

CERCETARI SI REZULTATE PRIVIND INTRODUCEREA VIBRATIILOR ÎN PROCESUL DE ASCHIERE AL MATERIALELOR CU PLASTICITATE RIDICATA

Ioan MOGA¹ Petru BERCE² Tiberiu VESSELENYI¹

¹Universitatea din Oradea

²Universitatea Tehnica Cluj-Napoca

Keiword: aschiere cu vibratii, aschiere, vibratii axiale, materiale aschiate.

Abstract: This paper comprises researches regarding introduction of vibrations in cutting process at the turning of ARMCO steel and OFHC copper, which are representative materials of high plasticity materials group. Introduction of vibrations had been made with the help of an electro-mechanical device, modified for this purpose. The introduction of vibrations on the direction of main longitudinal feed. The device, impose a harmonic vibratory motion of the tool on the longitudinal feed motion.

1. INTRODUCERE

Metodele de prelucrare mecanica moderna se caracterizeaza prin intensificarea puternica a proceselor de aschiere, datorita folosirii aschierii rapide (HSM – High Speed Machining) si intensive, a prelucrării concomitente cu mai multe scule si automatizării productiei.

Dezvoltarea larga a acestor metode de prelucrare a pus pe prim plan problemele legate de vibratii care apar în timpul prelucrării metalelor prin aschiere. Aceste probleme sunt tratate atât în scopul amortizării vibratiilor care apar în timpul prelucrării, cât si în scopul punerii la punct al aschierii cu vibratii, care asigura o fragmentare continua a aschiilor în special la prelucrările pe masini automate unde este nevoie ca îndepartarea aschiilor din zona de lucru si de pe masina sa poata fi automatizata.

În majoritatea cazurilor, prezenta vibratiilor în timpul procesului de aschiere este daunatoare. Rolul benefic al vibratiilor în procesul de aschiere a fost pus în evidenta prin cercetari efectuate în strainatate [1, 5, 9], cât si la noi în tara [2, 3, 4], în special la prelucrarea materialelor cu plasticitate ridicata, care dau aschii lungi, greu de îndepartat din zona de aschiere.

Introducerea vibratiilor în procesul de aschiere are ca scop marirea productivitatii operatiilor de aschiere în cazul materialelor cu plasticitate ridicata, care dau aschii lungi, pentru a caror îndepartare de cele mai multe ori este necesara oprirea procesului de aschiere, respectiv fragmentarea aschiilor si pentru a îmbunatati sau cel putin a mentine rugozitatea suprafetelor prelucrate.

În functie de directia miscarii vibratoare în raport cu directiile miscarilor la aschieria pe strung, se disting urmatoarele tipuri de introducere a vibratiilor în procesul de aschiere:

- aschieria cu vibratii axiale - vibratiile sunt introduse dupa directia axei "x" (pe directia avansului longitudinal);
- aschieria cu vibratii radiale - vibratiile sunt introduse dupa directia axei "y" (pe directia avansului transversal);
- aschieria cu vibratii tangentiale - vibratiile sunt introduse dupa directia axei "z" (pe directia fortei principale de aschiere F_z).

Desfasurarea în bune conditii a procesului de aschiere cu vibratii necesita alegerea unor parametri adecvati ai aschierii, astfel încât sa se poata realiza scopurile propuse mai sus, alegere care trebuie sa tina seama de noua cinematica a procesului de aschiere datorat miscarii vibratorii introduse de dispozitivul vibrator.

2. CINEMATICA PROCESULUI DE ASCHIERE CU VIBRATII AXIALE

Pentru determinarea condițiilor de prelucrare prin aschiere cu vibrații axiale se considera schema cinematică din figura 1, unde mișcarea vibratorie este o mișcare de tip armonic [6, 8].

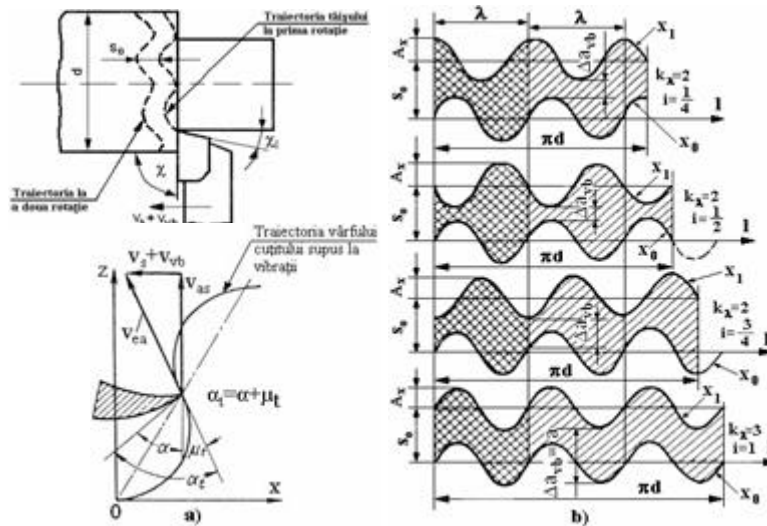


Fig. 1. Cinematica aschierii cu vibrații axiale: a) –compunerea vitezelor; b) – asezarea de l perioade pe lungimea de aschiat ($p \cdot d$).

Ecuatia mișcării vibratorii armonice este de tipul:

$$x = A_x \cdot \cos \omega t \quad (1)$$

La prelucrarea cu vibrații pe suprafața aschierii apar urme de unde de forma sinusoidală. La fiecare rotație, pe lungimea desfășurării circumferinței suprafeței de aschiat ($\pi \cdot d$) se așază un număr fracțional sau întreg de lungimi de unde λ (fig.1.b) [8]:

$$\pi \cdot d = \lambda(k + i); \quad T_n = T(k + i); \quad k + i = 60 \cdot f / n \quad i = T_i / T \quad (2)$$

unde

d – diametrul suprafeței de prelucrat, în [mm]; f – frecvența vibrațiilor, în [Hz];

T_n – timpul unei rotații, în [sec]; k – numărul perioadelor întregi de oscilații, așezate complet, în timpul unei rotații a piesei; i – raportul ramășitelor perioadei de oscilație care nu s-a așezat în timpul unei turări a piesei T_i față de perioada oscilațiilor T .

Vectorul vitezei efective de aschiere v_{ea} (fig.1.a) este:

$$\vec{v}_{ea} = \vec{v}_{as} + (\vec{v}_s + \vec{v}_{vb}) \quad (3)$$

$$v_{ea} = \sqrt{v_{as}^2 + (v_s + \Delta v_{vb} \cdot \cos \omega t)^2} \quad (4)$$

$$\Delta v_{vb} = A_x \cdot \omega \quad (5)$$

unde

Δv_{vb} este amplitudinea oscilațiilor vitezei vibrațiilor.

