

6.- MONITORIZAREA PROCESULUI DE UZARE A SCULEI LA STRUNJIRE, UTILIZAND O RETEA NEURONALA ARTIFICIALA

6.1.- INTRODUCERE

Cercetarile actuale privind procesele de prelucrare mecanica sunt orientate pe doua obiective importante: cresterea calitatii si reducerea pretului de cost. Pentru atingerea acestor obiective, metodele inteligentei artificiale sunt - cu siguranta - cele mai moderne mijloace.

Studiul dinamicii masinilor - unelte se realizeaza aici in sensul "monitorizarii", adica verificarea si corectarea functionarii masinii. Utilizarea retelelor neuronale artificiale (R N A) in cadrul monitorizarii este una din cele mai noi metode dedicate acestui scop .

Starea procesului de prelucrare este urmarita cu niste senzori ale caror semnale se proceseaza in calculator, apoi el identifica o clasa din multimea claselor (conditiilor de lucru) $\mathbf{c} = [c_1, c_2, \dots, c_n]$, conform relatiei:

$$\text{daca } t_{\inf} < \mathbf{x} \leq t_{\sup}, \text{ atunci } \mathbf{c} = c_i, \quad (6.1.1)$$

unde $\mathbf{x}$ este multimea indicilor (vectorul) de monitorizare $\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_m]$, iar t - valorile limita admisibile.

Indicele de monitorizare x_i este legat de semnalul $y_i(t)$ al senzorului prin: $x_i = P(y_i)$, unde $P(\cdot)$ este un operator ce poate fi dependent de timp, neliniar, sau chiar de forma neanalitica. Deci x_i poate fi chiar semnalul y_i sau alta valoare (referitoare la y_i), in domeniul timpului sau frecventei.

Inregistrările se pot ordona ca in tabelul 6.1.1, in care m este numarul indicilor de monitorizare, n - numarul claselor, iar N - numarul inregistrărilor . Deci $\mathbf{x}_k = [x(k,1), x(k,2), \dots, x(k,m)]$.

Tabelul 6.1.1

Inre - gistr.	Indicii de monitorizare						C L A S E (Condițiile procesului)
	X_1	X_2		X_i		X_m	
$\mathbf{x}_1$	$x(1,1)$	$x(1,2)$		$x(1,i)$		$x(1,m)$	$c(\mathbf{x}_1) \in [c_1, c_2, \dots, c_n]$
$\mathbf{x}_2$	$x(2,1)$	$x(2,2)$		$x(2,i)$		$x(2,m)$	$c(\mathbf{x}_2) \in [c_1, c_2, \dots, c_n]$
...	...	...	...	...	...	...	
$\mathbf{x}_N$	$x(N,1)$	$x(N,2)$		$x(N,i)$		$x(N,m)$	$c(\mathbf{x}_N) \in [c_1, c_2, \dots, c_n]$

reprezinta "vectorul k ", iar $c(\mathbf{x}_k) \in [c_1, c_2, \dots, c_n]$ indica faptul ca la aceasta inregistrare a rezultat **una din** clasele : $c_1, c_2, \dots, c_n$.

Procesul de aschiere poate fi privit ca un sistem dinamic, a carui intrare este $\mathbf{x}$, iar iesirea - $\mathbf{c}$

Se poate introduce functia $Q: \mathbf{c} \rightarrow \mathbf{x}$, (6. 1.2)

care este "obscura", pentru ca asupra ei nu se pot face decat masuratori indirecte care sunt, sau despre care se poate presupune ca sunt legate de functie . Daca pentru Q nu se poate obtine nici-o relatie teoretica, atunci se poate utiliza o metoda de interpretare a datelor care este formata din doua faze : **instruire** si **clasificare**. In faza de **instruire** se formeaza o relatie empirica intre $\mathbf{x}$ si $\mathbf{c}$ pentru un set de masuratori la care se cunosc atat $\mathbf{c}$ cat si $\mathbf{x}$ (o parte a datelor din tabelul 6.1.1). In faza de **clasificare** se utilizeaza restul datelor din tabelul 1.1, in scopul predictiei lui $\mathbf{c}$, testand astfel si ajustand relatia empirica.

Se face astfel inversarea functiei $Q: Q^{-1}: \mathbf{x} \rightarrow \mathbf{c}$. (6.1.3)

Acum relatia empirica este capabila sa clasifice **o noua inregistrare** $\mathbf{x}$ intr-o anumita clasa c_i .

Functia Q poate avea diferite aspecte : analitica (putin probabil), o retea neuronală artificială, o recunoastere a formelor, un sistem fuzzy, etc.

6.2.- MONITORIZAREA UZURII SCULEI

Pentru monitorizarea procesului de strunjire, in [3] se prezinta conditiile (starile) sculei definite in tabelul 6.2.1, in care: "scula deteriorata" se identifica printr-un crater de uzura pe fata de degajare, avand o suprafata mai mare de $0,05 \text{ mm}^2$; "trepidatiile" sunt identificate printr-un

Tabelul 6.2.1

Clasa	Starea sculei	Identificarea pe cutit	Identificarea pe piesa	Numarul inregis trarilor
h_1	Normala	$uzura < 0,1\text{ mm}$	—	144
h_2	Scula deteriorata	$crater > 0,05\text{ mm}^2$	—	49
h_3	Uzura usoara	$0,11 < uzura < 0,15\text{ mm}$	—	114
h_4	Uzura medie	$0,16 < uzura < 0,30\text{ mm}$	—	114
h_5	Uzura severa	$0,31\text{ mm} < uzura$	—	114
h_6	Trepidatii	Cutit nou	Urme	61
h_7	Aschiere intermitenta	Cutit nou	Canal axial	15
h_8	Aschiere în gol	—	—	13

zgomot de inalta frecventa si urme pe suprafata prelucrata; “aschiere intermitenta” este produsa de prelucrarea unei piese care are un canal pe suprafata, în lungul directiei de avans .

Asupra conditiilor din tabelul 2.1 vom inteveni, pentru a le aduce in concordanta cu [7, 8], din care citam (fig. 6.2.1): “Criteriile uzuale pentru uzura cutitelor din otel rapid si a cutitelor cu placute din carburi metalice sunt :

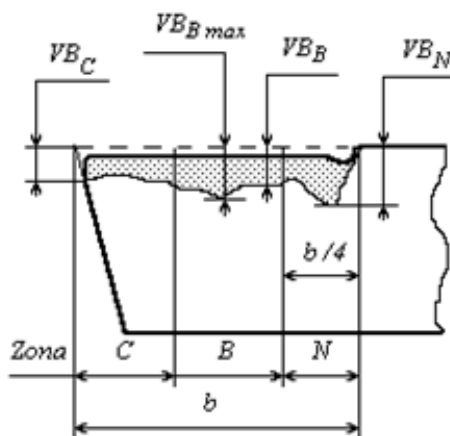


Fig. 6.2.1

-latimea medie a uzurii prin desprindere pe fata de asezare principala este $VB_B = 0,3\text{ mm}$, daca aceasta are o **forma regulata** ; -latimea maxima a aceleiasi uzuri $VB_B_{max} = 0,6\text{ mm}$, daca aceasta are o **forma neregulata**. $C = r_c$ = raza de varf a sculei = max. 2 mm.

