

MODELE NUMERICE ALE FENOMENELOR FIZICE INDUSE DE CÂMPUL ELECTROSTATIC PE SUPRAFAȚA LIBERĂ A MODULELOR LICHID VÂSCOS-STICLĂ CALCOGENIDĂ

B. Constantinov

Universitatea Tehnică a Moldovei

INTRODUCERE

Analiza relațiilor teoretice, ce descriu deplasările punctelor unui lichid vâscos [1], indică că prezența stratului fotosensibil în modulele cercetate modifică nu atât profilul, cât viteza (incrementul ω) de formare a deformațiilor spațiale. Deci modelele fizice, care descriu fenomenele de deformare induse de câmpul electrostatic pe suprafața liberă a modulelor lichid vâscos-sticlă calcogenidă (SCG), pot fi verificate soluționând relația Navier – Stokes pentru cazul modulelor lichid vâscos - suport rigid metalizat [2].

Simplificarea sistemelor de relații [1], poate fi realizată și prin calculul numeric a deformării relative a suprafeței lichidului. S-a stabilit că deformarea relativă a suprafeței lichidului poate fi exprimată printr-un parametru pseudospațial h , definit cu computerul (vezi [2,3]). Vom menționa că una dintre caracteristicile esențiale a procesului de dezvoltare a imaginilor electrostatice latente în modulele cercetate [1,2,3] constă în faptul că valoarea intervalului de timp în decursul căruia apare deformația spațială - $0.04 \div 0.12$ s este cu mult mai mică decât valoarea timpului în decursul căruia se stabilește temperatura tratamentului termic în modul. Deci funcție de timp este nu numai h , ci și valoarea coeficientului viscozității cinematice ν . Prezența forțelor de viscozitate schimbă considerabil caracterul de curgere în faza inițială și finală a deformării suprafeței PIFTP. De aceea simularea influenței stratului SCG asupra vitezei de formare a deformației, se poate realiza ca în lucrarea [2] prin aplicarea unui solvent pe suprafața liberă a modulelor cercetate. Aceasta a determinat obiectivul prezentei lucrări:

- definirea expresiei numerice a incrementului formării deformațiilor spațiale.
- definirea formei curbei dispersiei a incrementului formării deformațiilor spațiale pe suprafața lichidului vâscos.
- definirea valorii optime a vitezei tratamentului termic în modulele lichid vâscos – suport rigid metalizat, la care se atenuează efectele de germinare a deformațiilor spațiale.

1. REALIZAREA EXPERIMENTULUI

Informația experimentală asupra procesului dependenței valorii maxime a amplitudinii deformațiilor de viteza tratamentului termic poate fi obținută din măsurători a valorii vitezei (incrementului) de formare a deformației spațiale conform metodei descrise în [4,5]. Tehnologia obținerii straturilor subțiri este descrisă în [6].

Informația experimentală asupra proceselor de transport a purtătorilor de sarcină prin materialele cu rezistență relativ mare, indică că rezistența interioară în modulele cercetate este funcție de timp și de temperatură [7]. Fenomenul era observat atât în cazul aplicării preventive a materialelor solubile (insolubile) pe suprafața liberă a modulului cercetat cât și în absența lor. Explicația este posibilă dacă se admite efectul micșorării grosimii efective a stratului lichid. Acest proces de deplasare a punctelor suprafeței unui lichid în regim real de imprimare poate fi ușor modelat cu ajutorul computerului: deplasarea unui punct a suprafeței poate fi stocată în memoria lui sub formă de bytes [3, 8]. Soluția acestor relații, care descriu mișcarea lentă a lichidului în formă simplă analitică, însă nu a fost dedusă. În lucrarea prezentă s-a efectuat o încercare de a soluționa problema prin metode numerice.

