



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2010 01167**

(22) Data de depozit: **24.11.2010**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **29.08.2014** BOPI nr. **8/2014**

(41) Data publicării cererii:
29.06.2012 BOPI nr. **6/2012**

(73) Titular:
• **STRAERO S.A., BD.IULIU MANIU NR.220,
SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO**

(72) Inventatori:
• **FUIOREA ION,
STR.MARCU MIHAELA RUXANDRA NR.4,
BL.B 5, SC.B, AP.33, SECTOR 6,
BUCUREȘTI, B, RO;**

• **GABOR DUMITRIȚA, STR. GRĂDIȘTEA
NR.12, BL.48, SC.2, ET.8, AP.113,
SECTOR 4, BUCUREȘTI, B, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:
RO 117339 B1; US 5203206

(54) **METODĂ DE DETERMINARE A COEFICIENTULUI MIXT DIN
CRITERIUL TSAI-WU DE REZISTENȚĂ LA RUPERE A
MATERIALELOR COMPOZITE CU FIBRE LUNGI**



RO 127556 B1

1 Inventția se referă la o metodă de determinare a coeficientului mixt, notat cu F_{12} , din
criteriul de rupere Tsai - Wu, folosit la caracterizarea cedării materialelor compozite, armate
3 cu fibre lungi.

Pentru starea plană de tensiune, criteriul de rupere Tsai- Wu constă în definirea unei
5 „suprafețe de rupere” în spațiul tridimensional al componentelor tensorului tensiunilor (σ_1 , σ_2
și σ_6), ca în fig. 1, unde σ_1 și σ_2 reprezintă tensiunile normale, orientate după direcțiile
7 principale de anizotropie 1 și 2 - în cazul concret al materialelor compozite armate cu fibre,
în lungul fibrelor și perpendicular pe fibre - iar σ_6 reprezintă tensiunea de forfecare din planul
9 1-2. Expresia matematică a suprafeței de rupere astfel definită este dată de relația:

$$11 \quad F_1\sigma_1 + F_2\sigma_2 + F_{11}\sigma_1^2 + 2F_{12}\sigma_1\sigma_2 + F_{22}\sigma_2^2 + F_{66}\sigma_6^2 = 1 \quad (1)$$

13 Se va constata că o structură compozită cedează într-o zonă a sa, dacă
componentele tensorului tensiunilor corespunzătoare acelei zone definesc un punct de
15 coordonate (σ_1 , σ_2 și σ_6) situat pe suprafață (P_2 din fig. 1) sau în afara suprafeței, (P_3 din
fig. 1). Dacă punctul se află în interiorul suprafeței (P_1 din fig. 1), structura rezistă.

17 Coeficienții criteriului definit de relația (1) se determină prin experimente mecanice,
efectuate pe epruvete prelevate din materialul care se dorește să fie caracterizat. Coeficienții
19 F_1 , F_2 , F_{11} , F_{22} și F_{66} se determină relativ simplu, prin prelucrarea valorilor de rupere
determinate pe mașini normale de încercare, prin probe uniaxiale de întindere și
21 compresiune, și de forfecare.

Astfel, dacă se notează:

23 X_t - rezistența la tracțiune axială în direcția 1;

X_c - rezistența la compresiune axială în direcția 1;

25 Y_t - rezistența la tracțiune transversală în direcția 2;

Y_c - rezistența la compresiune transversală în direcția 2;

27 S - rezistența la forfecare în planul 1-2,

coeficienții din criteriul de rupere Tsai - Wu: F_1 , F_2 , F_{11} , F_{22} și F_{66} pot fi ușor determinați
29 cu relațiile:

$$31 \quad F_1 = \frac{1}{X_t} - \frac{1}{X_c}, \quad F_2 = \frac{1}{Y_t} - \frac{1}{Y_c}, \quad F_{11} = \frac{1}{X_t X_c}, \quad F_{22} = \frac{1}{Y_t Y_c}, \quad F_{66} = \frac{1}{S^2} \quad (2)$$

33 Din relația 1, rezultă că, pentru determinarea coeficientului mixt F_{12} , este necesară
realizarea unei stări biaxiale de tensiune, care să fie continuată progresiv, până la ruperea
35 epruvetei. Literatura de specialitate abundă în studii pentru astfel de experiențe, unele foarte
complicate și scump de realizat, altele cu doze mari de imprecizie.

