

REDUCEREA CONCENTRĂRILOR DE TENSIUNI LA ASAMBLĂRILE PRIN SUPRAPUNERE PRIN UTILIZAREA ADEZIVULUI DUAL

REDUCTION OF STRESS CONCENTRATION IN SINGLE-LAP JOINTS BY THE USE OF A DUAL ADHESIVE

IOLU Cristi-Emanuel, JIPA-DRĂGAN Vlad Costin,
GEORGESCU Corrado-Cristian, PETRE Georgiana
Facultatea de Inginerie Mecanică și Mecatronică, Anul IIIA, e-mail: iolu.ce2019@gmail.com

Conducător științific: Prof. dr. ing. **Adriana SANDU**

ABSTRACT: The paper explores the possibilities to reduce stress concentration in single-lap joints using dual adhesive. Distributions of stress, determined by finite element analysis, are compared for the following assembling cases: a) with a single rigid adhesive, b) with a single flexible adhesive, c) using both adhesives. In the latter case, each of the two adhesives is applied to a portion of the overlapping area. Finally, useful conclusions can be drawn for the rational design of overlapping assemblies.

CUVINTE CHEIE: adeziv rigid, adeziv flexibil, metoda elementelor finite, asamblare prin lipire

1. Introducere

Asamblările prin lipire cu adezivi structurali [1;2] sunt asamblări nedemontabile care prezintă mai multe avantaje: (a) posibilitatea asamblării a două piese confecționate din materiale diferite (de exemplu, metal și lemn sau material plastic); (b) lipsa concentratorilor de tensiune, o distribuție mai uniformă a tensiunilor și o creștere a greutateii structurii mai redusă decât în cazul asamblărilor mecanice, cu elemente metalice de fixare (nituri sau șuruburi); (c) posibilitatea de a se realiza îmbinări de calitate atât pe suprafețe mici cât și pe zone mari de suprapunere; (d) operațiunile de finisare, după întărirea adezivului, sunt simple și ușor de executat; (e) proiectarea adecvată poate asigura atât rezistență excelentă la oboseală cât și amortizarea vibrațiilor.

La proiectarea acestor asamblări trebuie însă să fie luate în considerare și unele aspecte care le limitează utilizarea: (i) temperaturile extreme în exploatare reduc rezistența îmbinărilor; (ii) rezistența la acțiunea factorilor de mediu este decisivă pentru păstrarea integrității adezivului pe durată mare; (iii) alegerea adezivului potrivit și pregătirea suprafețelor sunt esențiale pentru realizarea unor asamblări de calitate.

În această lucrare se studiază asamblări prin suprapunere (Fig.1), realizate prin lipire cu adezivi structurali.

2. Stadiul actual

În cazul îmbinărilor prin suprapunere, forțele care acționează asupra structurii nu sunt în planul median al adezivului. Prin urmare, asupra adezivului va apărea și un efect de încovoiere (Fig.1,b). Tensiunile principale la care este supus adezivul sunt cele de forfecare, τ_{xy} și cele de smulgere, σ_y . Soluțiile analitice pentru calculul acestor tensiuni [1-4] au la bază o serie de ipoteze simplificatoare. Astfel, solicitările sunt considerate elastice iar materialul din care sunt confecționate componentele ansamblului (aderenții și adezivii) se consideră izotrop și omogen. Se determină tensiunile din planul median al adezivului.

Schița structurii studiate este prezentată în figura 2. Pentru astfel de asamblări este cunoscută o soluție analitică, propusă de Goland și Reissner.

Reducerea concentrărilor de tensiuni la asamblările prin suprapunere prin utilizarea adezivului dual

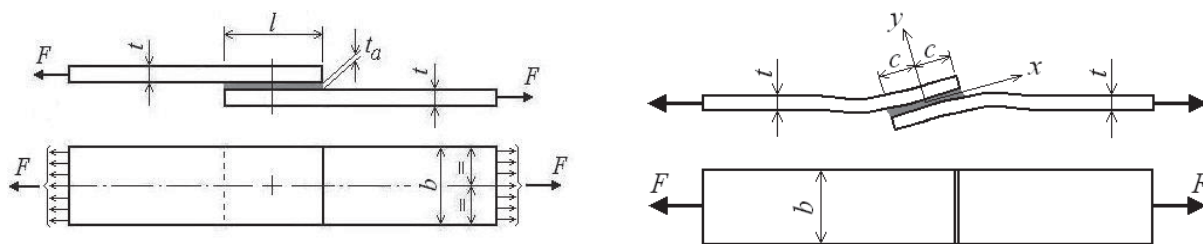


Fig. 1. a) Asamblare prin suprapunere cu adeziv; b) modul de deformare a zonei de suprapunere

