

ASPECTE PRIVIND SOLICITĂRILE MECANICE INDUSE ASUPRA ELEMENTELOR ELECTRONICE ALE UNEI PLĂCI IMPRIMATE

CONSIDERATIONS REGARDING THE MECHANICAL STRESSES INDUCED IN ELECTRONIC COMPONENTS OF CIRCUIT BOARDS

Conf. dr. ing. Cristian Dragomirescu¹, Conf. dr. ing. Andrei CRĂIFĂLEANU¹,

Prof. dr. ing. Valentin CEAUȘU¹

¹Universitatea Politehnica București, Romania

E-mail: cristian_dragomirescu@yahoo.com

craifaleanu@cat.mec.pub.ro

ceausu@cat.mec.pub.ro

Rezumat: Variațiile de temperatură în materiale cu coeficienții de dilatare diferiți pot determina apariția unor solicitări mecanice importante în elementele electronice montate pe plăcile de circuit imprimate, ca urmare a deformațiilor termice împiedicate. Acest efect este mai însemnat în cazul conductoarelor terminale cu lungime redusă și în cazul componentelor fără conductoare terminale (componente leadless). Variațiile ciclice ale unor astfel de solicitări pot conduce la deteriorarea terminalelor și conexiunilor prin oboseala materialului. Lucrarea își propune studiul unor aspecte ale acestor fenomene mecanice, care au importante consecințe funcționale, economice și manageriale.

Cuvinte cheie: cedare prin oboseală, conductor terminal, deformație termică.

Abstract: Temperature variations in materials with different dilatation coefficients may generate important mechanical stresses in electronic elements mounted on circuit boards, due to restrained thermal deformations. This effect is more severe in terminal conductors with reduced length and in components without terminal conductors (leadless components). Cyclic variations of such strains can lead to fatigue failure of the components. The paper studies some aspects of these mechanical phenomena, which has important functional, economic and managerial consequences.

Keywords: fatigue failure, terminal conductor, thermal deformation.

1. INTRODUCERE

Pentru aparatele cu o construcție simplă, cu puține funcții de prelucrare, elementele electronice active și pasive sunt montate pe o singură placă imprimată, care, împreună cu elementele de carcasare, preia integral funcțiile de asigurare. Pentru aparatele mai complexe, placa imprimată echipată, alcătuiește numai o parte a acestuia, un subansamblu, care poate fi integrat într-o structură ierarhică modulară standardizată sau particulară [2].

Placa imprimată poate fi echipată cu o mare diversitate de tipuri de elemente constructive electronice active, pasive sau electromecanice. Această diversitate este legată de o varietate de moduri de amplasare a terminalelor sau elementelor de prindere în raport cu capsula componentelor, precum și de modul de realizare a echipării (prin găuri străpunse în placă sau prin lipire direct pe suprafață). Capsula componentelor electronice destinată montării convenționale – prin găuri de trecere – poate fi prevăzută cu conductoare terminale axiale sau cu conductoare terminale transversale. Circuitele integrate destinate montării pe suprafață pot fi prevăzute cu conductoare terminale în formă de L (*gullwing*) sau în forma de J. În prezent, cunosc o răspândire tot mai largă și componentele electronice pasive pentru montarea pe suprafață, componente fără terminale, cu capsula chip sau MELF, precum și circuitele integrate fără conductoare terminale, de exemplu cele tip *Leadless Ceramic Chip Carrier* (LCCC). Pentru componentele de putere, care trebuie presate puternic pe placă în

vederea asigurării unui contact termic bun, sunt prevăzute variante de prindere mecanică pe placa de circuit, prin intermediul unor tije filetate. Componentele cu dimensiuni mari sunt asigurate mecanic suplimentar, prin intermediul unor elemente de prindere speciale, adaptate configurației componentei respective. Dimensiunile de gabarit și cotele de prindere ale elementelor constructive electronice sunt normalizate prin reglementări internaționale, preluate și de standardele din țara noastră.

În foarte multe montaje în care lungimea conductoarelor terminale este redusă sau aceste conductoare sunt absente (componente *leadless*), variațiile de temperatură și coeficienții de dilatare diferiți ai materialelor care alcătuiesc montajul pot determina apariția unor solicitări mecanice importante, ca urmare a deformațiilor termice împiedicate.

