

**EVALUAREA TENACITĂȚII LA RUPERE
INTERLAMINARĂ ÎN MODUL I LA
ELEMENTE STRATIFICATE DIN LEMN –
O ABORDARE EXPERIMENTALĂ**

**ASSESSING THE MODE I
INTERLAMINAR FRACTURE
TOUGHNESS OF WOOD LAMINATED
SPECIMENS – AN EXPERIMENTAL
APPROACH**

Marius Nicolae BABA

Șef. lucr. dr. ing. – Universitatea Transilvania din Brașov – Facultatea de Inginerie Mecanică

Adresa/Address: B-dul Eroilor nr. 29, 50036 Brașov, România

E-mail: mariusbaba@unitbv.ro

Rezumat:

Tenacitatea la rupere interlaminară în modul I la compozitele stratificate pe bază de lemn a fost evaluată pe baza valorii critice a coeficientului de eliberare a energiei corespunzătoare momentului inițierii propagării fisurii la epruvete DCB. Avantajul folosirii testului DCB pentru determinarea valorii critice a coeficientului de eliberare a energiei la avansarea fisurii în cazul compozitelor stratificate pe bază de lemn se datorează atât metodei de lucru care este focalizată pe analiza cedării în stratul de adeziv prin prezența fisurii interlaminare inițiale cât și abordării energetice în deducerea relațiilor de calcul.

Analiza și prelucrarea datelor experimentale s-a realizat prin două metode și anume, metoda calibrării complianței care are la bază principiile mecanicii ruperilor și metoda suprafeței care ia în calcul întreaga formă a curbei sarcină – deplasare obținută în urma unui ciclu complet de încărcare-descărcare. În general există o bună concordanță între rezultatele obținute prin cele două metode și cele raportate în literatură.

Cuvinte cheie: compozite stratificate din lemn; rupere interlaminară; valoare critică a coeficientului de eliberare a energiei; epruvete DCB.

INTRODUCERE

Standardul ASTM D 5528 – 94a descrie una din cele mai uzuale metode pentru testarea modului I de rupere interlaminară la compozitele polimerice ranforsate unidirecțional. Aceasta constă în folosirea unor epruvete cu fisură interlaminară inițială solicitate la tracțiune perpendiculară pe planul de extensie al fisurii, așa numitele epruvete DCB. Rezultate importante privind studiul ruperii interlaminare la compozite ranforsate unidirecțional, au fost raportate de Andersons și König (2004). Referitor la compozitele stratificate multidirecțional, Pereira și de Moraes (2006), arată că problemele majore pe care le ridică încercările de determinare a tenacității la rupere interlaminară sunt legate de apariția deteriorărilor intralaminare și a fenomenelor de ramificare a fisurii.

Metoda de testare stabilită de standardul ASTM D 5528 – 94a se bazează pe ipoteza că inițierea și propagarea fisurii interlaminare depind de tenacitatea la rupere a materialului exprimată prin

Abstract:

Mode I interlaminar fracture toughness of wood based laminated composites has been evaluated on the basis of the critical strain energy release rate corresponding to the onset of crack growth in double cantilever beam specimens (DCB). The advantage of using the DCB test for determining the critical strain energy release rate in the case of wood laminated composites relies both on the working method which is focused on failure analysis in adhesive layer through the presence of initial interlaminar crack, but also due to the energetic approach used in deduction of calculus relations.

Data analysis was conducted by two methods namely, the corrected compliance method which is based on the linear elastic fracture mechanics principles, and the area method which accounts the whole shape of load-displacement curve obtained through a complete loading-unloading cycle. A good agreement between the results obtained by the two methods and those reported in the literature has been obtained.

Key words: wood laminated composites; interlaminar fracture; critical strain energy release rate; DCB specimens.

INTRODUCTION

The standard ASTM D 5528 – 94a describes one of the most common working methods used for mode I interlaminar fracture testing of unidirectional polymeric composites. It consists of using the so called DCB specimens having an initial interlaminar crack, loaded perpendicular to the crack extension plane. Important results regarding the study of interlaminar fracture applied to the unidirectional reinforced composites were reported by Andersons and König (2004). As concern the multidirectional composite laminates, Pereira and de Moraes (2006) shows that the major problems arise out the interlaminar fracture toughness testing are related to the appearance of intralaminar cracks and the crack branching phenomena.