Pentru calculul tensiunilor de forfecare se utilizează relația:

$$\tau_{xy}(x) = -\frac{1}{8} \cdot \frac{P}{c} \left[\frac{\beta c}{t} (1+3k) \cdot \frac{\cosh(\beta x/t)}{\sinh(\beta c/t)} + 3(1-k) \right], \quad (1)$$

în care: $P = F/b$, $\beta = \sqrt{8 \cdot \frac{G_a}{E} \cdot \frac{t}{t_a}}$, $k = \frac{\cosh(\chi c)}{\cosh(\chi c) + 2\sqrt{2} \cdot \sinh(\chi c)}$, $\chi = \sqrt{\frac{3(1-\nu^2)}{2}} \cdot \frac{1}{t} \cdot \sqrt{\frac{P}{tE}}$.

Tensiunile de smulgere se calculează cu relația:

$$\sigma_y(x) = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{Pt}{c^2} \cdot \left[\left(R_2 \lambda^2 \frac{k}{2} + \lambda k_1 \cosh \lambda \cos \lambda \right) \cdot \cosh \frac{\lambda x}{c} \cos \frac{\lambda x}{c} + \left(R_1 \lambda^2 \frac{k}{2} + \lambda k_1 \sinh \lambda \sin \lambda \right) \cdot \sinh \frac{\lambda x}{c} \sin \frac{\lambda x}{c} \right] \quad (2)$$

unde:

$$\lambda = \frac{c}{t} \cdot \sqrt[4]{6 \cdot \frac{E_a}{E} \cdot \frac{t}{t_a}}, \quad k_1 = \frac{kc}{t} \cdot \sqrt{3(1-\nu^2)} \cdot \frac{P}{tE}, \quad \eta = \frac{1}{2} (\sin(2\lambda) + \sinh(2\lambda)),$$

$$R_1 = \sinh \lambda \cos \lambda + \cosh \lambda \sin \lambda, \quad R_2 = \sinh \lambda \cos \lambda - \cosh \lambda \sin \lambda.$$

3. Rezultate obținute

3.1 Calcul analitic

În această lucrare se studiază distribuția tensiunilor în planul median al adezivului pentru următoarele valori ale parametrilor geometrici ai structurii din figura 2: $L=b=25 \text{ mm}$, $L_1=75 \text{ mm}$, $t_1=t_2=t=3 \text{ mm}$, $t_a=0,5 \text{ mm}$. Se compară valorile maxime ale tensiunilor în cazul utilizării a doi adezivi diferiți, unul rigid și altul flexibil. Aderenți sunt din același material. Proprietățile elastice ale adezivilor și ale aderenților sunt prezentate în tabelul 1.

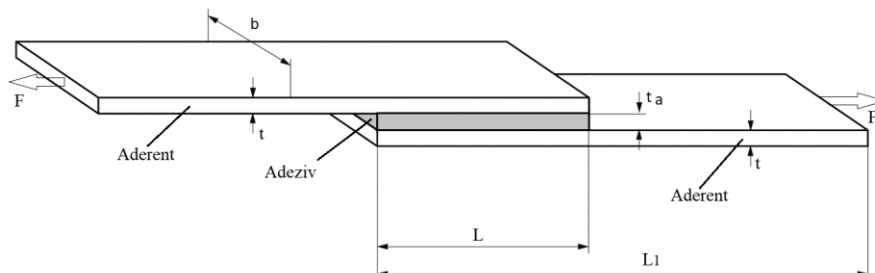


Fig. 2. Schița asamblării studiate

Reducerea concentrărilor de tensiuni la asamblările prin suprapunere prin utilizarea adezivului dual

Tabel 1. Proprietățile de material ale adezivilor și ale aderenților

Material	Adeziv flexibil	Adeziv rigid	Aderenți
	AW106	AV138	Duraluminiu
Modul de elasticitate, E [MPa]	1750	4000	73000
Coefficientul lui Poisson, ν	0,43	0,4	0,33

3.2 Simularea numerică

Simularea numerică s-a realizat cu metoda elementelor finite (MEF) [5]. S-a utilizat programul SolidWorks/CosmosM [6]. Structura a fost discretizată în elemente de stare plană de tensiune (PLANED2D). Pentru a putea studia influența unor parametri asupra distribuției tensiunilor, modelul a fost descris parametric. Utilizând metoda elementelor finite au fost calculate tensiunile de forfecare și cele de smulgere atât în planul median al adezivului cât și la interfața adeziv - aderent.