Vom adapta clasele h_1 , h_3 , h_4 si h_5 , (din tabelul 2.1 conform acestor prescriptii si vom reordona clasele ca in tabelul 2.2 . In legatura cu clasa h_2 , in [8] se arata ca "deteriorarea avansata (catastrofala) inseamna deteriorarea intensiva a taisurilor cutitului, dupa o perioada de aschiere normala, sub actiunea combinata a tuturor factorilor ce concursa la prelucrare". Pentru evaluarea cantitativa a acestei stari, propunem o depasire cu mai mult de 0,1 mm a criteriilor de uzura, iar depasirea cu pana la 0,1 mm desemnand o “uzura severa”.

Vom elimina clasa h_7 din tabelul 6.2.1, pt. ca aschiere intermitenta (care s-ar intampla in cazul prezentei unui canal de pana) nu se intalneste pe strung, realizarea canalului fiind ultima operatie din procesul tehnologic de prelucrare a arborelui.

In concluzie, cele $n = 7$ clase referitoare la conditiile de lucru sunt cele din tabelul 6.2.2, in care **la primele trei clase conditiile de lucru sunt normale, iar la celelalte clase - anormale.**

Pentru obtinerea indicilor de monitorizare vom utiliza:

- marci tensometrice lipite pe cutit, pentru masurarea componentelor fortei de aschiere (F_y -forta

Tabelul 6.2.2

Clasa	Starea sculei	Identificare pe scula	Identificare pe piesa
c ₁	Normala	$VB < 0,1 \text{ mm}$, sau $VB_{\max} < 0,2 \text{ mm}$	-----
c ₂	Uzura usoara	$0,11 < VB < 0,2 \text{ mm}$, sau $0,21 < VB_{\max} < 0,4 \text{ mm}$	-----
c ₃	Uzura medie	$0,21 < VB < 0,3 \text{ mm}$, sau $0,41 < VB_{\max} < 0,6 \text{ mm}$	-----
c ₄	Uzura severa	$0,31 < VB < 0,4 \text{ mm}$, sau $0,61 < VB_{\max} < 0,7 \text{ mm}$	-----
c ₅	Deteriorarea sculei	$VB > 0,41 \text{ mm}$, sau $VB_{\max} > 0,71 \text{ mm}$	-----
c ₆	Trepidatii	Cutit nou	Urme
c ₇	Strunjire in gol	-----	-----

de respingere, F_z -forța principală);

- accelerometre puse pe portcutit pentru măsurarea accelerațiilor vibrațiilor (a_x , a_y , a_z);
- puterea dată de motorul electric (W).

Semnalele senzorilor se înregistrează simultan cu aparatul SPIDER 8 (H.B.M.). *Spider* este un sistem electronic de măsurare ce se conectează la un PC și execută măsurări electrice a marimilor mecanice (tensiuni, forțe, accelerații) și temperaturi. Fiecare canal are un convertor A/D separat, care permite măsurarea frecvențelor de la 1/s la 9600/s.

6.3.- SIMULAREA MONITORIZĂRII

Vom modela funcția Q din (6.1.2, 3) cu o RNA la care vectorul de intrare are $m = 11$ elemente, iar vector de ieșire $n = 8$ elemente (clase). După instruire, toate elementele vectorului de ieșire din RNA vor fi zero, cu excepția unuia (având valoarea 1) a cărui **poziție** reprezintă **numărul clasei**.

Vom simula monitorizarea unui strung, pentru a avea astfel soft-ul (în MATLAB 6.5) pregătit.

Vibrogramele reprezentând:

- variațiile componentelor F_x , F_y , F_z ale forței de așchiere;
- deplasarea relativă y dintre cutit și piesă, pe direcția de respingere;
- puterea W furnizată de motorul electric;

le realizăm cu funcțiile *RANDN* și *RAND*.

Având în vedere relațiile dintre componentele forței de așchiere:

$F_x = (0,25 \div 0,35) F_z$; $F_y = (0,35 \div 0,50) F_z$, vom lua: $F_z = 100 + 20 \cdot \text{randn}(1, N)$; $F_y = 42 + 10 \cdot \text{randn}(1, N)$; $F_x = 30 + 6 \cdot \text{randn}(1, N)$, în care N este numărul de esanțioane.

În privința deplasării relative y : $y = 1.5 \cdot \text{randn}(1, N)$; puterea de așchiere o considerăm:

$$W = 25 + 5 \cdot \text{rand}(1, N).$$

Pe baza considerațiilor de mai sus, INDICI DE MONITORIZARE sunt:

$X_1 = \bar{F} = (\bar{F}_x^2 + \bar{F}_y^2 + \bar{F}_z^2)^{1/2} \rightarrow$ valoarea medie a forței rezultante de așchiere, unde ($\bar{F}$ este valoarea medie);

$X_2 = C_F = [\max(F_y) - \min(F_y)] / F_y \rightarrow$ factorul de varf al forței F_y ;

$X_3 = \frac{\bar{F}_y}{\bar{F}_v} = \frac{\bar{F}_y}{\sqrt{\bar{F}_y^2 + \bar{F}_z^2}} \rightarrow$ raportul forțelor medii, din planul vertical;

$X_4 \rightarrow$ rata traversării mediei pentru forța F_y (numărul intersecțiilor oscilogramelor F_y cu valoarea sa medie); acest indice este calculat cu ajutorul unei variabile de tip contor, care se mărește cu o unitate atunci când produsul $[F_y(k) - \bar{F}_y][F_y(k+1) - \bar{F}_y]$ este negativ, fapt ce se

intampla cand curba $F_y(t)$ intersecteaza orizontala $\bar{F}_y$.

$X_5 \rightarrow$ media densitatii spectrale de putere a lui F_y in banda de frecvente 1 - 125 Hz ;

$X_6 \rightarrow$ media densitatii spectrale de putere a lui F_y in banda de frecvente 126 - 250 Hz ;

$X_7 \rightarrow$ media densitatii spectrale de putere a lui F_y in banda de frecvente 251 - 500 Hz ;

$X_8 \rightarrow$ media densitatii spectrale de putere a vibratiei y in banda de frecvente 0 - 125 Hz ;

$X_9 \rightarrow$ media densitatii spectrale de putere a vibratiei y in banda de frecvente 126 - 250 Hz ;

$X_{10} \rightarrow$ media densitatii spectrale de putere a vibratiei y in banda de frecvente 251 - 500 Hz ;

$X_{11} \rightarrow$ valoarea medie patratica a puterii de aschiere W .

Matricea P , de dimensiuni $(11 \times Q)$ – continand cei 11 indici de monitorizare ($X_1 \div X_{11}$) si in care Q este numarul de experimente, are aspectul din relatia (6.3.1).

