

O APLICATIE A RECUNOASTERII MICROSTRUCTURILOR UTILIZÂND PARAMETRII FRACTALI SI TRANSFORMATA FOURIER RAPIDA BIDIMENSIONALA.

Pavel MUDURA¹, Tiberiu VESSELENYI¹, Ioan MOGA¹
¹University of Oradea

Keywords: microstructure recognition, fractals, bidimensional FFT

Abstract : Metallography analysis, currently applied, implies a large variety of tests, which are a result of practically applied knowledge. Each type of analysis presents its particularities, which cannot be forgotten when the generalization of a method is developed. The paper presents an original method used to characterize some microstructure images based on fractal parameters and structure energy. As a result of the algorithm 3D diagrams are generated which permits the clustering of microstructures in the desired classes.

1. INTRODUCERE.

Analiza metalografica, realizata în mod curent, implica o mare varietate de analize, fiecare dintre ele fiind rezultatul aplicarii unor cunostinte testate în practica.

Fiecare tip de analiza prezinta particularitati esentiale ce nu pot fi nesocotite în încercarea unor generalizari. Din aceasta cauza automatizarea analizei metalografice poate fi rezolvata mai degraba printr-o abordare de tip sistem expert, în care particularitatile fiecarui tip de analiza sa fie specificate într-o baza de cunostinte.

Având în vedere mediul tehnico-economic în care se doreste utilizarea analiza automata si informatiile cunoscute în prealabil despre esantionul ce urmeaza a fi analizat, din multitudinea de analize posibile, s-au sintetizat doua categorii importante.

Cele doua categorii de analize sunt:

- identificarea microstructurii – în acest caz se considera ca se cunoaste în prealabil ca microstructura analizata face parte dintr-un grup de microstructuri si trebuie identificata o anumita microstructura din acest grup, în acest sens exista doua subcategorii :
 - tipuri de microstructuri cu aspect vizual asemanator (A);
 - tipuri de microstructuri la care se cunoaste compozitia chimica si trebuie determinata starea materialului (laminat la cald, normalizat, recopt) (B);
- determinarea punctajului microstructurii – în acest caz pe lânga identificarea microstructurii dintr-un anumit grup (în cadrul grupului microstructurile sunt plasate într-o anumita ordine ierarhica definita prin *punctaj* sau procentaj), va trebui stabilita o relatie univoca între caracteristica determinata din analiza imaginii si punctaj (C);

Pentru tipurile de analize mentionate s-au stabilit grupe de imagini pentru care s-au testat algoritmi de procesare.

Pentru analizele de tip A au fost stabilite grupe de imagini care difera din punct de vedere microstructural dar au aspecte vizuale apropiate. Pentru analizele de tip B sau stabilit grupe de imagini ce reprezinta microstructuri care au aceeasi compozitie chimica dar difera prin starea materialului. Pentru analizele de tip C s-au stabilit grupe de imagini a caror microstructura difera prin variatia unei caracteristici specifice, ca de exemplu finetea, procentajul din suprafata totala, lungimea.

Pentru a elimina pericolul testarii algoritmilor pe cazuri particulare, imaginile utilizate sunt preluate din [5], admitându-se ca imaginile prezentate în acest catalog caracterizeaza corect aspectul vizual al microstructurilor. Colectii similare de imagini ale structurilor metalografice pot fi gasite si în cataloagele în format electronic [3] si [4] sau în standardul SR 5000:1997 (domeniu B02).

Observând imaginile microstructurilor se constata ca acestea nu prezinta o anizotropie evidenta, asadar în acest caz se pot utiliza doar algoritmi de analiza invarianti la rotatie. O alta observatie importanta este legata de modul în care se realizeaza iluminarea esantionului. Microscopale optice metalografice utilizeaza iluminarea prin obiectiv, aceasta conferind o omogenitate a intensitatii luminoase reflectate ceea ce simplifica preprocesarea imaginii. Eliminarea zonelor din imagine ce nu contin informatii utile se poate realiza prin algoritmi simpli de preprocesare.

Pentru fiecare din imaginile analizate sunt prelevate patru imagini de dimensiuni mai mici (512x512 pixeli) pentru a verifica comportamentul algoritmului la procesarea unor zone diferite din aceeasi microstructura.

Datorita faptului ca la analiza structurilor se utilizeaza cu succes metoda fractala, aceasta metoda a fost aplicata în primul rând si în cazul analizei microstructurilor. În cazurile în care rezultatele nu au fost pe deplin concludente la parametrii fractali s-au adaugat parametrii energetici, pentru realizarea unei discriminari acceptabile.