O primă situație în care conexiunile și terminalele componentelor sunt supuse unor tensiuni induse termic este legată de operația de lipire, întrucât între temperatura de solidificare a aliajului de lipit (~ 180°C) și cea de exploatare (min. -55°C) există o diferență mare. Acest aspect este urmărit îndeaproape la proiectarea infrastructurii componentelor electronice și trebuie să fie analizat și pentru montajele hibride. Datorită faptului că solicitarea la lipire este singulară, pot fi acceptate o serie de depășiri ale limitei de curgere a aliajului de lipit, dacă deformarea este însoțită de amorsarea de microfisuri, pentru că, datorită relaxării, starea de tensiune se diminuează în timp. O atenție deosebită trebuie acordată variațiilor de temperatură, legate de exploatarea aparatului. Acestea induc solicitări mecanice ciclice care pot conduce la deteriorarea terminalelor și conexiunilor prin oboseala materialului. În medie se consideră că, în timpul duratei de exploatare, elementele unui aparat electronic absolvă aproximativ 10^4 cicluri termice.

2. SOLICITĂRILE CONDUCTOARELOR TERMINALE

a. Modelul I

Schema de amplasare a terminalelor, respectiv cea de deformare a conductoarelor terminale, asimilate cu *bare dublu încastrate*, este prezentată în figura 1.

În raport cu punctul de referință situat în mijlocul componentei, deplasările relative între aceasta și suport sunt:

$$u_x = \frac{a}{2} \operatorname{tg} \beta \cdot (\alpha_1 - \alpha_2) \cdot \Delta T, \quad u_y = \frac{a}{2} \cdot (\alpha_1 - \alpha_2) \cdot \Delta T \quad (1)$$

în care ΔT - variația de temperatura, α_1 , α_2 - coeficienți de dilatare termica liniara.

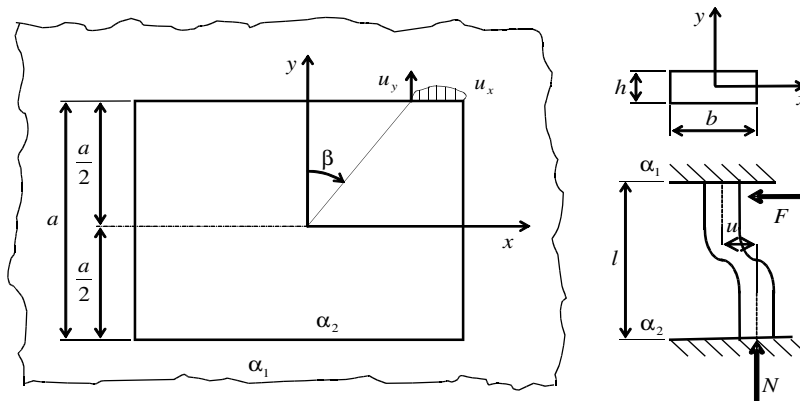


Fig. 1. Deplasările relative dintre componentă și suport

Forțele horizontale care ar produce aceeași deformare a barei se calculează cu formula pentru bara încastată din literatura de specialitate [2], [3]:

$$\frac{u_x}{2} = \frac{F_x}{3EI_x} \left(\frac{l}{2}\right)^3, \quad \frac{u_y}{2} = \frac{F_y}{3EI_y} \left(\frac{l}{2}\right)^3, \quad (2)$$

unde $I_x = \frac{bh^3}{12}$, $I_y = \frac{hb^3}{12}$ sunt momentele de inerție geometrice în raport cu axele Ox , respectiv Oy [4].

Considerând $\beta = 45^\circ$, tensiunile de încovoiere din terminal, orientate după cele două direcții, sunt

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{M_y}{W_y} = \frac{F_y lh}{4I_y}, \quad (3)$$

ceea ce permite obținerea relației

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} < \sigma_a. \quad (4)$$

Datele referitoare la valorile tensiunii σ_a se obțin din literatura de specialitate [2] (de exemplu cu ajutorul curbelor Wöhler).

În cazul terminalelor cu secțiune circulară cu diametrul d , relațiile de calcul se simplifică, căci $I_x = I_y = \frac{\pi d^4}{64}$.

Pentru o geometrie cunoscută a componentei și a secțiunii terminalului, relațiile (3) și (4) permit dimensionarea lungimii minime pe care trebuie să o aibă conductoarele terminale pentru a asigura fiabilitatea mecanică necesară.

Utilizând relațiile (1) și (2) se determina expresia

$$F_y = \frac{6a}{l^3} (\alpha_1 - \alpha_2) \cdot \Delta T \cdot E \cdot I_y \cdot \text{tg} \beta, \quad (5)$$

care, înlocuită în expresia (4) și luând în considerare rezultatul (3), conduce la relația

$$l^2 \geq \frac{3a}{\sqrt{2}} (\alpha_1 - \alpha_2) \cdot \Delta T \cdot h \cdot \text{tg} \beta \frac{E}{\sigma_a}, \quad (6)$$

cu ajutorul căreia se poate trasa variația lungimii minime l_{\min} în funcție de raportul E/σ_a .