The testing method established by the ASTM D 5528 – 94a is based on the assumption that the crack onset and propagation depends upon the fracture toughness of the material, expressed through the critical value of the energy release rate,

valoarea critică a coeficientului de eliberare a energiei notat cu G_{Ic} . Cu alte cuvinte dacă avansarea fisurii se face după modul I, punctul critic corespunzător inițierii propagării fisurii interlaminare este atins în momentul în care energia eliberată la avansarea fisurii, notată cu G_I , atinge valoarea sa critică G_{Ic} .

OBJECTIVE

În ceea ce privește materialele compozitele stratificate pe bază de lemn, atât normativul ASTM D1037 cât și echivalentul său european EN 1067 stabilesc metoda de testare pentru determinarea rezistenței la tracțiune perpendiculară pe suprafața stratului de adeziv prin măsurarea forței care produce dezlipirea a două straturi adiacente. Rezultatul unor asemenea încercări se rezumă însă doar la obținerea unei valori medii aproximative a tensiunilor din stratul de adeziv. Aceasta face dificilă analiza profundă asupra modului de realizare a unei bune aderențe între straturile compozitului și implicit evaluarea comportării la rupere interlaminară.

Astfel, avantajul folosirii testului DCB pentru determinarea valorii critice a coeficientului de eliberare a energiei la avansarea fisurii în cazul compozitelor stratificate pe bază de lemn se datorează atât metodei de lucru care este focalizată pe analiza cedării în stratul de adeziv prin prezența fisurii interlaminare inițiale cât și abordării energetice în deducerea relațiilor de calcul.

METODĂ, MATERIALE ȘI APARATURĂ

Pentru realizarea încercărilor experimentale s-au folosit epruvete debitate din plăci stratificate obținute prin suprapunerea a șase furnire de fag după modelul (0°/90°/0°- 0°/90°/0°), straturile cu grosimea de 1,65mm fiind înleiate cu rășină ureoformaldehidică și adaos de făină de secară, consumul specific de adeziv fiind de 200g/m². Presarea stratificatului s-a făcut cu ajutorul unei prese hidraulice de laborator cu platane încălzite electric până la o temperatură de 110°C, durata de presare fiind de 5 minute la o presiune de 0,2 MPa.

Epruvetele având lungimea de 140mm și lățimea de 30mm au fost prevăzute cu o fisură interlaminară inițială obținută prin interpunerea între straturile din mijloc a unui film de polietilenă cu grosimea de aproximativ 10μm astfel încât modulele de rigiditate la încovoiere ale celor două brațe adiacente fisurii interlaminare să fie egale. Fixarea epruvetei în bacurile mașinii universale de încercat s-a realizat prin intermediul unui ansamblu articulație – plăcuță metalică, așa cum se prezintă în Fig. 1.

Conform indicațiilor standardului ASTM D 5528 – 94a, încercările s-au realizat prin controlul deplasării capului de lucru al mașinii la o viteză constantă de 1mm/min. Valoarea forței critice corespunzătoare momentului inițierii fisurii interlaminare a fost determinată prin marcarea vizuală pe curba sarcină - deplasare a punctului de

usually denoted by G_{Ic} . In other words while the crack is advancing in mode I, the critical point corresponding to the interlaminar crack onset is reached when the energy release rate associated with the crack extension, denoted by G_I , takes its critical value G_{Ic} .

OBJECTIVES

Regarding the wood based laminated composites, both the American standard ASTM D1037 and its European equivalent EN 1067 establish the testing method for determining the tensile strength perpendicular to the surface of the adhesive layer through the measuring of opening force that causes debonding of two adjacent layers. The result of such tests is actually confined only to obtain an approximate average value of the adhesive layer stresses. Thereby, a deep analysis on the way to achieve a good adhesion between the composite layers and therefore to assess the behavior of the interlaminar fracture is difficult to perform.

Thus, the advantage of using the DCB test for determining the critical strain energy release rate in the case of wood laminated composites relies both on the working method which is focused on failure analysis in adhesive layer through the presence of initial interlaminar crack, but also due to the energetic approach used in deduction of calculus relations.