2. METODA DE CALCUL A PARAMETRILOR FRACTALI .

Metoda spectrala de calcul a parametrilor fractali se poate extinde pentru cazul 3D utilizându-se diagrame ale densitatii spectrale de putere, obtinute prin aplicarea algoritmului FFT2 (Fast Fourier Transform). Rezultatul aplicarii algoritmului FFT2 asupra imaginii unei microstructuri este aratat sub forma diagramei DSP (Densitatea Spectrala de Putere) spatiale în figura 1.

Relatia ce leaga DSP de cazul 3D [1], devine:

$$DSP(k) = \frac{1}{\|k\|^{p_1-1}} \quad (1)$$

unde $\|k\| = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$; f_x – frecventa spatiala pe linii; f_y – frecventa spatiala pe coloane; $\|k\|$ reprezinta frecventa spatiala pe o directie oarecare.

Dimensiunea fractala în acest caz se calculeaza cu relatia :

$$D = \frac{(8 - p_1)}{2} \quad (2)$$

Calculul dimensiunii fractale în functie de DSP în cazul 3D este utilizata si în lucrarea [2]. Dimensiunea fractala D nu are o relevanta deosebita în contextul în care se urmareste discriminarea relativa a imaginilor microstructurilor. Din aceasta cauza caracteristica fractala utilizata în continuare este parametrul p_1 .

Din relatia 1 se observa ca valorile corespunzatoare unei distante $\|k\|$ de la originea DSP 3D (figura 1), reflecta amplitudinea DSP la aceeasi frecventa.

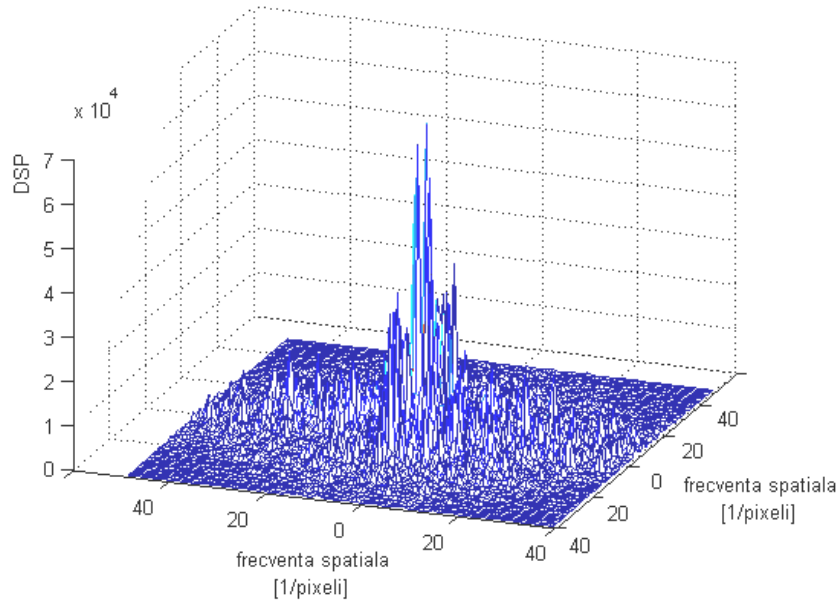


Fig.1. Diagrama DSP realizata cu algoritmul FFT2.

Daca se considera cercuri cu centrul în origine de raza $\|k_n\|$, $n = 1 \dots (N-1)/2$, (matrice imagine de dimensiunea $N \times N$) pentru fiecare cerc se poate defini media $DSP_{med}(k_n)$, data de relatia:

$$DSP_{med}(k_n) = \frac{1}{m_n} \sum_{h=1}^{m_n} DSP_h(k_n) \quad (3)$$

unde m_n reprezinta numarul de puncte pe cercul de raza k_n .

Setul de valori $DSP_{med}(k_n)$ calculat cu relatia (3) se reprezinta în functie de k_n în scara dublu logaritmica obtinându-se setul de puncte (marcate cu *) reprezentat în diagrama din figura 2. Dreapta de aproximare (calculata cu metoda celor mai mici patrate) exprima dependenta :

$$\log(DSP_{med}(k_n)) = p_1'' \log(k_n) + p_2'' \quad (4)$$

a carei panta p_1'' si ordonata la origine p_2'' sunt parametrii fractali utilizati pentru caracterizarea microstructurilor.

