



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2011 01313**

(22) Data de depozit: **06/12/2011**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **28/02/2019** BOPI nr. **2/2019**

(41) Data publicării cererii:
30/07/2013 BOPI nr. **7/2013**

(73) Titular:
• **UNIVERSITATEA "DUNĂREA DE JOS"**
DIN GALAȚI, STR. DOMNEASCĂ NR. 47,
GALAȚI, GL, RO

(72) Inventatori:
• **FRUMUȘANU GABRIEL RADU,**
STR. TRAIAN NR. 89, BL. B3-B, SC. 1, AP. 6,
GALAȚI, GL, RO;

• **CONSTANTIN IONUȚ CLEMENTIN,**
STR. GRIVIȚEI NR. 2, BL. B, AP. 65, GALAȚI,
GL, RO;
• **MARINESCU OLGUȚA,**
STR. ANTON PANN NR. 6, BL. G2, AP. 7,
BRĂILA, BR, RO

(56) Documente din stadiul tehnicii:
KR 20040097690 (A); CN 101380946 (A);
CN 10228888 (A)

(54) **METODĂ PENTRU CONTROLUL INTELIGENT
AL STABILITĂȚII PROCESELOR DE STRUNJIRE**



RO 128669 B1

1 Inventția se referă la o metodă de control on-line al stabilității procesului de strunjire,
astfel încât, în fiecare moment, viteza de așchiere să aibă valoarea maximă pentru care
3 procesul de așchiere este stabil, iar cerințele tehnice privind produsul, scula așchietoare și
mașina-unealtă sunt satisfăcute. Astfel, prin aplicarea metodei de control on-line al stabilității
5 procesului de strunjire, productivitatea obținută va fi cea maximum posibilă. Acest lucru se
realizează indiferent dacă, pe parcursul desfășurării operației de strunjire, au loc modificări
7 bruște sau variații continue ale caracteristicilor mașinii, sculei așchietoare, piesei sau
materialului prelucrat.

9 Metoda poate fi aplicată la strungurile cu comandă numerică de tip actual, care permit
modificarea vitezei de așchiere în timpul procesului de prelucrare. Metoda nu necesită
11 modificarea structurii mecanice și de acționare a mașinii.

Sunt cunoscute metode de control al stabilității proceselor de așchiere, care se
13 bazează, în principiu, pe două abordări:

- 15 - controlul off-line, pe baza predicției riscului de apariție a vibrațiilor autoexcitate;
- 17 - controlul on-line, pe baza detecției vibrațiilor, după ce acestea au apărut, urmată de
eliminarea lor.

17 În prima abordare, controlul constă în programarea unei valori constante și suficient
de reduse a vitezei de așchiere, astfel încât procesul de prelucrare să rămână permanent
19 stabil, chiar și în zonele cu risc maxim de instabilitate. Evident că în celelalte zone valoarea
vitezei este mai mică decât valoarea maximă pentru care cerințele tehnice privind produsul,
21 scula așchietoare și mașina-unealtă sunt satisfăcute.

În a doua abordare se utilizează senzori care, după apariția vibrației autoexcitate,
23 comandă reducerea valorii vitezei de așchiere până la dispariția vibrației, urmată de
menținerea în continuare a respectivei valori a vitezei. Și în această situație, în multe zone
25 ale traiectoriei sculei, valoarea vitezei este mai mică decât valoarea maximă pentru care
cerințele tehnice privind produsul, scula așchietoare și mașina-unealtă sunt satisfăcute.

27 Metodele actuale de control al stabilității au următoarele dezavantaje importante:
- ca urmare a controlului stabilității procesului de prelucrare, productivitatea acestuia
29 este diminuată în raport cu valoarea maximă posibilă;

- stabilizarea se realizează numai după ce au apărut deja vibrațiile autoexcitate și au
31 produs efectele negative specifice;

- perturbațiile, care apar inerent pe parcursul prelucrării, precum și variațiile continue
33 ale dinamicii mașinii, atunci când scula așchietoare se deplasează în lungul traiectoriei
programate, sunt ignorate în predicția riscului de apariție a vibrațiilor autoexcitate.