Vectorii vitezei principale $\vec{v}_{as}$ și de avans $\vec{v}_s$ rămân constanti în timp, iar vectorul mișcării vibraționale $\vec{v}_{vb}$ își schimbă direcția și mărimea.

Pentru ca Δv_{vb} să fie exprimat în [m/min] se fac transformările necesare [8], astfel:

$$\Delta v_{vb} = A_x \cdot \omega = 60/1000 \cdot A_x \cdot \omega = 0,06 A_x \cdot \omega \text{ [m/min]} \quad (6)$$

Dacă se exprima și pulsția ω în funcție de frecvență, atunci (6) devine:

$$\Delta v_{vb} = 0,06 A_x 2\pi f = 0,12 \cdot \pi \cdot f \cdot A_x \quad (7)$$

Vectorul viteză de aschiere se schimbă în planul xoz , iar mărimea unghiului de

asezare a va oscila cu valoarea μ_t . Amplitudinea unghiului μ_t (fig.1 a) devine [8]:

$$\Delta \mu_{vb} = \arctg \frac{v_s + v_{vb}}{v_{as}} - \arctg \frac{v_s}{v_{as}} = \arctg \frac{ns_0 + 0,12\pi f A_x}{\pi \cdot d} - \arctg \frac{s_0}{\pi \cdot d} \quad (8)$$

La aschierea cu vibratiile în direcția axială avansul devine o mărime variabilă:

$$s_{0t} = s_0 + A_x \cos \omega t \quad (9)$$

unde

s_0 - avansul pe rotație la aschierea obișnuită.

La aschierea obișnuită pentru $\chi=90^\circ$, grosimea aschiei este egală cu mărimea avansului $a = s_0$, iar pentru $\chi \neq 90^\circ$ grosimea aschiei este [8]:

$$a = s_0 \cdot \sin \chi \quad (10)$$

La aschierea cu vibrații axiale secțiunea stratului de aschiat se schimbă datorită avansului variabil și se determină prin raportarea deplasării sculei la două treceri învecinate (x_0 și x_1), iar grosimea stratului de aschiat (s_t) depinde de deplasarea fazelor (fig.1.b.). Această deplasare a fazelor se poate măsura în lungimea mișcării:

$$i\lambda = 16.7(iv/f) = (i \cdot \pi \cdot d \cdot n) / 60 \cdot f \text{ [mm]} \quad (11)$$

În figura 1.b sunt arătate cazurile când lungimea circumferinței de prelucrat ($\pi \cdot d$) nu se împarte exact la lungimea oscilațiilor λ , rămânând un rest de $\frac{1}{4}$; $\frac{1}{2}$; $\frac{3}{4}$ și $\lambda = i \cdot k$ (i -nr. întreg).

Forma schimbării secțiunii stratului de aschiat se determină prin raportul s_0/A_x și deplasarea fazelor "i" la treceri ale sculei pe parcursul a două rotații învecinate. În dependența de mărimea "i", grosimea stratului de îndepărtat, apare variabil și numai când $i=1$ rămâne neschimbat. Pentru cazurile $i=1/4$; $i=1/2$; și $i=3/4$ fragmentarea aschiei are loc, iar în cazul $i=1$ nu va avea loc. Aceste condiții vor exista dacă:

$$f = k \cdot n / 60 \quad (12)$$

Din figura 1.b pentru $i=1$ și $k=3$; rezulta că $s_t=s_0=\text{constant}$ și aplicând în relația (12) rezulta că :

$$f = 3n / 60 = n / 20 \quad (13)$$

Acest lucru arată că în acest caz oricât de convenabil în mărime se va alege amplitudinea A_x nu are loc fragmentarea aschiei. Legătura schimbării grosimii stratului de aschiat s_t în timp este dată de ecuațiile mișcării taifului sculei aschiatoare [6, 8]:

$$\begin{cases} x_0 = s_{dp} \cdot t + A_x \cos \omega t \\ x_1 = s_{dp} \cdot t + s_0 + A_x (\cos \omega t + 2\pi i) \\ \vdots \\ x_m = s_{dp} \cdot t + m \cdot s_0 + A_x \cos(\omega t + m \cdot 2\pi i) \end{cases} \quad (14)$$

$s_{dp} \cdot t$ - deplasarea sculei la momentul t ; s_0 - avansul normal; $A_x \cos \omega t$ - deplasarea vibratorie la momentul t .

Valoarea grosimii stratului de aschiat la un moment dat "t", se determină prin urma a două treceri consecutive, considerând că pentru aschierea cu $\chi=90^\circ$, avem $s=s_0$ și $a=s_0$, rezulta [6, 8]:

$$s_t = x_1 - x_0 = [s_{dp} \cdot t + s_0 + A_x \cos(\omega t + 2\pi i)] - [s_{dp} \cdot t + A_x \cos \omega t] = s_0 - 2A_x \sin \pi i \cdot \sin(\omega t + \pi i) \quad (15)$$

Pentru unghiul de atac $\chi \neq 90^\circ$, grosimea curentă a aschiei va fi:

$$a_t = s_t \cdot \sin \chi, \quad (16)$$

iar pentru $\chi=90^\circ$:

$$a_t = s_t \quad (17)$$

Cu aceste precizari rezulta ca :

$$a_t = [s_0 - 2A_x \sin \pi i \sin(\omega t + \pi i)] \cdot \sin \chi = s_0 \sin \chi - 2A_x \sin \pi i \cdot \sin(\omega t + 2\pi i) \sin \chi \quad (18)$$

Termenul $s_0 \cdot \sin \chi = a$, conform relatiei (10).

Termenul $2A_x \cdot \sin(\pi i) \cdot \sin \chi$ - reprezinta amplitudinea schimbarii grosimii aschiei (Δa_{vb}) în functie de "i" si unghiul de atac principal χ :

$$\Delta a_{vb} = 2A_x \sin \pi i \cdot \sin \chi \quad (19)$$

Cu aceste precizari relatia (18) va stabili grosimea stratului aschiat la timpul t:

$$a_t = a - \Delta a_{vb} \sin(\omega t + \pi i) \quad (20)$$

unde

a – grosimea stratului de aschiat la aschierea obisnuita;

Δa_{vb} – amplitudinea schimbarii grosimii stratului de aschiat.

Miscarea vârfului sculei corelata cu miscarea de rotatie a piesei descrie o traiectorie complexa, conform relatiei:

$$x = s_0 \cdot \frac{n}{60} \cdot t + A_x \cdot \sin \omega_c t, \quad (21)$$

iar unghiul de rotire a piesei este dat de relatia:

$$\theta_n = \frac{2\pi \cdot n}{60} \cdot t = \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot t \quad (22)$$

unde

s_0 – avansul în absenta vibratiilor; n – turatia piesei, în [mm /rot]; θ_n – unghiul de rotire a piesei, în [rad]; ω_c – pulsatia miscarii vibratorii, ($\omega_c = 2\pi \cdot f$); t – timpul, în [sec];

A_x – amplitudinea miscarii oscilatorii, în [mm].

