_{j,1} & \cdots & If_{i,1}f_{j,k} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ If_{i,k}f_{j,1} & \cdots & If_{i,k}f_{j,k} \end{vmatrix} \cdot [Af_i] \right), \quad (1)$$

în care: $Y \sim$ este răspunsul sistemului, M - media generală, $Ef_{i,k}$ sunt efectele factorilor i la nivelul k , $[Af_i]$ este matricea factorului i , ${}^t[Af_i]$ este transpusa matricei factorului i , $If_{i,k}f_{j,1}$ sunt interacțiunile dintre factorii $f_{i,j}$.

Ca primă etapă de aplicare se consideră identificarea variabilelor independente, adică, în acest caz, a factorilor de intrare ai procesului de frezare (adâncimea axială de așchiere a_p , avansul pe dinte f_z , viteza de așchiere v , raza la vârf a plăcuței de așchiere r_e) ce ar putea exercita influență asupra rugozității suprafeței obținute. Planificarea încercărilor experimentale s-a efectuat prin realizarea unui tabel de tip L16, 2^4 (4 factori pe două niveluri), obținut prin intermediul programului de calculator Minitab 2017. În acest sens, s-a utilizat un instrument specific programului de calculator denumit DoE (în limba engleză, *Design of Experiments*). După realizarea încercărilor experimentale, s-au măsurat valorile parametrului de ieșire al procesului și anume valorile parametrului de rugozitate Ra .

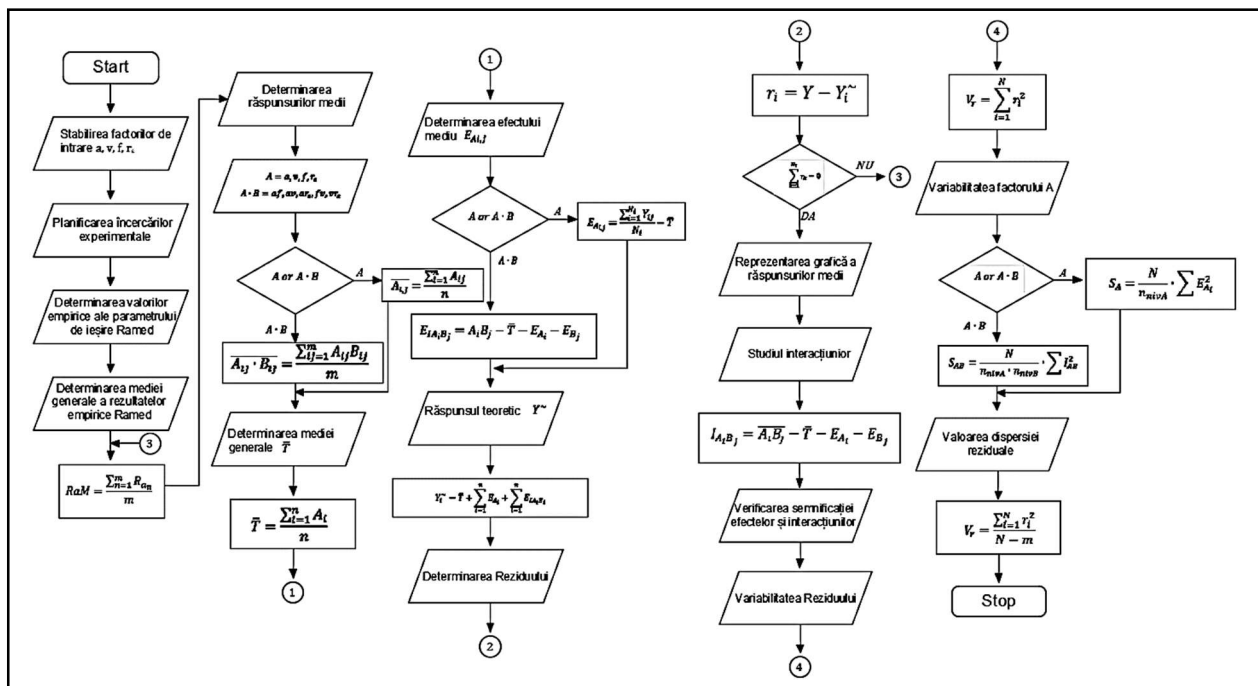


Figura 2. Schema logică a etapelor de lucru la utilizarea metodei Taguchi

Plecând de la formula generală de calcul corespunzătoare relației (1) al răspunsului sistemului, s-au calculat și determinat valorile pentru răspunsurile medii ale fiecărui factor $A_{i,j}$ respectiv fiecare interacțiune $A_{i,j}B_{i,j}$. În continuare, s-au calculat efectul mediu al fiecărui factor la fiecare din cele două niveluri $E_{A_{i,j}}$, răspunsul teoretic Y^{\sim} , respectiv reziduul r . După introducerea rezultatelor experimentale, metoda presupune calcularea efectelor fiecărui factor și ale fiecărei interacțiuni. Pentru că volumul de calcule necesar a fi efectuate este relativ mare, a fost elaborat și utilizat programul Excel, program în care au fost transpuse relațiile evidențiate în Fig. 1. S-au utilizat de asemenea unele funcții specifice programului Excel, așa cum sunt AVERAGE pentru determinarea mediilor, SUM pentru determinarea sumelor sau unii operatori matematici.