În figura 2 este prezentat rezultatul calcului pentru un modul din Al_2O_3 de formă

pătrată, montat pe o placa de sticlotextolit prin conductoare terminale cu secțiunea $0.5 \times 0.3 \text{ mm}$, considerând, conform literaturii de specialitate [2], următoarele valori: $a = 50 \text{ mm}$, $b = 0.5 \text{ mm}$, $h = 0.5 \text{ mm}$, $\Delta T = 240 \text{ K}$, $\beta = \pi/4$, $\alpha_1 - \alpha_2 = 9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

Din analiza figurii 2 se constată că, odată cu creșterea lungimii terminalului, în aceasta situație de montaj, crește semnificativ și valoarea raportului E/σ_a , ceea ce presupune alegerea unui set de materiale corespunzător.

Forța axială N care solicită în mod direct la forfecare conexiunile realizate prin găuri

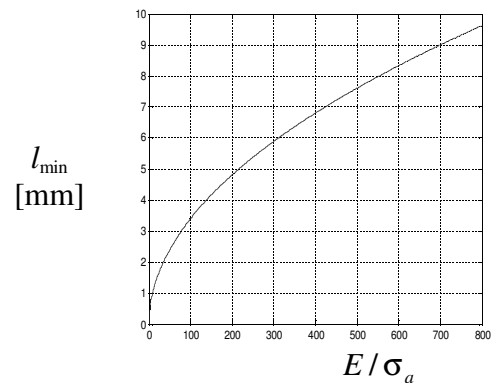


Fig. 2. Variația lungimii minime a terminalelor

de trecere simple se calculează cu relația [3]:

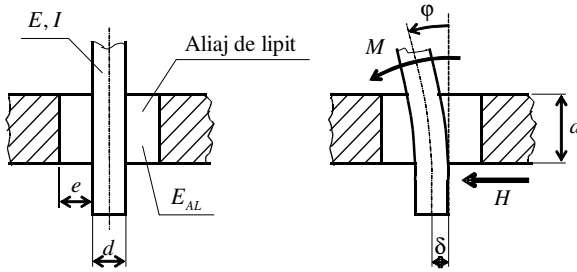
$$N = \frac{F^2}{2EI} \left(\frac{l}{2} \right)^2. \quad (7)$$

b. Modelul II

Un model mai exact al montajului analizat anterior consideră și deformația aliajului de lipit, presupunând terminalul ca o bară pe suport elastic (figura 3).

În acest caz, la nivelul conexiunii, va apărea suplimentar o deplasare transversală δ și o rotație Φ , care au ca efect reducerea tensiunilor σ din terminal. Efectul variației de temperatura este luat în considerare prin intermediul caracteristicilor terminalului, precum și a jocului dintre acesta și placa de circuit.

Coeficientul de rigiditate al reazemului barei circulare, cu care este asimilat terminalul, are expresia [3]



$$k = \frac{2E_{AL}d}{e}, \quad (8)$$

în care s-au notat:

E_{AL} - modulul de elasticitate al aliajului lipit;

d - diametrul;

e - jocul dintre terminal și pereții găurii din placa de circuit.

Fig. 3. Deformații în zona de încastrare a terminalului

Ecuția diferențială care descrie deformația transversală a terminalului este [4]:

$$\frac{d^4 w}{dx^4} + 4\lambda^4 w = 0, \quad (9)$$

unde s-au introdus parametrii:

$$\lambda^4 = \frac{k}{4EI};$$

E - modulul de elasticitate al materialului terminalului;

I - momentul de inerție geometric al secțiunii terminalului.

Soluția generală a ecuației (9) este [3]:

$$w(x) = C_1 \operatorname{ch}(\lambda x) \cos(\lambda x) + C_2 \operatorname{sh}(\lambda x) \cos(\lambda x) + C_3 \operatorname{ch}(\lambda x) \sin(\lambda x) + C_4 \operatorname{sh}(\lambda x) \sin(\lambda x). \quad (10)$$