Stadiul actual, privind determinarea coeficientului mixt F_{12} , este următorul:

39 Pentru determinarea experimentală a coeficientului mixt, Robert Jones recomandă
o încercare biaxială, motivată de faptul că acest coeficient este produsul a două tensiuni σ_1
41 și σ_2 , în criteriul de rupere (1), (R. Jones, *Mechanics of Composite Materials*, Edwards
Brothers, Ann Arbor, MI 1998, ISBN: 1-56032-712-X, pag. 116). De exemplu se poate
43 impune o stare biaxială de tensiune de forma $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$, în zona A, din fig. 2, printr-o
încercare prezentată schematic în fig. 2. Este evident că în zona B din fig. 2, va apărea o
45 stare de tensiune complexă, caracterizată de componente ale tensorului tensiunilor care nu
pot fi anticipate cu precizie. Și experiența demonstrează că ruperea debutează într-una
47 dintre zonele similare cu B. La acest neajuns, se adaugă complicația în sine a dispozitivelor
de încercat pe două direcții.

RO 127556 B1

Pipes și Cole au evaluat coeficientul mixt pentru compozitul bor-epoxy prin teste de tracțiune efectuate pe epruvete plane pe axe diferite de axele principale de anizotropie (R. Byron Pipes, B. W. Cole, "On the Off-Axis Strength Test for Anisotropic Materials", *Journal of Composite Materials*, aprilie 1973, pp. 246 - 256). Ei remarcă variații semnificative ale coeficientului mixt la întindere și variații acceptabile la compresiune. Și testele la compresiune sunt mai greu de făcut în comparație cu cele de întindere, deoarece epruveta supusă la compresiune poate conduce la flambaj. În plus, la direcții diferite de direcțiile principale de anizotropie, apare fenomenul de cuplare a efectelor, conform căruia, eforturile tangențiale produc alungiri și eforturile normale produc lunecări. Ca urmare a acestui efect, la prinderea epruvetei în fălcile mașinii de încercat, care vor împiedica lunecarea capetelor, se va produce o distorsionare a epruvetei în ansamblu, ca în fig. 3, comportament reflectat în alterarea stării uniaxiale de tensiune.

Pentru evitarea acestei situații, Pipes și Cole recomandă folosirea epruvetelor cilindrice, pentru realizarea stării de tensiune biaxială, în pereții cilindrului. Practic, starea biaxială de tensiune în pereții cilindrului se realizează prin aplicarea unei forțe axiale F_c sau F_t , generând tensiunea normală σ_1 , ca în fig. 4, și a presiunii interioare p , generând tensiunea normală σ_2 , ca în fig. 4. Dezavantajele acestei tehnici constau în: complicația tehnologică și costul ridicat al realizării epruvetelor și a dispozitivelor de fixare la mașina de încercat, greutatea asigurării relației $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$ prin corelarea continuă a presiunii interioare cu forța de întindere și probabilitatea ca materialul din care este confecționată epruveta, ca urmare a tehnologiei aplicate, să difere de cel pentru care se fac determinările.

Testele uniaxiale de întindere și compresiune cu deplasări ortogonale blocate ca în fig. 5, propuse de Evans & Zhang, reprezintă un experiment dificil de realizat. În cazul testului din fig. 5, starea biaxială de tensiune se realizează prin adăugarea, la tensiunea rezultată direct din încărcarea epruvetei, a tensiunii generate din împiedicarea de către pereții dispozitivului de încercat a deplasării ortogonale. Totuși, pe lângă greutatea realizării experimentului, se adaugă observația că frecările în apropierea peretelui sunt dificil de estimat și aceasta va influența acuratețea determinărilor.