$P = 1.0e+004 *$

Columns 1 through 4

0.01115160236262	0.01111776208232	0.01128320014418	0.01114477828469
0.00011872250749	0.00013863976981	0.00013464454684	0.00014977366854
0.00003837450623	0.00003824647822	0.00003865774920	0.00003882892721
0.01240000000000	0.01400000000000	0.01200000000000	0.01320000000000
1.19649632745768	1.14774467329114	1.19195116081064	1.16814906208573
0.01449785276532	0.00834934135711	0.01067465623032	0.01128964235457 (6.3.1)
0.00917486420559	0.01114635004294	0.01009532191768	0.01272595316720
0.00019465249851	0.00038721111922	0.00027689491860	0.00017997231379
0.00018259338286	0.00027753290547	0.00026326336937	0.00017247427052
0.00019509725158	0.00028420715164	0.00026315476562	0.00022039394774
0.00274914751134	0.00275807333095	0.00274997052944	0.00274503600945

Pentru evaluarea DENSITATII SPECTRALE DE PUTERE se pleaca de la realizarile procesului aleator $Y(t)$, pe un interval finit $[-T, T]$: $x^{(1)}_T(t), x^{(2)}_T(t), \dots, x^{(n)}_T(t)$; $x^{(i)}_T(t) = 0$ in afara intervalului $[-T, T]$. Acestor realizari li se aplica transformata Fourier directa :

$$X^{(i)}_T(j\nu) = F[x^{(i)}_T(t)] = \int_{-\infty}^{+\infty} x^{(i)}_T(t) \cdot e^{-j2\pi\nu t} \cdot dt, \quad (i = 1, 2, \dots, n).$$

Formam expresiile $\frac{1}{2T} |X^{(i)}_T(j\nu)|^2, (i = 1, 2, \dots, n)$, numite *periodograme*.

Densitatea spectrala de putere P_{xx} este limita (cand $T \rightarrow \infty$) a mediei multimii periodogramelor:

$$P_{xx}(j\nu) = \lim_{T \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \frac{1}{2T} |X^{(i)}_T(j\nu)|^2.$$

Densitatea spectrala de putere o calculam cu functia PSD: $P_{xx} = \text{PSD}(X, \text{NFFT}, Fs, \text{WINDOW})$ care estimeaza aceasta caracteristica a unui semnal (vector) X utilizand metoda medierii periodogramelor (Welch). Fs este *frecventa de esantionare* utilizata pentru scalarea figurilor: $Fs = 1/\Delta$, unde Δ este perioada de esantionare. Teorema de esantionare (Shannon) arata ca: $Fs \geq 2f_{max}$, unde f_{max} este cea mai inalta frecventa din spectrul semnalului. In cazul prelucrarii pe strung $f_{max} = 500 \text{ Hz}$, deci $Fs = 1000 \text{ Hz}$.

$[P_{xx}, F] = \text{PSD}(X, \text{NFFT}, Fs, \text{NOVERLAP})$ returneaza un vector al frecventelor avand aceeasi dimensiune ca si P_{xx} , iar PSD se estimeaza suprapunand sectiunile lui X cu NOVERLAP esantioane.

Valorile implicite ale parametrilor sunt: $\text{NFFT} = 256$ (sau $\text{LENGTH}(X)$, daca este mai mic), $\text{NOVERLAP} = 0$, $\text{WINDOW} = \text{HANNING}(\text{NFFT})$, $Fs = 2$. Parametrii impliciti se pot obtine omitandu-i, sau inseriind o matrice goala $[]$.

Vom utiliza: $[P_{xx}, f] = \text{psd}(x, [], 1000)$, unde $\text{length}(P_{xx}) = 256/2 + 1 = 129$, deci elementele lui P_{xx} care corespund frecventelor indicilor de monitorizare $X_5 \div X_{10}$ ii determinam cu relatiile: $125/u = 250/v = 500/129 \rightarrow u = 32; v = 64$.

Unitatea de masura a densitatii spectrale de putere o determinam utilizand teorema lui Parseval :

$$SUM(P_{xx}) / LENGTH(P_{xx}) = SUM(X.^2) / LENGTH(X) = COV(X).$$

Valoarea RMS a semnalului este: $RMS(X) = (COV(X))^{1/2}$.

Daca semnalul de intrare se masoara in Volts, atunci P_{xx} se masoara in $[Volt^2 / Hz]$.

Densitatile spectrale de putere pentru forta F_y si deplasarea relativa y se prezinta in figura 6.3.1.

Clasa rezultata la experimentul (simulat) i , care deci corespunde la o serie de 11 indici de

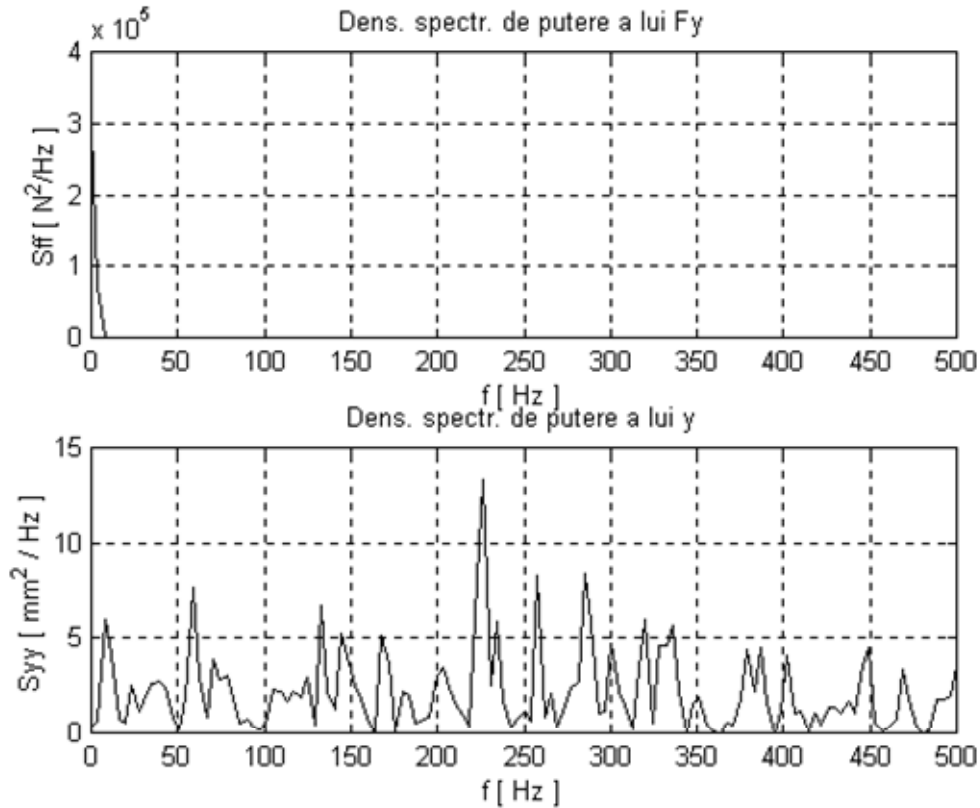


Fig . 6.3.1

monitorizare, o stabilim cu functia REM (= restul impartirii) in secventa MATLAB :

```
T = zeros ( 8 , Q ) ;
for i = 1 : Q
    in = ( i - 1 ) * N ;
    cl = rem ( in , 8 ) + 1 ;
    T ( cl , i ) = 1 ;
end
```

in care : Q = numarul de experimente , N = numarul de esantioane , 8 = numarul claselor , T = matrice de dimensiune $(8 \times Q)$ in care *rangul* elementului nenul din coloana i este *clasa* rezultata (una din cele 8 clase).