Identificarea constantelor se face în funcție de condițiile de contur, implicând rotirea Φ și deplasarea δ din încastrare. Exprimarea acestora se face în raport cu mărimile H și M , corespunzătoare secțiunilor studiate, rezultând matricea de rigiditate:

$$\begin{bmatrix} H_0 \\ M_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{DD} & k_{DR} \\ k_{DR} & k_{RR} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \Delta \\ \theta \end{Bmatrix}, \quad (11)$$

unde indicele „D” se referă la deplasare, iar indicele „R” la rotație, astfel încât k_{DR} semnifică forța H_0 la $x=0$, indusă de o rotație unitară $w'(0)$. Pentru valori mari ale

parametrului λ ($\lambda \geq 3$), matricea de rigiditate are o formă mai simplă [2]:

$$[K] = 2EI\lambda \begin{bmatrix} 2\lambda^2 & \lambda \\ \lambda & 1 \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Alungirea relativă ε în punctul $x = 0$ al barei are expresia

$$\varepsilon = \frac{d}{2} w''(0) = \frac{d}{2} \cdot \frac{M_0}{EI}. \quad (13)$$

c. Modelul III

Se consideră situația în care terminalul este de secțiune variabilă, iar solicitările mecanice sunt reflectate de sarcina uniform distribuită q , respectiv de sarcina concentrată Q [1], [3] (figura 4).

Pentru tronsonul OA relația (10) devine:

$$\begin{cases} w_1(x) = -\frac{M_0}{2EI_1}x^2 - \frac{T_0}{6EI_1}x^3 + \frac{q}{24EI_1}x^4 \\ \varphi_1(x) = -\frac{M_0}{EI_1}x - \frac{T_0}{2EI_1}x^2 + \frac{q}{6EI_1}x^3 \\ M_1(x) = M_0 + T_0x - \frac{q}{2}x^2 \\ T_1(x) = T_0 - qx, \end{cases} \quad (14)$$

care conduc, pentru $x = l_1$, la mărimile corespunzătoare din secțiunea A , respectiv

$$\begin{cases} w_A = -\frac{M_0}{2EI_1}l_1^2 - \frac{T_0}{6EI_1}l_1^3 + \frac{q}{24EI_1}l_1^4 \\ \varphi_A = -\frac{M_0}{EI_1}l_1 - \frac{T_0}{2EI_1}l_1^2 + \frac{q}{6EI_1}l_1^3 \\ M_A = M_0 + T_0l_1 - \frac{q}{2}l_1^2 \\ T_A = T_0 - ql_1, \end{cases} \quad (15)$$

în care s-au introdus:

w – deplasarea fibrei medii deformată,

$\varphi(x)$ – rotirea,

$M(x)$ – momentul încovoiător,

$T(x)$ – forța tăietoare.

Pentru tronsonul AB , raportându-ne la secțiunea A ca secțiune inițială și observând ca abscisa unei secțiuni oarecare este $x - l_1$, rezultă

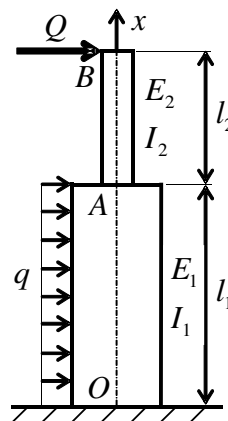


Fig. 4. Solicitări pe un terminal de secțiune variabilă

$$\begin{cases} w_2(x) = w_A + \varphi_A(x-l_1) - \frac{M_A}{2EI_2}(x-l_1)^2 - \frac{T_A}{6EI_2}(x-l_1)^3 \\ \varphi_2(x) = \varphi_A - \frac{M_A}{EI_2}(x-l_1) - \frac{T_A}{2EI_2}(x-l_1)^2 \\ M_2(x) = M_A + T_A(x-l_1) \\ T_2 = T_A, \end{cases}, \quad (16)$$

care conduc pentru $x = l_1 + l_2$ (secțiunea B) la soluțiile $M_B = 0$ și $T_B = Q$.

