



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2010 01167

(22) Data de depozit: 24.11.2010

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

(71) Solicitant:
• STRAERO S.A., BD. IULIU MANIU NR.220,
SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:
• FUIOREA ION, STR. MARCU MIHAELA
RUXANDRA NR. 4, BL. B5, 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

(54) METODĂ DE DETERMINARE A COEFICIENTULUI MIXT DIN
CRITERIUL TSAI-WU

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă de determinare a coeficientului mixt F_{12} din criteriul de rupere Tsai - WU, folosit la caracterizarea materialelor compozite armate cu fibre lungi, criteriu care definește pentru starea plană o suprafață de rupere din spațiul tridimensional al componentelor (σ_1 , σ_2 și σ_6) tensorului tensiunilor ce reprezintă tensiunile normale, orientate de-a lungul direcției fibrelor (σ_1), perpendicular pe fibre (σ_2), și tensiunea de forfecare (σ_6), și care se află în relația: $F_1 \sigma_1 + F_2 \sigma_2 + F_{11} \sigma_1^2 + 2 F_{12} \sigma_1 \sigma_2 + F_{22} \sigma_2^2 + F_{66} \sigma_6^2 = 1$. Metoda conform invenției constă în determinarea experimentală, pe epruvete plane, a coeficientului mixt F_{12} , realizând o stare controlată biaxială de tensiune, care se crește progresiv, până la ruperea epruvetei, prin efectuarea încercării la tracțiune a epruvetei după direcția θ_{min} de decuplare a efectelor de alungire și forfecare, punctul P corespunzător din spațiul tensorului tensiunilor va avea coordonatele $Q \cos^2 \theta_{min}$, $Q \sin^2 \theta_{min}$, 0, unde Q este valoarea ultimă la rupere, și notând cu $c = \cos \theta_{min}$ și cu $s = \sin \theta_{min}$, și impunând coordonatelor punctului P condiția să verifice ecuația suprafeței de rupere, se determină forma finală a expresiei coeficientului mixt $F_{12} = (2c^2s^2Q)^{-1}(1 - F_1c^2Q - F_2s^2Q - F_{11}c^4Q^2 - F_{22}s^4Q^2 + F_{66}s^2c^2Q^2)$.

Revendicări: 1
Figuri: 8

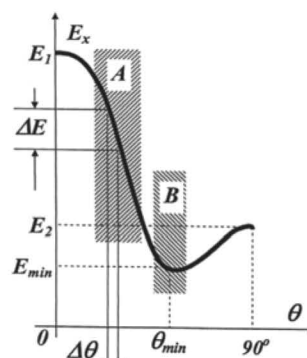
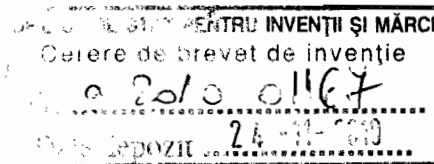


Fig. 6





METODĂ DE DETERMINARE A COEFICIENTULUI MIXT DIN CRITERIUL TSAI-WU

1. DESCRIEREA INVENȚIEI

Invenția de referă la determinarea coeficientului mixt, notat cu F_{12} , din criteriul de rupere Tsai – Wu folosit la caracterizarea cedării materialelor compozite armate cu fibre lungi.

Pentru starea plană de tensiune, criteriul de rupere Tsai- Wu constă în definirea unei „suprafețe de rupere” în spațiul tridimensional al componentelor tensorului tensiunilor, $(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_6)$, ca în fig.1, unde σ_1 și σ_2 reprezintă tensiunile normale orientate după direcțiile 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 1-2. Expresia matematică a suprafeței de rupere astfel definită este dată de relația:

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

Se va constata că o structură compozită cedează într-o zonă a sa, dacă componentele tensorului tensiunilor corespunzătoare acelei zone definesc un punct de coordonate $(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_6)$ 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.

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

Astfel, dacă se notează

X_t – rezistența la tracțiune axială în direcția 1,

X_c – rezistența la compresiune axială în direcția 1,

Y_t – rezistența la tracțiune transversală în direcția 2,

Y_c – rezistența la compresiune transversală în direcția 2,

S – rezistența la forfecare în planul 1-2,

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

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

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 epruvetei. Literatura de specialitate abundă în studii pentru astfel de experiențe, unele foarte complicate și scump de realizat, altele cu doze mari de imprecizie.