Din cele prezentate rezulta ca în functie de raportul s_0 / A_x , exista doua posibilitati de prelucrare cu vibratii axiale:

a) – daca raportul $s_0 / A_x = 1$ – aschierea se desfasoara în mod continuu, scula nu iese din aschiere;

b) – daca raportul $s_0 / A_x < 1$ – aschierea se desfasoara cu iesirea sculei din aschiere;

În primul caz pentru a asigura fragmentarea aschiei trebuie ca numarul de perioade al miscarii oscilatorii sa nu împarta exact lungimea circumferintei piesei care se prelucureaza, ramânând întotdeauna un rest ($i=1/4$; $i=1/2$; $i=3/4$, fig. 1.b).

În cazul al doilea amplitudinea miscarii vibratorii A_x fiind mai mare decât valoarea avansului cu cel puțin o semiperioada scula va iesi din aschiere, ceea ce va ajuta la fragmentare aschiilor.

Lungimea segmentului de aschie fragmentat este direct legata de frecventa miscarii vibratorii.

Înăltimea rugozitatilor (R_z^{vb}) la aschierea cu vibratii care se formeaza este proportionala cu grosimea stratului de aschiat, depinzând si de unghiurile de atac principal si secundar ale sculei [7], respectiv:

$$R_z^{vb} = \eta \cdot \{s_0 + |2A_x \cdot \sin \frac{\Psi}{2}| \} = R_z + \eta |2A_x \cdot \sin \frac{\Psi}{2}| \quad (23)$$

unde

Ψ - defazajul dintre miscarea curenta si cea precedenta;

R_z - rugozitatea suprafetei la aschierea fara vibratii;

η - factor ce tine seama de unghiurile de atac principal si secundar:

$$\eta = 1/(\text{ctg} \chi_1 + \text{ctg} \chi) \quad (24)$$

Stabilirea cinematicii procesului de aschiere cu vibratii a fost necesara pentru alegerea (proiectarea) modelului de dispozitiv care sa asigure fragmentarea aschiilor si

rugozitatea suprafetelor prelucrate prin aceasta metoda.

3. INTRODUCEREA VIBRATIILOR ÎN PROCESUL DE ASCHIERE

Pentru realizarea introducerii vibrațiilor în procesul de aschiere au fost realizate dispozitive care introduc vibrațiile pe direcția axială sau prin roto-percutie. Dispozitivelor cunoscute [2, 9] se bazează pe principiul acționării mecanice, hidraulice, pneumatice, electrice sau combinații ale acestora pentru realizarea vibrațiilor necesare. Acest lucru permite reglarea parametrilor vibrațiilor în anumite limite care să nu fie daunătoare procesului de aschiere [5]. În ultimul timp s-au dezvoltat dispozitivele electromecanice de joasă frecvență ($10 \div 100$ Hz) care pot da mișcării vibratorii lucru mecanic mare, necesar unor operații ca strunjire, rodare prin vibronetezire, ecrusări cu role, etc. [2]. Aceste dispozitive prezintă marele avantaj pentru că parametrii mișcării vibratorii, frecvența și amplitudinea deplasării sculei, pot fi modificați într-o anumită plajă chiar în timpul funcționării dispozitivului, lucru care conduce spre posibilitatea automatizării procesului.

Pentru desfășurarea cercetărilor și experimentelor s-a utilizat un dispozitiv electromecanic cu mișcare vibratorie axială existent la Universitatea Tehnică din Cluj Napoca [2], cu posibilitate de fixare pe un ștrung normal (SNA 630), caruia i s-a modificat sistemul de prindere al sculei și testat regimul de funcționare la Universitatea din Oradea. În figura 2 se prezintă standul realizat cu dispozitivul electromecanic modificat.

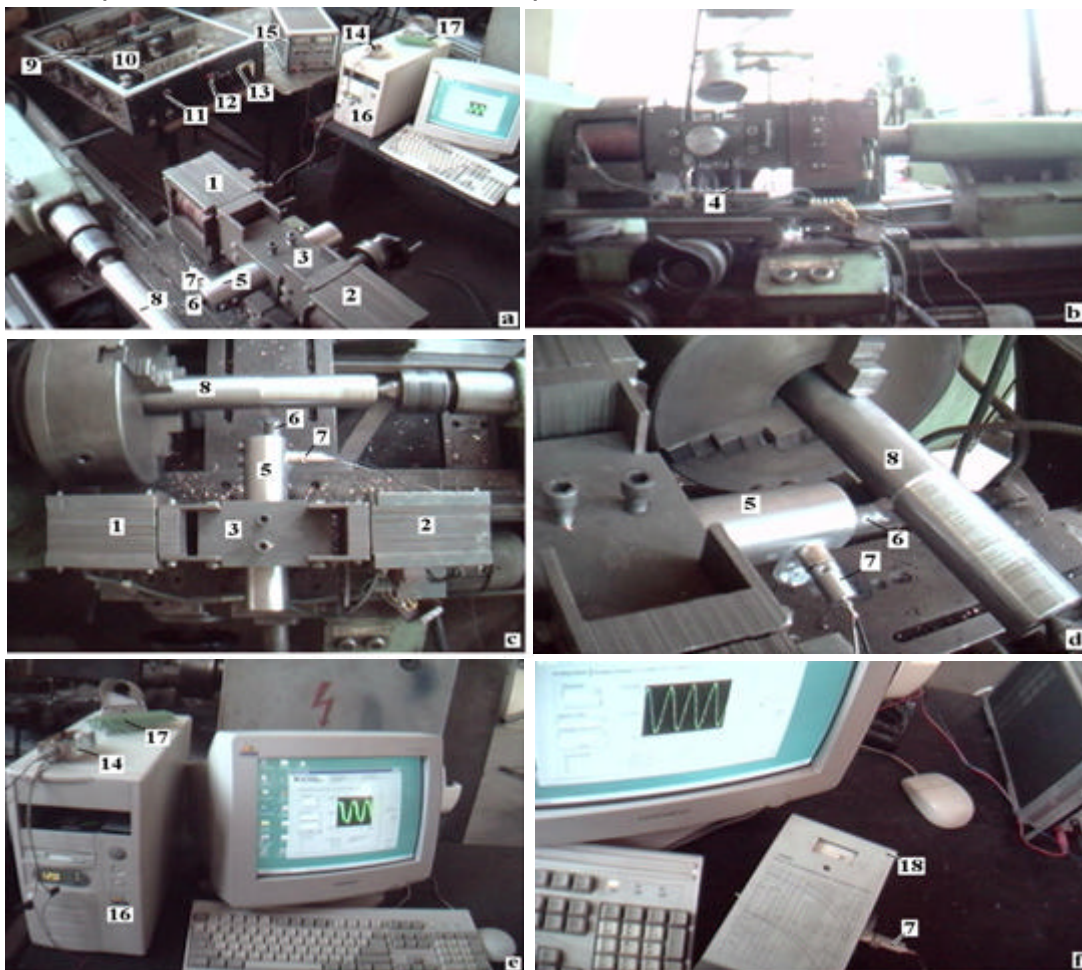


Fig.2. Stand cu dispozitiv electromecanic pentru strunjirea cu vibrații axiale.