35 În afara acestor abordări, se cunosc și alte soluții tehnice, cum ar fii spre exemplu
oscilația permanentă a valorii vitezei mișcării principale, utilizarea unor portscule oscilante
37 sau a unor sisteme active de compensare. Dificultățile legate de complexitatea sistemului
de prelucrare fac ca aceste metode să fie greu de implementat în practica industrială.

39 Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în aducerea în fiecare moment,
în mod automat, a vitezei de așchiere la valoarea maximă posibilă pentru care vibrațiile
41 autoexcitate nu au apărut încă, în condițiile satisfacerii cerințelor tehnice privind produsul,
scula așchietoare și mașina-unealtă. Acest aspect trebuie îndeplinit indiferent dacă pe
43 parcursul desfășurării fazelor operației de strunjire au loc modificări bruște sau variații
continue ale caracteristicilor mașinii, sculei așchietoare, piesei sau materialului prelucrat.

45 Metoda pentru controlul inteligent al stabilității procesului de strunjire, potrivit
invenției, rezolvă problema tehnică enunțată mai sus prin aceea că, în momentul în care
47 vibrația autoexcitată este iminentă, dar nu a apărut încă, viteza de așchiere este adusă la
valoarea maximă pentru care este evitată apariția vibrației, iar în momentul în care vibrația

RO 128669 B1

autoexcitată nu este iminentă, viteza de aşchiere este adusă la valoarea maximă permisă de cerinţele tehnice de prelucrare, consemnată în programul-piesă. Conform metodei, atunci când vibraţia este iminentă sau nu este sesizată prin procesarea semnalului oferit de o marcă tensometrică fixată pe portcuţit, metoda constă în parcurgerea etapelor tehnice prezentate în continuare:	1 3 5
1. se aplică pe portcuţit o marcă tensometrică ce furnizează un semnal analog (fig. 1);	7
2. marca tensometrică se conectează la un sistem de achiziţii de date, care citeşte valorile semnalului transmis de aceasta, cu o frecvenţă de minimum 9600 scanări/s, şi furnizează forma digitală a semnalului citit;	9
3. se conectează un PC industrial cu sistemul de achiziţii de date, pe de-o parte, şi cu echipamentul de comandă numerică a strungului, prin intermediul unui server de date OPC, pe de altă parte (fig. 4). Pe PC se încarcă o aplicaţie pentru controlul stabilităţii, scrisă în VC++, care implementează schema de ajustare a vitezei, prezentată în fig. 3, prin parcurgerea următorilor paşi:	11 13
3.1. semnalul furnizat de marca tensometrică este înregistrat, i se elimină componenta lent variabilă în timp, după care este scalat;	15
3.2. semnalul este transmis apoi unui buffer ce reţine în permanenţă o serie de timp formată din ultimele $N = 256$ de valori succesive ale semnalului;	17
3.3. seria de timp curentă din buffer (numerotată cu k) este preluată şi i se aplică transformata Fourier rapidă (FFT), după care i se evaluează indicatorul I_k , definit ca raport între cea mai mare dintre amplitudinile transformatei Fourier şi media amplitudinilor acestei transformate;	19 21
3.4. valoarea indicatorului I_k este comparată cu două valori-limită, una superioară, $I_M = 1,5$, şi alta inferioară, $I_m = 1,2$. Atingerea valorii-limită superioare, I_M , arată că există risc iminent de apariţie a vibraţiilor, în timp ce atingerea valorii-limită inferioare, I_m , arată că nu există risc iminent de apariţie a vibraţiilor;	23 25
3.5. atunci când valoarea curentă a indicatorului depăşeşte limitele intervalului $[I_m, I_M]$, viteza de aşchiere (respectiv, turaţiei piesei, n) este ajustată prin aducerea sa la o valoare egală cu produsul dintre un coeficient de corecţie λ şi valoarea curentă, unde λ ia una dintre următoarele patru valori posibile: $\lambda_1 = 0,7$, $\lambda_2 = 0,85$, $\lambda_3 = 1,2$ şi $\lambda_4 = 1,1$. Selectarea valorii lui λ se face în funcţie atât de valoarea curentă a indicatorului, I_k , cât şi de valoarea sa precedentă, I_{k-1} (calculată pentru seria de timp $k-1$), după cum urmează: dacă $I_k > I_M$, atunci $\lambda = \lambda_1$ (atunci când $I_m < I_{k-1} < I_M$) sau $\lambda = \lambda_2$ (atunci când $I_{k-1} > I_M$), iar dacă $I_k < I_m$, $\lambda = \lambda_3$ (atunci când $I_m < I_{k-1} < I_M$) sau $\lambda = \lambda_4$ (atunci când $I_{k-1} < I_m$), fig. 3;	27 29 31 33
4. pe toată durata operaţiei de prelucrare, se controlează stabilitatea procesului prin aceea că, după fiecare ajustare a vitezei, se reia parcurgerea buclei formată din paşii 3.3...3.5.	35 37
Invenţia prezintă următoarele avantaje:	
- strungul funcţionează în permanenţă în regim stabil, şi, concomitent, cu productivitate maximă, prin aceasta folosindu-se întreaga capacitate a maşinii (prelucrare cu viteză de aşchiere maximum posibilă în condiţii de stabilitate);	39 41
- sunt evitate efectele nedorite ale instabilităţii, metoda de control al stabilităţii, potrivit invenţiei, permiţând o reacţie precoce, care precede apariţia vibraţiilor autoexcitate;	43
- aplicarea metodei de control al stabilităţii păstrează modul de întocmire a programului-piesă;	45
- parametrii de calitate (rugozitatea suprafeţei prelucrate) se menţin în limitele prevăzute în specificaţii, întrucât modificarea turaţiei se face într-o vecinătate a valorii programate;	47