METHOD, MATERIALS AND EQUIPMENT

To perform the experimental tests, the specimens were cut out from 6 cross-ply laminates made by superposing beech veneers with a stacking sequence of 0°/90°/0°- 0°/90°/0°, the laminae of 1,65mm thickness being glued together by urea formaldehyde resin and the addition of rye flour filler, with an average adhesive consumption of 200g/m². The layered plates were compressed with an electrically heated laboratory hydraulic press up to a temperature of 110°C, with 5 minutes pressing time and a pressure of 0,2 MPa.

The specimens having the length of 140mm and the width of 30mm were provided with an initial interlaminar crack by inserting a non-adhesive polyethylene foil of 10μm thickness into the neutral plane of the plate, so that to obtain the same bending rigidity modulus for the two crack arms. Mounting the specimen on the universal testing machine grips has been done by means of an ensemble hinge – metallic block plate, as shown in Fig. 1.

According to ASTM D 5528 – 94a indications, the tests have been done through the displacement control of the machine grips at a constant speed of 1mm/min. The value of the critical load corresponding to the interlaminar crack onset has been determined by deviation from linearity method (NL), through visual marking on the load –

extrem al domeniului de liniaritate (NL).

După extensia fisurii cu o lungime $\Delta a = 25\text{mm}$ s-a realizat descărcarea epruvetei la o viteză de deplasare constantă de 4mm/min .

displacement curve of the last point of linearity.

When the crack has been extended with a length $\Delta a = 25\text{mm}$, the specimen was unloaded with a constant speed of 4mm/min .

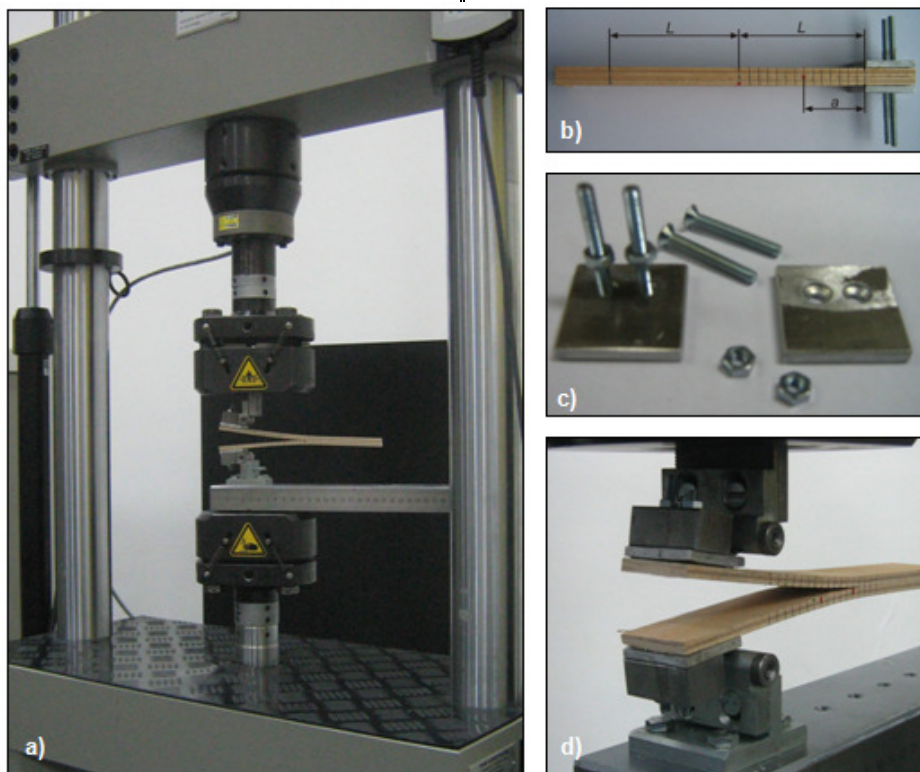


Fig. 1.

Fixarea epruvetei în bacurile mașinii de încercat / Mounting the specimen in the universal testing machine grips.

Curba sarcină - deplasare obținută în urma unui ciclu complet de încărcare - descărcare la o epruvetă cu o lungime a fisurii inițiale $a = 20\text{mm}$, este reprezentată în Fig. 2.

