

Determinarea prin calcul numeric a parametrilor funcionali ai sistemelor ultraacustice folosite la sudarea cu ultrasunete a materialelor compozite inteligente

AMZA GHEORGHE¹, ANTON HADĂR^{1*}, ZOIA APOSTOLESCU, CĂTĂLIN GHEORGHE AMZA¹, LIVIU ANTON²

¹ Universitatea politehnică București, Splaiul Independenței, Nr. 313, 060042, București, România

² Universitatea Politehnică Timișoara, Bdul. Mihail Viteazul, Nr. 1, 300222, Timișoara, România

Analytical computation of ultrasonic transducers is a very complicated task. Its framework is the theory of elastic waves propagation in magnetostrictive, electrostrictive and piezoelectric medium and a series of constraints that need to be satisfied so that the optimum vibration modes can be found out for efficient use. The use of Finite Element Methods (FEM) allows the determination and optimization of design and functional parameters of ultra-acoustic systems for ultrasonic welding of intelligent composite materials with polymeric matrix. The modeling was done individually for each component of the ultra-acoustic system. A diagram of the particle speed amplitude variation both at the top of the ultrasonic transducer and along the length of the ultra-acoustic system was obtained.

Keywords: finite element method, smart composite materials, ultrasonic method

Sistemul ultraacustic este ansamblul cel mai important al oricărui echipament de producere și utilizare a energiei ultrasonore. El este format din următoarele elemente: transductorul ultrasonor - cel care convertește vibrațiile electrice în oscilații mecanice cu frecvența ultrasonoră (>16 Hz), elementul intermediar (booster) - cel care face legătura între transductorul ultrasonor și partea finală a sistemului ultraacustic și concentratorul - cel care conduce, concentrează, amplifică și focalizează energia ultrasonoră în zona de preluare, activare, tratament sau control. Toate aceste elemente componente ale sistemului ultraacustic trebuie calculate, proiectate, realizate și asamblate astfel încât în final să se realizeze amplitudinea dorită a particulei și funcționarea în regim de rezonanță [1, 3, 5].

Transductorul ultrasonor este cea parte a sistemului ultraacustic care realizează transferul de energie ultrasonică de la generator la focarul de prelucrare, astfel încât într-o mare măsură randamentul și performanțele unei instalații de sudat cu ultrasunete depind de modul de construcție, de corectitudinea dimensionării, de natura materialelor din care e confecționat, de modul de adaptare a lui la generatorul de înaltă frecvență și de modul de adaptare a transductorului ultrasonor la schema cinematică concretă a aparatului de sudare cu ultrasunete a materialelor compozite inteligente [1,8,9].

În proiectarea și execuția sistemului ultraacustic trebuie avute în vedere cerințele acustice, mecanice și tehnologice pe care trebuie să le satisfacă un sistem acustic folosit la aplicațiile active, în acest caz la sudarea materialelor compozite inteligente.

Cerințele mecanice și tehnologice depind în mare măsură de tipul îmbinării ce se vrea a fi executată și se referă la: precizia de execuție a sistemului acustic, calitatea suprafețelor, natura materialului din care e confecționat, tratamentul termic, rezistența la uzură și oboseală, rigiditatea, stabilitatea termică etc.

Cerințele acustice sunt condiționate de necesitatea creării în sistem a unui regim de funcționare în rezonanță sau de unde staționare. Aceste cerințe pot fi formulate astfel [1,5]:

- transferul maxim de energie acustică de la concentrator în zona de îmbinat, realizabil numai în cazul lucrului în regim de rezonanță;

- pierderi minime de energie în elementele sistemului ultraacustic însuși și în elementele pasive ale instalației pentru realizarea operației propuse. Aceste pierderi depind de materialul din care sunt confecționate elementele componente precum și de particularitățile și calitățile construcției sistemului acustic. Pierderile interioare de energie în material sunt cauzate de diferite mecanisme unificate sub noțiunea de "frecare internă" a cărei măsură este decrementul logaritmic al amortizării;

- concentrarea maximă a energiei acustice nemijlocit în focarul de intervenție sau tratament, cerință ce se realizează numai prin alegerea, calculul, construcția și execuția corectă a instrumentelor de lucru, concentratoarelor de energie ultrasonoră și sonotrodurilor.

- stabilitatea regimului de rezonanță în funcționarea sistemului ultraacustic la variația în limite foarte largi a sarcinii statice care acționează asupra lui. Această stabilitate depinde de alegerea corespunzătoare a dimensiunilor de rezonanță a diferitelor elemente componente, de modul cum se realizează izolarea acustică, precum și de modul de utilizare a generatorului de ultrasunete;

- uniformitatea radiației energiei ultrasonore pe toată aria focarului de intervenție, de ea depinzând calitatea îmbinării obținute în urma procesului de activare. Depinde de alegerea corectă a formei concentratorului și sonotrodului, de locul de dispunere a focarului de prelucrare și de dimensiunile lor constructive;

- stabilitatea sistemului ultraacustic în timp, la o exploatare de lungă durată. Aceasta depinde de stabilitatea

* Tel.: 0722554911

funcționării generatorului, de gradul de conservare a parametrilor întregului sistem transductor -concentrator -sonotrodă și de variația rezistenței sarcinii;

- simplitate tehnologică și constructivă a elementelor și a întregului sistem ultraacustic în ansamblu. Aceasta este indicatorul cel mai important al oricărei instalații. El se obține prin îmbinarea diferitelor subansamble ale sistemului acustic, prin posibilitatea reglării și înlocuirii rapide a lor, prin simplitatea formelor constructive, prin posibilitatea schimbării rapide a concentratorului și sonotrodei, accesul la focarul de prelucrare (zona îmbinării), prin simplitatea reglării diferiților parametri ai sistemului acustic etc.

O etapă importantă în realizarea instalației de sudat cu ultrasunete a materialelor compozite inteligente a fost și aceea a realizării unui sistem ultraacustic corespunzător operației de îmbinare prin această metodă nouă. Principalele probleme care trebuie luate în studiu privind sistemul ultraacustic și care au fost rezolvate sunt: [1,5,10].

-dimensionarea elementelor componente ale transductorului ultrasonor pentru lucru în regim de rezonanță;

- alegerea schemei de montaj și fixare în carcasă, a modului de răcire a transductorului și a modului de izolare acustică a întregului sistem ultraacustic.

