



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2014 00578

(22) Data de depozit: 29/07/2014

(41) Data publicării cererii:
26/02/2016 BOPI nr. 2/2016

(71) Solicitant:
• SITEX 45 SRL, BD. GHICA TEI NR. 114,
BL. 40, AP. 2, SECTOR 2, BUCUREȘTI, B,
RO

(72) Inventatori:
• ULIERU DUMITRU, BD. GHICA TEI
NR. 114, BL. 40, AP. 2, SECTOR 2,
BUCUREȘTI, B, RO;

• ULIERU OANA MARIA, BD. GHICA TEI
NR. 114, BL. 40, AP. 2, SECTOR 2,
BUCUREȘTI, B, RO;
• ULIERU GABRIEL, STR. BRAȘOVENI
NR. 6, BL. 15, AP. 7, SECTOR 2,
BUCUREȘTI, B, RO

(54) METODĂ DE MĂSURARE DE PRECIZIE NONCONTACT A
DEPLASĂRILOR LINIARE ȘI UNGHIULARE 1D/2D

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă de măsurare noncontact a deplasărilor liniare și unghiulare unidimensionale/bidimensionale, cu aplicații în cadrul măsurărilor metrologice și industriale de precizie. Metoda conform invenției constă în utilizarea unei raze de lumină coerentă, pentru a ilumina o suprafață de metal a unui obiect, ceea ce va genera pe aria de suprafață iluminată o imagine a amprentei microstructurii metalografice a suprafeței măsurate; imaginea generată este apoi colectată de un sistem de imagistică ce are senzor de

imagine care permite captarea configurațiilor succesive, prelevate de pe suprafață în cursul deplasării, iar pe baza unui algoritm de procesare a imaginilor, se cuantifică, în final, mărimea deplasării suprafeței măsurate, rezultată din deplasarea unui grup de imagini generate în puncte succesive ale suprafeței.

Revendicări: 7

Figuri: 9



OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI
Cerere de brevet de invenție
Nr. *2014 00578*
Data depozit ...*2.9.-07-2014*...

39

a) Titlul invenției

**METODA DE MASURARE DE PRECIZIE NONCONTACT A DEPLASARILOR
LINIARE SI UNGHIULARE 1D/2D**

b) Domeniul de aplicare a invenției

Inventia se refera la o metoda universala pentru efectuarea masuratorilor dimensionale de precizie a deplasarilor unghiulare si liniare pe una sau doua dimensiuni 1D/2D destinata masurarii noncontact a amplitudinii liniare si directiei de deplasare unghiulara pentru aplicatii multiple in masurari metrologice si industriale de precizie.

c) Prezentarea stadiului actual al tehnicii mondiale în domeniul obiectului invenției,

Este cunoscuta o metoda care proiecteaza o configuratie *fringe* pe suprafata unui obiect si schimbarea de faza dintre doua fascicule de radiatie luminoasa ,una incidenta care genereaza un efect scattering la nivelul suprafetei masurandului ceea ce evidentiaza deplasarea suprafetei masurate in raport cu pozitia sa initiala considerata ca referinta. Metoda utilizata permite obtinerea unei rezolutii a acuratetii la valori mai mari de 1,0 mdeg.

O alta metoda cunoscuta consta in aceea ca se bazeaza pe diferenta dintre detectia fascicului post difractie si radiatia incidenta si necesitatea includerii unor informatii preliminare despre pozitionarea reperelor de referinta pe suprafata masurandului care consta in acest caz dintr-o placheta de siliciu amplasata pe echipmentul de aliniere-expunere cu confirmarea unei rezolutii posibile de 2 mdeg

Dezavantajul primei metode consta in necesitatea asigurarii unui anumit domeniu al lungimii masurate, in timp ce a doua metoda necesita informatii exacte despre distanta la care se afla masurandul si este dependenta de o lungime de unda stabila dar si de grosimea plachetei-masurand. Alte dezavantaje sunt generate de necesitatea unei referinte codate sau de aplicarea unor referinte pe suprafata masurandului constituit dintr-o placheta de siliciu amplasata pe echipmentul de aliniere-expunere fotolitografica. Ambele solutii au insa dezavantajul major ca necesita un contact direct cu obiectul de masurat (masurand) cu toate inconvenientele ce decurg din aceasta.

d) Precizarea scopului inventiei

Scopul inventiei este de a realiza o metoda de inalta precizie pentru efectuarea masuratorilor de precizie a dimensiunii deplasarilor unghiulare si liniare pe una sau doua dimensiuni 1D/2D .