RO 128669 B1

1 - metoda poate fi implementată cu costuri rezonabile pe actuala generație de
strunguri cu comandă numerică;

3 - strategia pe baza căreia funcționează metoda și schema de ajustare a regimului de
așchiere nu sunt legate nemijlocit de procesul de strunjire și, prin urmare, ar putea fi aplicate
5 și pentru controlul stabilității în cazul altor procese de prelucrare (frezare, găurire, rectificare).
În continuare, se prezintă un exemplu de aplicare a invenției în legătură cu fig. 1...6,
7 unde:

- fig. 1 prezintă schema de interconectare dintre strung, marca tensometrică, sistemul
9 de control al stabilității (sistem de achiziții de date și PC) și comanda numerică;

- fig. 2 prezintă schematic strategia pe baza căreia funcționează metoda de control
11 inteligent al stabilității;

- fig. 3 prezintă schema de ajustare a vitezei (turației) piesei;

13 - fig. 4 prezintă structura sistemului inteligent de control al stabilității, utilizat în
exemplul de aplicare a metodei;

15 - fig. 5 prezintă forma și dimensiunile piesei utilizate pentru testarea experimentală
a metodei de control, potrivit invenției, unde t reprezintă avansul radial al sculei între două
17 treceri consecutive, iar A - amplitudinea traiectoriei sinusoidale după care se deplasează
cuțitul;

19 - fig. 6 prezintă: a - setul curbelor de variație a indicatorului I , iar b - setul curbelor de
variație a vitezei de așchiere v . În ambele seturi prima curbă, "Series 1", caracterizează
21 procesul instabil (prima trecere), a doua curbă, "Series 2" - procesul stabilizat prin reducerea
vitezei de așchiere (a doua trecere), iar a treia curbă, "Series 3", procesul stabilizat prin
23 utilizarea metodei pentru controlul stabilității potrivit invenției (a treia trecere).