- decizia adoptării tipului de transductor magnetostrictiv, electrostrictiv, piezoceramic;

- tehnologia de execuție și montaj a elementelor sistemului ultraacustic; realizarea ajustărilor necesare pentru funcționarea cât mai stabilă la rezonanță;

- stabilirea corectă a regimurilor de excitație în gol și în sarcină;

- stabilirea criteriilor de eficiență a sistemelor ultraacustice și măsurile care trebuie luate pentru îmbunătățirea ei.

Contribuții teoretice privind calcul analitic al transductoarelor

Calculul transductoarelor ultrasonore este foarte complicat având la bază teoria propagării undelor elastice în medii magnetostrictive, electrostrictive sau piezostictive și condițiile limită pe care trebuie să le satisfacă și care să conducă la aflarea modurilor de vibrație corespunzătoare unei funcționări eficiente.

Întrucât în experimentări a fost folosit un sistem ultraacustic cu transductor piezoceramic compus cu element activ secționat, se prezintă în continuare elementele de calcul particularizate în cazul folosirii acestuia la sudarea materialelor compozite inteligente cu matrice polimerică:

Condiția de rezonanță mecanică rezultată din egalitatea:

$$\rho'v'A'tg(\omega_0 l' / v') = \rho v^E A \operatorname{ctg}[\omega_0 l / (2v^E)] \quad (1)$$

sau:

$$\operatorname{ctg}(\omega_0 l' / v') \operatorname{ctg}[\omega_0 l / (2v^E)] = q \quad (2)$$

unde: ρ', v', A' și $\rho v^E A$ sunt impedanțele acustice caracteristice ale elementului pasiv și respectiv elementului activ; l' și l - lungimile acestora; raportul impedanțelor caracteristice;

Condiția de rezonanță electromecanică rezultă din egalitatea:

$$\rho'v'A'tg(\omega_0 l' / v') = \rho v^D A \operatorname{ctg}[\omega_0 l / (2v^D)] \quad (3)$$

Puterea acustică P_a^0 , emisă la rezonanță este:

$$P_a^0 = \frac{4n^2 U^2 \cos^2(\omega_0 l' / v') \eta_{am}^2}{\alpha_0 \rho_m v_m A'} \quad (4)$$

în care n este coeficientul de transformare electro-mecanică;

Puterea acustică la frecvențe joase P_{aj} ($j < f_0$) calculează cu relația:

$$P_{aj} = \frac{\alpha_n^2 U^2 \rho_m v_m A' \omega^2}{4(v')^2 (\rho v^E A)^2} \quad (5)$$

Caracteristica de frecvență a puterii acustice P_a în apropierea rezonanței este dată de relația:

$$P_a = \frac{\alpha \rho_m v_m A' n^2 U^2}{|Z|^2 \cos^2(\omega_0 l' / v')} \quad (6)$$

unde:

$$|Z| = \tau^2 + \chi^2 \quad (7)$$

$$\tau = \tau_0 [1 + (\alpha / \alpha_0 - 1) \eta_{am}] \quad (8)$$

iar

$$\tau_0 = \frac{\alpha_0 \rho_m v_m A'}{4 \eta_{am} \cos^2(\omega_0 l' / v')} \quad (9)$$

Coeficientul χ , din expresia impedanței este dat de relația:

$$\chi = 0,5 [\rho' v' A' t g(\omega l' / v') - \rho v^E A \operatorname{ctg}[\omega l / (2v^E)]] \quad (10)$$

Formula aproximativă a dependenței de frecvență a puterii, în apropierea rezonanței este dată de expresia:

$$\frac{P_a}{P_a^0} = \frac{1}{1 + Q_m^2 (f / f_0 - f_0 / f)^2} \quad (11)$$

unde:

Q_m este factorul de calitate mecanic, care se obține din relația:

$$Q_m = \frac{4\pi f_0 \eta_{am} m' [1 + (m / 2m')] \cos^2(\omega l' / v') + q^2 \sin^2(\omega l' / v')}{\alpha \rho_m v_m A'} \quad (12)$$

În relația (12) m este masa elementului activ;

m' - masa elementului pasiv;

q - raportul impedanțelor caracteristice.

Impedanța caracteristică Z , a transductorului în apropierea rezonanței se obține din relația cunoscută:

$$Z = \frac{1}{\frac{1}{R_p} + \frac{1}{R_m + jX_m} + j\omega C} \quad (13)$$

unde:

R_p este rezistența de pierderi electrice;

R_m, X_m - rezistența, respectiv reactanța mecanică, date de relațiile:

$$R_p = \frac{1}{\omega C t g \delta}, \quad R_m = \frac{\tau}{n^2}, \quad X_m = \frac{\chi}{n^2} \quad (14)$$

Coeficienții τ și χ se obțin din relațiile (8), respectiv (10), iar la frecvența de rezonanță $X_m = 0$.

Randamentul electroacustic al transductorului η_{ea} :
 Randamentul electroacustic este reprezentat de produsul:

$$\eta_{ea} = \eta_{am} \eta_{em} \quad (15)$$

Randamentul acustomecanic η_{am} are o valoare aproximativ constantă (0,6...0,8), iar randamentul electromecanic η_{em} se obține din relația:

$$\eta_{em} = \frac{1}{1 + \frac{\alpha_0 \rho_m v_m A \omega_0 C t g \delta}{4n^2 \eta_{am}}} \quad (16)$$

Sensibilitatea transductorului în regim de recepție la rezonanța electromecanică se obține din relația:

$$v'_0 = \frac{2m \eta_{am} \cos(\omega_0 l' / v')}{\alpha_0 \rho_m v_m \omega_0 C} \quad (17)$$

Pentru transductorul cu element activ secționat are formula:

$$v'_{oc} = \frac{v_0}{k} \quad (18)$$

unde:

k este numărul secțiunilor.