Un alt obiectiv este de a înlătura dezavantajele identificate si generate prin necesitatea aplicarii unei referinte codate sau a unor referinte pe suprafata masurandului care limiteaza domeniul de aplicatii al celorlalte metode existente.

Un alt obiectiv al inventiei este realizarea unei metode cu aplicabilitate multipla pentru masurarea deplasarilor pentru piese de forme diferite, aplicabila atat pentru piese cilindrice cat si pentru suprafete plane.

Un alt obiectiv al inventiei este de a realiza o metoda de masura de precizie independenta de distanta fata de suprafata obiectului de masurat si de calitatea suprafetei masurandului din punct de vedere al finisarii suprafetei si respectiv al raspunsului optic al acesteia.

Un alt obiectiv al inventiei il constitue posibilitatea aplicarii inventiei pentru masurarea deplasarii pieselor in miscare de rotatie pentru a caror investigare nu este obligatoriu contactul cu piesa in miscare.

Un alt obiectiv este realizarea unei metode de masura multifunctionala cu aplicabilitate larga de la masurarea a deplasarii obiectelor individuale sau multiple la masurari de obiecte de forma si ansambluri complexe.

e) Expunerea inventiei

Problema tehnică pe care o rezolva inventia consta in masurarea noncontact de precizie folosind efectul speckle a deplasrilor liniare si unghiulare 1D/2D printr-o metoda de masura universal aplicabila ceea ce inlatura dezavantajele si limitarile de forma al masurandului, cerinte pentru conditi de iluminare obligatorii si/sau de obligativitatea aplicarii unei referinte codate sau de conditia aplicarii unor referinte pe suprafata masurandului .

Metoda de masurare noncontact se bazeaza pe conceptul inovativ de implementare a efectului speckle generat de o radiatie incidenta la suprafata masurandului care asigura functionalitatea sistemului optoelectronic integrat pentru masurari multiple non-contact in conditii de precizie deosebita prin inregistrarea configuratiei amprentei speckle in planul Fourier inainte si dupa deplasarea unghiulara sau liniara, avand in vedere ca orice deplasare transversala sau longitudinala a masurandului determina

o decorelare partiala speckle care va contribui la realizarea unui efect de translatie speckle cuantificabil in valoarea deplasarii echivalent.

f) Prezentarea avantajelor rezultate din aplicarea inventiei

Inventia prezintă următoarele avantaje:

- Metoda de masurare dimensionala a deplasarii de mare precizie permite controlul dimensional noncontact al deplasarii liniare si unghiulare a pieselor de diferite forme fara sa depinda de calitatea suprafetei de masura
- Metoda nu necesita informatii despre distanta la care se afla masurandul si nu depinde de o lungime de unda stabila sau impusa .
- Metoda nu necesita existenta unei referinte codate sau de aplicarea unor referinte pe suprafata masurandului si nu necesita contactul direct cu obiectul de masurat
- Metoda de masurare asigura rapiditate prin efectuare in timp real a masuratorilor asistate computerizat ceea ce permite achizitia, procesarea , evaluarea si ulterior arhivarea /stocarea electronica a informatiei.privind valoarea masurata
- Metoda de masura permite masurarea unei game variate de probe de masurat indiferent de natura materialului si nu depinde de distanta fata de masurand si nici de forma obiectului de masurat..
- Metoda de masurare dimensionala a deplasarii permite controlul dimensional noncontact al deplasarii pieselor de diferite forme si nu depind de calitatea suprafetei

g) Prezentarea unui exemplu de realizare/aplicare a invenției

Se dau in continuare doua exemple de realizare a inventiei in legatura cu

Fig. 1 care prezinta imaginea suprafetei masurandului ca arie de imagini „speckle” individuale.

Fig. 2 care prezinta principiul de masurare al deplasarii corespunzatoare subimaginilor i si $\sim i$ care sunt extrase din imaginile configuratiilor speckle de referinta si deplasata.

Fig. 3. care prezinta diagrama fluxului de procesare a imaginilor.

Fig. 4. care prezinta diagrama profilului orizontal prin regiunea centrala a functiei de corelare transversala; date discrete (●) cu interpolare printr-o expansiune serie Fourier (-).