Condiții experimentale

Principalul obiectiv al cercetării prezentate în această lucrare a fost cel de colectare și prelucrare a rezultatelor experimentale obținute, în scopul de a determina factorii cu influențe semnificative în obținerea unei suprafețe ce trebuie să aibă o anumită rugozitate. În acest sens, a fost elaborat și completat Tab. 1, în care au fost înscrise mai întâi valorile factorilor ce caracterizează condițiile experimentale. După cum se poate observa, pentru fiecare factor de intrare au fost adoptate 2 valori.

Valoarea codificată („val. codif.”, în Tab. 1) se referă la notarea cu cifra 1 pentru situația când factorul se află pe nivelul inferior, respectiv cifra 2, când factorul se află pe nivelul superior. Aceste valori au fost evidențiate folosindu-se programul Minitab 2017. De menționat este faptul că, după obținerea valorilor codificate, se trece la înlocuirea acestora cu valorile reale adoptate (urmând recomandările experților din domeniu, așa cum sunt, de exemplu, producătorii de scule așchietoare) pentru factorii de intrare considerați. De asemenea, este important de reținut faptul că la înlocuirea valorilor codificate cu cele reale, este necesară corelarea valorilor avansului cu cele ale turajiei, în funcție de nivelurile la care sunt situați factorii respectivi.

Condiții experimentale

Nr. crt.	Adâncimea de așchiere a_p (mm)		Avansul de lucru f_{min} (mm/min)		Turația n (rot/min)		Raza la vârf r_ϵ (mm)		Parametrul R_a (μm)
	Val. reală	Val. codif.	Val. reală	Val. codif.	Val. codif.	Val. reală	Val. reală	Val. codif.	Val măsurată
1	0,5	1	1	12,5	1	100	0,8	1	1,13
2	0,5	1	1	12,5	1	100	1,2	2	1,59
3	0,5	1	1	12,5	2	160	0,8	1	0,92
4	0,5	1	1	12,5	2	160	1,2	2	0,81
5	0,5	1	2	20	1	100	0,8	1	2,75
6	0,5	1	2	20	1	100	1,2	2	3,96
7	0,5	1	2	40	2	200	0,8	1	3,04
8	0,5	1	2	40	2	200	1,2	2	3,97
9	1	2	1	12,5	1	100	0,8	1	1,46
10	1	2	1	12,5	1	100	1,2	2	1,89
11	1	2	1	12,5	2	160	0,8	1	0,85
12	1	2	1	12,5	2	160	1,2	2	1,2
13	1	2	2	20	1	100	0,8	1	3,31
14	1	2	2	20	1	100	1,2	2	4,18
15	1	2	2	40	2	200	0,8	1	2,91
16	1	2	2	40	2	200	1,2	2	4,0

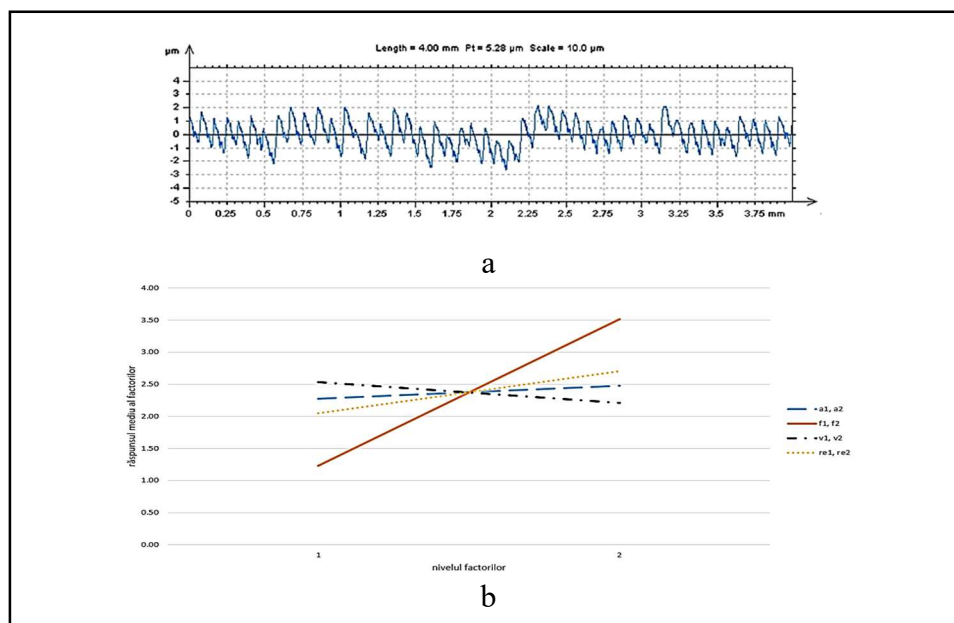


Figura 3. a: Profilul suprafeței obținute prin frezare ($R_a = 0,81 \mu\text{m}$, $a_p = 0,5 \text{ mm}$, $f_{min} = 12,5 \text{ mm/min}$, $n = 160 \text{ rot/min}$, $r_\epsilon = 1,2 \text{ mm}$); b: reprezentare grafică a răspunsurilor medii ale factorilor luați în considerare, $a_p, r_\epsilon, f_{min}, v$