În acest exemplu de aplicare a invenției, comanda numerică a strungului pe care se
25 implementează metoda este una de tip avansat, cu următoarele particularități (fig. 4):

- sculele sunt fixate pe o masă rotativă, care se poate roti în timpul strunjirii, în
27 vederea ajustării în timp real a unghiului de atac al sculei (axa de rotație a mesei este notată
cu B);

29 - la citirea unei faze de lucru, echipamentul de comandă numerică secvențiază
această fază, după cum urmează: i) secvențiază traiectoria sculei, rezultând fișierul de
31 comandă *.Ista, cu componentele x , z , b , c (ce reprezintă coordonatele punctului curent pe
axele X , Z , B și C - axa de rotație a piesei), și dt (secvența de timp), și în același timp ii)
33 secvențiază „traiectoria” regimului de lucru, cu componentele v_i , s_i , r_{med} și dt (unde v_i este
viteza de așchiere, și - avansul, iar r_{med} - raza la vârful sculei), care, prin valorile secvențelor
35 de timp dt , este corelată cu traiectoria sculei. Rezultatul acestei secvențieri a comenzii este
transmis serverului de date OPC și, mai departe, sistemului de comandă numerică, ce
37 comandă în consecință axele de lucru.

Aceste particularități nu sunt relevante pentru aplicarea metodei, dar prezentarea lor
39 este necesară pentru a se înțelege exemplul de aplicare.

În acest exemplu de aplicare se utilizează un cuțit Hoffmann - Garant de exterior, de
41 tipul MVJN R25, prevăzut cu plăcute schimbabile de tipul VNMG160408 VM, HB7135. Pe
portcuțit sunt aplicate două mărci tensometrice, în semipunte, iar semnalul de la acestea
43 este achiziționat cu ajutorul unui sistem Quantum (Hottinger Baldwin Messtechnik).
Frecvența de achiziție a datelor este de 9600 scanări/s, valorile fiind înregistrate într-un fișier,
45 având $N = 256$ de valori pentru fiecare secvență de comandă. Echipamentul de calcul
utilizat este un PC industrial cu procesor de tip Pentium II, pe care se încarcă aplicația de
47 secvențiere a programului-piesă, scrisă în MatLab, și aplicația de control al stabilității
(„stabilitate.exe”), scrisă în VC++.

RO 128669 B1

Acest exemplu de aplicare a invenției a fost validat pe o piesă-test, confecționată din oțel carbon de calitate, cu 0,45% C, având generatoarea sinusoidală și dimensiunile inițiale specificate în fig. 5. După o strunjire inițială, destinată doar obținerii unei generatoare sinusoidale de pornire, au fost efectuate trei treceri succesive, de fiecare dată generatoarea având aceeași formă (definită prin amplitudinea $A = 0,5$ mm și lungimea de undă $\lambda = 20$ mm). Între traiectoriile a două treceri consecutive s-a introdus însă, de fiecare dată, un decalaj de fază de 180° , ceea ce a condus la o variație continuă a grosimii stratului de material detașat, între limitele

$$t_{\min} = t - 2A \text{ și } t_{\max} = t + 2A \quad (1)$$

Această variație a avut drept scop să forțeze tranziția procesului de strunjire de la stabil la instabil și invers, pe parcursul aceleiași prelucrări. În relația (1), t reprezintă avansul radial al sculei între două treceri consecutive. Cele trei treceri succesive au fost realizate cu același avans longitudinal (0,2 mm/rot), dar modificând turația piesei, după cum urmează:

- la prima trecere, turația a fost constantă și a avut valoarea recomandată în cazul unei grosimi constante t a stratului de material detașat, fără a se utiliza sistemul de control al stabilității;

- la a doua trecere, turația a fost constantă și a avut valoarea recomandată în cazul unei grosimi constante t_{\max} a stratului de material detașat, fără a se utiliza metoda de control al stabilității;

- la a treia trecere, turația a fost variabilă, după cum a impus-o metoda de control al stabilității.