Fig. 5. care prezinta valorile masurate fata de deplasarea unghiulara aplicata in pasi de 0.43 mdeg pentru o placheta de siliciu de 2°.

Fig. 6. care prezinta diagrama cross-variance pentru deplasarea unghiulara a unui arbore metalic cu diametrul de 15 mm.

Fig. 7. care prezinta diagrama deplasarii unghiulare functie de valorile deplasarii liniare pentru masurandul arbore mat din aluminiu.

Fig. 8 care prezinta diagrama 2D cross covariance pentru o deplasare unghiulara intre 9 si 200 mdeg pe un arbore de aluminiu cu o raza R de 15mm.

Fig. 9. Masurarea deplasarii unghiulare pe axele de referinta x si y.

Metoda utilizeaza o raza luminoasa coerenta pentru a ilumina o suprafata de metal a unui obiect de exemplu un arbore mecanic. ceea ce va genera pe aria de suprafata iluminata a unei imagini unice a „amprenteii” microstructurii metalografice a suprafetei masurate. Colectarea acestei imagini de catre un sistem de imagistica cu un senzor de imagine permite captarea configuratiilor succesive prelevate de pe suprafata in cursul deplasarii (Fig.1) cu fazele de procesare (Fig.3) pe baza unui algoritm de procesare imagine specific aplicatiei dezvoltat in cadrul lucrarilor inventiei care permite cuantificarea in final a dimensiunii deplasarii suprafetei masurate rezultata din deplasarea unui 'grup' de imagini generate in puncte successive ale suprafetei

Corelarea mutuala a functiei c este cuantificata ulterior si ilustrata intr-o reprezentare grafica 3D. (Fig.4a). Pozitia valorii maxime a domeniului c este valoarea medie a deplasarii dintre cele doua subimagini care sunt reprezentate printr-o sageata corespondenta. Repetand procedura se va acoperi intregul domeniu de deplasare care este reprezentat in figura de mai sus printr-o arie cu o portiune de suprafata configurata spatial cu un plot ascutit.

Functia de corelare este calculata pentru fiecare pereche de subimagini corespondente si respectiva deplasare deriva din pozitia de maxim. Campul de deplasare este de altfel prezentat la centrul pozitiei subimaginilor. Dimensiunea subimaginilor este aleasa in mod uzual pentru a acoperi domeniul de 32x32 sau 64x64 pixeli, ambele asigurand rezolutia spatiala si acuratetea masurarii. Valoarea latimii finite B a ferestrei de corelare limiteaza rezolutia spatiala si pe cale de consecinta configuratia spectrala al domeniului de deplasare la frecventele mai mici de $1/B$.

Pe de alta parte, corespunzator teoremei lui Nyquist , domeniul de deplasare este considerat ca fiind suficient prelevat daca valoarea intervalului dintre doua subimagini adiacente are valoarea $B/2$.

O precizie considerabila asupra marimii deplasarii poate fi obtinuta prin estimarea punctului central sau prin interpolarea datelor (Fig.4b).

Corelarea mutuala a functiei c este cuantificata ulterior si ilustrata intr-o reprezentare grafica 3D. (Fig.2). Pozitia valorii maxime a domeniului c este valoarea medie a deplasarii dintre cele doua subimagini care sunt reprezentate printr-o sageata corespondenta. Repetand procedura se va acoperi intregul domeniu de deplasare care este reprezentat in figura de mai sus printr-o arie cu o portiune de suprafata configurata ca un plot ascutit.

Pentru procesarea imaginilor generate, captate si colectate, am dezvoltat o aplicatie proprie operabil prin suportul programului software MATLAB pentru a permite implementarea sistemului ESPI - Interferometrie Electronica a Configuratiiilor Speckle, care are o caracteristica foarte importanta, deoarece produce franje de corelare in timp real care corespund deplasarii obiectului /masurand.

Franjele corelate furnizeaza informatii utile despre deplasarea obiectului, dar au si un dezavantaj, deoarece nu permite determinarea facila a semnelor schimbării de faza care poate apare in configuratia unei singure franje.