Materialul din care este realizată epruveta supusă prelucrării a fost un aliaj de aluminiu. În urma determinării compoziției chimice, se constată că pe lângă elementul principal al materialului și anume aluminiul, ce are o pondere de 95,9 %, sunt prezente o serie de alte elemente chimice, în cantități mult mai mici, după cum urmează: Si – 1,43 %, Mg – 0,909 %, Mn – 0,676 %, Fe – 0,53 %, Cr – 0,165 % și în cantități de sub 0,1 % elemente cum sunt Cu, Sn, Ti, Zn, Ni, V, Pb, Zr, Ga, Bi, Ca, Na, Co, Ag, B, Cd, Li, Be, Sr. Pentru schema de prelucrare din Fig. 1, a fost evidențiată în Fig. 3a forma profilului obținut pentru încercarea experimentală cu numărul 4 din Tab. 1.

Analizând graficul din Fig. 3b și ținând cont de faptul că factorul a cărui pantă este cea mai mare este factorul ce are o influență semnificativă asupra parametrului de ieșire, se constată că factorul cu cea mai mare influență exercitată asupra parametrului de rugozitate Ra este avansul de lucru.

Concluzii

Prin cercetarea ale cărei rezultate sunt expuse în prezenta lucrare, s-a urmărit evidențierea influenței exercitate de către factorii de intrare într-un proces de prelucrare a unei suprafețe plane folosind freze frontale asupra valorilor unui anumit parametru de ieșire din proces. În acest sens, s-a utilizat metoda Taguchi. După elaborarea unui plan experimental de tip L16 (2^4 , 4 factori la 2 niveluri experimentale), s-au executat încercările experimentale. În urma prelucrării rezultatelor obținute cu ajutorul metodei menționate și utilizând calcule realizate cu ajutorul programului de calculator Excel, a fost elaborată o reprezentare grafică ce a evidențiat faptul că o influență semnificativă asupra rezultatului final este exercitată de avansul de lucru f .

Mulțumiri. Autorii mulțumesc profesorului universitar Laurențiu Slătineanu, de la Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași, pentru recomandările și sugestiile formulate cu privire la conținutul articolului.

Referințe

1. GEORGESCU, G.S. *Îndrumar pentru atelierele mecanice*. București: Editura Tehnică, 1972.
2. Inginerie industrială [online]. [accesat 25.01.2022]. Disponibil: https://ro.wikipedia.org/wiki/Inginerie_industrial%C4%83.
3. Experimental research designs: Types, Examples & Methods [online]. [accesat 26.01.2022]. Disponibil: https://www.formpl.us/blog/experimental-research_.
4. BLAKSTAD, O. *Experimental research* [online]. [accesat 26.01.2022]. Disponibil: <https://explorable.com/experimental-research>.
5. POP A.B, CEOCEA C, STAN S.E., ȚÎȚU A.M. Research on the use of Taguchi's method to model the milling process of some metal materials. In: *International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics*, 2020, 7, pp.172-177.
6. MOTORCU, A.R. The Optimization of Machining Parameters Using the Taguchi Method for Surface Roughness of AISI 8660 Hardened Alloy Steel. In: *Journal of Mechanical Engineeri*, 2010, 56 (6), pp. 391-401. https://www.sv-jme.eu/?ns_articles_pdf=/ns_articles/files/ojs3/1505/submission/1505-1-1990-1-2-20171103.pdf&id=5951.
7. HAMZAÇEBI, C. *Taguchi method as a robust design tool* [online]. 2020. [accesat 27.01.2022]. Disponibil: <https://www.intechopen.com/chapters/74437>.
8. Taguchi method [online]. [accesat 27.01.2022]. Disponibil: https://www.apo-tokyo.org/resources/p_glossary/taguchi-method-2/.
9. FRALEY, S., OOM, M., TERRIEN, B., ZALEWSKI, J. *Design of experiments via Taguchi methods - Orthogonal Arrays* [online]. 2021. [accesat 27.01.2022]. Disponibil: [https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Industrial_and_Systems_Engineering/Book%3A_Chemical_Process_Dynamics_and_Controls_\(Woolf\)/14%3A_Design_of_Experiments/14.01%3A_Design_of_Experiments_via_Taguchi_Methods_-_Orthogonal_Arrays](https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Industrial_and_Systems_Engineering/Book%3A_Chemical_Process_Dynamics_and_Controls_(Woolf)/14%3A_Design_of_Experiments/14.01%3A_Design_of_Experiments_via_Taguchi_Methods_-_Orthogonal_Arrays).
10. SLĂTINEANU, L. *Bazele cercetării științifice*. Iași: Editura Pim, 2019.