Pentru $Q = 20$ a rezultat matricea T din relatia (6.3.2).

$T =$

Columns 1 through 20

1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

RNA-a cu $r = 11$ intrari (indicii de monitorizare) si $s_3 = 8$ iesiri (clase) o realizam cu 3 straturi , avand $s_1 = 15$ neuroni pe primul strat, $s_2 = 19$ neuroni pe al doilea strat si $s_3 = 8$. Functiile de activare sunt : *tansig* pentru primele doua straturi si *logsig* pentru ultimul. Reteaua -

creata cu functia *newff* , antrenata cu functia *train* (cu *learning rate* $lr = 0.003$) si simulata cu functia *sim* - are urmatoarea evolutie :

TRAINLM, Epoch 0/50, MSE 0.480514/0.05, Gradient 46421.1/1e-010
 TRAINLM, Epoch 15/50, MSE 0.163363/0.05, Gradient 350.185/1e-010
 TRAINLM, Epoch 30/50, MSE 0.102061/0.05, Gradient 310.379/1e-010
 TRAINLM, Epoch 45/50, MSE 0.101914/0.05, Gradient 81.7795/1e-010
 TRAINLM, Epoch 50/50, MSE 0.1019/0.05, Gradient 93.6065/1e-010
 TRAINLM, Maximum epoch reached, performance goal was not met.

Reteaua furnizeaza la iesire matricea *yr* , avand aceleasi dimensiuni ($8 \times Q$) ca si matricea *T* . O parte a matricei *yr* este aratata in relatia (6.3.4).

yr =

Columns 8 through 14							
0.0064	0.0000	0.1623	0.0000	0.0043	0.0002	0.0000	
0.0000	0.0000	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
0.8282	0.0128	0.0145	0.0006	0.1757	0.0001	0.0463	
0.0039	0.0000	0.6531	0.0004	0.3958	0.0007	0.0000	
0.0002	0.0003	0.0000	0.1537	0.0001	0.0563	0.0091	
0.8925	0.0930	0.0020	0.0030	0.3629	0.0022	0.0179	
0.0000	0.1384	0.0017	0.6219	0.0004	0.1858	0.0128	
0.0174	0.9997	0.0035	0.0180	0.0030	0.0016	1.0000	(6.3.4)

Rangul elementului **maxim** din coloana *i* este *clasa* furnizata de RNA .

Din compararea coloanelor matricelor *T* (6.3.2) si *yr* (6.3.4) se observa ca clasificarea a reusit numai in cazul coloanelor 8 , 10 , 11 , 14. In figura 6.3.2 se arata tinta ("o") si iesirile din RNA ("x"); din totalul de $Q = 20$ coloane , clasificarea a reusit pentru 8 coloane , deci rata succesului este $8 / 20 = 0,4 = 40 \%$.

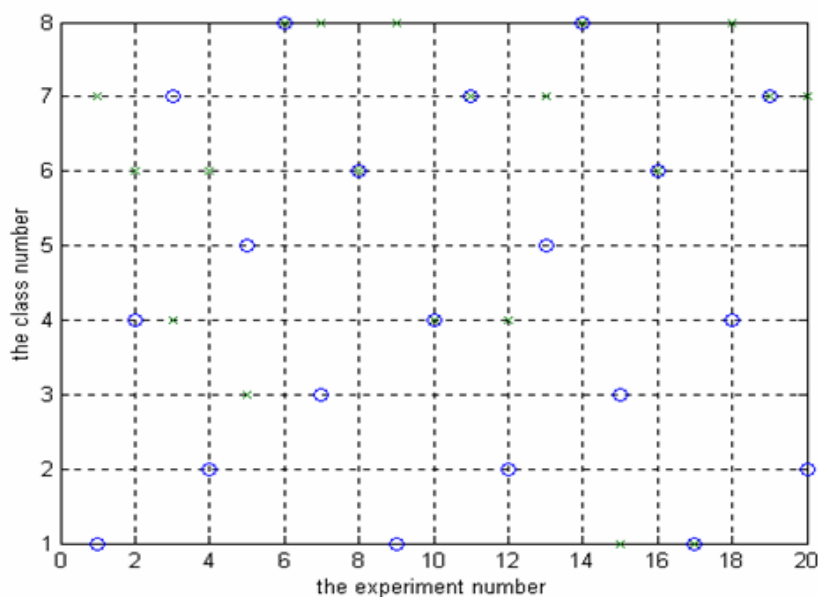


Fig. 6.3.2

In acest moment aceasta rata ne satisface, pentru ca clasificarea **nu** este realizata pentru un caz real.

In situatia reala , performanta RNA o vom ameliora prin :

- cresterea ratei de instruire (*lr*) , a numarului de neuroni (s_1 , s_2) , a numarului de epoci (50 in (6.3.3)) si a numarului de straturi;
- schimbarea functiilor de activare si a punctului de initializare a ponderilor si deplasarilor .

6.4.- STANDUL EXPERIMENTAL

A) COMPONENTELE FORTEI DE ASCHIERE

Fortele F_y si F_z se vor masura cu ajutorul a doua marci tensometrice 1 si 2 (fig. 6.4.1), lipite pe cutitul de strung si conectate la SPIDER. Marcile sunt de tipul HBM (scurte, $R=120 \Omega$). Cutitul (armat cu placuta aschietoare, avand dimensiunile: $h = 37 \text{ mm}$; $a = 23$; $b = 23$) este sollicitat la incovoiere de catre forta F_z si la compresiune de F_y . Masurand deformatiile relative ε_1 si ε_2 , se pot calcula eforturile unitare indicate in figura 6.4.1:

$$\sigma_1 = E \varepsilon_1, \quad \sigma_2 = E \varepsilon_2. \quad (6.4.1)$$

Eforturile unitare de compresiune si incovoiere sunt :

$$\sigma_c = F_y / (a b), \quad \sigma_i = M / W = (F_z h - F_y a / 2) / (b a^2 / 6). \quad (6.4.2)$$