In ESPI, franjele de corelare sunt compuse din zone de culoare inchisa si /sau deschise produse fie prin adaugare sau scadere. Masuratorile de masurare a franjelor nu pot furniza informatii complete privind deformarea suprafetei obiectului. Uneori poate fi mai dificil de a gasi centrele franjelor, In concluzie insa , datele cantitative din interferometria speckle pot fi obtinute folosind o schimbare de faza sau metoda pas cu pas. Faza obiectului de test relativ la unda de referinta poate fi obtinuta folosind intensitati ale fazei multiple a configuratiei speckle.

Masurarea unidimensionala 1D

Masurarile dimensionale ale unei deplasari unghiulare au fost realizate pe o varietate de masuranduri constituite din arbori metalici de diferite tipuri / calitati de materiale din care fac parte si piese realizate din otel inoxidabil si aluminiu cu suprafete exterioare lustruite sau mate, ale caror raze au tolerantele dimensionale stabilite pentru valori care variaza de la 0.1 mm pana la plus si minus infinit. Pe de alta parte masurarile pot fi realizate si pe suprafata interioara a unor arbori tubulari metalici dar si pentru suprafete plane ca de exemplu ale plachetelor de siliciu superfinisate (front end) sau mate (back-end). Rezultatele simularii valorilor masurate ale deplasarii unghiulare sunt aplicate in pasi de 0.43 mdeg pentru o placheta de siliciu de 2'' avand domeniul speckle complet acoperit .

Prin utilizarea ultimei configuratii speckle ca referinta se realizeaza calculul urmatoarei valori pentru cross covariance respectiv deplasarea unghiulara totala de

6000 mdeg masurata in pasi de 300 mdeg cu latimea curbei Gauss a crossvariance la dreapta.(Fig. 6).

Pozitia maxima a diagramei crosscovariance atinge valoarea maxima determinata cu metoda descrisa. O valoare a deflectiei de aproximativ 500 mdeg ne va da valoarea obtenabila pentru decorelarea speckle considerata pentru deplasarea unghiulara maxima a unui arbore cu raza 15 mm.

Deviatia standard pentru sistemul de masurare poate fi determinata prin repetarea masurarii pentru realizarea de diferite configuratii speckle ex prin utilizarea de zone diferite ale suprafetei masurandului. Prin introducerea acestor date deviatia standard obtenabila este de .3 mdeg care este in conformitate si cu considerentele teoretice initiale.

Masurarea pe doua dimensiuni 2D

Pentru masurarile bidimensionale 2D ,metoda utilizeaza același montaj utilizat pentru masurarea unidimensionala prin inlocuirea unui senzor liniar de imagine 1D cu un senzor de imagine 2D.

Pentru masurarile 2D utilizam același montaj care a fost reprezentat in Figura 1 dar cu inlocuirea unui senzor liniar de imagine 1D cu un senzor de imagine 2D. In

completare in ecuatie de mai jos vom inlocui θ_y $\theta = \sqrt{\theta_x^2 + \theta_y^2}$ si p_{x_0} cu

$$p = \sqrt{p_{x_0}^2 + p_{y_0}^2}$$

Unde θ este valoarea deplasarii unghiulare totale obtinuta din masurarea deplasarii liniare p_0 al configuratiei speckle in planul Fourier

In loc de a aplica deplasarea unghiulara 2D vom inclina senzorul de imagine de aproximativ Ω cu referire la axa originala p_x si aplicat pentru o deplasare liniara ID

de θ_y asupra unei axe paralela la axa y .

Aceasta va evidentia ca deplasarea liniara a configuratiilor din planul Fourier are componentele in ambele axe x si y dupa cum arata rezultanta 2D cross covariance pentru o deplasare unghiulara pentru intervalul θ la 200 mdeg (Fig.7).

Pentru a verifica interdependenta evidenta a oricarei translatii a masurandului in timpul rotatiei am introdus si efectuarea unor simulari aferente acestei situatii. Astfel ambele configuratii de referinta speckle sunt evaluate ca deplasare unghiulara dar si ca o deplasare liniara (care exista in directia x) si care au fost impuse pe obiectul de

masurat. In legătură și cu Fig.5 se arata valorile corespunzatoare determinate de translata configuratiilor speckle cu diferite deplasari liniare si unghiulare.ale masurandului . La simularea deplasarii unghiulare functie de valorile deplasarii liniare pentru masurandul arbore mat din aluminiu, diagrama punctata reprezinta valorile masurate iar diagrama cu linie completa reprezinta valorile deplasarii unghiulare aplicate.

