

Cercetări experimentale în vederea micșorării contracției termice a compozitelor dielectrice la temperaturi joase

Titus Deliman

Universitatea din Oradea

Abstract When building super conducting coils there are some complex requests, referring to the whole mechanic equipment form by metal and dielectric which is solicited thermo-mechanically. The case when a stratified composite or loaded matrices represent the dielectric, adapted to concrete requests, represent the preoccupation of this paper.

1. Introducere

Funcție de domeniul aplicativ materialul dielectric prezintă o geometrie adaptată condițiilor impuse. În cadrul acestei lucrări este tratată implicația dielectricului, a comportamentului acestuia în ipostaza solicitării termo-mecanice la care este supus și a fenomenului de contracție termică. Uniformizarea coeficientului de contracție termică dintre, materialul compozit dielectric și materialul supraconductor, determină o interfață robustă între materialele date și implicit o ameliorare a tensiunilor termice remanente.

Pentru definirea unui compozit optim utilizat ca material dielectric în construcția bobinelor supra conductoare s-au vizat următoarele etape de bază;

- Alegerea unui material dielectric compozit a cărei aderență să fie maximă la nivelul materialului metalic supra-conductor.
- Evaluarea matematică și experimentală a tensiunilor mecanice limită pentru temperaturi joase.
- Optimizarea coeficientului de contracție a dielectricului față de supraconductor.

Prima etapă propusă prezentată rezumativ a precizat valoarea maximă a aderenței față de trei materiale metalice convenționale pentru cazul a două materiale compozite a căror rețetă de preparare este redată în tabelul 1.

- date experimentale obținute pentru temperatura de 77K
- s-au folosit doar acele tipuri de epruvete a căror matrice conține stabilizator pentru contracția materialului
- la temperaturi joase ruperea a trecut în volumul compozitului

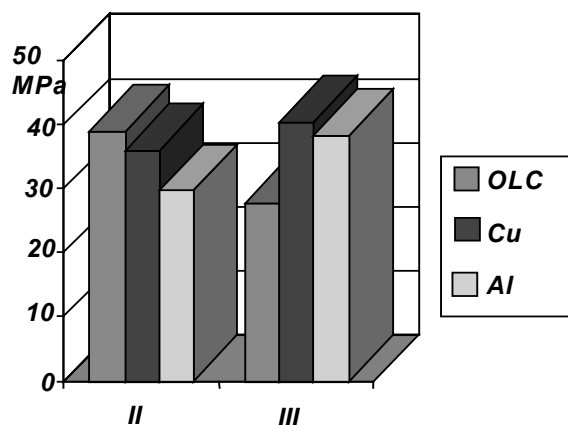


Fig.1. Rezistență mecanică medie a cinci epruvete identice pe categorii de metal-compozit Viteză de tragere, $v_{tr}=0,2\text{mm/min}$, la temperatura de 77K

Rezultatul este dat prin a analiza a șase tipuri de materiale compozite supuse încercărilor mecanice la temperatura ambiantă cât și la temperatura de 77K. [3]

Tab. 1.

Tip matrice	Rețetă de preparare a matricilor izotrope
B-II	Rășină + 30 părți grame A.F.* +50 părți grame Alumină
C-III	Rășină + 30 părți grame A.F.* +100 părți grame Alumină

- A.F. = Anhidridă ftalică, rol de catalizator în vederea creșterii lanțului molecular.

Rășinile astfel preparate, matricea rășinii epoxidică din DINOX 110E, și umplute cu Al_2O_3 sunt în așa fel tratate încât după întărire gradul de polimerizare să prezinte o orientare spațială pentru a asigura compactizarea necesară construcției. În scopul măririi rezistenței mecanice matricile au fost armate cu fibră de sticlă discontinuă.

2. Elemente teoretice

În procesul răcirii compozitului, fenomen identic suferit în izolația bobinei supraconductoare, deformația termică în direcția fibrelor se notează cu ϵ_1^T , timp în care pentru direcția transversală ϵ_2^T . Interacțiunea deformațiilor termice cu laminele vecine generând apariția tensiunilor termice care au efect atât asupra întregii lamine, cât și la interfețele cu laminele vecine, în cazul unui material multistrat compozit.

Ecuția constitutivă în situația unei lamine ortotrope, ținând cont de forma matricii modulilor unde $E_{13} = E_{23} = E_{31} = E_{32} = 0$ rezultă:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} E_{ij} \end{Bmatrix}_{3 \times 3} \begin{Bmatrix} \epsilon_1 - \alpha_1 \Delta T \\ \epsilon_2 - \alpha_2 \Delta T \\ \gamma_{12} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

Relație în care $\Delta T = T - T_0$; T_0 - temperatura de unde are loc răcirea compozitului.

Se consideră în cadrul relației de mai sus faptul că deformațiile termice sunt funcții liniare de diferența de temperatură. Coeficienții α_i , $i \in \{1,2\}$, sunt valorile medii pe intervale de discretizare între T_0 la T . Pentru matricile izotrope coeficienții de mai sus au valori identice.