Diagrama din figura 2. este similara cu diagrama Richardson având pe ordonata $\log(DSP_{med})$ o masura a amplitudinii iar pe abscisa $\log(k_n)$ o masura a frecventei spatiale ce poate fi privita ca o marime similara cu scara sau rezolutia.

Caracteristica fractala poate fi calculata si dupa o anumita directie, de-a lungul unei drepte trasate din originea diagramei DSP 3D, sub un anumit unghi α , dar aceasta metoda se utilizeaza cu precadere în cazul unor structuri anizotrope.

Dupa calculul parametrilor fractali p_1'' si p_2'' se genereaza diagrama $P_f(p_1'', p_2'')$ si se studiaza modul în care se grupeaza punctele corespunzatoare imaginilor diferitelor structuri, stabilindu-se apoi domenii de discriminare pentru fiecare din acestea.

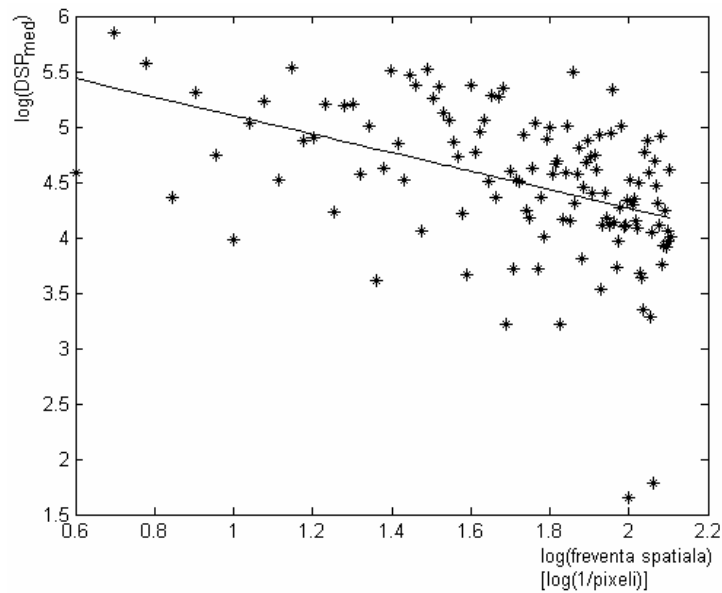


Fig.2. Diagrama dreptei de aproximare a setului de valori DSP_{med} .

În cursul testării algoritmilor s-au constatat două probleme importante. Au existat cazuri în care discriminarea diferitelor microstructuri nu a fost suficient de pregnantă din care cauza a fost nevoie să se adauge un parametru statistic. Acest parametru s-a notat p_h și a fost calculat cu ajutorul histogrammei imaginii $h(i)$, fiind definit ca:

$$p_h = i_{max} \quad (5)$$

unde i_{max} este intensitatea corespunzătoare valorii maxime a histogrammei $h(i_{max}) = \max(h(i))$, $i = 1 \dots 256$. Pentru ca parametrul să reprezinte mai bine o caracteristică globală se utilizează un număr mai mic de intervale i_{hmed} (20, 50, 100) în locul a 256 de nivele de intensitate. Se obțin astfel diagrame P_f - P_h spațiale în care p_h este reprezentat pe verticală.

A doua problemă constatată în cursul testărilor a fost aranjarea punctelor caracteristice în diagramele P_f după o anumită direcție, sub un unghi d de aproximativ -45° . Pentru a elimina această tendință s-au realizat diagramele $P_{f'}$ (de coordonate p_{r1}'' - p_{r2}'') și diagramele 3D, $P_{f'}-P_h$, prin rotirea sistemului de coordonate p_1'' - p_2'' cu unghiul d (figura 3.).

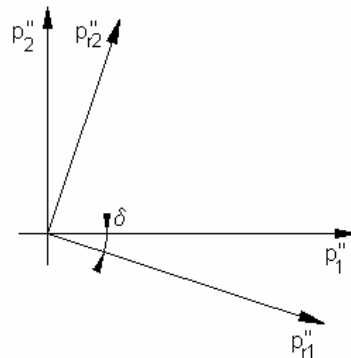


Fig.3. Rotirea sistemului de coordonate p_1'' - p_2'' .