Efectele utilizării metodei pentru controlul inteligent al stabilității sunt evidențiate în formă grafică în fig. 6, unde se pot remarca: i) o creștere substanțială a vitezei de așchiere față de cazul stabilizării obținute prin reducerea intensității regimului de așchiere, respectiv ii) un proces complet lipsit de vibrații, față de cazul în care variația grosimii stratului de material detașat a dus, în absența controlului stabilității, la apariția vibrațiilor autoexcitate.

Pentru evaluarea cantitativă a eficienței sistemului inteligent pentru controlul stabilității, potrivit invenției, a fost definit indicatorul ICP, "Indicator de creștere a productivității", ce are expresia:

$$IPC = \left[\sum_{k=1}^m \left(\frac{v_{a_k} \cdot s_{a_k}}{v_{i_k} \cdot s_{i_k}} - 1 \right) \right] \cdot 100 [\%] \quad (2)$$

În relația (2), m reprezintă numărul de cicluri de așchiere (rotații) considerate, v_{i_k} , și s_{i_k} - valorile programate ale vitezei de așchiere, respectiv, avansului, în cazul regimului

stabilizat prin reducerea regimului de așchiere, iar v_{a_k} și s_{a_k} - valorile vitezei de așchiere,

respectiv, avansului, ajustate de sistemul de control al stabilității, toate patru pentru același punct curent "k" de pe generatoare. Pentru cazul piesei-test descrise mai sus, productivitatea a crescut cu $IPC = 129,8 \%$, ceea ce demonstrează importantul potențial de creștere a productivității, prin utilizarea metodei pentru controlul inteligent al stabilității.

RO 128669 B1

Revendicare

1

3

5

7

9

11

13

15

17

19

21

23

25

27

29

Metodă pentru controlul inteligent al stabilității procesului de strunjire, **caracterizată prin aceea că** semnalul analog, furnizat pe parcursul prelucrării de o marcă tensometrică aplicată pe portsculă, este citit cu o frecvență minimă de 9600 scanări/s de către un sistem de achiziții de date, digitalizat și transmis unui PC industrial, care, după procesarea semnalului, comunică echipamentului de comandă numerică al strungului, prin intermediul unui server de date OPC, comenzile necesare pentru aducerea în fiecare moment și în mod automat a valorii vitezei de așchiere la valoarea maximă pentru care, pe de-o parte, procesul nu este afectat de vibrații autoexcitate, și, pe de altă parte, cerințele tehnice privind produsul, scula așchietoare și mașina-unealtă sunt satisfăcute, **și prin aceea că**, în **prima etapă**, semnalul furnizat de marca tensometrică este înregistrat, i se elimină componenta lent variabilă în timp, după care este scalat, **și prin aceea că**, în **a doua etapă**, semnalul este transmis unui buffer ce reține în permanență o serie de timp formată din ultimele $N = 256$ de valori succesive ale semnalului, **și prin aceea că**, în **a treia etapă**, seria de timp curentă din buffer (numerotată cu k) este preluată și i se aplică transformata Fourier rapidă (FFT), după care i se evaluează indicatorul I_k , definit ca raport între cea mai mare dintre amplitudinile transformatei Fourier și media amplitudinilor acestei transformate, **și prin aceea că**, în **a patra etapă**, valoarea curentă a indicatorului I_k este comparată cu două valori-limită, una inferioară, $I_m = 1,2$, și alta superioară, $I_M = 1,5$, precum **și prin aceea că**, în **a cincea etapă**, în cazul în care valoarea curentă a indicatorului depășește limitele intervalului $[I_m \dots I_M]$, se ajustează valoarea vitezei de așchiere (respectiv, turației piesei, n) prin aducerea sa la o valoare egală cu produsul dintre un coeficient de corecție λ și valoarea curentă, unde λ ia una dintre următoarele patru valori posibile: $\lambda_1 = 0,7$, $\lambda_2 = 0,85$, $\lambda_3 = 1,2$ și $\lambda_4 = 1,1$, selectarea valorii lui λ făcându-se în funcție atât de valoarea curentă a indicatorului, I_k , cât și de valoarea precedentă, I_{k-1} (calculată pentru seria de timp $k-1$), după cum urmează: dacă $I_k > I_M$, atunci $\lambda = \lambda_1$ (atunci când $I_m < I_{k-1} < I_M$) sau $\lambda = \lambda_2$ (atunci când $I_{k-1} > I_M$), iar dacă $I_k < I_m$, $\lambda = \lambda_3$ (atunci când $I_m < I_{k-1} < I_M$) sau $\lambda = \lambda_4$ (atunci când $I_{k-1} < I_m$), după fiecare ajustare a vitezei reluându-se parcurgerea buclei, formată din etapele trei, patru și cinci, pe toata durata procesului de prelucrare.