În invenția „Metodă iterativă de determinare experimentală a modului de elasticitate la forfecare pentru materiale anizotrope cu fibre lungi”, conformă brevetului de invenție **RO 117339 B1** (autor: Ion Fuiorea), se demonstrează existența unei direcții, θ_{\min} , unde fenomenul de cuplare a efectelor este absent. În plus, în invenția menționată, se prezintă și metoda de determinare experimentală a acestei direcții, simultan cu determinarea modului de elasticitate la forfecare, G_{12} .

Din inventarul metodelor de determinare experimentală a coeficientului mixt F_{12} , descrise mai sus, rezultă că cea mai simplă experiență de rupere, cu asigurarea stării biaxiale de tensiune în epruvetă, este experiența de tracțiune asupra epruvetelor plane, pe direcții diferite de direcțiile principale de anizotropie. Principalul inconvenient al metodei, menționat de către Pipes și Cole, așa cum s-a arătat anterior, constă în imprecizia măsurărilor, ca urmare a alterării stării uniaxiale de tensiune, prin introducerea de tensiuni de forfecare, datorită fenomenului de cuplare a efectelor.

Problema tehnică, pe care o rezolvă invenția, constă în stabilirea unor etape ale unei metode simple, dar de exactitate acceptabilă, de determinare a coeficientului mixt F_{12} din criteriul Tsai-Wu de rupere a unor materiale compozite fibroase, realizabile cu dotarea uzuală a unui laborator de încercări mecanice.

Metoda conform invenției, de determinare experimentală a coeficientului mixt din criteriul de rupere Tsai -Wu, rezolvă această problemă, prin identificarea și folosirea unei direcții la care fenomenul de cuplare a efectelor este absent. Astfel, prin determinarea direcției de decuplare a efectelor, θ_{\min} , după metoda iterativă descrisă în brevetul de invenție **RO 117339 B1**, se identifică configurația epruvetei care va fi prelevată din materialul compozit și apoi supusă probei de tracțiune, configurație care asigură existența unei stări uniaxiale pure în epruvetă, fără distorsionarea acesteia, ca urmare a prinderii rigide în fălcile

RO 127556 B1

1 mașinii de încercat. Prin efectuarea unei încercări la tracțiune asupra epruvetei compozite
astfel prelevate și prin notarea valorii ultime pe această direcție, Q , a tensiunii din epruvetă
3 din momentul cedării, se pot determina prin calcul componentele corespunzătoare ale ten-
siunii pe direcțiile principale de anizotropie, σ_1 și σ_2 . Impunând celor două componente astfel
5 determinate condiția ca să verifice ecuația corespunzătoare criteriului (a „suprafeței de
rupere”), se determină prin calcul valoarea coeficientului mixt F_{12} , cu o precizie convenabil
7 de bună.

Metoda conform invenției prezintă următoarele avantaje:

9 - asigură o determinare exactă a coeficientului mixt, cu o precizie depinzând numai
de acuratețea prelevării și prelucrării epruvetei;

11 - este simplă, ușor de efectuat în orice laborator de încercări mecanice și cu
minimum de dotare;

13 - este ieftină din punctul de vedere al manoperei și al dispozitivelor de fixare;

- permite o caracterizare corectă a oricărui compozit armat cu fibre.

15 Invenția este prezentată pe larg, în continuare, printr-un exemplu de realizare, în
legătură cu baza teoretică a invenției și cu fig. 1...8, care reprezintă:

17 - fig. 1, suprafața de rupere, descrisă de criteriul Tsai-Wu în spațiul tensiunilor;

- fig. 2, epruvetă încărcată biaxial;

19 - fig. 3, distorsiunea epruvetei ca rezultat al împiedicării alunecării în zona fălcilor
mașinii;

21 - fig. 4, epruvetă cilindrică, încărcată biaxial;

- fig. 5, stare biaxială de tensiune, la solicitarea mecanică uniaxială;

23 - fig. 6, variația modului de elasticitate longitudinal E_x cu direcția solicitării;

- fig. 7, configurația epruvetei de prelevat;

25 - fig. 8, proba de tracțiune pe direcția de decuplare a efectelor.