Rotirea sistemului de coordonate este realizată pentru o mai bună observabilitate vizuală a discriminării punctelor caracteristice. În cazul prelucrării și interpretării automate a rezultatelor această operație poate să lipsească.

Algoritmul poate fi particularizat pentru fiecare tip de analiza prin stabilirea domeniilor de variatie a parametrilor k_n si i_{hmed} . Determinarea acestor parametri se realizeaza prin rularea algoritmului pentru diferite valori si observarea rezultatelor obtinute. Stabilirea unui anumit domeniu pentru k_n este echivalenta cu stabilirea valorilor limita a unui filtru „trece-banda” în domeniul frecventelor spatiale, iar stabilirea unui anumit numar de intervale i_{hmed} este echivalenta cu definirea unui filtru de mediere.

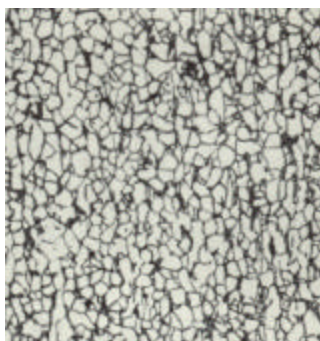
S-au stabilit grupe de microstructuri ce au aspect vizual asemanator, considerându-se ca daca acestea pot fi discriminate acceptabil atunci structurile ce au aspecte vizuale mult diferite vor fi si mai usor discriminabile.

Algoritmul a fost implementat sub mediul MATLAB, timpul de rulare al programului pe un sistem Pentium IV, cu o memorie RAM de 256 Mb, pentru o imagine, este de 2 secunde.

3. DETERMINAREA PUNCTAJULUI MICROSTRUCTURILOR FERITO-PERLITICE ÎN SIRURI.

În acest studiu s-au utilizat microstructuri ferito – perlitice în siruri, cel pâna la 0,15%C, marire x100 (figura 4).

Initial s-a încercat discriminarea microstructurilor si stabilirea unei corelatii între caracteristica fractala si punctaj pe baza algoritmului descris anterior. Rezultatele obtinute sunt aratate în diagramele din figurile 5. si 6. pentru care s-au utilizat parametrii $k_n = 1...255$, $i_{hmed} = 50$.



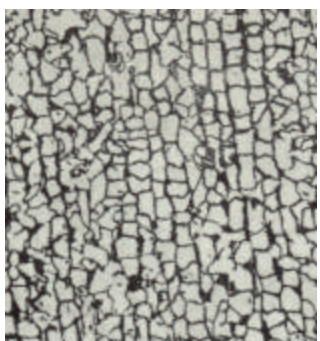
punctaj 0



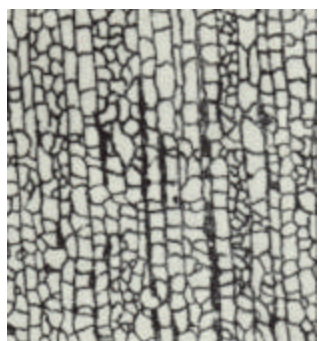
punctaj 1



punctaj 2



punctaj 3



punctaj 4



punctaj 5

Fig.4.Otel pâna la 0,15%C, structura ferito-perlitica în siruri, marire x100.

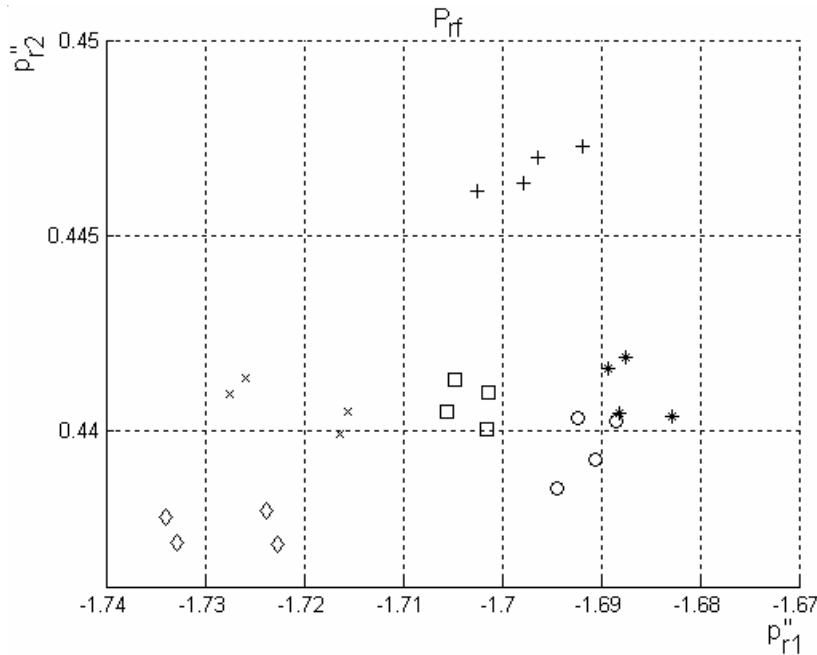


Fig.5. Diagrama P''_{rf} pentru structuri ferito-perlitice.