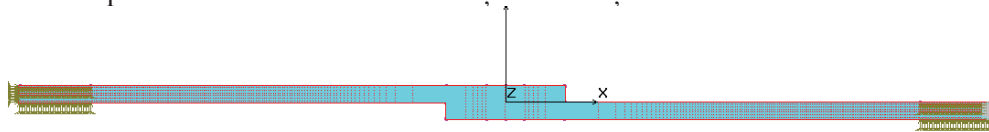


Fig. 3. Model de calcul numeric

3.3 Compararea rezultatelor obținute analitic și numeric

S-au comparat valorile tensiunilor de smulgere și de forfecare obținute prin calcul analitic și prin simulare numerică în planul median al adezivului. Rezultatele obținute sunt prezentate comparativ în figurile 4 (tensiuni de smulgere) și 5 (tensiuni tangențiale) pentru cele două tipuri de adeziv. S-au reprezentat și tensiunile la interfața cu aderenții, obținute cu MEF, deoarece aici apar tensiunile maxime.

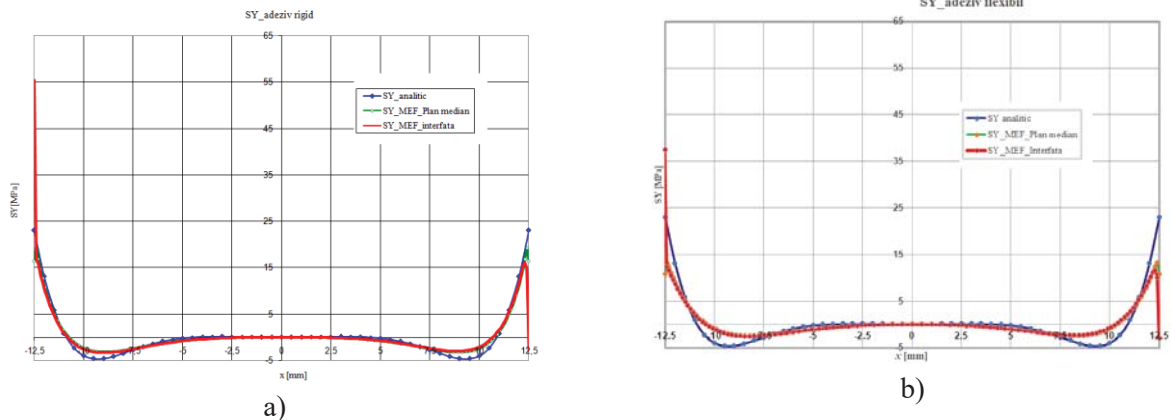


Fig.4 Distribuția tensiunilor de smulgere pentru cazul utilizării: a) adeziv rigid , b)adeziv flexibil

Pe baza graficelor se poate observa că atât tensiunile de smulgere cât și cele de forfecare au valori mult mai mari la capetele zonei de suprapunere decât în partea centrală. De asemenea, se poate observa că există o bună concordanță între rezultatele obținute analitic și cele obținute prin calcul numeric cu MEF, diferențe mai mari fiind la capete. Valorile maxime, atât ale tensiunilor de forfecare cât și cele de smulgere apar însă la interfața adeziv – aderent. Se poate constata că simularea numerică permite o evaluare mai corectă a concentrărilor de tensiune decât calculul analitic.

Graficele au aceeași alură, dar se poate observa o concentrare mai mare a tensiunilor în cazul utilizării unui adeziv rigid, când tensiunile de smulgere și cele de forfecare au valori mai mari, decât în cazul folosirii adezivului flexibil.

Reducerea concentrărilor de tensiuni la asamblările prin suprapunere prin utilizarea adezivului dual