Dispozitivul se compune din bobinele electromagnetice 1 și 2, întrefierul 3 plasat între cele două bobine. În întrefierul 3 este fixată portscula 5 cu scula 6, iar pe portscula 5

este fixat cu un magnet traductorul 7. Întrefierul 3 este fixat pe placa de baza a dispozitivului prin intermediul a doua arcuri lamelare 4 (fig.2.b).

Bobinele electromagnetice sunt alimentate de circuitele de forta 9 ale tabloului de comanda, care prin magnetizare si demagnetizare succesiva vor atrage întrefierul într-o parte sau alta imprimând acestuia o miscare alternanta sinusoidala, respectiv sculei 6.

Pornirea si oprirea alimentarii tabloului de comanda se face prin intermediul butonului 11. Comanda miscarii oscilatorii a întrefierului între cele doua bobine se face de placa de comanda 10. Modificarea marimii frecventei se face cu ajutorul butonului 12, iar reglarea amplitudinilor în cadrul fiecărei frecvente se face prin intermediul butonului 13.

Pentru verificarea miscarii vibratorii a dispozitivului la mersul în gol si sarcina sa utilizat accelerometrul 7 tip KD 42 (Metra Meß) cuplat la placa de achizitii de date tip PCI 1200 (National Instruments) al calculatorului 16 prin intermediul amplificatorului de semnal 14 si dispozitivului electronic de legatura 17 cu placa de achizitii de date al calculatorului. Amplificatorul de semnal (în tensiune) este alimentat de la sursa de curent continuu 15. Etalonarea accelerometrului s-a facut cu masa vibratoare etalon 18 figura 2.f.

Regimul vibrator de functionare în gol al dispozitivului a fost testat pentru diferite frecvente si amplitudini. În timpul testelor semnalul a fost achizitionat prin intermediul accelerometrului, placii de achizitii de date PCI 1200 si calculatorului PC Pentium III si prelucrat cu ajutorul programului „an_spec1” [6] folosind functia „FFT” a programului MATLAB®. Semnalul vibrator este convertit de accelerometru în unitati de tensiune, tensiuni care sunt convertite de catre placa de achizitie de date în unitati digitale (bit), putând fi stocate în fisiere informatice. Astfel pentru fiecare încercare s-a constituit un fisier, care ulterior a fost prelucrat numeric pentru a obtine graficele acceleratiilor, spectrului de frecvente, vitezei si deplasarii vibratiilor înregistrate. Diagramele spectrelor de frecventa au fost trasate cu ajutorul programului „an_spec 1” (analiza_spectrala), utilizând functia „FFT” (Transformata Rapida Fourier) a programului MATLAB®, iar diagramele vitezelor si deplasarii s-au trasat utilizând blocul de integrare a functiei Simulink al programului MATLAB®. Schema de integrare pentru viteza se poate vedea în figura 3.a., iar cea utilizata pentru integrarea a doua (deplasarea) în figura 3.b.

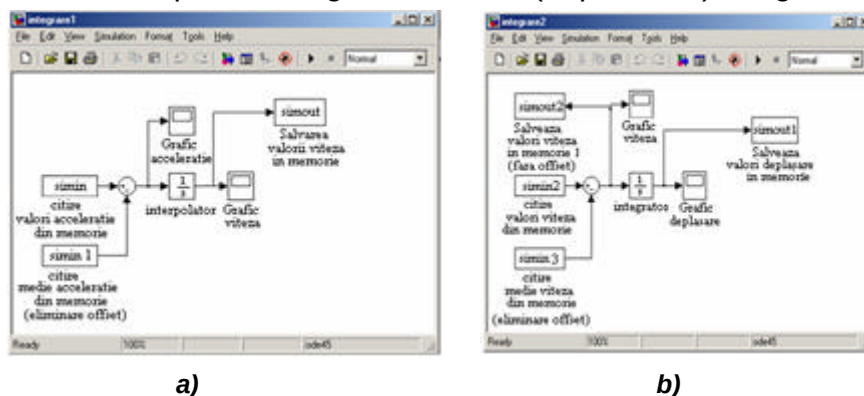


Fig.3. Modul de integrare: a) pentru viteze; b) pentru deplasare.

Programul „an_spec 1” [6] este de fapt o suita de trei programe care se lanseaza unul pe celalalt astfel: „an_spec 1” deschide interfata grafica, prin functia „Run” se lanseaza programul „an_spec 3”, program care vizualizeaza fisierele achizitionate, permite selectarea fisierului de date care urmeaza a fi prelucrat cu functia „FFT” si lanseaza în executie programul „an_spec 5”. Programul „an_spec 5” prelucreaza prin functia „F F T” semnalul selectat anterior.

Dispozitivul poate lucra în domeniul $12 \div 100$ [Hz] si amplitudini cuprinse între $0,005 \div 0,7$ [mm]. În plaja fiecărei frecvente se pot regla mai multe amplitudini pentru o functionare stabila, de exemplu: pentru $f = 15$ [Hz] amplitudinile se pot regla de la 0,02 la

0,3 [mm]; $f = 55$ [Hz], $A_x = 0,02 \div 0,6$ [mm]. Pentru unele valori ale frecvenței și amplitudinilor s-au înregistrat funcționări tranzitorii și din acest motiv s-a trecut la determinarea regimurilor de funcționare stabile.

Din analiza spectrelor de frecvență se poate constata că dispozitivul la frecvențe $f < 47$ [Hz], prezintă armonici parazite înaintea semnalului și armonici rezonante după semnalul de baza figura 4. Semnalul temporal vizualizat are o formă aproximativ sinusoidală, datorită imperfecțiunilor constructive de natură mecanică și electrică.