Conform metodei revendicate, se pornește de la determinarea unghiului corespun-
27 zător direcției de decuplare a efectelor pentru compozitul dat, θ_{\min} , simultan cu determinarea
modulului de elasticitate la forfecare G_{12} , folosind metoda iterativă descrisă în documentul
29 **RO 117339 B1** și calculat cu relația:

$$\theta_{\min} = \arctg \sqrt{\frac{\frac{2}{E_1}(1+\nu_{12}) - \frac{1}{G_{12}}}{\frac{2}{E_2}(1+\nu_{21}) - \frac{1}{G_{12}}}} \quad (3)$$

31 Conform graficului din fig. 6, direcția θ_{\min} de decuplare a efectelor corespunde situației
37 când și modulul de elasticitate longitudinală pe direcția oarecare O_x , E_x are o valoare minimă,
 E_{\min} .

39 Odată determinată direcția de decuplare a efectelor, θ_{\min} , se prelevează o epruvetă
pe această direcție, ca în fig. 7. Epruveta astfel prelevată este supusă unei probe simple de
41 întindere până la rupere, ca în fig. 8. Dacă se notează cu Q valoarea ultimă de rupere a
tensiunii axiale din epruvetă, punctul P corespunzător din spațiul componentelor tensorului
43 tensiunilor va avea coordonatele:

$$(Q\cos^2 \theta_{\min}, Q\sin^2 \theta_{\min}, 0) \quad (4)$$

47 Notând $c = \cos\theta_{\min}$, și $s = \sin\theta_{\min}$, și impunând coordonatelor (4) ale punctului P să
verifice ecuația suprafeței de rupere (1), se determină prin calcul forma finală a expresiei
49 coeficientului mixt F_{12} , care este dată de relația:

$$F_{12} = \frac{1}{2c^2s^2Q^2} (1 - F_1c^2Q - F_2s^2Q - F_{11}c^4Q^2 - F_{22}s^4Q^2 + F_{66}s^2c^2Q^2) \quad (5)$$

RO 127556 B1

Revendicare

1

Metodă de determinare a coeficientului mixt din criteriul Tsai-Wu de rezistență la rupere a materialelor compozite cu fibre lungi, dependent de rezistența la tracțiune și la compresiune axială pe două direcții : paralelă cu fibra și perpendiculară pe fibră, care definește pentru starea plană o "suprafață de rupere" din spațiul tridimensional al componentelor tensorului tensiunilor (σ_1 , σ_2 și σ_6), reprezentând tensiunile normale orientate de-a lungul direcției fibrelor: σ_1 , perpendicular pe fibre: σ_2 și tensiunea de forfecare: σ_6 , suprafață de rupere ce are expresia:

3

5

7

9

$$F_1\sigma_1 + F_2\sigma_2 + F_{11}\sigma_1^2 + 2F_{12}\sigma_1\sigma_2 + F_{22}\sigma_2^2 + F_{66}\sigma_6^2 = 1$$