Sensibilitatea receptorului la frecvențe joase v_j se obține din relația:

$$v_j = \frac{dA'w}{2qa} = \frac{dY^E w}{2\varepsilon Y^D A} \quad (19)$$

unde:

w este distanța dintre electrozi. Pentru transductorul cu element activ secționat, sensibilitatea la frecvențe joase este:

$$v'_{jc} = \frac{v_j}{k} \quad (20)$$

Caracteristica de frecvență a sensibilității transductorului în regim de recepție se obține din relația:

$$\frac{v}{v'_0} = \frac{(f'_0 / f)}{2\alpha_\omega \cos(\omega l' / v') \cos(\omega'_0 l' / v')} \times \left\{ \left[1 - \frac{v^D / Y^E}{\sin(\omega l / v^D)} \left[q t g(\omega l' / v') + F \right] \left(1 - \frac{1}{q} t g \frac{\omega l'}{v'} \left(q t g \frac{\omega l'}{v'} + 2F \right) \right) \right]^2 + \left(\frac{\rho' v' \eta_{am}}{\rho_m v_m \alpha'_0 \alpha_\omega} \right)^2 \left[\frac{1}{q} \left(q t g \frac{\omega l'}{v'} + F \right) - \frac{2v^D / v^E}{\sin(\omega l / v^D)} \right]^2 \right\}^{-1/2} \quad (21)$$

unde:

$$F = \frac{v^D}{v^E} t g \frac{\omega l}{2v^D} \quad (22)$$

pentru efect piezoelectric transversal și

$$F = t g \frac{\omega l}{2v^D} \quad (23)$$

pentru efect piezoelectric longitudinal, iar α_ω se obține din relația:

$$\alpha_\omega = 1 + (\alpha - 1) \eta_{am} \quad (24)$$

Sensibilitatea specifică de recepție v'_{os} se obține din relația:

$$v'_{os} = \frac{v_0}{\sqrt{|Z|}} = \frac{2m \eta_{am} \cos(\omega'_0 l' / v')}{\alpha'_0 \rho_m v_m \sqrt{\varepsilon \omega'_0 Q A}} \quad (25)$$

Analiza cu elemente finite a unui sistem ultraacustic folosit la sudarea cu ultrasunete a materialelor compozite inteligente cu matrice polimerică

Considerații generale

Modelarea analitică a sistemului ultraacustic este complicată iar pentru a crește eficiența proiectării și realizării unui sistem ultraacustic performant, cu un randament acustomecanic impus, este recomandată modelarea cu ajutorul metodei elementelor finite (MEF). Analiza cu MEF s-a realizat separat pentru fiecare element component al sistemului ultraacustic, pentru ca în final, să se obțină diagrama de variație a amplitudinii vitezei particulei nu numai în vârful concentratorului de energie ultrasonoră ci și pe toată lungimea sistemului ultraacustic [5,11,12,14].

Sistemul ultraacustic folosit la sudarea cu ultrasunete este format în principal dintr-un ansamblu piezoceramic (transductorul ultrasonor), un booster (elementul intermediar) și dintr-un concentrator de energie ultrasonoră (fig.1).

Ansamblul piezoceramic acordat pe frecvența de 20 KHz, generează oscilațiile ultrasonore (preponderent longitudinale). Concentratorul de energie ultrasonoră este cuplat cu ansamblul piezoceramic prin intermediul unui booster (element intermediar). Boosterul este un element al sistemului ultraacustic care se interpune între transductor și concentrator, rolul acestuia fiind de a crește, cu un anumit factor, amplitudinea vibrației transmise concentratorului, în limita suportată de transductor. Concentratorul de energie ultrasonoră este dimensionat astfel încât lungimea lui să fie corespunzătoare unei semilungimi de undă și să lucreze în regim de rezonanță. Rolul concentratorului de energie ultrasonoră este de a amplifica oscilațiile și de a conduce energia ultrasonoră în focarul prelucrării.

Pentru a lucra cu un randament bun, concentratorul trebuie acordat, cu o aproximație de câteva perioade, cu frecvența cu care este calculat transductorul ultrasonor, deci întregul sistem oscilant trebuie să lucreze în regim de rezonanță, pentru ca amplitudinea vitezei particulei la vârful sculei să fie cât mai mare și deci și intensitatea acustică să fie mare.

La fabricare, trebuie efectuate operații de ajustare a concentratorului astfel încât întregul ansamblu ultrasonor

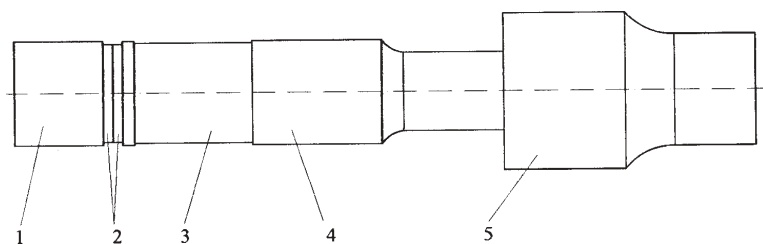


Fig. 1. Sistemul ultraacustic:
 1-ansamblu piezoceramic (1-reflector,
 2-pastile piezoceramice, 3-difuzor sau
 radiant); 4 – booster (element intermediar);
 5 – concentrator energie

să oscileze pe frecvența de rezonanță a ansamblului piezoceramic.

În figura 2 este prezentată o vedere izometrică a ansamblului ultraacustic [11].

Analiza cu metoda elementelor finite s-a efectuat separat pentru fiecare element din componența sistemului ultraacustic.

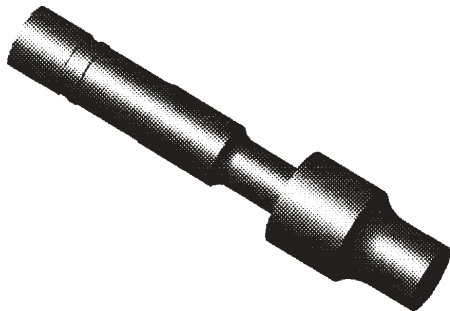


Fig. 2. Vedere de ansamblu a sistemului ultraacustic

Modelarea cu elemente finite a piezoelementelor

Elementele active ale sistemului ultraacustic sunt pastilele piezoceramice din PZT4 ale căror dimensiuni sunt prezentate în figura 3.

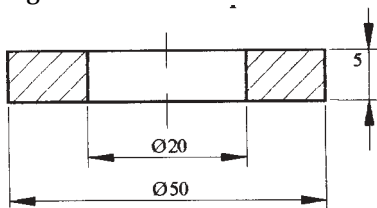


Fig. 3. Dimensiunile elementului piezoceramic.

Proprietățile de material ale piezoelementelor sunt înțelese de programul cu elemente finite sub formă de trei matrice: dielectrică, piezoelectrică și de elasticitate.

Valorile conținute în aceste matrice au fost luate din cataloagele puse la dispoziție de firmele producătoare de materiale piezoceramice [1,15, 8, 11, 16].

S-a optat pentru tipul de analiză structurală și magnetic nodală iar modelarea s-a realizat cu elementul SOLID98 (fig. 4), element tetraedral solid cu 10 noduri.