Nu este observata influenta deplasarii liniare atat timp cat aria de detectie este plasata in planul Fourier,

Reteaua de detectie este deplasata de planul Fourier iar scalarea depinde de distanta pana la obiectul Z_1 si distanta de la suprafata la centrul axei deplasarii unghiulare (Fig. 7). Diagrama punctata reprezinta valorile masurate iar diagrama cu liniile complete reprezinta valorile deplasarii unghiulare aplicate.

In cazul unei deplasari unghiulare intre 9 of 200 mdeg diagrama 2D cross covariance pentru o deplasare unghiulara. cu masuratorile realizate pe un arbore de aluminiu cu o raza R de 15 mm (Fig. 8).

In legătură cu figura 8 se arata diagrama rezultata pentru simularea deplasarii unghiulare pe directiile x si y (θ_x si θ_y) pe un senzor pentru rotatie. Aceasta aplicatie nu contine masurarea valorii de varf a cross covariance cu precizia sub dimensiunea unui pixel .Localizarea valorii de varf este realizata cu un dipozitiv de palpare cu rola care genereaza insa posibile erori la estimarea localizarii valorii de varf. Obtinerea unei pozitionari optime pentru randamentul de masurare $\theta_y = 0.77 \theta_x$ care corespunde unei inclinatii a senzorului de imagine fata de axa de referinta px de 52.4° . In legătură cu figura 9 se arata diagrama valorilor de masurare a deplasarii unghiulare pe axele x si y.

In tabelul 1 se prezinta un tabel centralizator al valorilor rezultante pentru deplasarea unghiulara

\emptyset_{appl}	\emptyset_{meas}	\emptyset_y meas	\emptyset_{meas}
50	36.1	27.7	45.5
100	76.9	58.0	96.3
150	120.8	90.8	151.1
200	160.0	121.4	201.6
250	200.8	152.3	252.1

Tabel 1. Deplasarea unghiulara masurata si aplicata (toate valorile in mdeg)

Dupa cum este indicat in tabelul 1 de mai sus, valoarea totala rezultanta pentru deplasarea unghiulara confirma valorile considerate pentru deplasarea unghiulara efectiv realizate. Posibilele deviatii sunt cauzate de localizarea varfurilor pentru covariante. Pentru masurarile 2D insa nu sunt identificate sensibilitati dependente de valorile distantelor masurandului fata de centrul de referinta al deplasarii unghiulare si nici fata de deplasările longitudinale si transversale ,daca senzorul de imagine ste plasat in planul Fourier.

Experimentele suplimentare pe care le-am efectuat in domeniul corelarii speckle ,au relevat posibilitatea de a obtine in mod curent valori superioare ale rezolutiei pentru masurarea deplasarilor 1D/2D ca de exemplu pentru deplasare unghiulara $0,001^\circ$ si liniara de $0,002 \mu\text{m}$ pentru o raza de 10mm si o precizie $<\pm 50 \text{ nm}$ pentru o deplasare de 250 mm pentru masurarea 2D.

REVENDICARI

Obiectul inventiei : **METODA DE MASURARE DE PRECIZIE NONCONTACT A DEPLASARILOR LINIARE SI UNGHIULARE 1D/2D** cu urmatoorii parametrii tehnici:

Valoarea rezolutiei pentru masurarea 1D pentru deplasare unghiulara $0,001^\circ$

Valoarea rezolutiei pentru pentru masurarea 2D pentru deplasarea liniara de $0,002 \mu\text{m}$ pentru o raza de 10mm si o precizie $\leq \pm 50 \text{ nm}$ pentru o deplasare de 250 mm .

Procesarea franjelor speckle asigura o precizia de masurare pentru deplasare liniara si unghiulara $0,3\text{mdeg}$

Procesarea si afisarea datelor in timp real.