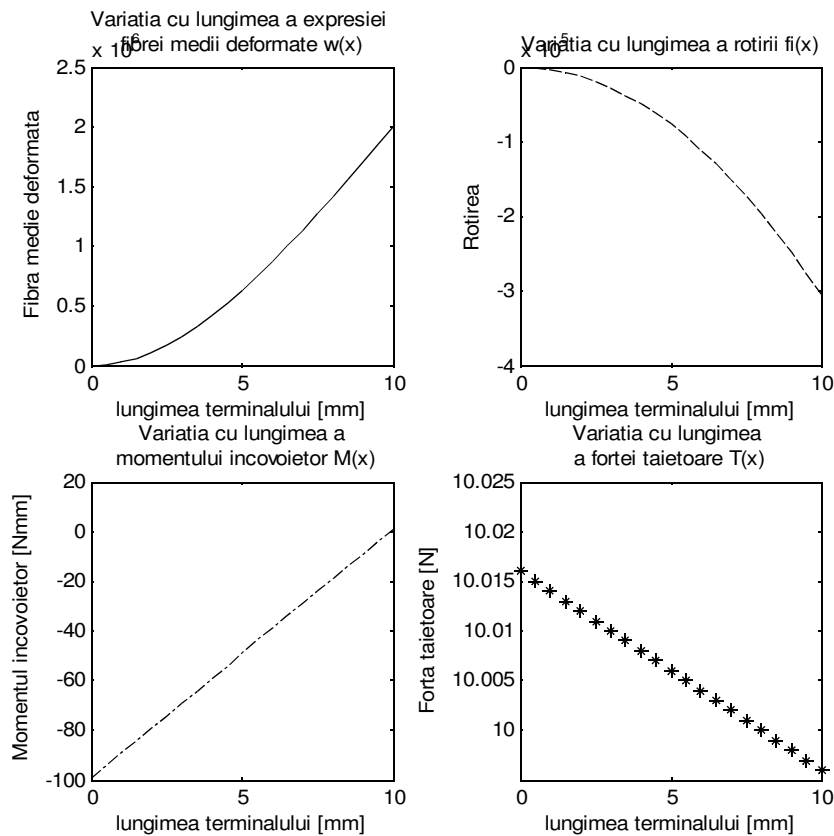


Fig. 5. Variația deplasării, rotirii și a eforturilor, cu lungimea terminalului

Luând în considerare expresiile obținute, rezulta în final

$$M_0 = -Q(l_1 + l_2) - \frac{ql_1^2}{2}, \quad T_0 = ql_1 + Q. \quad (17)$$

Pentru exemplificare se consideră cazul tronsonului OA , pentru care s-a trasat variația expresiilor (14) în funcție de lungimea terminalului (fig. 5). În acest sens se considera valorile numerice conform literaturii de specialitate [2]: sârmă Ni cu diametrul $d = 0.5\text{mm}$, modulul de elasticitate $E = 2 \cdot 10^5 \text{N/mm}^2$, lungimea tronsonului OA $l_1 = 8\text{mm}$, lungimea tronsonului AB $l_2 = 1.9\text{mm}$, forța concentrată $Q = 10\text{N}$, forța uniform distribuită $q = 2 \cdot 10^{-3} \text{N/mm}$. Calculul dezvoltat pentru tronsonul OA , precum și reprezentările grafice corespunzătoare, pot fi dezvoltate și pentru tronsonul AB .

Analiza reprezentărilor grafice de mai sus evidențiază variația mărimilor mecanice considerate, în funcție de lungimea terminalului, ceea ce permite alegerea corespunzătoare a elementelor geometrice, astfel încât să poată fi evitate eventualele deteriorări ale componentelor electronice de acest tip.

3. CONCLUZII

Lucrarea analizează anumite aspecte ale efectelor solicitărilor mecanice asupra componentelor electronice ale circuitelor. Sunt puse în evidență, pornind de la observațiile existente în literatura de specialitate, diverse modele de studiu, la care s-au aplicat teoriile mecanice clasice, reliefându-se consecințele neglijării implicațiilor solicitărilor mecanice asupra acestor sisteme.

Pentru valorile specificate în normativele în vigoare, s-au calculat mărimile mecanice corespunzătoare, reprezentându-se grafic variabile considerate semnificative.

Sunt evidențiate în acest fel domeniile de risc, din punctul de vedere al solicitărilor mecanice, oferindu-se totodată, atât posibilitatea alegerii unor materiale cu caracteristici corespunzătoare, cât și dimensionarea care să răspundă utilității circuitului electronic adoptat, dar care să evite zonele de risc dezvoltate de fenomenele mecanice studiate.

BIBLIOGRAFIE

1. **Ceașu, V., Enescu, N., Dragomirescu, C., Craifaleanu, A., Tiron, A.,** *Aplicații ale metodei matricelor de transfer*, Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Utilaj Tehnologic, Sesiunea de Comunicări Științifice a Catedrei de Mecanică Tehnică și Mecanisme, București, SIMEC 2008, 28 martie 2008, pag. 10-15, ISSN 1842-8045.
2. **Pascu, A.,** *Structura mecanică a aparatelor electronice*, Oficiul de informare documentara pentru industria construcțiilor de mașini, București, 1992.
3. **Voinea, R., Voiculescu, D., Simion, F. P.,** *Introducere în mecanica solidului rigid cu aplicații în inginerie*, Ed. Academiei Române, București, 1989
4. **Voinea, R., Deciu, E., Dragomirescu, C.,** *Technische Mechanik*, Ed. ALMA, Craiova, 2009.