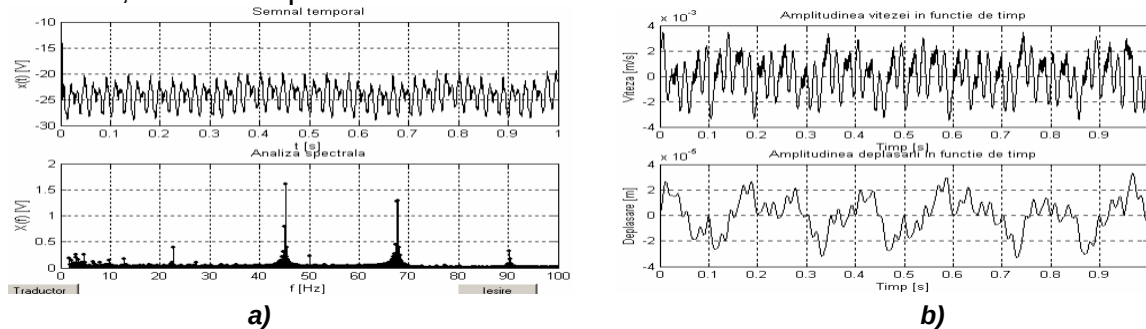


Fig. 4. Frecvența testată: $f=23,1$ Hz: a) - amplitudinea accelerațiilor și spectrul frecvenței; b) - viteza și deplasarea vibrației.

Odată cu creșterea frecvenței mișcării, se constată că armonicile parazite se atenuează foarte mult începând cu frecvența $f=31$ [Hz], astfel la frecvența $f=55$ [Hz] aproape că dispar. La fel se întâmplă cu armonicile rezonante, astfel ca semnalul de baza este predominant (figura 5).

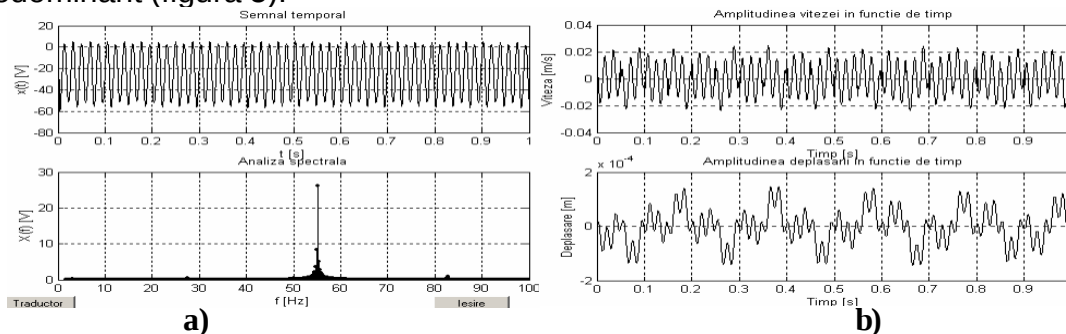


Fig. 5. Frecvența testată: $f=55,4$ Hz: a) - amplitudinea accelerațiilor și spectrul frecvenței; b) - viteza și deplasarea vibrației.

În cazul din figura 5 semnalul temporal înregistrat se apropie de o sinusoidă perfectă, spectrul frecvenței arată că dispozitivul vibrează cu frecvența impusă, iar viteza și deplasarea vibrației se încadrează în valori constante și periodice.

4. EXPERIMENTARI ȘI REZULTATE PRIVIND STRUNJIREA CU VIBRAȚII AXIALE

În cadrul experimentelor privind strunjirea cu vibrații axiale a materialelor cu plasticitate ridicată, s-au urmărit două aspecte și anume: calitatea suprafețelor rezultate, modul de formare și fragmentare al aschiilor. Ca materiale reprezentative s-au folosit un oțel cu conținut scăzut de carbon (oțel Armco) și un esanșion de cupru fără oxigen (cuprul OFHC), materiale care în condiții de aschiere obișnuite dau aşchii lungi de tip panglică dreaptă, panglică încurcată, torsadă, spirale, tubulare, în funcție de regimurile de aschiere și forma feței de degajare a sculei. Amândouă materialele sunt dificil de prelucrat prin aschiere datorită tendinței de a forma material de adaos prin adeziune și difuziune pe tălul sculei, iar în cadrul operațiilor de finisare, (rectificare), îmbâcsesc pietrele de rectificat, fiind greu de obținut calitate superioară a suprafețelor.

Pentru experimentari s-au folosit doua epruvete cu dimensiunile de $\phi 61 \times 350$ [mm] din cele doua materiale si regimurile de aschiere: $n=630$ [rot/min]; $u=1$ [mm]; $s_0 = 0,056$ [mm/rot], aschiere fara LUR (lichide de ungere si racire). Parametrii geometrici ai cutitului: unghiul de degajare $\gamma=8^\circ$; unghiurile de asezare $\alpha=\alpha_1=12^\circ$; $\chi=\chi_1=45^\circ$, raza la vârful a sculei $r = 0,02$ [mm] pentru a putea fi considerata apropiata de modelul teoretic fara raza.

În urma testelor dispozitivului electromecanic si a concluziilor la care s-a ajuns dupa modelarea numerica a traiectoriilor vârfului cutitului conform cu relatiile (11 si 21) si a rugozitatii suprafetelor [6, 7]. Modelarea traiectoriei s-a facut în 2D cu ajutorul unui program (tra_vibr), rulat sub programul MATLAB®, pentru mai multe regimuri de vibratii (frecvente si amplitudini) [6], iar modelarea rugozitatii s-a facut în 3D, utilizând relatiile (23 si 24), datele (fisierle) de la modelarea traiectoriei si un program („rug_vibr5”) scris în acest scop si rulat sub MATLAB®. Pentru experimentarile practice s-a ales ca fiind mai concludente regimurile de vibratii date în tabelul 1. În cadrul fiecărei frecvente s-au ales câte trei amplitudini: mai mari, egale, si mai mici decât avansul s_0 . Frecventele si amplitudinile au fost alese astfel ca sa nu dea $i=1$.

Tabelul 1. Valorile frecventelor si amplitudinilor alese pentru experimente.

Frecventa [Hz]	16,6	22,8	31,4	38,6	47,4	54,6
Amplitudinea miscarii cutitului A_x [mm]	0,26	0,16	0,24	0,14	0,25	0,4
	0,056	0,056	0,056	0,056	0,07	0,056
	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028	0,028

Cu datele din tabelul 1 s-a efectuat o noua simulare pentru verificarea alegerii regimului de lucru cu noile date. În [6, 7] sunt prezentate rezultatele simulării numerice a traiectoriilor vârfului sculei, aspectul rugozitatilor obtinute cu programul „rug_vibr5”. În figurile 6.a. si 7.a. sunt prezentate traiectoriile vârfului sculei, în figurile numerotate 6.b.÷7.b. sunt reprezentate rugozitatilor prin functia „mesh” iar în figurile numerotate 6.c.÷7.c. aspectul rugozitatilor reprezentate în relief prin functia „surf” din programul MATLAB®. Din analiza simulării traiectoriilor vârfului cutitului si a rugozitatilor simulate rezulta ca cele mai bune regimuri de vibratii sunt: cel cu $f=47,4$ [Hz] si $A_x=0,028$ [mm], figura 6., urmat de $f=38,6$ [Hz] si $A_x=0,056$ [mm], figura 7.