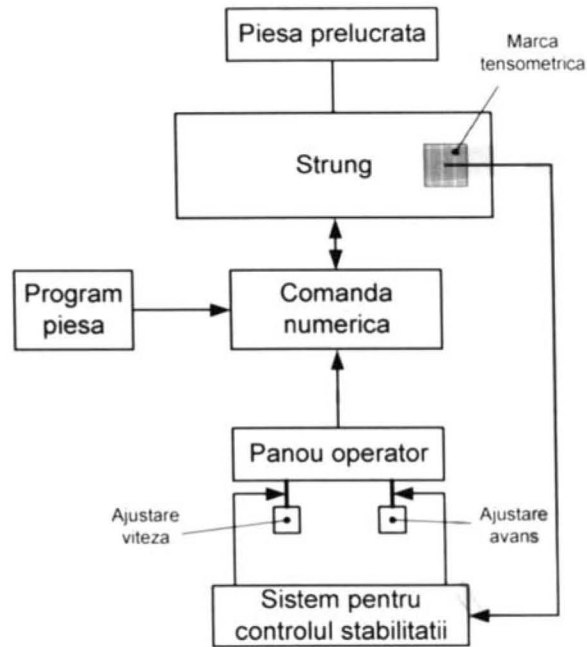


Fig. 1

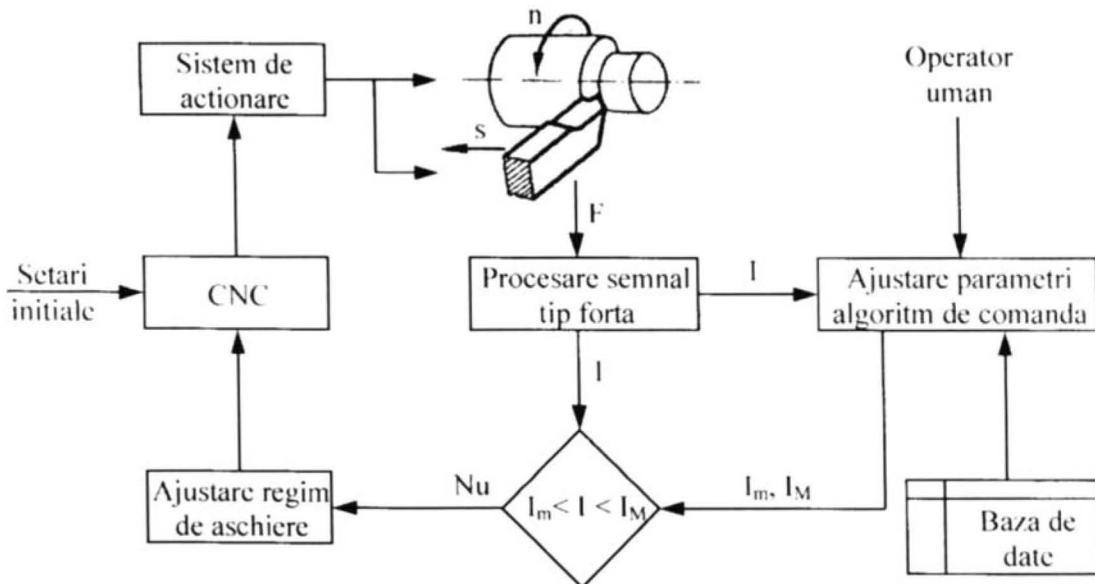


Fig. 2