The load - displacement curve obtained through a complete loading - unloading cycle, for a specimen with the initial crack length $a = 20\text{mm}$, is represented in Fig. 2.

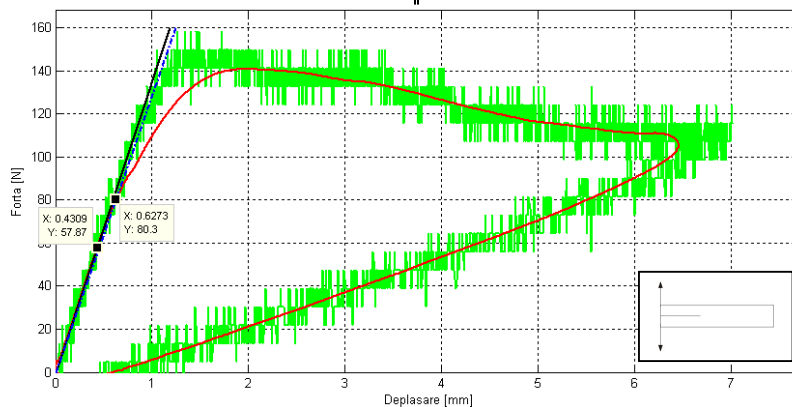


Fig. 2.

Forma tipică a curbei sarcină - deplasare obținută la o epruvetă cu o lungime a fisurii, $a = 20\text{ mm}$ / Typical shape of the load - displacement curve for a specimen with $a = 20\text{ mm}$ crack length.

În Fig. 3 sunt reprezentate grafic valorile forței critice de inițiere a fisurii pentru diferite lungimi ale fisurii inițiale.

Fig. 3 shows the graphical representation of the critical load at the onset of the crack propagation for different initial crack lengths.

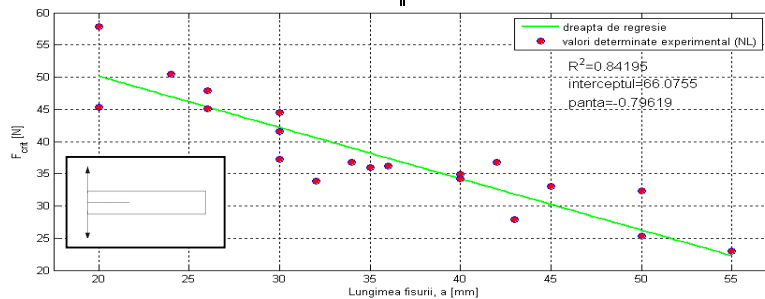


Fig. 3.

Valori determinate experimental ale forței critice corespunzătoare diferitelor lungimi ale fisurii inițiale / The experimental values of the critical load vs. crack length.

Dependența între valorile forței critice și lungimea fisurii inițiale, așa cum se prezintă în Fig. 3, a fost estimată folosind metoda celor mai mici pătrate printr-o dreaptă de regresie a cărei ecuație este:

$$\hat{F}_{cr}(a) = 66 - 0.8 \cdot a \quad [N] \quad (1)$$

în care: $\hat{F}_{cr}(a)$ este valoarea estimată a forței critice de inițiere a fisurii, în [N];
 a este lungimea fisurii inițiale, în [mm].

Pentru determinarea valorii critice a coeficientului de eliberare a energiei în conformitate cu recomandările standardului ASTM D 5528 – 94a s-a folosit metoda complianței corectate, astfel:

- s-a calculat complianța fiecărei epruvete încercate, în funcție de panta porțiunii liniare a curbei sarcină – deplasare (Jennings 2003):

$$C = \frac{1}{\hat{m}} \cdot \frac{1}{1000} \quad [m/N], \quad (2)$$

în care: $\hat{m}$ este panta porțiunii liniare a curbei de încărcare;

- a fost reprezentată grafic rădăcina cubică a complianței în funcție de lungimea inițială a fisurii, așa cum se observă în Fig. 4, obținându-se o relație liniară de forma:

$$\sqrt[3]{C} = \tilde{m} \cdot x + \tilde{b} \quad [(m/N)^{1/3}], \quad (3)$$

în care: $\tilde{m} = 0.567$ este panta dreptei de regresie obținute, iar $\tilde{b} = 0.00586$ este interceptul;