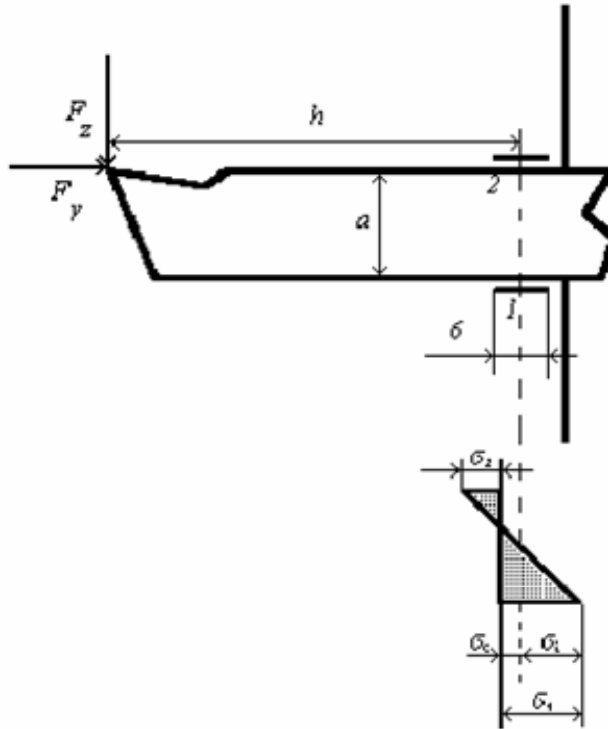


Fig. 6.4.1- Masurarea tensometrica a componentelor fortei de aschiere

Din figura 6.4.1: $\sigma_1 = \sigma_i + \sigma_c$, $\sigma_2 = \sigma_i - \sigma_c$, (6.4.3)

de unde : $\sigma_i = (\sigma_1 + \sigma_2) / 2$, $\sigma_c = (\sigma_1 - \sigma_2) / 2$. (6.4.4)

Rezulta: $F_y = a b (\sigma_1 - \sigma_2) / 2$, $F_z = a^2 b (2\sigma_1 - \sigma_2) / (6 h)$. (6.4.5)

Pentru compensarea termica, se face un montaj tensometric identic cu cel din figura 6.4.1, pe alt cutit.

Solicitarea de incovoiere a cutitului este produsa de F_z si F_y : $\sigma_z = \frac{F_z \cdot h}{b a^2 / 6}$; $\sigma_y = \frac{F_y \cdot a / 2}{b a^2 / 6}$.

Se stie ca: $F_y \approx 0,3 F_z$, deci $\frac{\sigma_y}{\sigma_z} = \frac{0,3 F_z \cdot 11,5}{F_z \cdot 37} = 0,09 = 9\%$; ca urmare, incovoierea produsa de

F_y se poate neglija. Relatiile (6.4.2) devin :

$$\sigma_i = \frac{F_z \cdot 37}{23^3 / 6} = 0,018 \cdot F_z ; \quad \sigma_c = \frac{0,3 \cdot F_z}{23^2} = 5,7 \cdot 10^{-4} \cdot F_z ; \quad \frac{\sigma_c}{\sigma_i} = 0,03 = 3\%$$

In concluzie, solicitarile produse de F_y se pot neglija si cu montajul tensometric masuram numai forta principala de aschiere $F_z = a^2 b \sigma / (6 h)$, (6.4.6)

in care vom lua: $\sigma = (\sigma_1 + \sigma_2) / 2$. (6.4.7)

Marcile de pe fetele superioare ale celor doua cutite se leaga la un canal al aparatului SPIDER, iar cele de pe fetele inferioare - la alt canal, conform conexiunii *in semi-punte* din figura 6.4.2, in

care pinul 8 este *semnalul de masurat*, pinii 5 si 6 – *tensiunea de excitatie a puntii*, pinii 13 si 12 – *senzorii circuitului*.

Experimentul s-a efectuat pe un strung S N B 400 X 1500 (Arad).

S-a procedat astfel :

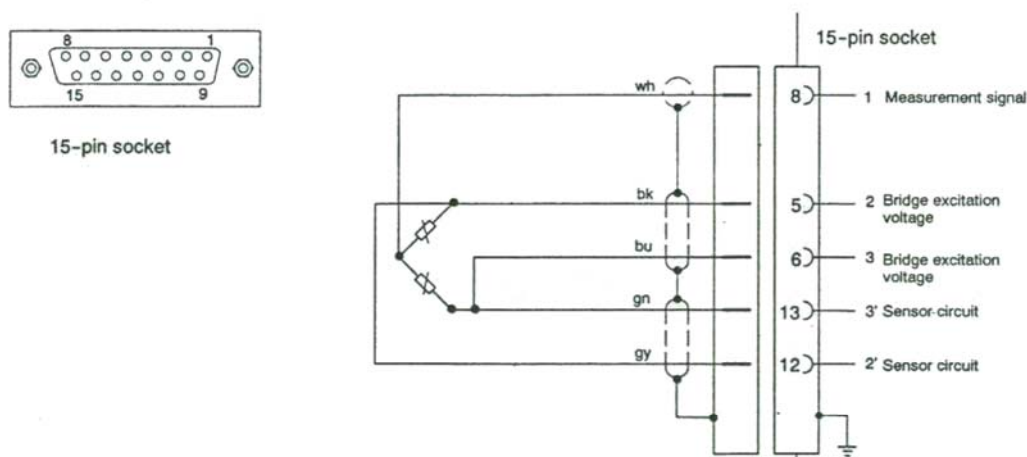


Fig. 6.4.2

a)- S-au etalonat marcile , incarcand static cutitul pe fata de degajare - in apropierea varfului - cu o greutate $G = 10$ daN. Indicatiile celor doua marci sunt in sensuri opuse, pentru ca marcile tensometrice sunt solicitate 1- la compresiune, iar 2- la intindere:

$$\varepsilon_1^{Inr} = -0,006.41 \quad ; \quad \varepsilon_2^{Inr} = 0,0037.$$

Aceasta asimetrie consideram ca se datoreaza neliniaritatilor din sistem. In medie:

$$\varepsilon_{Inreg} = (5, 1 + 3, 7) \cdot 10^{-3} / 2 = 4,4 \cdot 10^{-3}. \quad (6.4.8)$$

Greutatea G provoaca o alungire relativa:

$$\varepsilon = \sigma / E = M / (E W) = G h / (E b a^2 / 6) = 6 \times 3,7 / (2,1 \times 10^6 \times 2,3^3) \times G ;$$

$$\varepsilon = 0,869 \times 10^{-6} \times G \rightarrow \varepsilon_{real} = 8,69 \times 10^{-6} \quad (6.4.9)$$

Scara alungirilor relative: $K = \varepsilon_{real} / \varepsilon_{Inreg} = 1,957 \times 10^{-3}. \quad (6.4.10)$

b)- S-au realizat 186 inregistrari in timpul strunjirii longitudinale a unui cilindru din OLC 45 ($\Phi 113$, $L = 1000$), cu un cutit de strung cu carbura metalica P 20 si $\mathcal{R} = 45^\circ$. De exemplu, pentru regimul de lucru nr. 101: turatia $n = 250$ rot/min., avansul longitudinal $s = 0,292$ mm/rot., adancimea de aschiere $t = 1$ mm , diametrul piesei $\varnothing = 107$ mm, s-au obtinut oscilogramele din figura 6.4.3, in care curba cu coordonatele negative este ε_1^{Inr} , iar cea cu coordonatele pozitive