Deși se obține o discriminare relativ bună a microstructurilor în diagrama $P''_{rf}-P''_h$, corelarea caracteristicilor imaginii cu punctajul este nesatisfăcătoare.

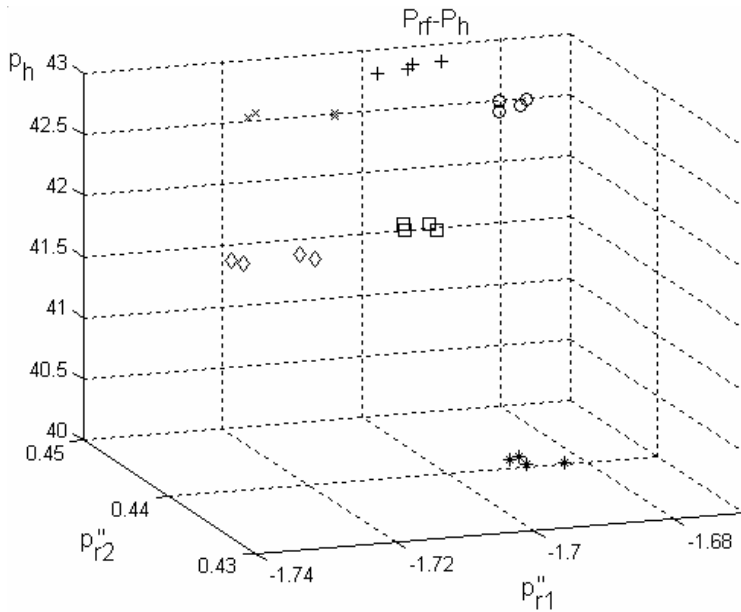


Fig.6. Diagrama $P''_{rf}-P''_h$ pentru structuri ferito-perlitice.

Din această cauză s-a utilizat o altă caracteristică (E_{max}) calculată tot din diagrama DSP, de tipul celei prezentate în figura 1. calculată ca suma valorilor DSP, cu ajutorul relației :

$$E_{max} = \sum_{i_{DSP}=n}^k \sum_{j_{DSP}=m}^l DSP(i_{DSP}, j_{DSP}) \quad (7)$$

unde $i_{DSP}=(n...k)$ și $j_{DSP}=(m...l)$ reprezintă frecvențele spațiale în intervalele $n-k$ respectiv $m-l$

1. Limitarea domeniului de frecvențe spațiale corespunde definirii unui filtru trece-banda pentru care caracteristica E_{max} este cea mai reprezentativă.

Diagrama E_{max} în funcție de punctajul structurilor ferito-perlitice în siruri (punctaj f-p) (figura 7) pentru domeniul de frecvențe spațiale $i_{DSP}=(248...264)$, $j_{DSP}=(1...64)$, arată o corelație bună pe domenii : de la 0 la 2 respectiv de la 3 la 5.