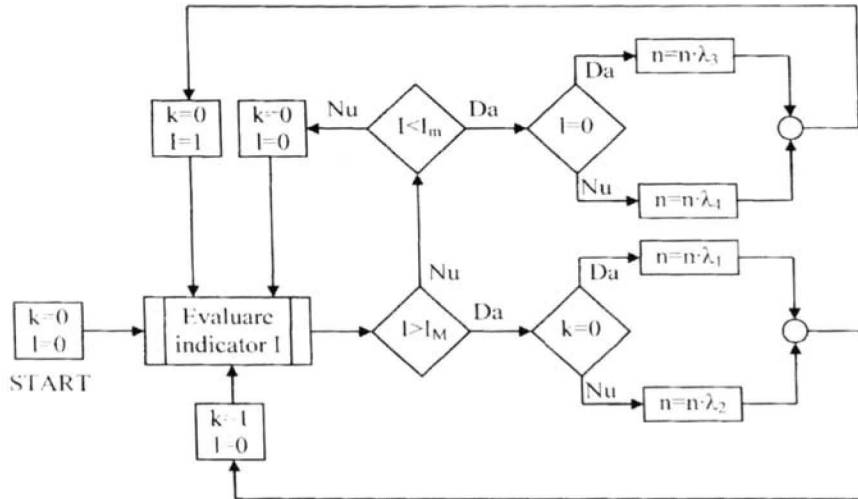


Fig. 3

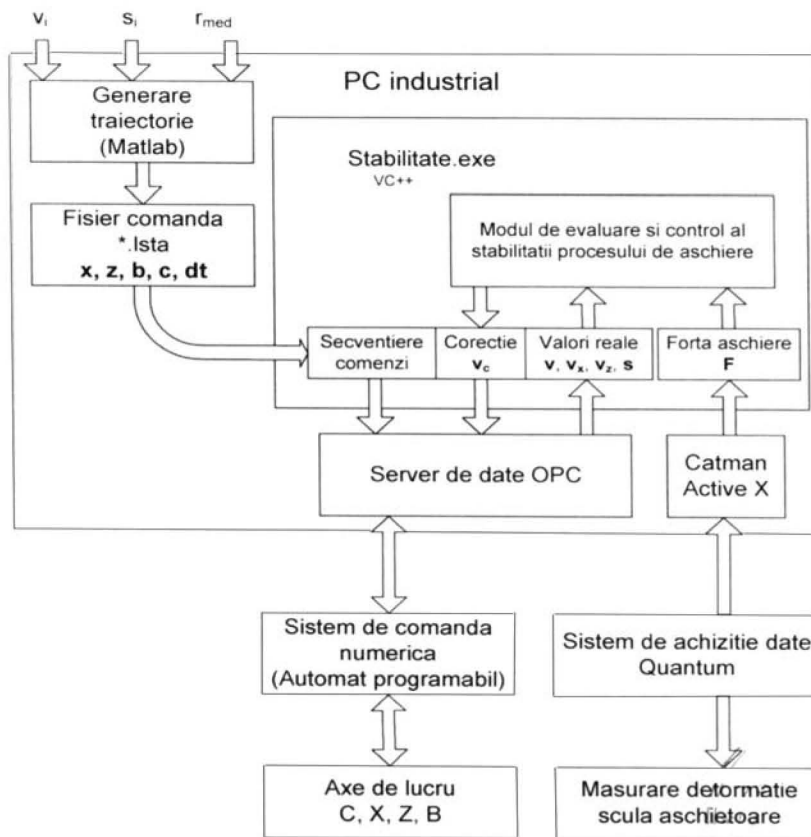


Fig. 4

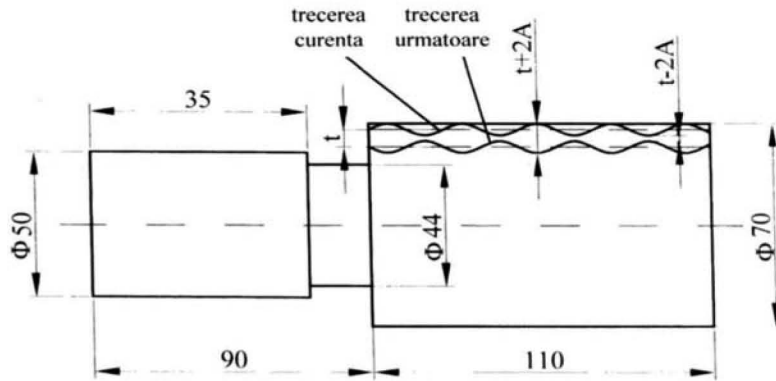