SOLID98 Tetrahedral Coupled-Field Solid

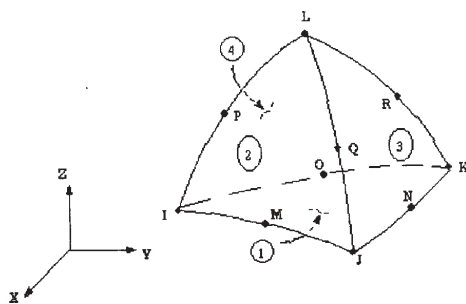


Fig. 4. Elementul SOLID98.

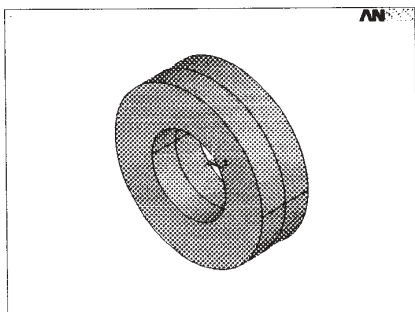


Fig. 5. Geometria volumelor a două pastile piezoceramice cuplate.

În figura 5 sunt reprezentate volumele a două pastile piezoceramice cuplate cu senzori de polarizare opuse. Ariile comune se constituie în planul nodal (oscilație zero). S-a efectuat operația de lipire a celor două volume.

În figura 6 este prezentată discretizarea pastilelor cu elementul finit ales anterior.

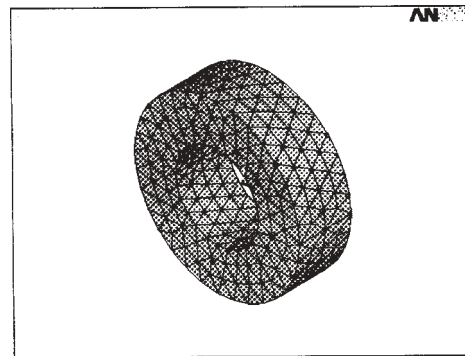


Fig. 6. Discretizarea cu elemente finite a volumelor pastilelor piezoceramice.

Respectând realitatea fizică, nodurilor plasate în ariile comune ale volumelor le-au fost preluate toate gradele de libertate.

Sursa de putere (generatorul de semnal ultrasonor) aduce pe electrozii plasați normal pe direcția de polarizare a pastilelor piezoceramice, sarcini electrice cu frecvența necesară intrării într-un regim de rezonanță a ansamblului piezoceramic.

Au fost aplicate sarcini electrice în nodurile aflate în ariile pe care sunt depuși electrozii, valorile fiind cuprinse în intervalul permis (0 ÷ 2000 V).

S-a realizat o analiză statică. De interes sunt deformațiile structurilor studiate.

În figura 7 este reprezentată deformată ansamblului celor două pastile piezoceramice în poziție frontală.

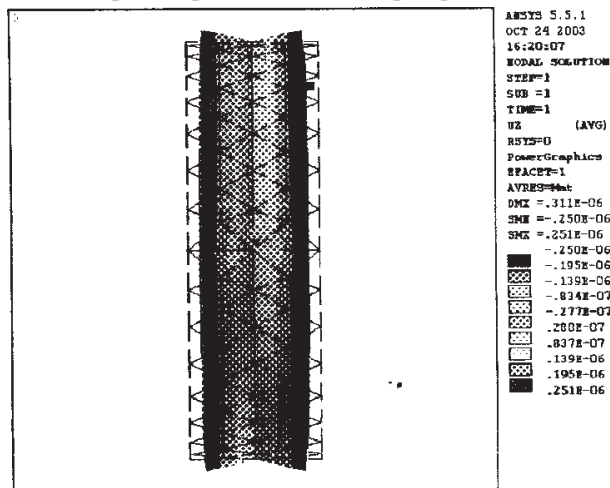


Fig. 7. Reprezentarea frontală a deformatelor pentru sarcini pozitive.

În figura 8 este reprezentată deformată ansamblului celor două pastile piezoceramice în izometrie, pentru situația în care pe electrozii exteriori apar sarcini negative și în planul nodal masa.

Prin efectuarea analizei armonice, pentru frecvența de rezonanță impusă a ansamblului piezoceramic (20 KHz), se obțin deplasările nodale adică amplitudinea oscilației care acționează asupra concentratorului ultrasonor.

Rezultatele acestei analize pentru o baleiere a valorilor tensiunii furnizate de către generatorul de putere de 0÷2000 V se pot observa în figura 9. și arată dependența liniară a amplitudinii de tensiunea de atac a pastilelor piezoceramice.

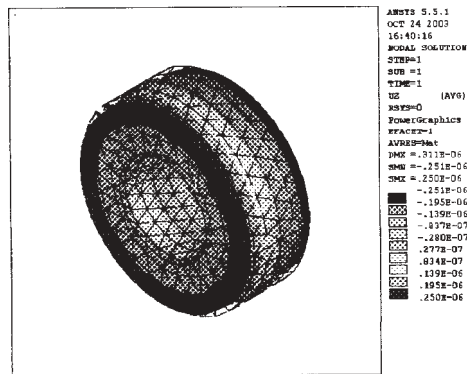


Fig. 8. Representarea izometrică a deformației pentru sarcini negative

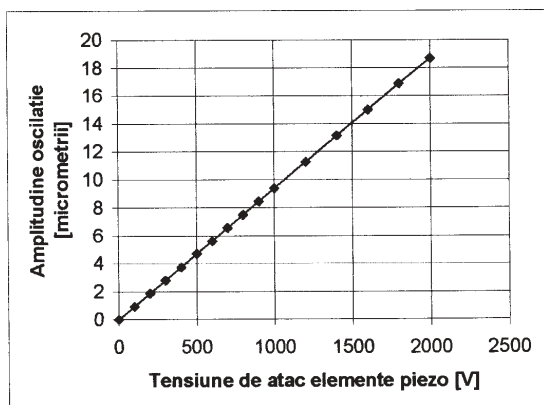


Fig. 9. Răspunsul linear al mărimii amplitudinii oscilației în funcție de tensiunea de atac a pastilei.

Modelarea cu elemente finite a ansamblului piezoceramic

Elementul activ al sistemului ultraacustic este transductorul piezoceramic care convertește oscilațiile electrice aplicate de generator în oscilații elastice.

Transductorul compus este format dintr-un pachet de elemente piezoceramice în număr par cuprinse între două blocuri din materiale cu densitate și modul de elasticitate diferite (elementul reflector și elementul radiant).

În ansamblul piezoceramic (fig.10), pastilele piezoceramice 2 sunt asamblate cu prestrângere între un element reflector 3 și unul difuzor sau radiant.