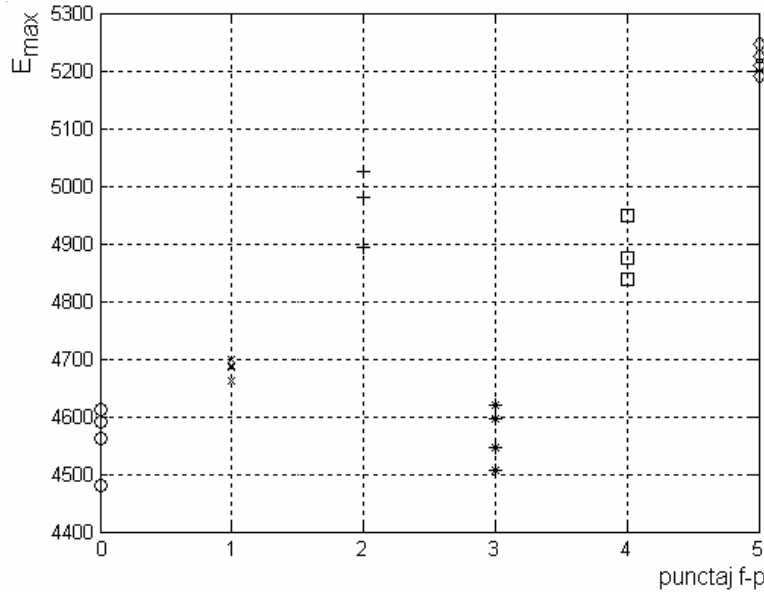


Fig.7. Diagrama E_{max} în funcție de punctaj f-p.

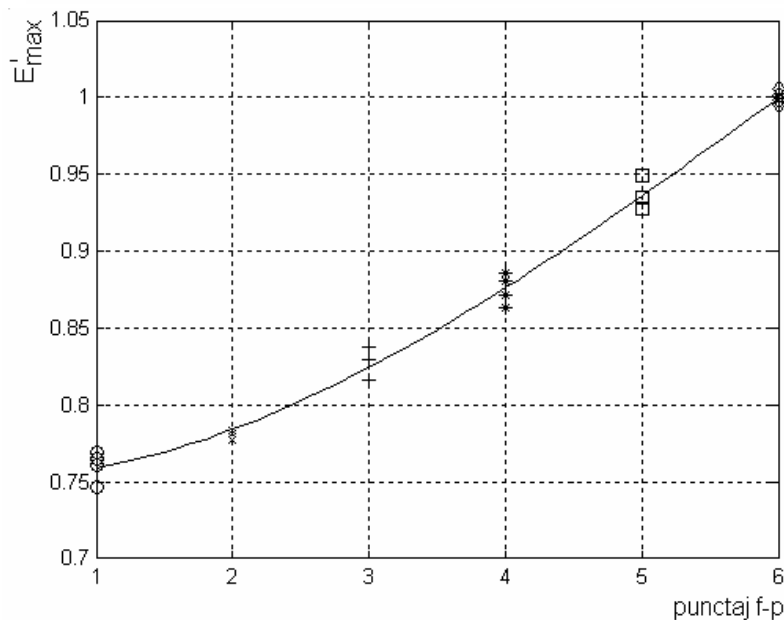


Fig.8. Diagrama E'_{max} în funcție de punctaj f-p.

Se remarcă din diagrama $P_{rr}-P_h$ ca punctele caracteristice corespunzătoare punctajelor 0-2 și respectiv 3-5 pot fi discriminate pe baza parametrului p_h , definindu-se o caracteristică derivată E'_{max} , astfel:

$$E'_{max} = \begin{cases} E_{max}, p_h \geq i_{hmedp} \\ E_{max} k_p, p_h < i_{hmedp} \end{cases} \quad (8)$$

unde $i_{hmedp} = 42,5$; $k_p = 1,15$;

Reprezentând caracteristica E'_{max} în funcție de punctaj, diagrama din figura 8, se constata o corelatie satisfacatoare. Pe baza valorilor determinate se poate defini o aproximare prin metoda celor mai mici patrate cu o functie polinomiala de gradul 3:

$$E'_{max} = ap_{fp}^3 + bp_{fp}^2 + cp_{fp} + d \quad (9)$$

unde cu p_{fp} s-a notat punctajul iar valorile determinate ale coeficientilor sunt :
 $a = -0,0006$; $b = 0,0115$; $c = -0,0053$; $d = 0,7537$;

BIBLIOGRAFIE

- [1] Costa M., A., - Fractal Description of Rough Surfaces for Haptic Display – PhD Thesis, Stanford University, december 2000.
- [2] Z., Jiang, H., Wang, B., Fei - Research into the application of fractal geometry in characterising machined surfaces, Xi'an Jiaotong University, People's Republic of China, Intenational Journal of Machine tools & Manufacture, Elsevier Science Ltd, 2001.
- [3] ***METADEX, CSA, www.csa.com 2004.
- [4] ***MetalloROM, HDH Thermal, Dr. Sommer Werkstofftechnik, www.hbthermal.com, 2004.
- [5] Radulescu M., Dragan N., Hubert H., Opris C., Atlas metalografic, Editura Tehnica, Bucuresti, 1972.
- [2] Vesselenyi T. – Teza de doctorat, Universitate "Politehnica" Timisoara, 2005.