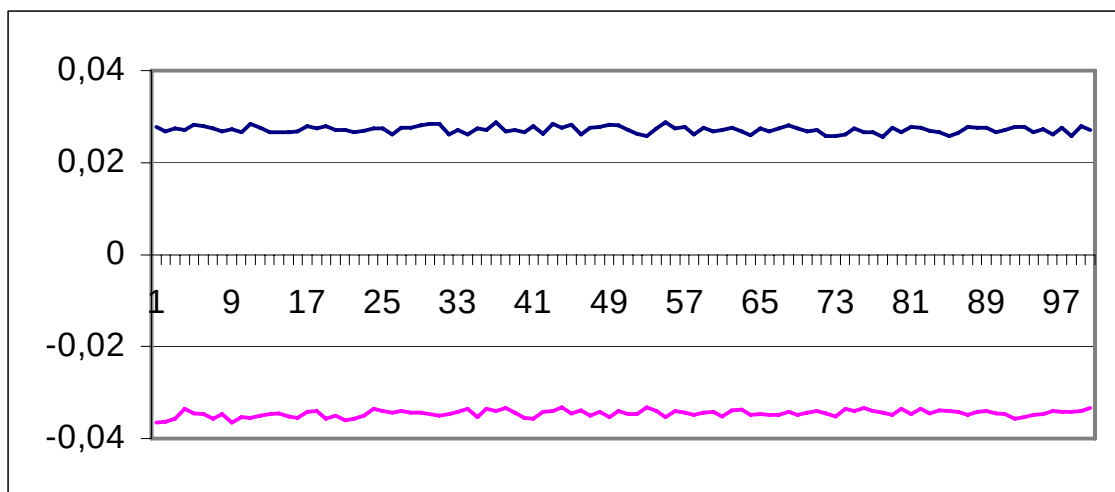


Fig. 6.4.3 - $\varepsilon_1^{Inr}(t)$ si $\varepsilon_2^{Inr}(t)$

este ε_2^{Inr} .

Numerele de pe abscisa din aceasta figura si din figurile asemanatoare, de mai jos, reprezinta multiplii intervalului de timp de esantionare: $\Delta t = 0,5 / 4800 = 1,041666 \cdot 10^{-4} \text{ s}$. (6.4.11)

Aspectul calitativ al vibrogramelor consideram ca este corespunzator, verificand relatia $|\varepsilon_1| > \varepsilon_2$, sau $\sigma_1 > \sigma_2$, rezultata din (6.4.3).

De regula, la inceputul si sfarsitul inregistrarii se observa o deviatie, datorita - in principal - necompensarii termice: cutitul in lucru se incalzeste, iar cutitul martor ramane la temperatura mediului ambiant. Cum fiecare regim de lucru a durat cca. 30 sec., in prima jumatate a timpului conectandu-se aparatul Spider pentru 1 sec., intre inregistrari fiind (evident) o pauza pentru schimbarea parametrilor regimului de aschiere si pentru transmiterea la PC a datelor culese, vom considera necompensarea termica ca fiind neglijabila.

Formula (6.4.6) devine, tinand cont de (6.4.7 si 6.4.10) si de faptul ca $\varepsilon_1 < 0$:

$$F_z = \frac{a^2 b}{6h} \cdot \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} = \frac{a^2 b}{6h} \cdot E \cdot \frac{\varepsilon_2^{real} - \varepsilon_1^{real}}{2} = \frac{a^2 b}{6h} \cdot E \cdot K \cdot \frac{\varepsilon_2^{inr} - \varepsilon_1^{inr}}{2} =$$

$$= \frac{23^3}{12 \cdot 37} \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 1,975 \cdot 10^{-3} (\varepsilon_2^{inr} - \varepsilon_1^{inr})$$

$$F_z = 1136 (\varepsilon_2^{inr} - \varepsilon_1^{inr}) \text{ [daN]}, \quad (6.4.12)$$

De exemplu, in experimentul nr. 101 oscilograma $F_z(t)$ se prezinta in fig. 6.4.4.

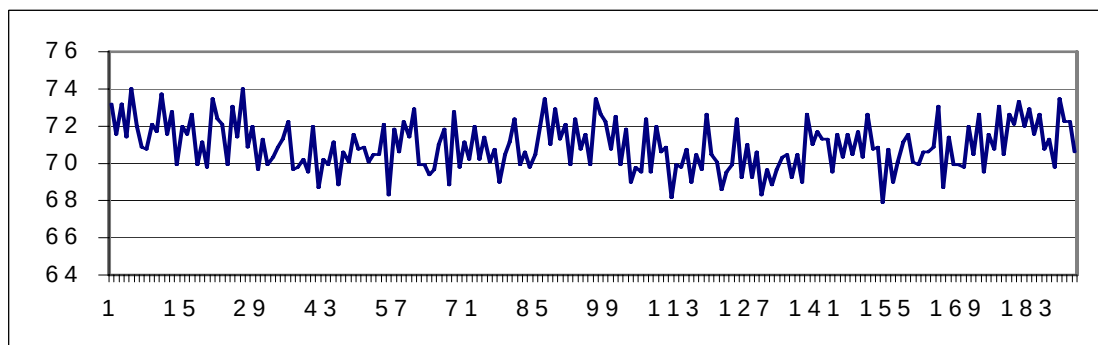


Fig. 6.4.4 – $F_z(t)$

B) ACCELERATIILE PORTCUTITULUI

Pe o placuta solidara cu portcutitul s-au montat 3 accelerometre Bruel&Kjaer, de tip 4329, avand domeniul de masura $0,1 < f < 20 \text{ KHz}$ si numarul de fabricatie:

- 75281 (cu sensibilitatea $s = 12,5 \text{ mV/g}$, pentru acceleratia pe directia x (a_x);
- 75284 (cu sensibilitatea $s = 11,5 \text{ mV/g}$, pentru acceleratia pe directia y (a_y);
- 75282 (cu sensibilitatea $s = 13,5 \text{ mV/g}$, pentru acceleratia pe directia z (a_z).

Conectarea fiecarui accelerometru la aparatul Spider se face conform schemei din fig. 6.4.5.