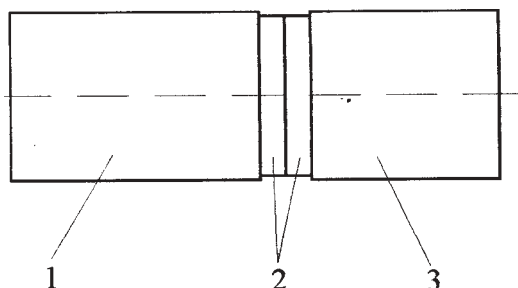


Fig. 10. Ansamblu piezoceramic:
1 - elementul radiant; 2 - pastilele piezoceramice;
3 - elementul reflector

Modelarea prin metoda elementelor finite a ansamblului piezoceramic oferă o predicție a comportamentului acestuia atât în ce privește mărimea deformațiilor (amplitudine) cât și a stării de tensiuni.

În figura 11a este reprezentat modelul cu elemente finite al ansamblului piezoceramic.

S-a ales tipul de analiză armonică, acesta oferind posibilitatea de a prezice comportarea dinamică înțreținută a structurilor și de a verifica dacă modelul ajunge la rezonanță. Analiza armonică este o tehnică folosită pentru a determina răspunsul linear staționar al structurii atunci când sarcina variază sinusoidal (armonic).

S-a urmărit să se afle răspunsul structurii pentru câteva frecvențe iar apoi să se realizeze reprezentarea grafică a răspunsului în funcție de câtorva mărimi (de obicei deplasări).

Prin această analiză se calculează numai forțele de vibrație staționare ale structurii. Vibrațiile tranzitorii care apar la începutul excitației nu sunt luate în seamă de către analiza armonică. Analiza răspunsului armonic este o analiză liniară. Orice neliniaritate, cum ar fi plasticitatea și interstițiul de contact dintre elemente, vor fi ignorate chiar dacă ele au fost definite. Analiza armonică poate fi realizată și pentru o structură pretensionată.

Analiza a fost efectuată pentru frecvența de 20 KHz, care corespunde cu frecvența de rezonanță atât a ansamblului piezoceramic cât și a întregului sistem ultrasonor.

În figura 11b este reprezentată starea deformată în vedere izometrică a ansamblului piezoceramic pentru frecvența de rezonanță de 20 KHz.

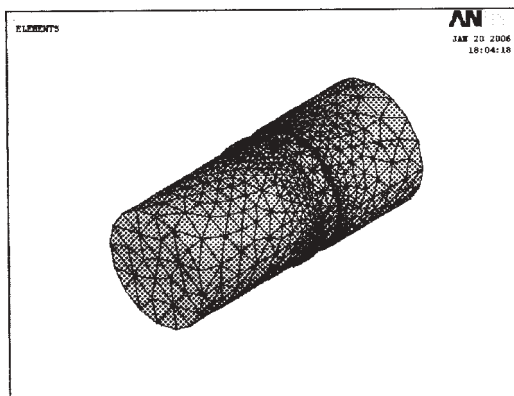


Fig. 11a. Discretizarea cu elemente finite a volumelor ansamblului piezoceramic

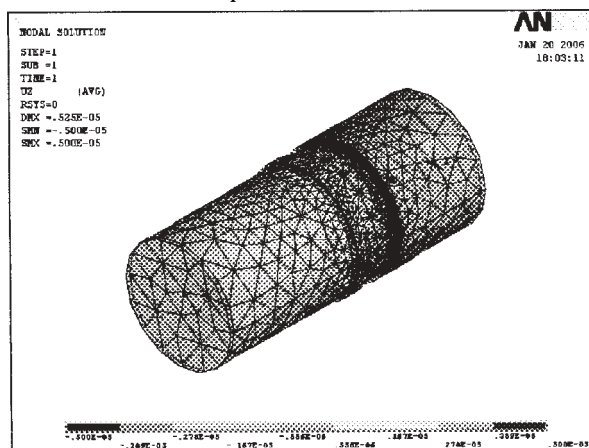


Fig. 11b. Representarea izometrică a deformației ansamblului piezoceramic

Reprezentarea grafică a variației amplitudinii în lungul ansamblului piezoceramic este dată în figura 12.

Modelarea cu elemente finite a ansamblului element intermediar-concentrator

Ansamblul booster-concentrator, utilizat la sudarea cu ultrasunete a materialelor compozite inteligente cu matrice polimerică este reprezentat în figura 13 [1,5,11].

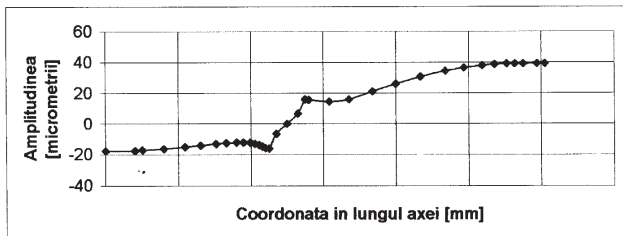


Fig. 12. Variația amplitudinii în lungul ansamblului piezoceramic

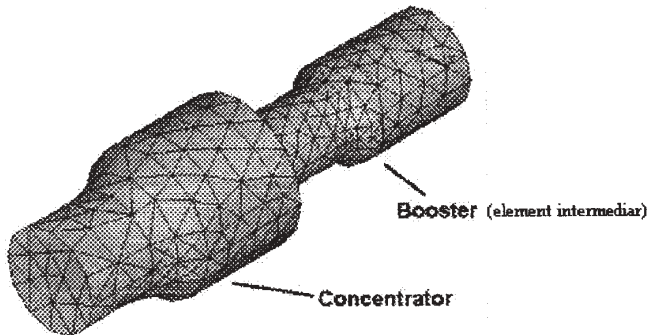


Fig. 13. Ansamblul booster-concentrator

Atât concentratorul cât și boosterul sunt construite din oțel aliat cu titan.

Pentru modelarea cu elemente finite s-a folosit elementul SOLID92, element 3-D cu 10 noduri, tetraedral solid [13,15,16].

S-a optat pentru tipul de analiză modală și au fost obținute frecvențele corespunzătoare unor moduri de vibrație în apropierea frecvenței de rezonanță.