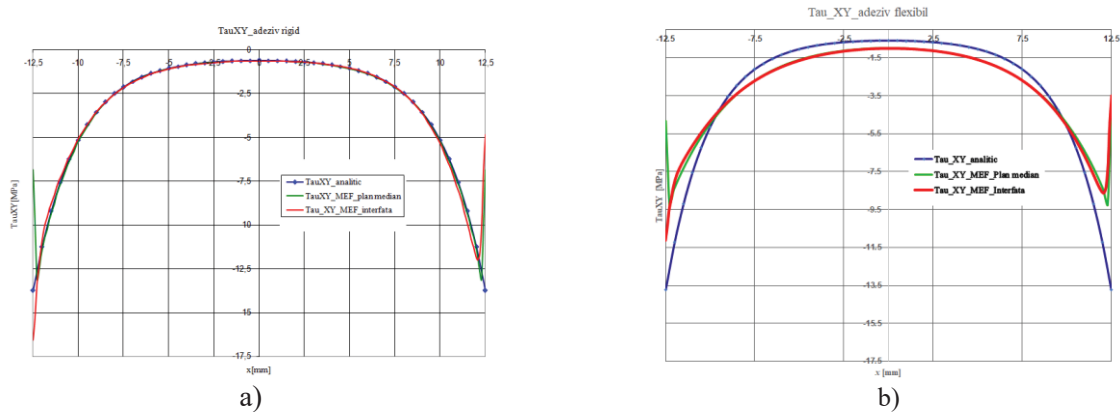


Fig.5 Distribuția tensiunilor de forfecare pentru cazul utilizării: a) adeziv rigid, b) adeziv flexibil

4. Reducerea tensiunilor prin utilizarea adezivului dual

În scopul uniformizării distribuției tensiunilor din adeziv (reducerea concentrărilor de tensiuni la capetele zonei de suprapunere), au fost propuse diferite soluții. De exemplu, proprietățile elastice ale adezivului pot fi controlate astfel încât să varieze gradual pe lungimea de suprapunere [7]. O altă soluție constă în folosirea unui adeziv dual [8], format din două componente, un adeziv rigid în zona centrală și unul flexibil, situat la capetele îmbinării.

În figura 6 este dată schița pentru această variantă, unde s-a notat cu lungimea a lungimea de suprapunere cu adezivul rigid și cu b lungimea, măsurată de la capete, pentru adezivul flexibil.

În lucrare se studiază influența raportului a/b asupra distribuției de tensiuni. Scopul este găsirea unui raport optim a/b , astfel încât să scadă valorile tensiunilor maxime de smulgere și de forfecare din adeziv iar distribuția acestora pe lungimea de suprapunere să fie cât mai uniformă.

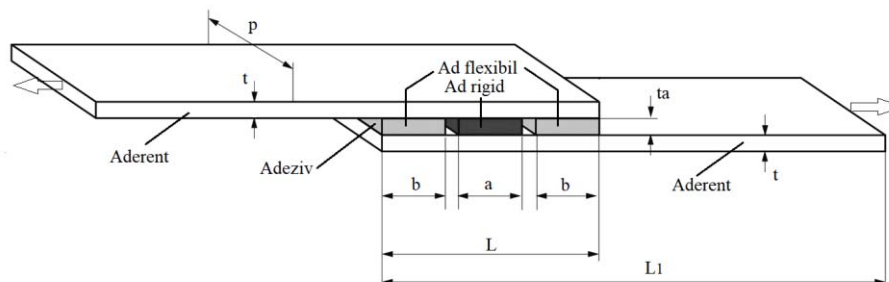


Fig. 6. Schița asamblării pentru asamblarea cu adeziv dual

Utilizând metoda elementelor finite au fost calculate tensiunile de smulgere și cele de forfecare la interfața cu aderentul. Rezultatele sunt prezentate în tabelul 2 și în graficele din figurile 7 și 8.

Au fost comparate valorile tensiunilor echivalente maxime în aderent și adeziv precum și valorile tensiunilor de forfecare și de smulgere la interfața cu aderentul, pentru diferite valori ale raportului a/b , cu valorile corespunzătoare, calculate în cazul utilizării unui singur adeziv, rigid sau flexibil.

Se poate constata o reducere a valorilor maxime ale tensiunilor (echivalente, de smulgere și de forfecare) în cazul utilizării adezivului dual comparativ cu cazul folosirii unui singur adeziv rigid. Varianta optimă se consideră cea pentru care se reduc tensiunile și față de cazul folosirii unui adeziv flexibil.

Pentru cazul studiat (dimensiuni ale elementelor componente ale structurii și pentru proprietățile elastice ale materialelor), raportul optim este $a/b=0.94$ ($a=8$ mm; $b=8,5$ mm).