1.1 Relațiile fizice

Ecuția fundamentală Navier –Stokes, ce descrie mișcarea unui lichid, poate fi simplificată prin neglijarea forțelor F de volum [vezi 1,9]:

$$\frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + (\nabla \nabla) \vec{V} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \frac{\mu}{\rho} \Delta \vec{V} \quad (1)$$

aici: \vec{V} - viteza particulelor stratului de lichid, ρ - densitatea lichidului P - presiunea forțelor electrice; μ - coeficientul viscozității dinamice.

La mișcarea lentă a lichidului, spre deosebire de lucrarea [9], se poate de neglijat cu

termenul neliniar $(\vec{\nabla}\vec{V})\vec{V}$, în cazul deplasărilor radiale:

$$\frac{\partial V}{\partial t} \ll (\vec{\nabla}\vec{V})\vec{V} \ll \Delta\vec{V}. \quad (1a)$$

$\frac{\partial V}{\partial t}$ - variația componentei vitezei pe direcția normală la suportul stratului de lichid și $(\vec{\nabla}\vec{V})\vec{V}$ - variația vitezei unui punct al lichidului ce în intervalul dt se deplasează în volum în fluxurile de mase de substanță convergente și divergente. În acest caz ecuația (1) poate fi soluționată pentru necunoscutele \vec{V} și P :

$$\Delta V = \frac{1}{\nu} \nabla P, \text{ și } \nabla \vec{V} = 0 \quad (2)$$

aici: $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ - viscozitatea cinematică.

Calculul lui V cu (2) permite definirea profilului suprafeței dinamice de lichid $z = \xi(\vec{r}, t)$ [1,u]. Din datele experimentale sa determinat că la etapa inițială (cinetica de scurtă durată) mișcarea lichidului în modulul cercetat este radială (transversală). Atunci valorile componentelor respective $V_x > V_z$, corespund cazului când $\frac{\partial}{\partial x} < \frac{\partial}{\partial z}$; aici V_x - viteza transportului maselor de substanță în plan radial, iar V_z - viteza deplasării maselor în plan normal la suportul modulului. Ținând cont de aceste relații, relația (2) obține forma evidentă:

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \nu \frac{\partial^2 V_x}{\partial z^2} \text{ și } \frac{\partial \xi}{\partial t} + v_x \frac{\partial \xi}{\partial x} + v_y \frac{\partial \xi}{\partial y} + v_z = 0 \quad (3)$$

unde $\frac{\partial P}{\partial x}$ - este forța de la gradientul presiunii forțelor electrice $P=f(x,t)$ de-a lungul axei x , ce nu depinde de z ;

$\nu \frac{\partial^2 V_x}{\partial z^2}$ - forțele provocate de rezistența vâscoasă.

Relația (3) indică că valoarea lui $P=f(x,t)$ poate fi determinată din calculul numeric a sumei componentelor $\frac{\partial V_x}{\partial z}$ și $\frac{\partial V_z}{\partial x}$. Separarea numerică spațial temporară a componentelor respective s-a efectuat în lucrarea [8]. Ținând cont de (1a) vom menționa că: $V_z = \frac{\partial \xi}{\partial t}$.

Deci în aproximație liniară după amplitudine [9], ecuația profilului suprafeței se poate defini ca:

$$\xi_i = \int V dt \quad (3a)$$

2. PRELUCRAREA MATERIALULUI EXPERIMENTAL

În continuare valoarea V_z se interpretează ca suma n_{ij} de bytes stocați în memoria computerului în intervalul de timp $dt = 0.04s$ [2,3]. Atunci stocul de date numerice, din memoria computerului, dintr-o bază S de n_{ij} bytes, va descrie formarea deformației radiale cu dimensiunile caracteristice λ . Este evidentă corespondența $S \leftrightarrow \lambda$. Deci suma n_{ij} , bytes pe fiecare cadru a cineticii, va reprezenta ecuația profilului suprafeței dinamice a modulelor cercetate:

$$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k n_{ij} \equiv \xi_i \text{ și } \frac{1}{S} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k n_{ij} = h_i$$