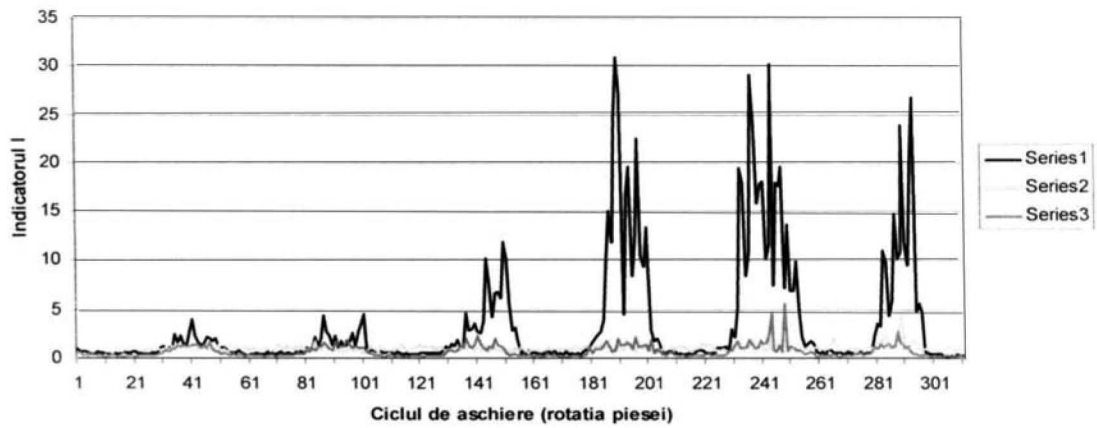


Fig. 5



(a)

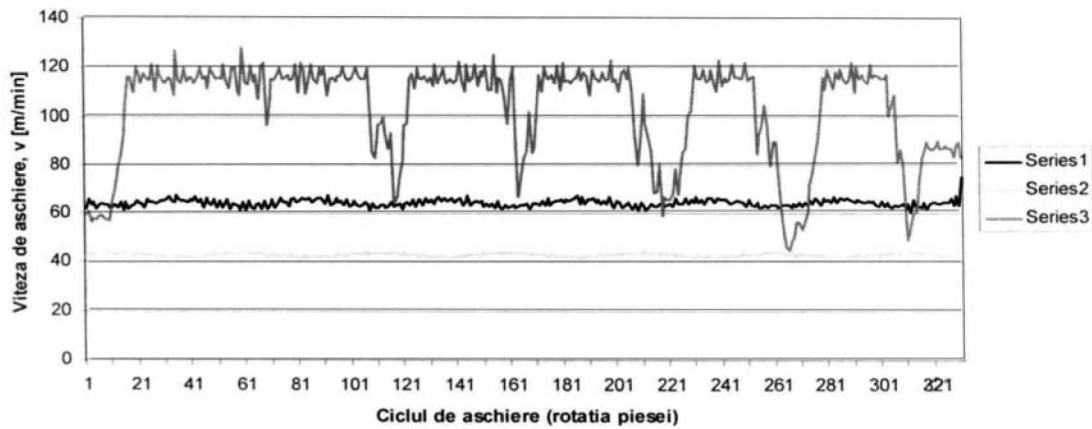


Fig. 6