1. Metoda asigura masurarea de precizie noncontact a deplasarilor liniare si unghiulare 1D/2D, cu rezolutia de masurare 1D pentru deplasare unghiulara $0,001^\circ$ si pentru deplasarea liniara de $0,002 \mu\text{m}$.
2. Metoda de masurare asigura o precizie de masurare de $0,3\text{mdeg}$ pentru deplasarea liniara si unghiulara, fara conditii de iluminare sau calitatea de prelucrare a suprafetei masurandului.
3. Metoda de masurare asigura mentinerea acuratetii de de masurare pentru domeniul de deplasare si pe distante mari cu o precizie $\leq \pm 50 \text{ nm}$ pentru deplasare de 250 mm .
4. Metoda de masurare de precizie realizeaza masurarea noncontact si nu necesita existenta obligatorie a unor elemente de referinta pe suprafata masurandului a carei deplasare este masurata.
5. Prin implementarea aplicatiei dezvoltate bazata pe Interferometrie Electronica a Configuratiilor Speckle (ESPI), metoda de masura de precizie este universal aplicabila, indiferent de calitatea suprafetei masurandului.
6. Prin prelucrarea franjelor generate la iluminarea suprafetei masurandului, metoda se poate aplica atat pentru masurarea deplasarilor suprafetelor exterioare cat si interioare specifice arborilor sau pieselor tubulare.
7. Prin utilizarea aplicatiei software originale dezvoltate si implementate, se realizeaza cuantificarea si afisarea datelor masurate in timp real.

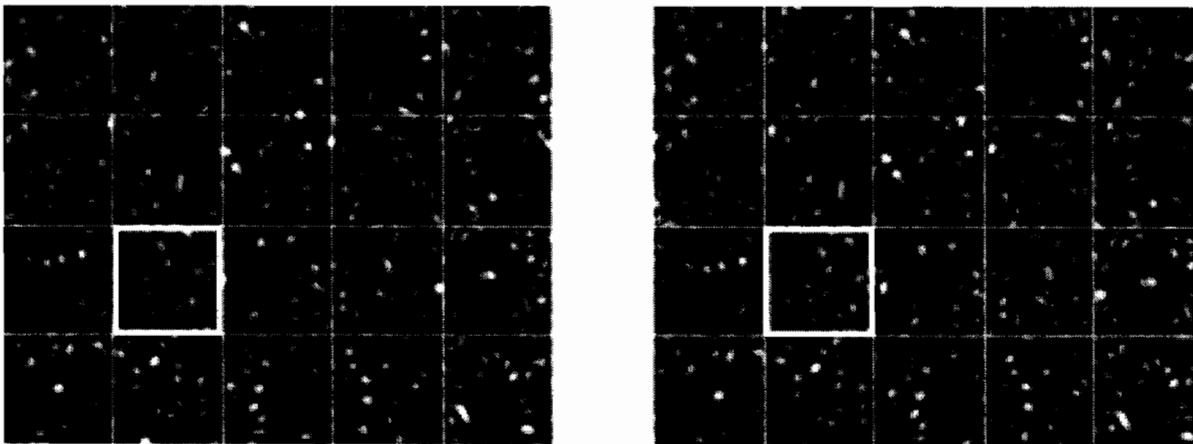


Fig.1

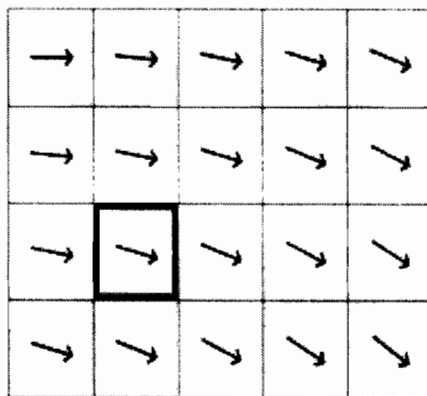


Fig.2

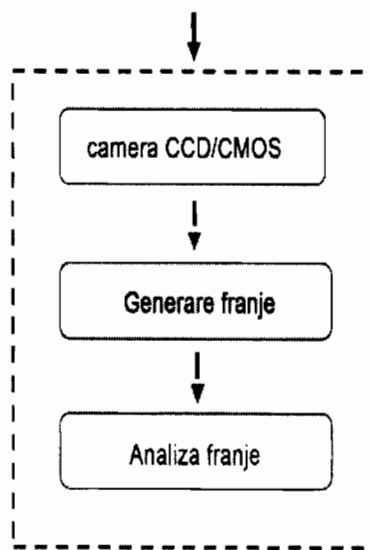
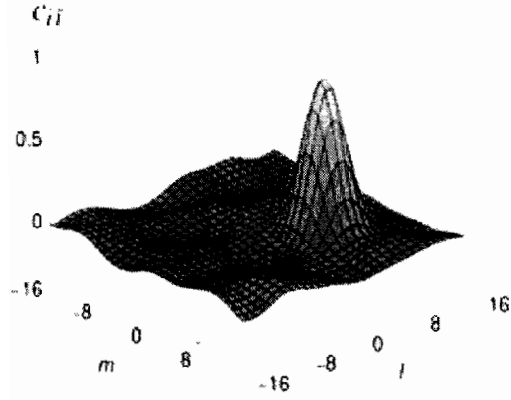
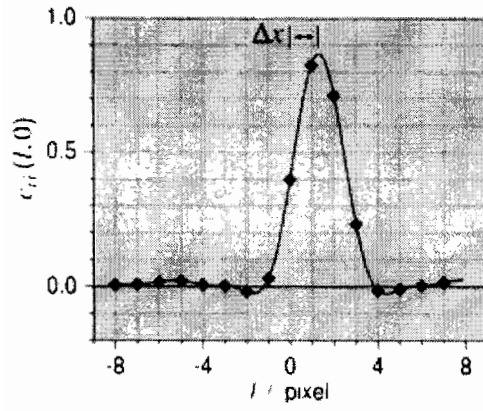