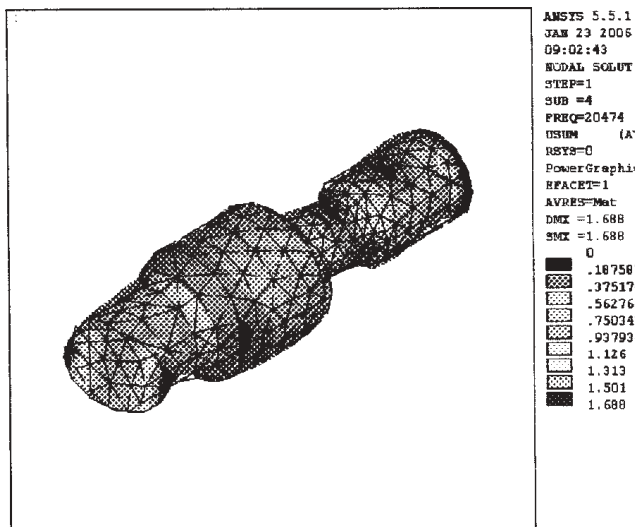


Fig. 14. Representarea în izometrie a deformației ansamblului booster-concentrator la 20474 Hz.

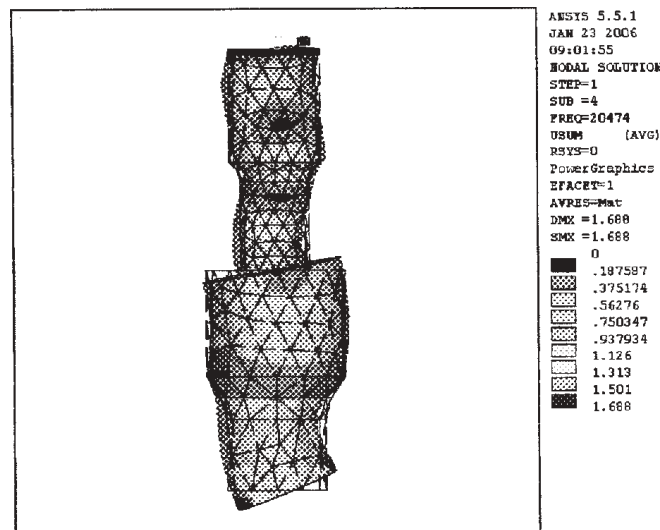


Fig. 15. Representarea verticală a deformației ansamblului booster-concentrator la 20474 Hz.

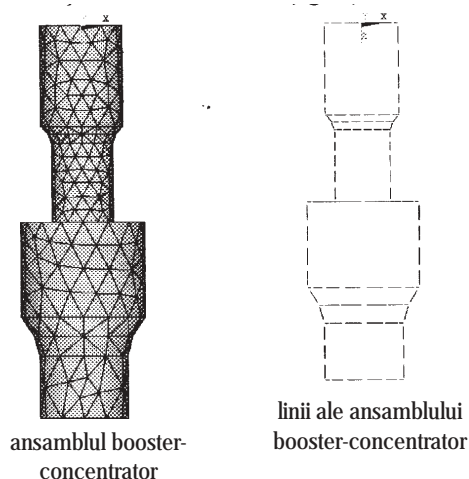


Fig. 16. Selectarea nodurilor pe generatoarele booster-concentrator

- 2
- 98
- 99
- 100
- 101
- 102
- 103
- 104
- 105
- 106
- 107
- 108
- 109
- 110
- 111
- 112
- 113
- 114
- 115
- 116
- 117
- 118
- 119
- 120
- 121
- 122
- 123
- 124
- 125
- 126
- 127
- 128
- 129
- 130
- 131
- 132
- 133
- 134
- 135
- 136
- 137
- 138
- 139
- 140
- 141
- 142
- 143
- 144
- 145
- 146
- 147
- 148
- 149
- 150
- 151
- 152
- 153
- 154
- 155
- 156
- 157
- 158
- 159
- 160
- 161
- 162
- 163
- 164
- 165
- 166
- 167
- 168
- 169
- 170
- 171
- 172
- 173
- 174
- 175
- 176
- 177
- 178
- 179
- 180
- 181
- 182
- 183
- 184
- 185
- 186
- 187
- 188
- 189
- 190
- 191
- 192
- 193
- 194
- 195
- 196
- 197
- 198
- 199
- 200
- 201
- 202
- 203
- 204
- 205
- 206
- 207
- 208
- 209
- 210
- 211
- 212
- 213
- 214
- 215
- 216
- 217
- 218
- 219
- 220
- 221
- 222
- 223
- 224
- 225
- 226
- 227
- 228
- 229
- 230
- 231
- 232
- 233
- 234
- 235
- 236
- 237
- 238
- 239
- 240
- 241
- 242
- 243
- 244
- 245
- 246
- 247
- 248
- 249
- 250
- 251
- 252
- 253
- 254
- 255
- 256
- 257
- 258
- 259
- 260
- 261
- 262
- 263
- 264
- 265
- 266
- 267
- 268
- 269
- 270
- 271
- 272
- 273
- 274
- 275
- 276
- 277
- 278
- 279
- 280
- 281
- 282
- 283
- 284
- 285
- 286
- 287
- 288
- 289
- 290
- 291
- 292
- 293
- 294
- 295
- 296
- 297
- 298
- 299
- 300

Fig. 16. Selectarea nodurilor pe generatoarele booster-concentrator

În figurile 14, și 15 sunt prezentate modurile de vibrație la frecvența 20474 Hz. La această frecvență, concentratorul execută în mod preferențial rotații în planul XY.

Efectuând analiza armonică a ansamblului booster-concentrator pentru frecvența de rezonanță a sistemului ultraacustic de 20 KHz, cu încărcări de tip deplasare luate din analiza ansamblului piezoceramic rezultă amplitudinea oscilației în noduri selectate de pe generatoarele booster-ului și ale concentratorului (fig.16).

Reprezentarea grafică a valorilor amplitudinii oscilației în nodurile aflate pe generatoarele ansamblului booster-concentrator este prezentată în figura 17.

Modelarea cu elemente finite a sistemului ultraacustic

În figurile 18, 19 și 20 sunt reprezentate etapele de construcție a modelului ansamblului piezoceramic cuplat cu boosterul și concentratorul de energie ultrasonoră.

Procedând în mod analog se obține în final starea de tensiuni și deformații pentru întregul sistem ultraacustic (fig. 20). Zona cea mai importantă este partea finală a concentratorului de energie ultrasonoră deoarece aici se plasează scula de prelucrare sau sudare.