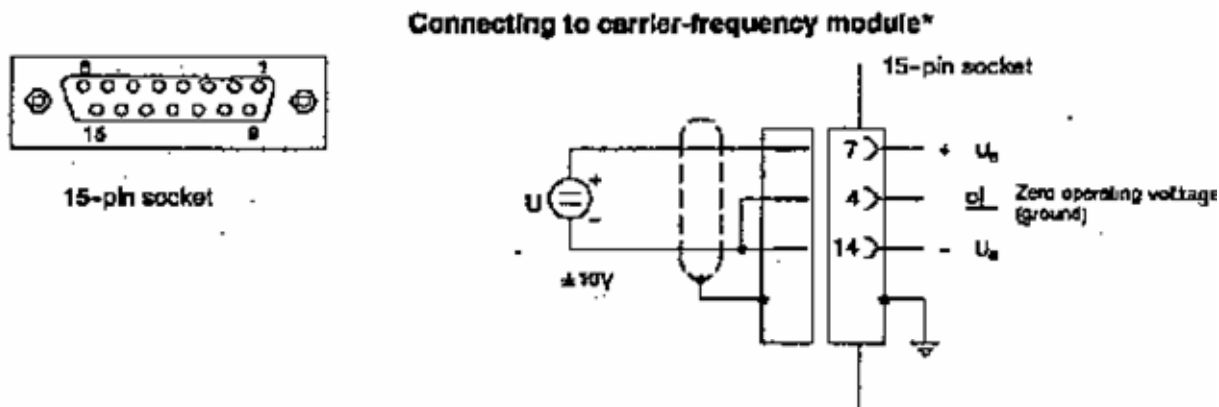


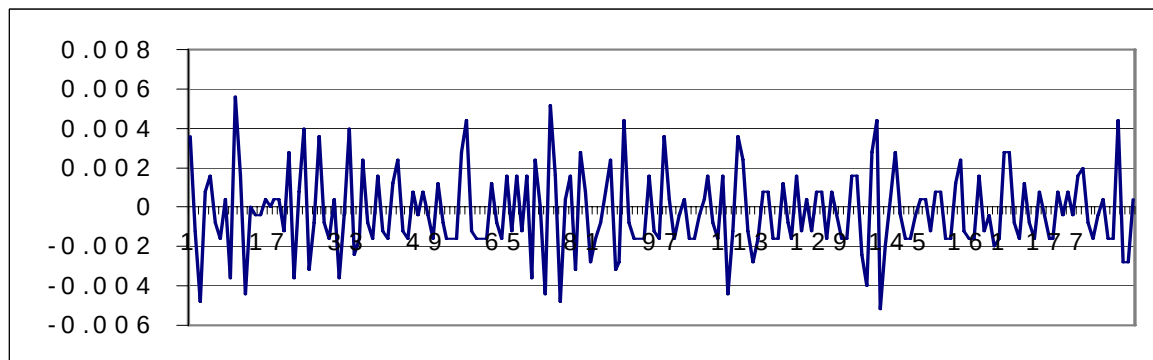
Fig. 6.4.5

Exista relatia: $a_{reala} = \frac{a [\text{mV}]}{s [\text{mV/g}]} = \frac{a}{s} \cdot g = \frac{9,81}{s} \cdot a [\text{m/s}^2], \quad (6.4.13)$

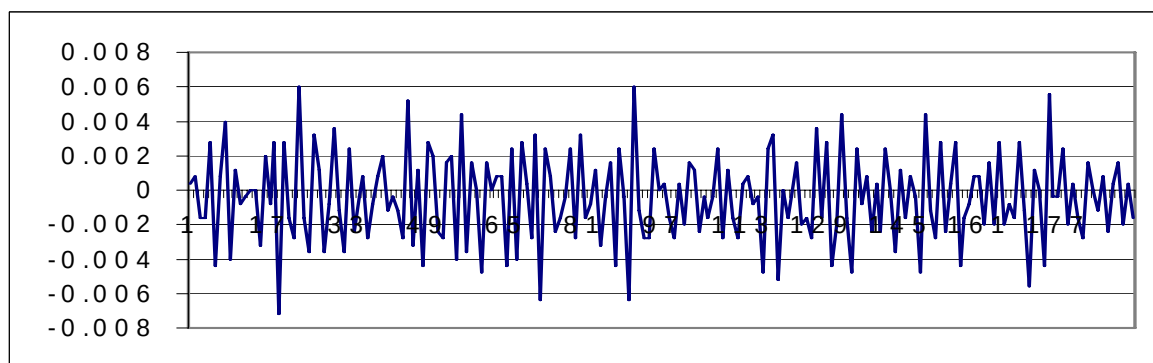
in care a [mV] este semnalul intrat in Spider; deci valoarea inregistrata in PC este :

$$\begin{aligned} a_x^{real} &= \frac{9,81}{12,5} \cdot a_x^{inr} = 0,785 \cdot a_x^{inr} \\ a_y^{real} &= \frac{9,81}{11,5} \cdot a_y^{inr} = 0,853 \cdot a_y^{inr} \\ a_z^{real} &= \frac{9,81}{13,5} \cdot a_z^{inr} = 0,727 \cdot a_z^{inr} \end{aligned} \quad (6.4.14)$$

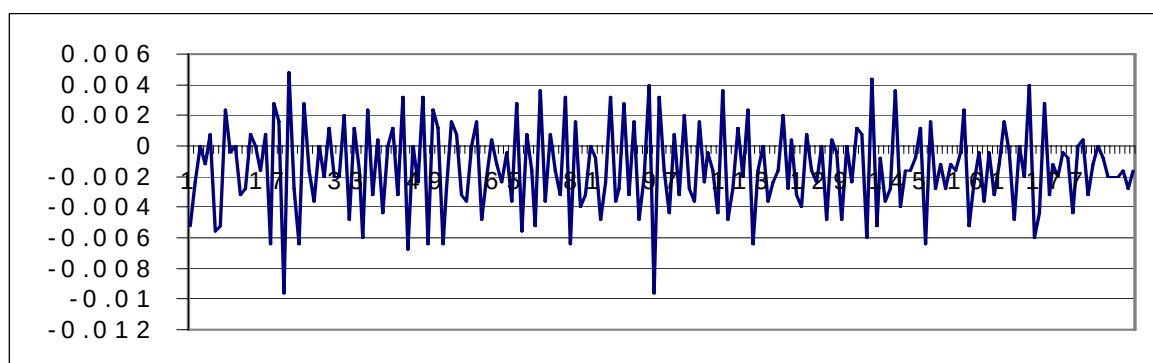
De exemplu, la inregistrarea nr. 101 s-au obtinut oscilogramele din fig. 6.4.6.



a)- Acc. $a_x^{inr}(t)$



b)- Acc. $a_y^{inr}(t)$



c)- Acc. $a_z^{inr}(t)$

Fig. 6.4.6

C)- TEMPERATURA MEDIE A TAISULUI SCULEI [5]

a)- **Caldura de aschiere. Bilantul termic la aschiere metalelor**

În procesul de aschiere are loc ridicarea temperaturii aschiei, sculei si semifabricatului, ca urmare a transformarii unui procent de 99,5% din lucrul mecanic de aschiere în caldura. Exista

trei surse de caldura (figura 6.4.7): - planul de forfecare; - suprafata de degajare a sculei; - fata de asezare a sculei.

Daca se noteaza cu Q_ϕ , Q_γ si Q_α cantitatea de caldura provenita din aceste surse, atunci, cantitatea totala de caldura este data de relatia: $Q=Q_\phi+Q_\gamma+Q_\alpha$. (6.4.15)

Caldura degajata se propaga în aschie, scula, piesa si mediul înconjurator astfel ca se poate face precizarea: $Q = Q_{\phi p} + Q_{\phi a} + Q_{\alpha p} + Q_{\alpha s} + Q_{\gamma p} + Q_{\gamma s} + Q_m$, (6.4.16)