Fig.3



Fig,4a



Fig,4b

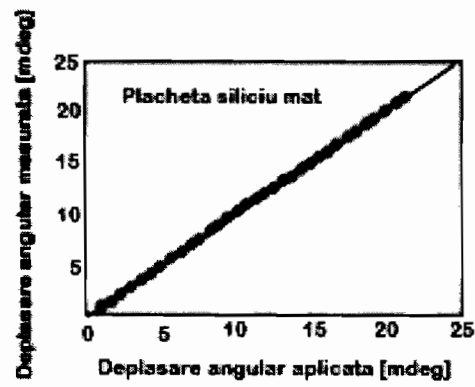


Fig. 5

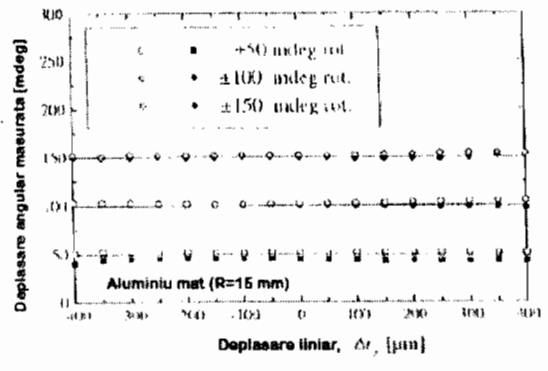


Fig. 6

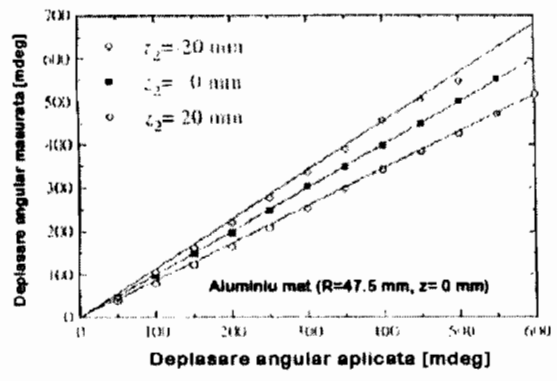


Fig. 7

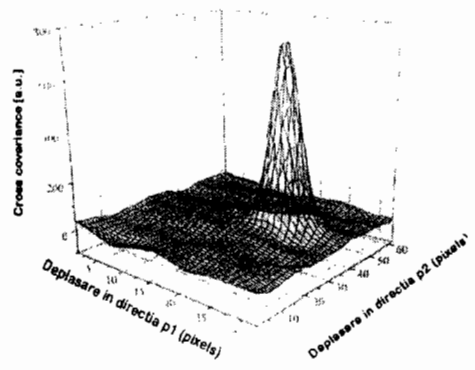


Fig. 8

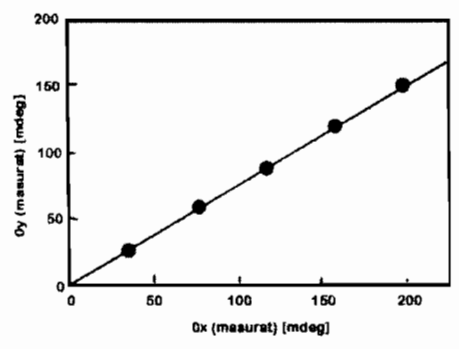


Fig. 9