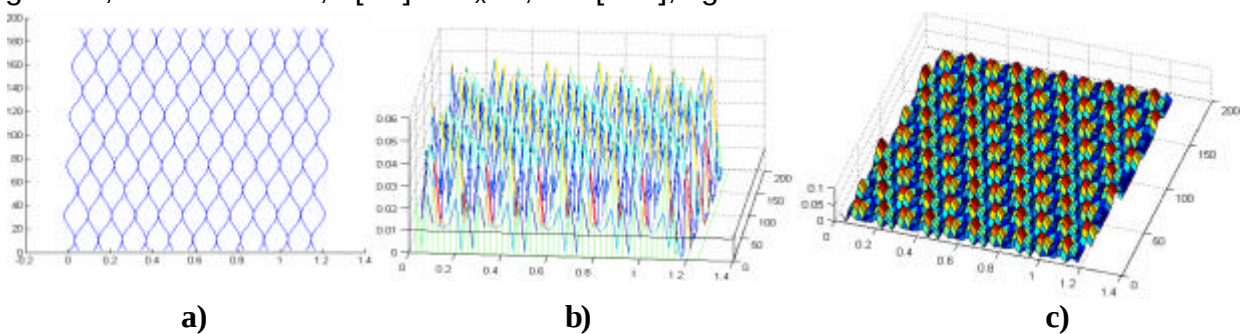


Fig. 6. Simularea miscarii vibratorii cu $f=47,4$ [Hz] si $A_x=0,028$ [mm].

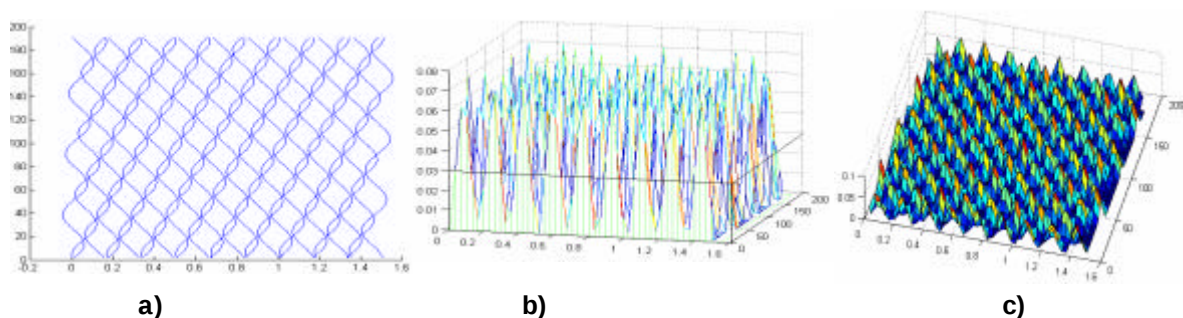


Fig. 7. Simularea miscarii vibratorii cu $f=38,6$ [Hz] si $A_x=0,056$ [mm].

Din figurile 6.b. si 7.b. se poate estima ca înaltimea medie a rugozitatii este de aproximativ 0,03 [mm], iar din figurile 6.c. si 7.c. ca dispunerea microneregularitatilor se va face în mod uniform. La aceeasi frecventa, dar cu amplitudine mai mare decât avansul de lucru, vor apare praguri cu rugozitati mai mari, suprafata va avea aspect de sa, înaltimile mari corespund începutului si sfârşitului miscarii vibratorii a cutitului. În aceasta situatie este necesar ca operatia de strunjire sa înceapa în afara suprafetei de lucru si sa se termine la fel cu cel putin $3 \cdot s_0$.

Dupa efectuarea încercarilor asupra celor doua materiale cu regimurile de aschiere stabilite mai sus si de vibratii din tabelul 1 s-au obtinut valorile rugozitatilor date în tabelul 2 pentru otelul Armco si tabelul 3 pentru CuOFHC.

Tabelul 2.

Frecventa [Hz]	Amplitudini A_x [mm]	Rugozitate masurata R_a^{vb} [μ m]	Rugozitate calculata R_z^{vb} [mm]
Dispozitiv blocat	---	12	0,0501
16,6	0,24	14	0,0582
	0,056	17	0,0702
	0,028	8	0,0338
22,8	0,16	12	0,0501
	0,056	17,5	0,0722
	0,028	9,4	0,0395
31,4	0,24	13	0,0541
	0,056	12	0,0501
	0,028	12,5	0,0514
38,6	0,14	11	0,0460
	0,056	6,8	0,0288
	0,028	9,8	0,0418
f=47,4	0,25	12	0,0501
	0,07	12	0,0501
	0,028	17	0,0702
f=54,6	0,4	12	0,0501
	0,056	7,2	0,0305
	0,028	8,4	0,0346

Tabelul 3.

Frecventa [Hz]	Amplitudini A_x [mm]	Rugozitate masurata R_a^{vb} [μ m]	Rugozitate calculata R_z^{vb} [mm]
Dispozitiv blocat	---	6	0,0255
f=16,6	0,24	16	0,0665
	0,056	14	0,0582
	0,028	12	0,0501
f=22,8	0,16	10	0,0419
	0,056	9,4	0,0395
	0,028	8,2	0,0346
f=31,4	0,24	7,4	0,0313
	0,056	7,8	0,0330
	0,028	8,6	0,0362
f=38,6	0,14	6,2	0,0264
	0,056	7,4	0,0313
	0,028	8,2	0,0346
f=47,4	0,25	14,6	0,0606
	0,07	14,1	0,0586
	0,028	9,4	0,0395
f=54,6	0,4	11	0,0460
	0,056	11,5	0,0480
	0,028	8,8	0,0370

Masurarea s-a efectuat cu rugozimetrul Taylor Hobson tip Surtronic 2. Rugozitatea R_a^{vb} este exprimata în [μ m], iar rugozitatea R_z^{vb} calculata pe baza rugozitatii R_a^{vb} masurate va rezulta în [μ m]. Între cele doua moduri de masurare a rugozitatii exista relatia de calcul:

$$R_z \cong 4,5 \cdot R_a^{0,97} [\mu\text{m}]. \quad (25)$$

În tabelul 2 si 3 rugozitatea R_z^{vb} este exprimata prin transformarea [μ m] în [mm], pentru a putea face mai usor comparatiile cu rugozitatile simulate cu programul „rug_vibr 5”, rugozitati care în acest caz sunt exprimate în [mm].