Este evident, că din stocul de cinetici de scurtă durată se sintetizează relația de calcul numeric a relațiilor:

$$\frac{1}{S} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k n_{ij} \equiv \frac{\xi}{\lambda} \leq 1, \text{ unde } \xi_i \approx \xi_{0i} e^{-\omega_i t} \quad (4)$$

unde: $\xi(\vec{r}, t) = z$ - deplasările punctelor suprafeței lichidului vâscos pe normală la suportul probei; λ - dimensiunile radiale caracteristice ale structurilor locale a deformației suprafeței (microzonei selectate) la momentul t . Vom menționa că parametrul spațial z se poate reprezenta numeric ca un parametru de culoare, ori pseudospațial: $C = z = y + \mathbf{b}x$, \mathbf{b} - constantă de programă, obținându-se astfel un set de coordonate: (x, y, C) .

Relația numerică (4) ținând cont de relațiile (2) este universală în sensul că nu depinde de numărul total de byți S . Ea exprimă în esență viteza de apariție a pixelilor grey - n_{ij} , pe microzona selectată. Pentru a obține rezultate excelente se recomandă de determinat valoare iluminării a optime ori factorul de calitate a procesării digitale [3,8]. Folosind datele de sinteză a rezultatelor numerice și măsurări experimentale, s-a dezvoltat un model care ține seama de multiple aspecte ale transformărilor structurometrice și permite o explicație calitativ superioară a modelelor fizice propuse anterior [1]. În această direcție autorii au observat, că în regim real de imprimare se realizează toate configurațiile structurale [8]. Aceste mecanisme de deformare a suprafeței lichidului pot fi urmărite din cineticele stocate în memoria computerului și valorile relațiilor numerice introduse în tabela Nr.1.:

Tabela 1. Valorile parametrilor numerici $h_i, \lambda, \xi, \delta, \omega$ și baza de date experimentale.

$N \cdot t_i (s)$	Calculul numeric				Măsurări experimentale					
	$\xi/\lambda \approx h$	$z_i (\mu m)$	$\lambda \geq z/h (\mu m)$	$\xi_i (\mu m)$	$D_1 (\mu m)$	$D_2 (\mu m)$	$d (\mu m)$		δt	$ \omega_i (s^{-1})$
							d_0	d^*		
1	0.001	2	2000	0.002	**	**	**	**	6.9	172
2	0.1	2	20	0.2	20	**	**	**	2.3	28,75
12	0.2	2	10	0.4	25	12	**	**	1.6	7.6
13	0.3	2	6,6	0.6	25	12 și 6	2.5	0.1	1.2	0.6
14	0.4	2	5	0.8	**	12 și 6	2.3	0.5	0.9	0.5
15	0.5	2	4	1	**	12 și 5	2.2	1.5	0.6	1
25	0.6	2	3.3	1.2	**	12 și 5	2.4	3	0.5	0.5
35	0.7	2	2,8	1.4	**	5	2.2	4	0.35	0.49
50	0.8	2	2.5	1.6	**	5	2	4	**	0.4
100	0.9	2	2.2	1.8	**	5	2	4	**	0.02
**	1	2	2	2	**	**	**	**	**	**

Notă: ** - valoarea parametrului nu a fost cercetată; h - valoarea parametrului pseudospațial determinat prin metoda difuziei luminii.