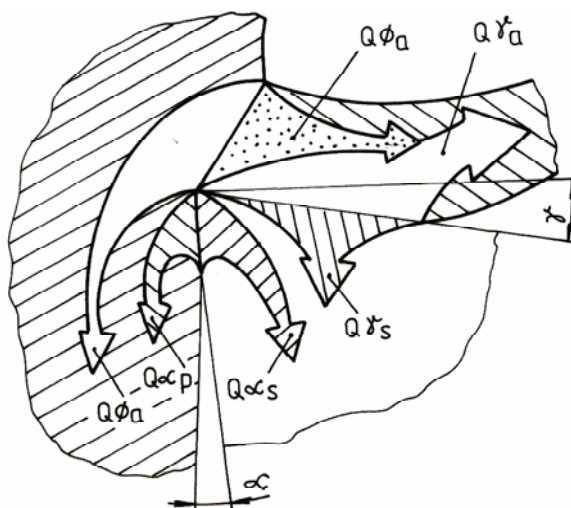


Fig. 6.4.7. Surse de caldura la aschiere

unde: $Q_{\phi p}$ este cantitatea de caldura provenita din transformarea lucrului mecanic de deformare în planul de forfecare si preluata de piesa; $Q_{\phi a}$ - cantitatea de caldura provenita din transformarea lucrului mecanic de deformare în planul de forfecare si preluata de aschie; $Q_{\alpha p}$ - cantitatea de caldura provenita din transformarea lucrului mecanic de frecare pe fata de asezare si preluata de piesa; $Q_{\alpha s}$ - cantitatea de caldura provenita din transformarea lucrului mecanic de frecare pe fata de asezare si preluata de scula; $Q_{\gamma s}$ - cantitatea de caldura provenita din transformarea lucrului mecanic de frecare pe fata de degajare si preluata de scula; $Q_{\gamma a}$ - cantitatea de caldura provenita din transformarea lucrului mecanic de frecare pe fata de degajare si preluata de aschie; Q_m - cantitatea de caldura preluata direct de mediul ambiant.

Repartizarea caldurii de aschiere între aschie, piesa, scula si mediul ambiant depinde de procedeul de aschiere, caracteristicile termice ale materialului piesei si sculei, de regimul de aschiere, în special de viteza de aschiere.

Orientativ, cantitatea de caldura - la strunjire - se repartizeaza astfel: 75% în aschie; 20% în piesa; 4% în scula; 1% în mediul ambiant, dar difera mult de aceasta stare, odata cu cresterea vitezei de aschiere.

b)- Metode experimentale pentru masurarea temperaturii taisului sculei

Metodele experimentale pentru masurarea temperaturii de aschiere pot fi împartite în doua grupe:

- metode prin care se determina temperatura medie a aschiei si a semifabricatului (metoda calorimetrica; metoda culorii de revenire; metoda substantelor termocolore);
- metode prin care se determina temperatura diferitelor zone ale aschiei sau ale sculei (metoda termoelectrica, metoda radiatiei).

Pentru determinarea temperaturii medii a taisului, se pot utiliza termocuplele formate de materialul sculei si al piesei (termocuplul natural). Scula trebuie, în mod obligatoriu, izolata din punct de vedere electric fata de batiul masinii.

În înregistrările de la nr. 1 la 144 s-a utilizat aparatul Spider, conform conexiunii din fig. 6.4.8.

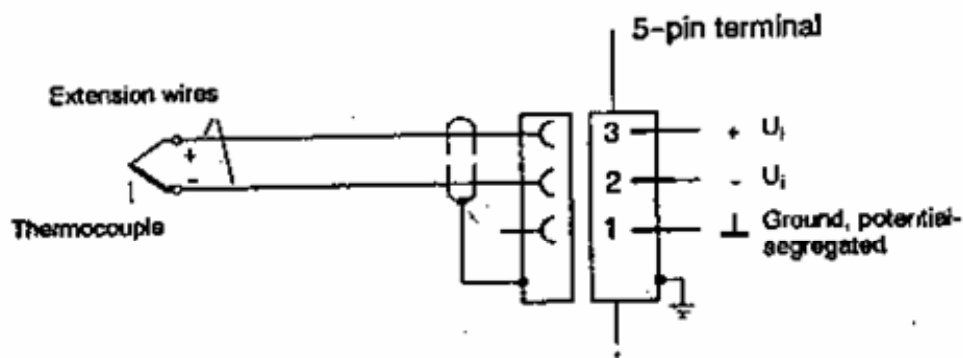


Fig. 6.4.8

Circuitul inchizandu-se prin cutia de viteze si cutia de avansuri, contactele realizandu-se in diferite puncte (de la un regim de aschiere la altul), inregistrările din PC nu sunt relevante. Ca urmare, pt. inregistrările de la nr. 145 la 191 s-a utilizat un montaj in care circuitul electric piesa-scula se închide printr-un colector cu grafit (fig. 6.4.9).

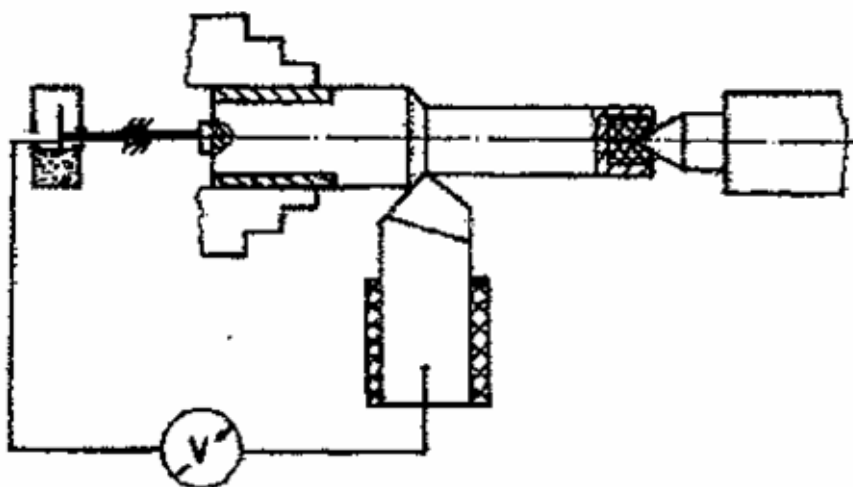


Fig. 6.4.9

Voltmetrul masoara o tensiune direct proportionala cu temp. Scara voltmetrului are 48 de diviziuni, la care corespunde 20 mV, deci o diviziune are $20 / 48 = 0,417$ mV/div. Acest termocuplu nu se poate etalona pentru ca nu se poate reproduce contactul scula-piesa intr-un cuptor (cu temperatura cunoscuta).

D)- RUGOZITATEA R_a a suprafetei prelucrate

Incepand cu inregistrarea nr. 89 am masurat si rugozitatea, cu aparatul portabil "Surtronic 3+" produs de firma "Taylor / Hobson – Pneumo" (Anglia).

Parametrul R_a al rugozitatii este media aritmetica a distantelor de la profilul suprafetei la linia

$$\text{medie: } R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| \cdot dx.$$

E)- PUTEREA data de motorul electric

In capitolul 6.2 s-a aratat ca pentru obtinerea indicilor de monitorizare in [3] s-a utilizat si puterea data de motorul electric.

Pentru acest parametru am avut la dispozitie aparatul pentru masurarea puterii unui motorul electric trifazat CIRCUTOR CVM-B (Spania).

Nu am utilizat acest aparat pentru ca o perturbatie in procesul de aschiere se amortizeaza in lantul cinematic ce se termina cu motorul electric.

Consideram ca fi util de masurat puterea instantanee $P = F_z \cdot v$, ce implica inregistrarea si variatiei vitezei (turatiei) piesei.