11

În care coeficienții F sunt dependenți de rezistența la tracțiune și la compresiune axială sau/și transversală, cuprinzând o etapă preliminară de determinare a unghiului θ_{\min} de orientare a axei epruvetei de material compozit fibros față de direcția fibrelor pentru care modulul lui Young are valoarea minimă, corespunzând decuplării efectului de întindere de efectul de forfecare, **caracterizată prin aceea că**, pentru determinarea experimentală, pe epruvete plane, a coeficientului mixt menționat, realizează o stare controlată, biaxială, de tensiune, care crește progresiv până la ruperea epruvetei, prin încercări la tracțiune ale epruvetei după direcția θ_{\min} , de decuplare a efectelor de alungire și forfecare, valoarea coeficientului mixt F_{12} fiind calculată prin determinarea valorii Q a tensiunii axiale din epruvetă, la rupere pe direcția de unghi θ_{\min} față de direcția fibrelor, prin condiția ca punctul $P(Q\cos^2\theta_{\min}, Q\sin^2\theta_{\min}, 0)$ din spațiul tensorului tensiunilor să aparțină suprafeței de rupere, corespunzând ecuației:

13

15

17

19

21

23

25

$$F_{12} = \frac{1}{2c^2s^2Q^2} (1 - F_1c^2Q - F_2s^2Q - F_{11}c^4Q^2 - F_{22}s^4Q^2 + F_{66}s^2c^2Q^2)$$

27

În care: $c = \cos \theta_{\min}$ și $s = \sin \theta_{\min}$.

(51) Int.Cl.
G01N 3/08 (2006.01),
G01N 3/24 (2006.01),
G01L 5/06 (2006.01)

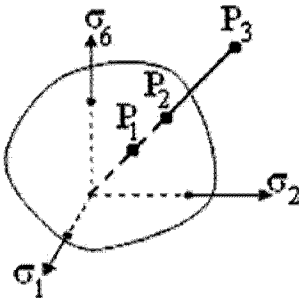


Fig. 1

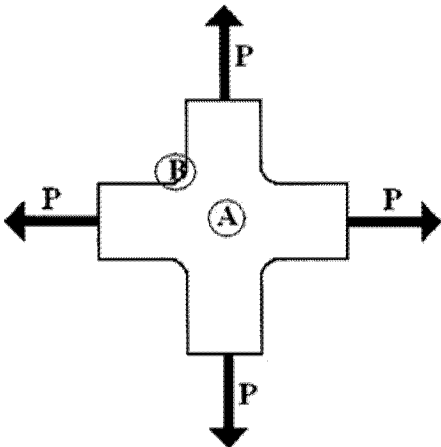


Fig. 2

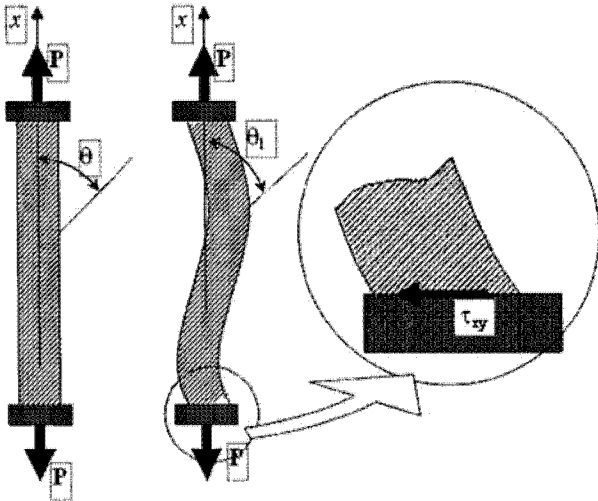


Fig. 3

(51) Int.Cl.

G01N 3/08 (2006.01);

G01N 3/24 (2006.01);

G01L 5/06 (2006.01)