Din analiza datelor din tabelele 2 si 3 se poate usor observa ca în cazul ambelor materiale rugozitatea cea mai buna s-a obtinut pentru frecventa de oscilatie a dispozitivului de 38,6 Hz si amplitudini ale miscarii vibratorii egale cu avansul de lucru în cazul otelului si mai mare în cazul CuOFHC. Înaltimea medie a rugozitatilor rezultate în acest caz $R_z=0,0288$ [mm] pentru Armco si $R_z=0,0313$ [mm] pentru CuOFHC, sunt apropiate de cazul simulat (fig. 7.b.- $R_z=0,03$ mm). Pentru comparatie cu prelucrarea fara vibratii s-au efectuat încercari de aschiere cu dispozitivul blocat, observându-se ca în cazul otelului Armco, în majoritatea încercarilor rugozitatea este mai mica, iar în cazul cuprului este mai mare, lucru explicabil prin plasticitatea mult mai ridicata a cuprului decât a otelului.

În timpul aschierii s-a urmarit si fenomenul formarii si fragmentarii aschiilor

comparativ cu aschierea fara vibratii. La toate regimurile de aschiere cu vibratii (tab.1) a avut loc fragmentarea aschiilor pentru amândoua materialele prelucrate (fig. 8. si 9)



Fig. 8. Aschii la prelucrarea otelului Armco: a) la aschierea obisnuita; b) la aschierea cu vibratii.



Fig. 9. Aschii la prelucrarea cuprului OFHC: a). – aschiere obisnuita; b). – aschiere cu vibratii.

Din analiza imaginilor se poate observa ca odata cu cresterea frecventelor de lucru are loc o scurtare a aschiilor si crestere a lungimii fragmentelor de aschii odata cu scaderea amplitudinii miscarii oscilatorii la aceeasi frecventa de lucru. Pe suprafata exterioara a aschiei se observa o îngrosare (protuberanta) a sectiunii aschiei corespunzatoare intrarii sculei în aschiere (grosime maxima $a_t^{\max}$), în aceasta zona are loc o comprimare puternica a materialului aschiei datorita suprapunerii vitezei de avans cu viteza de deplasare a miscarii vibratorii, dupa care urmeaza o zona conica cu panta în descrestere, respectiv descresterea grosimii aschiei spre grosimea minima ($a_t^{\min}$) corespunzatoare retragerii sculei din aschiere datorita depalsarilor miscarii vibratorii.

Diagramele spectrelor de frecventa arata ca frecventele rezultate în procesul de aschiere cu vibratii al otelului Armco sunt cuprinse în majoritatea cazurilor experimentate de la 0,5 la 30 Hz, chiar si pentru aschierea obisnuita. Valorile cele mai scazute ale amplitudinilor frecventelor în cazul strunjirii cu vibratii a otelului Armco sunt pentru $f=38,6$ Hz si $A_x=0,028$ mm, figura 10.

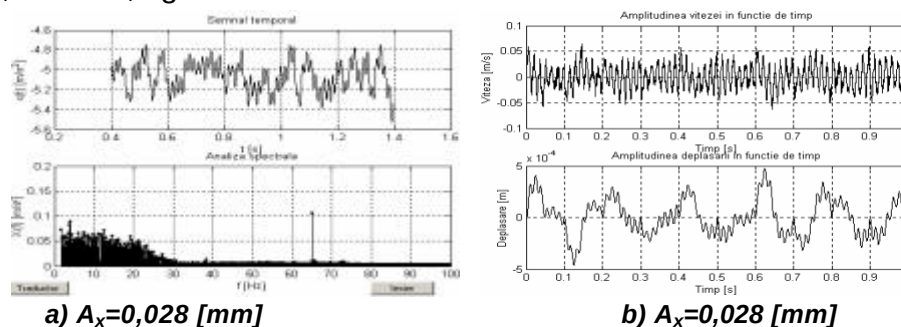


Fig. 10. Acceleratii, viteze si deplasari masurate la amplitudinile A_x si frecventa $f=38,6$ Hz
a) – acceleratii si spectrul frecventelor; b) – viteze si deplasari.

Din analiza spectrelor de frecventa [6] în cazul CuOFHC se poate constata ca în domeniul frecventelor joase armonicile parazite sunt situate sub nivelul semnalului de baza si ca odata cu scaderea amplitudinii acestea cresc. Nu apare tendinta formarii armonicilor de rezonanta, apare o tendinta de amortizare a miscarii vibratorii. Aceste fenomene se explica prin proprietatea cuprului de a absorbi energia vibratiilor transformând-o în caldura, astfel ca se va impune mai mult miscarea vibratorie forzata data de dispozitiv, respectiv curbele deplasarii vor semana tot mai mult cu niste sinusoide,

figura 11 (frecventa de lucru $f=38,6$ Hz si $A_x=0,14$ mm).

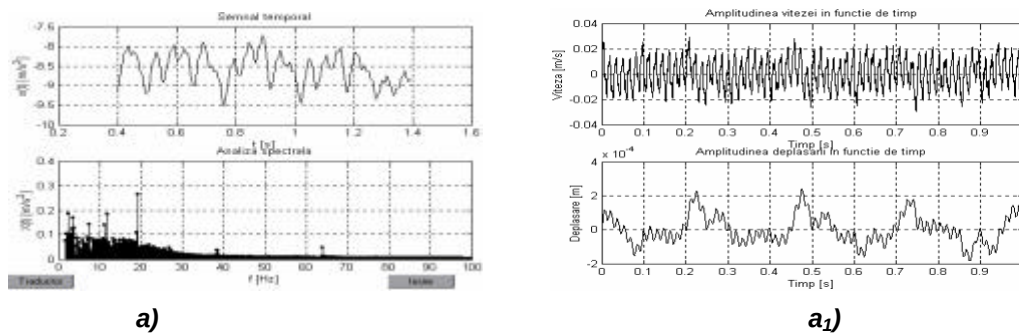


Fig. 11. Aspectul acceleratiei si spectrului de frecvente (fig.a) si al vitezelor si deplasarilor (fig. a₁) înregistrate la frecventa de lucru a dispozitivului: $f=38,6$ Hz, $A_x=0,14$ mm.

Pentru a vizualiza traiectoriile efective ale cutitului pe suprafata piesei, epruvetele prelucrate au fost observate cu ajutorul microscopului tip „Citival” pentru analiza macroscopica a suprafetelor în laboratorul de Studiul materialelor al Facultatii I.M.T. din Universitatea Oradea. Imaginile au fost preluate de la microscop cu o camera video digitala color tip Trust „Space @M” adaptata microscopului de autor (fig.12) si conectata la un calculator PC Pentium III 900 [MHz]. Imaginile suprafetei pentru frecventa 38.6 [Hz] si amplitudinea $A_x=0.056$ [mm] impuse la prelucrarea otelului Armco se poate vedea în figura 13, iar în figura 14 este redată imaginea suprafetei prelucrate cu dispozitivul blocat (strunjire obisnuita). Marirea imaginilor s-a facut de 25 de ori.



Fig. 12. Stand pentru achizitia imaginilor suprafetelor.