Datele calculului numeric din tabela Nr.1 sunt în concordanță cu soluția generală a relației (1), care conține un termen ce depinde exponențial de timp. Viteza δ de formare a deformațiilor va fi cuprinsă într-un interval larg de valori, deoarece deformarea suprafeței lichidului sub formă de găuri – deformație spațială de tip crater are loc la atingerea unei valori critice a potențialului superficial, care nu se instaurează concomitent pe diferite microzone. În corespundere cu [8] se poate de arătat că funcția de profil (4) poate fi reprezentată în formă numerică, și calculată pe computer. Metoda calculului numeric se bazează pe teoria lichidului vâcos, din care rezultă că valoarea deformației relative poate fi reprezentată în corespundere cu relația (4) ca:

$$\frac{\Delta \xi_i}{z} \approx e^{\delta t_i} \text{ ori pentru } \xi_0 = 0 \text{ în } t_0 = 0s: \frac{\xi_i}{z} \approx e^{\delta t_i},$$

de unde se poate de definit ușor forma numerică (digitală) a soluției ecuației de profil:

$$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k n_{ij} \cong S e^{\delta t_N} \quad (5)$$

aici: $\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k n_{ij}$ - reprezintă numărul de pixeli grey

pe microzona selectată; δ - analogic lucrărilor [9] se

determină experimental și poate fi interpretată ca viteza evoluției deformației cu sensul fizic: $\delta \equiv |\omega|$;

S - are sens fizic de deformare maximă a probei termoplastice cu coordonata punctelor suprafeței lichidului în $\xi(\vec{r}, t) = z$;

Forma numerică a soluției ecuației de profil în intervalul de timp $t_N = t_i - t_0 = t_i$, pentru $t_0 = 0$, ușor poate fi calculat din dependența temporară a cineticii formării dimensiunilor spațiale a unui microrelief geometric gofrat de structurile disipative spațial periodice. Deoarece capacitatea de difuzie a luminii ce trece prin proba de material termoplastic, care se află în starea lichid vâscoasă, depinde atât de adâncimea unei deformații spațiale separate, cât și de densitatea centrelor de noi deformații, cinetica evoluției unui microrelief geometric la calculul numeric din tabela Nr.1 a fost divizată în II stadii:

- a) I stadiu - cinetica de scurtă durată
- b) II stadiu - cinetica de lungă durată.

Din cinetica de scurtă durată s-a calculat valoarea dimensiunii microzonei a unui sistem de amprente de germinare – D_1 și dimensiunile microzonei deformației de germinare a noi centre de deformații – D_2 . Dimensiunile caracteristice a deformației de tipul crater – d , s-au determinat din cineticele de lungă durată, pe microzona selectată cu dimensiunile D_2 . În acest caz valorii numerice λ calculată din relația (4), îi corespunde un set de valori ce se realizează în situația experimentală și determinate prin măsurări experimentale: D_1, D_2 și d .

Observarea existenței unui proces de multiplicare în stadia II poate fi explicată numai prin existența unui proces de germinare a deformațiilor germene în I stadiu [vezi 10].

Rezultatele obținute sunt remarcabile prin faptul că h , reprezintă o coordonată ce se modifică în dependentă de temperatură, și caracteristica de câmp. Aceasta permite de a verifica soluția ecuației de profil (4) fără a recurge la determinarea

constantelor hidrodinamice în situații experimentale cu o singură variabilă (temperatura tratamentului termic, concentrația SSA pe suprafața liberă a lichidului). Devine posibilă următoarea metodă de sinteză a bazei de date numerice și experimentale:

- relația (3) și (4) să fie modificată și verificată numeric în conformitate cu metoda de calcul numeric elaborată în [3].
- Verificarea valorilor obținute - δ , ω , λ , ζ cu valorile rezultatelor altor lucrări.