Reducerea concentrațiilor de tensiuni la asamblările prin suprapunere prin utilizarea adezivului dual

Tabelul 3. Tensiunile maxime obținute în funcție de raportul a/b

Varianta	<i>Aderent</i>		<i>Adeziv, la interfața cu aderentul</i>	
	$\sigma_{ech\ max}$	$\sigma_{ech\ max}$	σ_y	τ_{xy}
Adeziv flexibil	100,13	38,15	37,46	11,13
Adeziv rigid	105,2	56,44	55,46	16,56
Adeziv dual a=9; b=8	99,86	34,76	32,73	11,27
Adeziv dual a=8; b=8.5	99,92	34,33	32,13	11,23
Adeziv dual a=10; b=7.5	99,8	35,18	33,36	11,24
Adeziv dual a=7; b=9	99,97	33,91	31,55	11,29

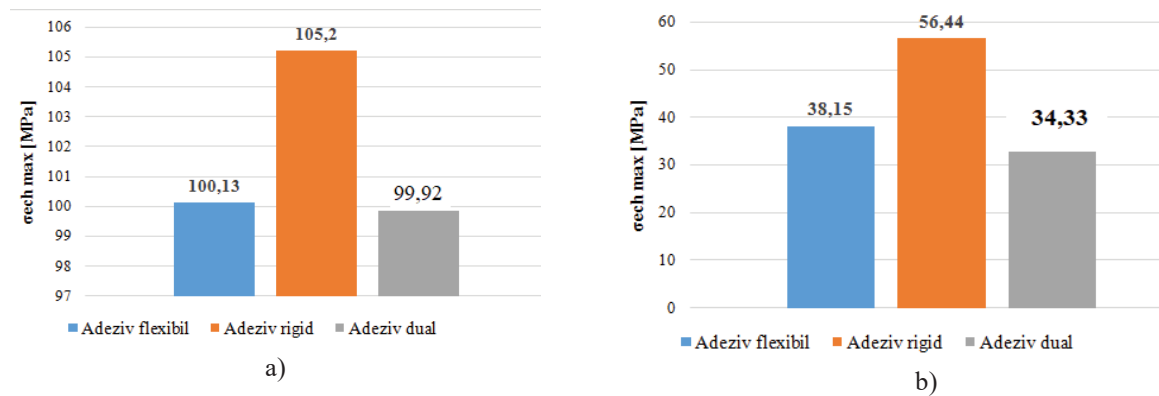


Fig. 7. Comparație între tensiunile echivalente maxime: (a) în aderent; (b) în adeziv

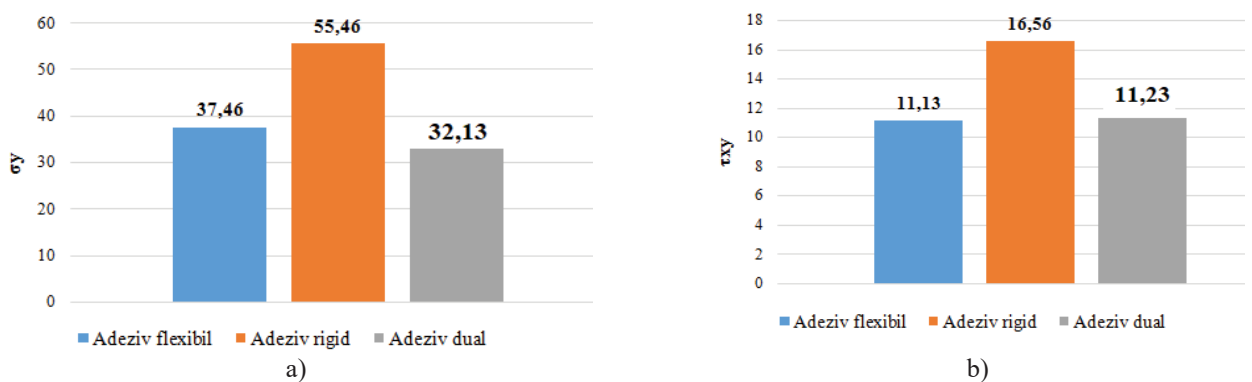


Fig. 8. Comparație între tensiunile maxime din adeziv: (a) de smulgere; (b) de forfecare

Rezultatele obținute cu MEF, în cazul utilizării adezivului dual, pentru varianta optimă, sunt prezentate în figura 9, în comparație cu cele corespunzătoare variantei clasice (utilizarea unui singur adeziv).