Cunoașterea mărimii amplitudinii concentratorului de energie ultrasonoră este deosebit de importantă deoarece:

- în funcție de mărimea amplitudinii la vârful concentratorului se determină productivitatea prelucrării;
- mărimea amplitudinii determină parametrii sistemului ultraacustic;
- modelarea prin metoda elementelor finite permite testarea diferitelor forme de concentratoare fără a fi necesară realizarea lor practică;

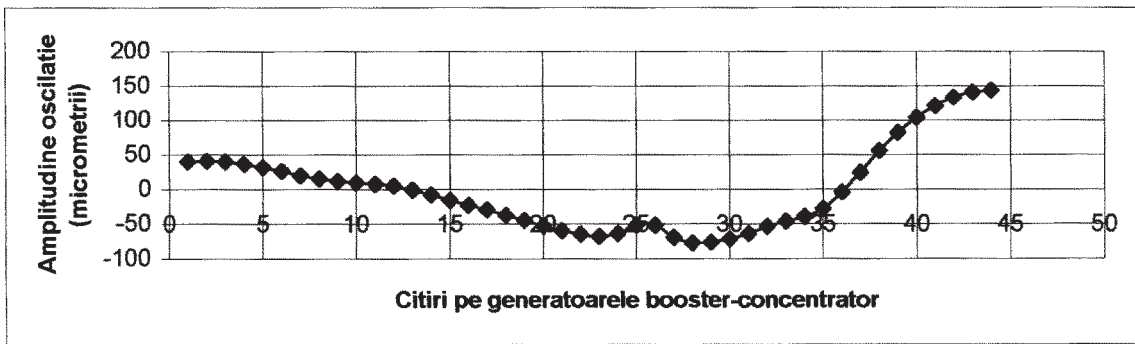


Fig. 17. Variația amplitudinii în lungul generatoarelor booster-concentrator

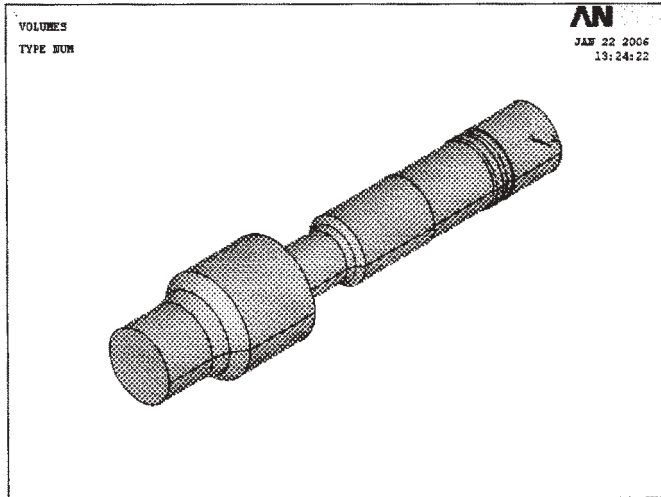


Fig. 18. Geometria volumelor ansamblului piezoceramic-booster-concentrator

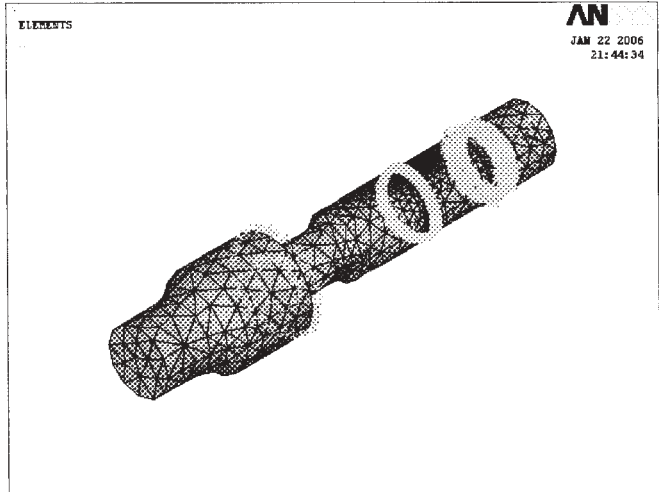


Fig. 20. Aplicarea încărcărilor tip tensiune electrică și deplasare

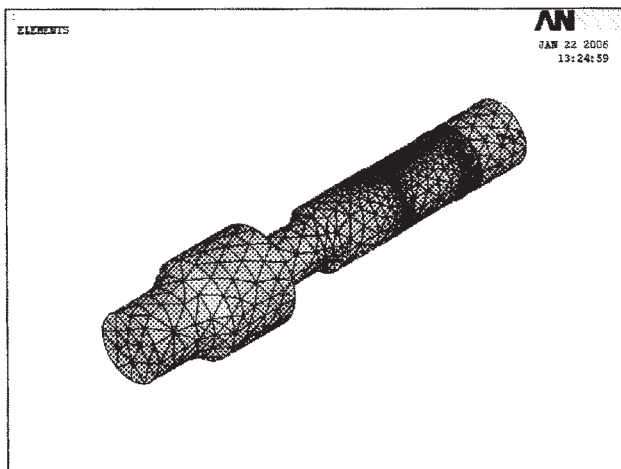


Fig. 19. Discretizarea cu elemente finite a volumelor ansamblului piezoceramic-booster-concentrator

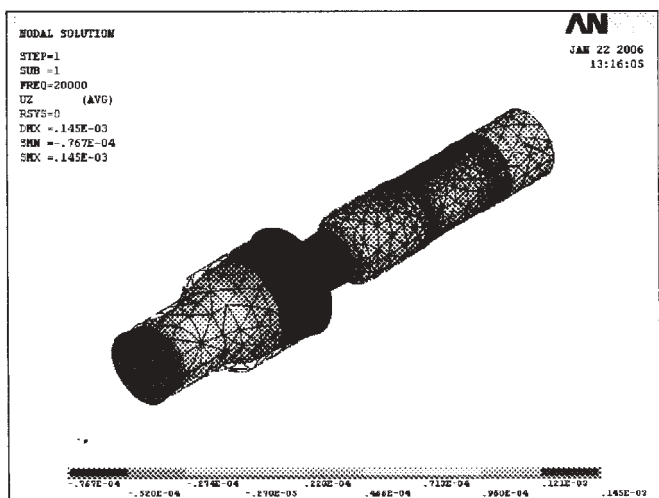


Fig. 21. Reprezentarea izometrică a deformației ansamblului piezoceramic-booster-concentrator

- permite alegerea formei corespunzătoare pentru procedeul dorit;
- oferă posibilitatea optimizării formei concentratorului ultraacustic.