În acest context soluția relației (3) poate fi modificată în conformitate cu relația (5):

$$\frac{1}{S} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k n_{ij} \cong e^{\delta t_n} \text{ de unde}$$

$$\ln \frac{1}{S} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k n_{ij} \cong \delta t_n \quad (7)$$

de aici:

$$\delta \equiv \omega \cong \frac{1}{t_n} \ln \frac{1}{S} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k n_{ij} \text{ ori } \omega_{(t)} \approx \alpha t^{-1} \quad (8)$$

Pentru două cadre vecine:

$$\delta_* \equiv \omega_* \cong \frac{1}{t_n} (\ln h_n - \ln h_{n-1}) \quad (9)$$

Valorile incrementul evoluției deformației spațiale ω și δ , au fost deduse din relația (8) ținând cont de aproximațiile admise în relația (2) și introduse în tabela Nr.1. La cercetarea mișcării lente a maselor de substanță termoplastică în modulele lichid vâscos sticlă calcogenidă, valoarea numerică ω din relația (9) necesită o precizare X . Forma curbei dispersiei $(\omega X)^2$ se va cerceta în lucrările următoare.

CONCLUZII

- Din modificări numerice a cineticii de stabilire a valorilor staționare vitezei de formare a deformațiilor s-a dedus o dependență exponențială $\omega_{(t)} \approx \alpha t^{-1}$, unde $\alpha \leq 1$ este parametrul ce caracterizează dispersia.
- Legea dispersiei ω^2 , care descrie procesele oscilatorii pe suprafața liberă a modulelor lichid vâscos sticlă calcogenidă, posedă forma unei curbe interconectată de o familie de funcții parabolice de tipul: $(\omega X)^2$.

Bibliografie

1. **Rusanov M.** Voznikovenie i razvitie dissipativnyh struktur na zareajennoi poverhnosti sloâ vâzkoi jidkosti, *Analele Științifice ale USM Seria "Științe Fizico-matematice"*, p. **159-164**, **1999**
2. **Constantinov B.**, Possibility of fabrication and optical hybrid elements on interface of viscous liquid –semiconductor Electrostatic system, *J.: Current Ukrainian Research in Optics and Photonics*, N 2, **2002**, p. **193-209**, UA.
3. **Constantinov B.** The Pseudotransformation of 3D spatial optical images transmitted by viscous liquid media with the phase memory, *J.: Moldavian Journal of the Physical Sciences*, vol.2,N2, p. **224-235**, **2003 MD**.
4. **Constantinov B., Pasechnic T., Rusanov M., Bocan V.** Generalized kinetics of development of an instability on the charged surface of a phototermoplastic carrier, *Analele Științifice ale USM Seria "Științe Fiz-mat"*, p. **139-151**, **2001**.
5. **Constantinov B., Pasechnic T., Bocan V., Sîrcu S.**, Problema Nanofabricării și Comprimirii Informației de Fază pe elemente Optice Hibrade în Câmpuri Potențiale Puternice, *J. : Meridian Ingineresc*, N3, p. **32-36**, **2003 MD**.
6. **Sibirsky V., Panasiuk L., Constantinov B.** Technology of Photosensitive Layers Containing on the uses of Selenium and Tellurium, *Scottsdale, Arizona, USA, 1998. Proc. of STDA, Yves Palmier Editor*, p. **271-174**.
7. **Constantinov B.** Relief deformații termoplasticescogo sloia i kinetika formirovania izobragenia na FTPN s metalizirovannoi svobodnoi poverhnosti, *Analele Științifice ale USM Seria "Științe Fizico-matematice"*, **1999**, p. **137-141**.
8. **Constantinov B.** Posibilitatea realizării mecanismului deformării de tip histerezis a Suprafeței lichidului vâscos în câmpuri potențiale puternice, *J.: Meridian Ingineresc*, N.4, p. **.53-60**, **2003 MD**
9. **Constantinov B., Pasechnic T., Kostyukevych S, Bocan V., Sîrcu, S.** Problem of nanofabrication and compression of phase information on optical hybrid elements in the strong potential fields, *J.: Moldavian Journal of the Physical Sciences*, vol.2, N2, p. **381-388**, **2003 MD**.
9. **Constantinov B.** Metode noi de cercetare a mecanismului deformării suprafeței elementelor optice hibride preparate în câmpuri potențiale puternice, *J.: Meridian Ingineresc*, N.1, p. **15-20**, **2004**.