Pentru cazurile în care coeficienții contracției pentru lamina ortotropă se calculează în direcții diferite celor naturale vor fi determinați α_x și α_y pentru sisteme rotite prin unghiul dat.

Soluționarea și formularea ecuației constitutive în situația laminatului necesită integrarea pe grosimea laminatului considerat ca fiind compus din n-straturi.

$$\begin{aligned} N_{x;y;xy} &= A_{ij} \epsilon_j^0 + B_{ij} k_j - N_{x,y,xy}^T \quad \text{unde } A_{ij} = \sum_{k=1}^n \left[E_{ij}^{(k)} \right] (e_k - e_{k-1}) \\ B_{ij} &= \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n \left[E_{ij}^{(k)} \right] (e_k^2 - e_{k-1}^2) \\ M_{x;y;xy} &= B_{ij} \epsilon_j^0 + D_{ij} k_j - M_{x,y,xy}^T \quad B_{ij} = \frac{1}{2} \left[E_{ij}^{-(k)} \right] (e_k^2 - e_{k-1}^2) \\ D_{ij} &= \frac{1}{3} \left[E_{ij}^{-(k)} \right] (e_k^3 - e_{k-1}^3) \end{aligned} \quad (2)$$

Grupul celor șase relații conțin componentele solicitărilor termice a căror formă este identică cu relațiile :

$$\begin{Bmatrix} N_x^T \\ N_y^T \\ N_{xy}^T \end{Bmatrix} = \sum_{k=1}^n \int_{e_{k-1}}^{e_k} \left| \begin{matrix} - \\ (k) \\ \end{matrix} \right. E_{ij} \cdot \begin{Bmatrix} \alpha_x \\ \alpha_y \\ \alpha_{xy} \end{Bmatrix}_{(k)} \Delta T dz ; \quad \begin{Bmatrix} M_x^T \\ M_y^T \\ M_{xy}^T \end{Bmatrix} = \sum_{k=1}^n \int_{e_{k-1}}^{e_k} \left| \begin{matrix} - \\ (k) \\ \end{matrix} \right. E_{ij} \cdot \begin{Bmatrix} \alpha_x \\ \alpha_y \\ \alpha_{xy} \end{Bmatrix}_{(k)} \Delta T z dz \quad (3)$$

pt. $z \in (e_{k-1}, e_k)$

Acestea reprezentând eforturile liniare termice care apar în materialul compozit în urma răcirii.

3. Date experimentale concluzii

Urmărind graficele contracțiilor termice a materialelor implicate în structura compozitului dielectric utilizat la construcția bobinelor supraconductoare, rezultă un grad relativ mare de neuniformitate în direcția contracțiilor pentru temperaturi de 8-10 K conform figurii 2.

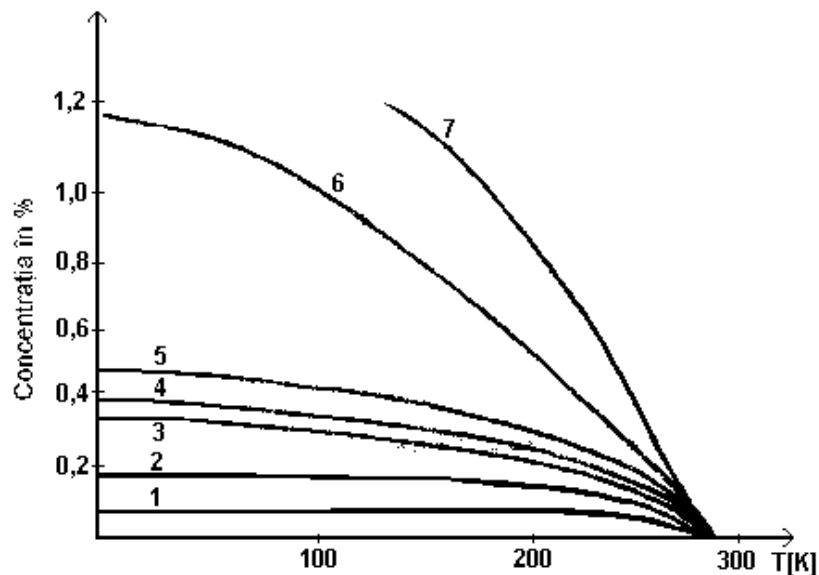


Fig.1

Variația contracție în [%] cu temperatura pentru materiale implicate în structura dielectricului

1 – sticlă, 2 – NbTi, 3 – oțel, 7 – PTFE, 4 - cupru 99,5%, 5 - aluminiu 99,8%, 6 - rășină epoxidică tip A.

Diferența majoră dintre contracția rășinii epoxidice și a materialului supraconductor poate contribui la perechitarea compactității ansamblului bobinei supraconductoare și implicit la mărirea valorii tensiunilor mecanice termice remanente prezentate în relațiile 3.