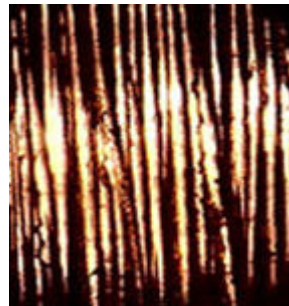


Fig.13.



Fig.14.

Asupra imaginilor se pot face aprecieri calitative si mai putin cantitative, se pot observa clar traiectoriile vârfului cutitului pe portiuni limitate de suprafata (de forma cilindrica) datorita câmpului de observare a microscopului, constatându-se gruparea traiectoriilor în zone cu densitate mai mare, în care înaltimea rugozitatilor este mai mica, si zone care au densitate mai mica, asemanatoare cu traiectoriile dispozitivului blocat, în care înaltimea rugozitatilor este mare. Se mai pot observa ca traiectoriile sculei se întretaie, ceea ce demonstreaza ca dispozitivul a functionat în parametrii de vibratie programati. La aschiera obisnuita traiectoriile vârfului sculei sunt paralele (fig.14).

Aspectul calitatii suprafetei în cazul prelucrării cuprului OFHC se observa ca cea mai buna repartitie pentru urmele vârfului cutitului o reprezinta aschiera cu dispozitivul blocat figura 15.a., apoi figurile 15.b, c, d.

Pe imaginile achizitionate se pot constata ca exista zone cu calitate buna a suprafetei alternativ cu zone în care înaltimea rugozitatilor este mult mai mare. Din analiza imaginilor [6] se constata ca suprafetele cu cea mai proasta calitate sunt cele obtinute la frecventa de 16,6 Hz pentru toate cele trei amplitudini, lucru explicabil prin aceea ca timpul de formare a aschiei este mai mare, timp în care se manifesta si efectele negative ale aschierii (cresterea temperaturii în zona de aschiere, cresc depunerile pe taisul sculei).

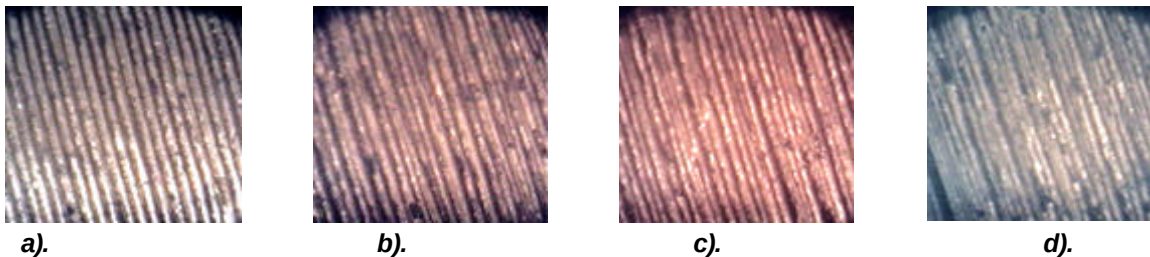


Fig. 15. Aspectul rugozitatii obtinute la prelucrarea cu regimurile de lucru: a). aschiere obisnuita; b). aschiere cu vibratii $f=38,6\text{Hz}$, $A_x=0,14\text{mm}$; c). aschiere cu vibratii $f=38,6\text{Hz}$, $A_x=0,056\text{mm}$; d). aschiere cu vibratii $f=31,4\text{Hz}$, $A_x=0,24\text{mm}$. (x25).

Dupa efectuarea masurarii rugozitatilor se poate constata ca în cea mai mare masura aprecierile facute asupra calitatii suprafetelor au fost corecte, dar exista desigur si o anumita marja de eroare.

5. CONCLUZII

În urma studiului introducerii din exterior a vibratiilor în procesul de aschiere se pot desprinde urmatoarele concluzii:

- a. – pentru reusita procesului de aschiere este necesar ca miscarea vibratorie de lucru sa fie bine determinata prin parametrii sai, în special frecventa si amplitudine;
- b.– este necesar stabilirea legaturilor dintre parametrii de aschiere si parametrii miscarii oscilatorii în vederea obtinerii rugozitatii suprafetelor si fragmentarea aschiilor;
- c. – este necesar proiectarea unor dispozitive speciale pentru introducerea vibratiilor din exterior, dispozitive care trebuie sa aiba un caracter cât mai universal, sa poata fi usor adaptabile parcului de masini-unelte existente, fiabile;
- d.– introducerea vibratiilor în mai multe cazuri atenuaza vibratiile necontrolate (autovibratiile) prin compunerea lor;
- e. – la prelucrarea otelului Armco si a cuprului OFHC prin strunjire cu vibratii axiale se asigura fragmentarea aschiilor în toate cazurile de regimuri folosite, iar calitatea suprafetelor se poate îmbunatatii prin aplicarea racirii cu LUR în special la prelucrarea cuprului OFHC.

BIBLIOGRAFIE

- [1]. Baranov V.N.; Zaharov I.E.;s.a. - Sfarmarea aschiilor în cazul strunjirii metalelor tenace, Stanki i instrument, nr. 1, 1963.
- [2]. Berce Petru - Instalatie de superfinisare, Universitatea Tehnica Cluj-Napoca Brevet de inventie nr. 100611, 1990, Ro.
- [3]. Chiriacescu T. Sergiu, - Stabilitatea în dinamica aschierii metalelor, Ed. Academiei Române, Bucuresti, 1984.
- [4]. Deacu Liviu – Noi contributii la tehnica prelucrarii prin vibroaschie, Constructia de masini, nr. 11,1967.
- [5]. Genta Giancarlo - Vibration of structures and machines. Practical aspects, Springer, Verlag,New York,1999;
- [6]. Moga Ioan - Influenta introducerii vibrosocurilor asupra calitatii la prelucrari prin aschiere, Teza de doctorat, Timisoara, 2005.
- [7]. Moga I., Brîndeu L., Polojintef-Corbu N., Vesseleny T., - Computer model of tool path and surface roughness in axial vibratory turning. Buletinul Stiintific al Universitatii „Politehnica” din Timisoara, Tomul 47(61), Transaction on Mechanics, Fascicola 2, pag.5-12. Timisoara, 2002, ISSN 1224-6077
- [8]. Moga I., Brîndeu L., Vesselenyi T. - Vibration enhanced cutting proces analysis, Buletinul Stiintific al Universitatii „Politehnica” din Timisoara, Tomul 47(61), Transaction on Mechanics, Fascicola 2, pag. 1 - 4, Timisoara, 2002, ISSN 1224-6077.
- [9]. Poduraev V. N. - Obrabotka rezaniem s vibratiiami, Izdatelstro, "Masinostroenie", Moskva, 1970;
- [10]. *** Mediu de programare MATLAB® V 6.0.0.88.R12, Licenta Universitatea din Oradea.