1.1. Stadiul actual privind determinarea coeficientului mixt F_{12}

1.1.1. Pentru determinarea experimentală a coeficientului mixt, Robert Jones [1] recomandă o încercare biaxială motivată de faptul că acest coeficient este produsul a două tensiuni σ_1 și σ_2 , în criteriul de rupere (1). De exemplu se poate impune o stare biaxială de tensiune de forma $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$ în zona A din figura 2 printr-o încercare prezentată schematic în figura 2. Este evident că în zona B din figura 2 va apare o 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 din zonele similare cu B. La acest neajuns se adaugă complicația în sine a dispozitivelor de încercat pe două direcții.

1.1.2. Pipes și Cole [2] au evaluat coeficientul mixt pentru compozitul bor – epoxy prin teste de tracțiune efectuate pe epruvete plane pe axe diferite de axele principale de anizotropie. 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 figura 3, comportament reflectat în alterarea stării uniaxiale de tensiune.

Pentru evitarea acestei situații Pipes și Cole [2] 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 figura 4, și a presiunii interioare p generând tensiunea normală σ_2 ca în figura 4. Dezavantajele tehnicii 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.

1.1.3. Testele uniaxiale de întindere și compresiune cu deplasări ortogonale blocate ca în figura 5 propuse de Evans & Zhang [3] reprezintă un experiment dificil de realizat. În cazul testului din figura 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.

1.1.4. În invenția „Metodă iterativă de determinare experimentală a modulului de elasticitate la forfecare pentru materiale anizotrope cu fibre lungi” înregistrată cu brevetul de invenție numărul RO117339B1 avându-l ca autor pe Ion Fuiorea [4], 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 modulului de elasticitate la forfecare, G_{12} .

1.2. Descrierea invenției propuse

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 [2], așa cum s-a arătat la paragraful 1.1.2., constă în imprecizia măsurătorilor ca urmare a alterării stării uniaxiale de tensiune prin introducerea de tensiuni de forfecare datorită fenomenului de cuplare a efectelor.

Problema care apare este de a furniza o metodă simplă și eficace de determinare a coeficientului mixt F_{12} din criteriul Tsai Wu de rupere, la îndemâna oricărui laborator de încercări mecanice, dar care să elimine impreciziile generate de fenomenul de cuplare a efectelor.

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 numărul RO117339B1, se identifică configurația epruvetei care va fi prelevată din materialul compozit și supusă probei de tracțiune, configurație care asigură existența unei stări uniaxiale pure în epruvetă fără distorsionarea acesteia ca urmare a prinderii rigide în fălcile 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 din momentul cedării, se pot determina prin calcul componentele corespunzătoare ale tensiunii pe direcțiile principale de anizotropie, σ_1 și σ_2 . Impunând celor două componente astfel determinate condiția ca să verifice ecuația corespunzătoare criteriului, se determină prin calcul valoarea coeficientului mixt F_{12} cu o precizie convenabil de bună.

Metoda conform invenției prezintă următoarele avantaje:

- asigură o determinare exactă a coeficientului mixt cu o precizie depinzând numai de acuratețea prelevării și prelucrării epruvetei;
- este simplă, ușor de efectuat în orice laborator de încercări mecanice și cu minimum de dotare;
- este ieftină din punctul de vedere al manoperei și dispozitivelor de fixare;
- permite o caracterizare corectă a oricărui compozit armat cu fibre.

Invenția este prezentată, în continuare printr-un exemplu de realizare și baza teoretică a acestei invenții.

Conform metodei, se pornește de la determinarea unghiului corespunzător 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 [4] și calculat cu relația

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

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

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

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

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 coeficientului mixt F_{12} care este dată de relația

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

BIBLIOGRAFIE

1. Robert JONES – *Mechanics of Composite Materials*, Edwards Brothers, Ann Arbor, MI 1998, ISBN: 1-56032-712-X, pag. 116.
2. R. Byron Pipes, B. W. Cole, *On the Off-Axis Strength Test for Anisotropic Materials*, Journal of Composite Materials, aprilie 1973, pag. 246 – 256.
3. K E Evans, W C Zhang, *The Determination of the Normal Interactive Term in the Tsai Wu Polynomial Strength Criterion*, Composite Science and Technology, 30, 1987.
4. I Fuiorea, *Metodă iterativă de determinare experimentală a modulului de elasticitate la forfecare pentru materiale anizotrope cu fibre lungi*, Brevet de invenție nr. RO 117339 B1, Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci