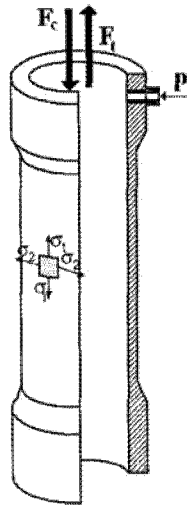


Fig. 4

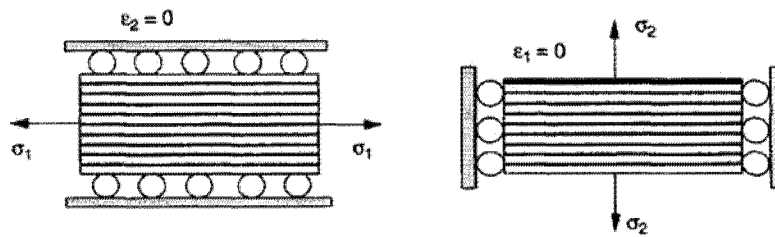


Fig. 5

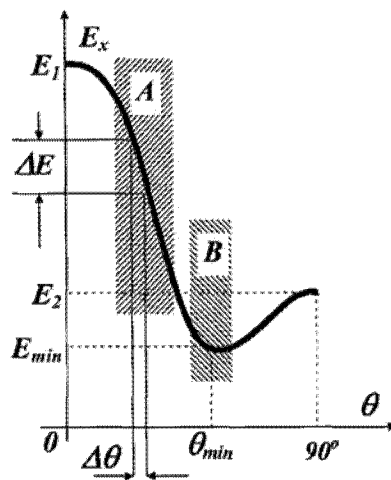


Fig. 6

(51) Int.Cl.
G01N 3/08 (2006.01),
G01N 3/24 (2006.01),
G01L 5/06 (2006.01)

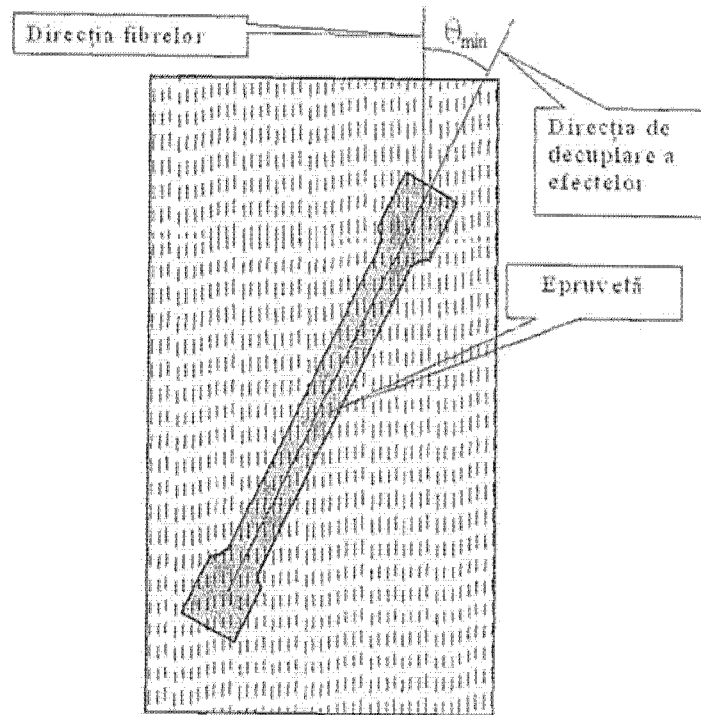


Fig. 7

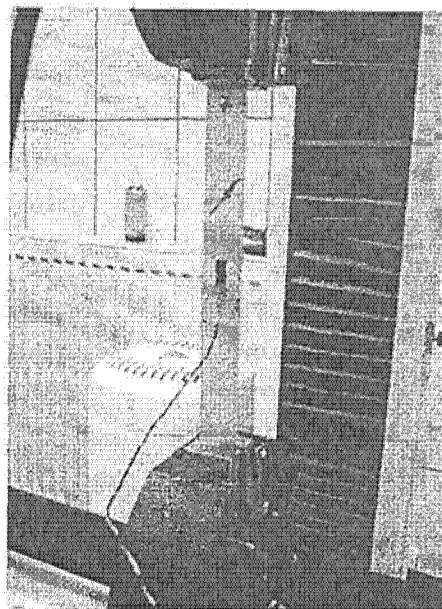


Fig. 8



Editare și tehnoredactare computerizată - OSIM
Tipărit la Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci
sub comanda nr. 578/2014