Concluzii

Transductorul ultrasonor este aceea parte a sistemului ultraacustic ce realizează transferul de energie ultrasonoră de la generator la focalul de prelucrare (în zona de îmbinare), astfel încât într-o mare măsură randamentul și performanțele unor instalații de sudat cu ultrasunete depind de modul de construcție, de natura materialelor din care este confecționat, de modul de adaptare a acestuia la generatorul de înaltă frecvență și la schema cinematică a instalației de sudat cu ultrasunete;

Elementele de calcul pentru un transductor piezoceramic compus, proiectate și realizate în cadrul Catedrei Tehnologia materialelor și sudare, sunt: condiția de rezonanță mecanică; puterea acustică emisă la rezonanță; puterea acustică la frecvențe joase; caracteristica de frecvență a puterii acustice în apropierea rezonanței; impedanța electrică a transductorului; randamentul electroacustic al transductorului; sensibilitatea transductorului în regim de rezonanță electromecanică; sensibilitatea receptorului de frecvență joasă; caracteristica de frecvență a sensibilității specifice de recepție și curenți electrici la rezonanță;

Experimental se constată că, deși subsamblul ceramic-reflector transmite numai oscilații longitudinale elementului radiant, în acesta apar atât oscilații longitudinale cât și transversale datorită cuplajului existent

într-un mediu solid. Aceste oscilații, conform legii generalizate Hooke se propagă independent iar impedanța caracteristică a elementului radiant este o sumă a impedanței caracteristice corespunzătoare fiecărui tip de radiație excitată.

Cunoașterea modului cum vibrează fiecare secțiune a sistemului ultraacustic este necesară în procesul de proiectare și este posibilă prin intermediul analizei cu elemente finite, când, în urma rezultatelor obținute, se trasează diagrama de variație a amplitudinii vitezei particulei în lungul secțiunii. Aceste diagrame sunt absolut necesare nu numai pentru proiectare ori pentru determinarea elementelor de rezistență ci și pentru realizarea unui sistem ultraacustic care să aibă un randament acustomecanic dorit.

5° Concentratorul de energie ultrasonoră se calculează în așa fel încât întreg sistemul ultraacustic să lucreze în regim de rezonanță pentru ca amplitudinea vitezei particulei să fie maximă în zona activă și deci și intensitatea acustică să fie cât mai mare în zona de îmbinat;

În orice proces de prelucrare și deci și în cazul sudării cu ultrasunete a unor materiale compozite inteligente, foarte importantă este cunoașterea mărimii amplitudinii la vârful sonotrodului și pe întreaga lungime a concentratorului de energie ultrasonoră, mărime determinată aprioric realizării concentratorului folosind metoda de analiză cu elemente finite.

Așa cum s-a văzut în urma analizei cu elemente finite în vârful sonotrodului apar mai multe tipuri de oscilații, chiar dacă de exemplu întregul sistem este calculat pentru oscilații longitudinale, vibrații a căror amplitudine diferă de cea principală și afectează mai mult sau mai puțin procesul de sudare.

Bibliografie

1. AMZA, GH., Sisteme ultraacustice, Ed. Tehnică, București, 1989, p.196
2. AMZA, GH., HADAR, A., APOSTOLESCU, Z., GÎRLEANU, G., ANTON, L., Contribuții teoretice și experimentale privind influența parametrilor acustici în procesul de sudare cu ultrasunete a materialelor compozite inteligente, Mat. Plast., 44, nr. 1, 2007, p.60
3. AMZA GH., ROȘCA, M., BORDA, C., MARINESCU, M., NIPOI, D., Theoretical Modeling and Characterisation of Ultraprecision Piezoelectric Motors, Conferința anuală internațională de Tehnologii

Neconvenționale -CITN 2000 Brașov, 2-3 noiembrie 2000, I, Ed. PRINTECH Brașov, 2000, p.171

4. AMZA, Gh., RADU, C., AMZA, C. GH, POPOVICI, V, APOSTOLESCU, Z., Cercetări privind monitorizarea materialelor compozite inteligente în timpul proiectării și exploatarei, Sesiunea Jubiliară de Comunicări științifice cu participare Internațională - 30 ani de Învățământ Superior de Stat în Arad, 28 -30 noiembrie 2002
5. AMZA, Gh., RADU, C., AMZA, C. GH, POPOVICI, V, APOSTOLESCU, Z., Cercetări teoretice și experimentale privind calculul și proiectarea concentratoarelor de energie ultrasonoră folosite la sudarea cu ultrasunete a materialelor compozite inteligente- Conferința ASR SUDURA 2004, Constanța 15-17 septembrie 2004
6. HADAR, A., NICA, M.N., CONSTANTINESCU, I. N., PASTRAMA, ST., The Constructive and Geometric Optimization of the Junctions in the Structures Made from Laminated Composite Materials, Journal of Mechanical Engineering , 52, No. 7-8, Jul-Aug. 2006, Ljubljana, p. 546
7. HADAR, A., JIGA, G., BAYER, M., Optimizarea configurativă a unor plăci realizate din compozite stratificate și armate cu fibre, Mat. Plast., 42, nr. 2, 2005, p. 100
8. HADAR, A., BORDEAȘU, I., MITELEA, I., VLAȘCEANU, D., Validarea experimentală a unui model teoretic folosit în calculul de rezistență al structurilor realizate din materiale compozite, Mat. Plast, 43, nr. 1, p. 70
9. AMZA, GH., Ultrasunetele - aplicații active, Editura Academia de Științe Tehnice din România și Editura AGIR, București, 2006, p.338 .
10. KIM, J., VARADAN, V.V., VARADAN, V.K., BAO, X.Q., Finite Element Modelling of a Smart Cantilever Plate and Comparison with Experiments, Smart Materials and Structures, 5, 1996, p. 165
11. LAWRENCE, C.M., NELSON, D.V., SPINGARN, J.R., Measurement of Process-induced Strain in Composite Materials Using Embedded Fiberoptic Sensors, SPIE, 2718, San Diego 1996, p.60
12. MILLER, Y., HUBBARD, F., QUEK, S.T., Flexural vibration analysis of snadqich beam coupled with piezoelectric actuator Smart Materials and Structure, no. 9, 1985, p.103
13. PAPADAKIS, E., Ultrasonic Instruments and Devices - Refrence for Modern Instrumentation, Techniques and Technology, Academic Press New York, 2000, p.232
14. SINGH, D.S.A., VIZZINI, A. J., Structural Integrity of Composite Laminates with Interacted Actuators, Smart materials and Structures, no 3, 1994, p. 71

Întrată în redacție: 13.03.2007