METODĂ DE DETERMINARE A COEFICIENTULUI MIXT DIN CRITERIUL TSAI-WU

2. REVENDICARE

Metodă de determinare a coeficientului mixt F_{12} din criteriul Tsai – Wu de rupere pentru materiale compozite armate cu fibre lungi, criteriu care definește pentru starea plană o „suprafață de rupere” din spațiul tridimensional al componentelor tensorului tensiunilor, $(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_6)$, reprezentând tensiunile normale orientate de-a lungul direcției fibrelor, σ_1 , perpendicular pe fibre, σ_2 , și tensiunea de forfecare, σ_6 și având expresia

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

caracterizată prin aceea că pentru determinarea experimentală pe epruvete plane a coeficientului mixt F_{12} se realizează o stare controlată biaxială de tensiune care se crește progresiv până la ruperea epruvetei. Realizarea stării controlate de tensiune se obține prin efectuarea încercării la tracțiune a epruvetei după direcția θ_{\min} de decuplare a efectelor de alungire și forfecare, direcție determinată după o metodă cunoscută. Notând cu Q valoarea ultimă la rupere a tensiunii axiale din epruvetă, punctul P corespunzător din spațiul tensorului tensiunilor, va avea coordonatele $(Q \cos^2 \theta_{\min}, Q \sin^2 \theta_{\min}, 0)$ și notând de asemenea cu $c = \cos \theta_{\min}$, și $s = \sin \theta_{\min}$, și impunând coordonatelor punctului P condiția să verifice ecuația suprafeței de rupere, se determină forma finală a expresiei coeficientului mixt F_{12} de forma

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

METODĂ DE DETERMINARE A COEFICIENTULUI MIXT DIN CRITERIUL TSAI-WU

3. SCHIȚE ȘI DESENE

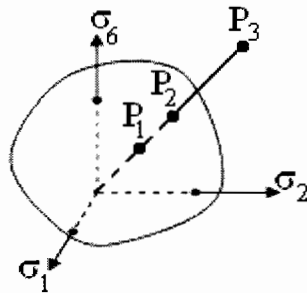


Fig. 1 Suprafața de rupere descrisă de criteriul Tsai Wu în spațiul tensiunilor

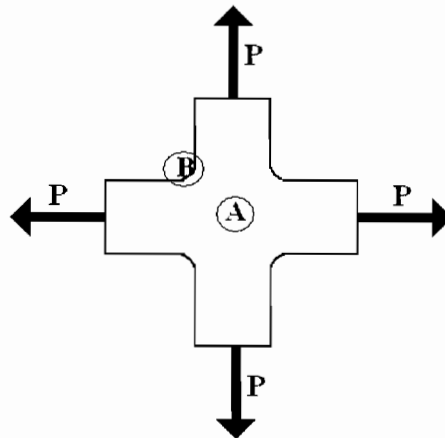


Fig. 2. Epruvetă încărcată biaxial

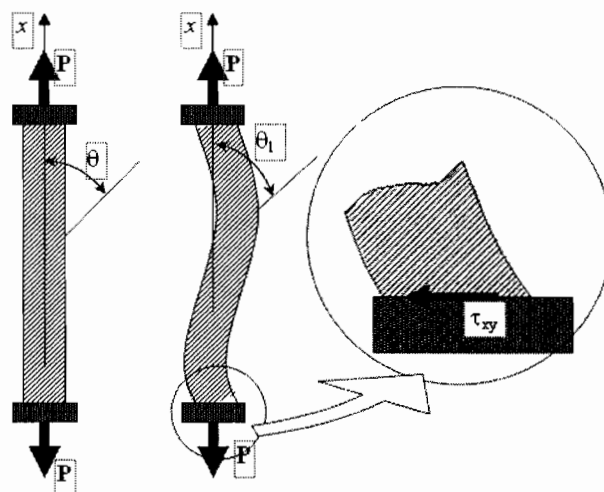


Fig. 3. Distorsionarea epruvetei ca rezultat al împiedicării lunecării în zona fălcilor mașinii