Modalitatea propusă pentru uniformizarea coeficienților de contracție transversală în cazul de față este umplerea matricii compozitului dielectric cu un material de adaos pentru micșorarea coeficientului și adaptarea acestuia la materialul supraconductor, care în cazul dat este NbTi. În vederea determinării materialului optim de umplere și a cantității ideale de material de umplură. Pentru a obține efectul dorit s-au experimentat într-un domeniu de concentrație a materialului de umplură, mai multe seturi de epruvete în formă de pastilă pentru care s-a urmărit variația diametrului. Epruvetele au fost răcite într-un criostat utilizat pentru încercări mecanice [3]. Înregistrarea variației dimensionale realizându-se prin atașarea unui ceas comparator în exteriorul criostatului, etalonarea fiind efectuată la

temperatura ambiantă 293 K și recorectată în faza de lucru cu regim stabilizat al criostatului.

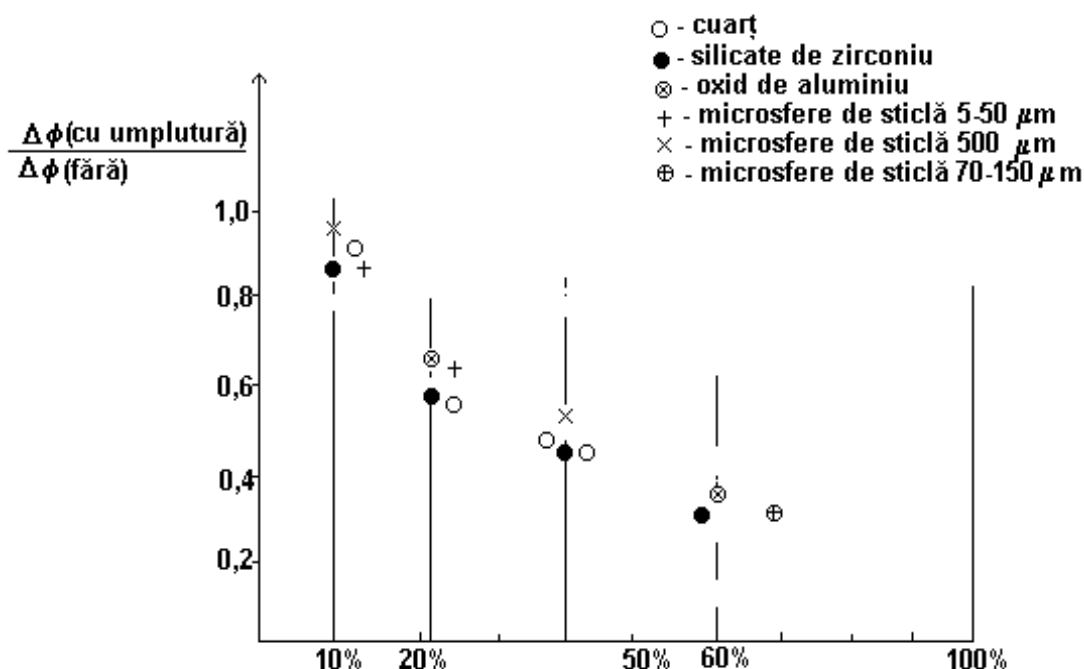


Fig.3. Valorile experimentale determinate pentru materialele de umplură Pentru epruvete matrice epoxidică DINOX 110E

În urma analizei datelor obținute și ilustrate în figura 3, comparând cu variația coeficientului de contracție al firului supraconductor rezultă umplerea optimă a matricii compozitului se realizează cu oxid de aluminiu la un procentaj de 56%. Motivația alegerii acestui material de umplură chiar dacă microsferile de sticlă prezintă rezultate mai bune, este corelat cu procedeul de realizare a bobinei unde are loc o injecție în vid a dielectricului pentru care vâscozitatea materialului este necesară a fi cât mai mică. Silicatul de zirconiu însă micșorează aderența matricii la elementul supraconductor.

În concluzie matricea de tip DINOX 110E umplută cu oxid de aluminiu în procent de 56% conferă experimental cel mai mic și tot odată cea mai apropiată valoare a coeficientului de contracție termică raportată la a materialului supraconductor.

4. Bibliografie

1. Teodor Maghiar, Ioan Pop, Titus Deliman. Experimental studies about thermo-mechanical stress behaviour in isotropic composites at low temperature General Conference of the 16th EPS Condensed Matter Division-1997.
2. Titus Deliman. Effects of the temperature on the form of constituent equation in case of symmetric, dielectric stratified composites. 3rd International conference on Renewable sources and Environmental Electro –Technologies RSEE 2000.
3. Titus Deliman. Determinarea experimentală a caracteristicilor mecanice a compozitelor stratificate dielectrice. Analele Universității din Oradea, Fascicula inginerie managerială și tehnologică 2002. ISSN
4. Titus Deliman. Variația coeficienților matricii de cuplaj elastic și a compleanțelor pentru un material compozit stratificat. Analele Universității din Oradea, Fascicula inginerie managerială și tehnologică 2003. ISSN
5. Bondor K, Călugăreanu M, Trip Daniel, Deliman Titus. Contribution to the cryogenic temperatures measurement. Analele Universității din Oradea, Fascicula electrotehnică, Secțiunea electronică, 2002 ISSN. 4th International conference on Renewable sources and Environmental Electro – Technologies. RSEE 2002