Reducerea concentrărilor de tensiuni la asamblările prin suprapunere prin utilizarea adezivului dual

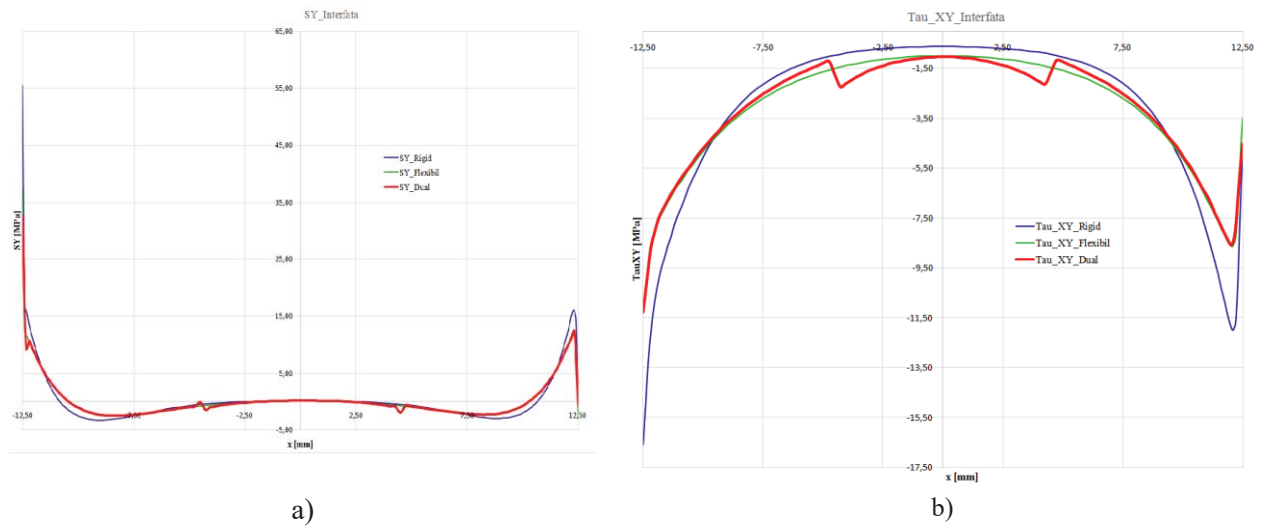


Fig. 9. Distribuția tensiunilor la interfața dintre adeziv și aderenț în cazul utilizării adezivului dual, pentru varianta optimă, comparativ cu cazul utilizării unui singur adeziv:
a) tensiuni de smulgere; b) tensiuni de forfecare

5. Concluzii

Se constată faptul că utilizarea unui adeziv dual are ca efect:

1. Uniformizarea distribuției tensiunilor în adeziv.
2. Reducerea tensiunilor de forfecare și de smulgere la capetele îmbinării, comparativ cu utilizarea unui singur adeziv. Efectul este semnificativ în special dacă se face comparație cu cazul utilizării unui adeziv rigid, când concentrarea tensiunilor la capetele lungimii de suprapunere este mult mai importantă decât în cazul asamblărilor cu adeziv flexibil.

6. Bibliografie

- [1]. Da Silva LFM, Das Neves PJC, Adams RD, Spelt JK. “Analytical models of adhesively bonded joints. Part I: Literature survey”, *Int J Adhes Adhes*, 2009; 29:319-30, ISSN: 0143-7496
- [2]. Tsai MY, Morton J. “An evaluation of analytical and numerical solutions to the single-lap joint”, *Int J Solids Struct* 1994;31(18): 2537-63, ISSN: 0020-7683
- [3]. Wang, Z.Y., Wang, L., Guo, W. , Deng, H., Tong, J.W. și Aymerich, F., “An investigation on strain/stress distribution around the overlap end of laminated composite single-lap joints”, *Compos. Struct.* 89 (2009), pp. 589-595, ISSN: 0263-8223
- [4] Sandu M., Sandu A., Nuțu E., *Rezistența materialelor*, Editura PRINTECH, București, 2019, ISBN 978-606-23-0953-4
- [5] Sorohan S., *Elemente finite în ingineria mecanică-curs introductiv*, Editura Politehnica Press, București, 2015, ISBN 978-606-515-604-3,
- [6]. *** *COSMOS/M – Finite Element System, User Guide*, 1995.
- [7]. Carbas, R.J.C., da Silva, L.F.M. și Critchlow, G.W., “Adhesively bonded functionally graded joints by induction heating”, *Int J Adhes Adhes*, 48(2014), pp. 110–118, ISSN: 0143-7496
- [8]. Bavi, O., Bavi, N. și Shishesaz M., “Geometrical optimization of the overlap in mixed adhesive lap joints”, *Journal of Adhesion*, 89 (2013), pp. 948-972, ISSN:0021-8464.