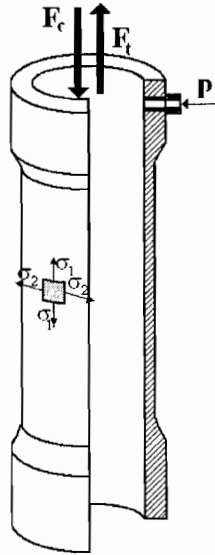


Fig. 4. Epruvetă cilindrică încărcată biaxial

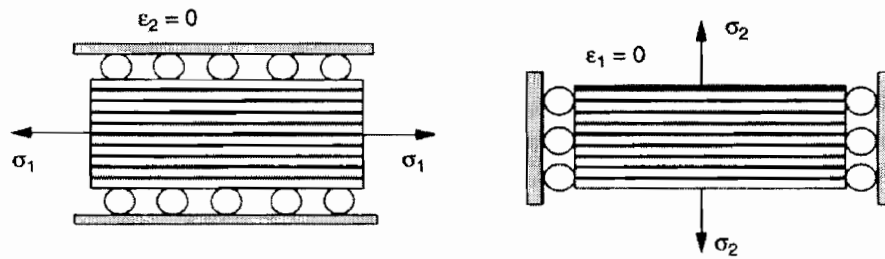


Fig. 5 $\sigma_1 - \sigma_2$ stare biaxială de tensiune la sollicitare uniaxială

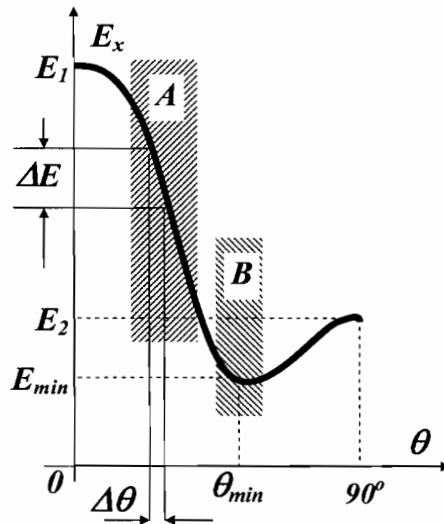


Fig. 6 Variația modului de elasticitate longitudinal E_x cu direcția sollicitării

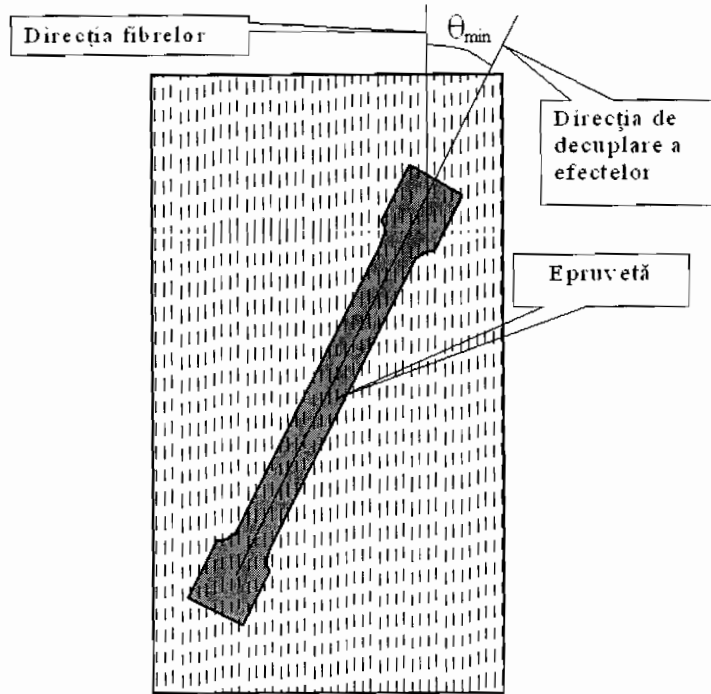


Fig. 7 Configurația epruvetei de prelevat

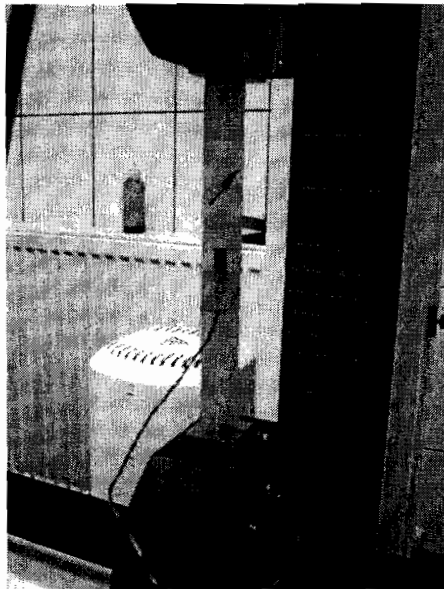


Fig. 8 Proba de tracțiune pe direcția de decuplare a efectelor