- valoarea factorului de corecție Δ s-a determinat ca raport între valoarea interceptului și panta liniei de regresie (Scoville 2001, Jennings 2003):

$$\Delta = \frac{\tilde{b}}{\tilde{m}}, \quad (4)$$

și respectiv modulul de rigiditate efectiv al epruvetelor încercate cu relația:

$$EI_{efectiv} = \frac{2/3}{\tilde{m}^3} \quad [Nmm^2]. \quad (5)$$

- în final, valoarea critică a coeficientului de eliberare a energiei când direcția sarcinilor este perpendiculară pe planul de propagare al fisurii

The dependence between the values of the critical load versus crack length, as shown in Fig. 3, has been estimated by a straight line whose regression equation obtained by the method of least squares is:

$$\hat{F}_{cr}(a) = 66 - 0.8 \cdot a \quad [N] \quad (1)$$

where: $\hat{F}_{cr}(a)$ is the estimated value of the critical load at the onset of the crack, in [N];
 a is the initial crack length, in [mm].

According to ASTM D 5528 – 94a specifications, data analysis was first conducted by the corrected compliance method through the following steps:

- the compliance of each tested specimen was calculated as a function of the slope of the linear portion of the load - displacement curve (Jennings 2003):

$$C = \frac{1}{\hat{m}} \cdot \frac{1}{1000} \quad [m/N], \quad (2)$$

where: $\hat{m}$ is the slope of the linear portion of the loading curve;

- the cube root of compliance versus initial crack length has been represented graphically, as shown in Fig. 4, resulting in a linear relationship of the form:

$$\sqrt[3]{C} = \tilde{m} \cdot x + \tilde{b} \quad [(m/N)^{1/3}], \quad (3)$$

where: $\tilde{m} = 0.567$ is the slope of the regression line,

and $\tilde{b} = 0.00586$ represents its intercept;

- the value of the correction factor was determined as the ratio between the value of the intercept and the slope of the regression line (Scoville 2001, Jennings 2003):

$$\Delta = \frac{\tilde{b}}{\tilde{m}}, \quad (4)$$

and respectively the effective stiffness of the tested specimens was calculated using the relationship:

$$EI_{efectiv} = \frac{2/3}{\tilde{m}^3} \quad [Nmm^2]. \quad (5)$$

- finally, the critical value of the strain energy

(modul I) s-a calculat cu relația (Scoville 2001, Jennings 2003, Hodgkinson 2000):

$$G_{Ic} = \frac{F_{cr}^2}{b} \left(\frac{1}{EI_{efectiv}} \right)^2 [Nmm/mm^2], \quad (6)$$

în care: F_{cr} este sarcina critică de inițiere a fisurii interlaminare, în [N];
 b este lățimea epruvetei, în [mm].

release when the load direction is perpendicular to the crack propagation plane (mode I), was computed using the equation (Scoville 2001, Jennings 2003, Hodgkinson 2000):

$$G_{Ic} = \frac{F_{cr}^2}{b} \left(\frac{1}{EI_{efectiv}} \right)^2 [Nmm/mm^2], \quad (6)$$

where: F_{cr} the critical load at the onset of the crack propagation, in [N];
 b is the specimen width, in [mm].

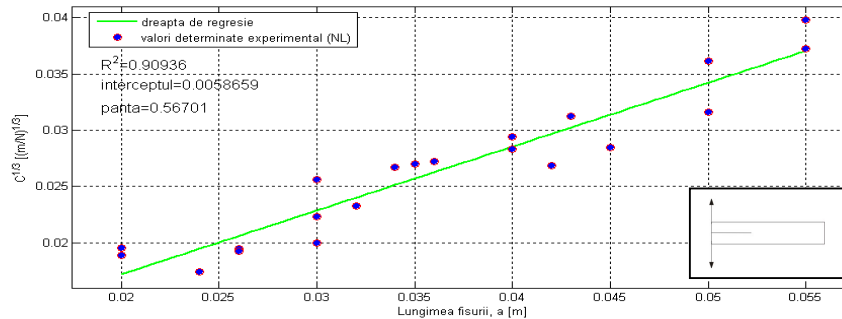


Fig. 4.

Dreapta de regresie a rădăcinii cubice a complianței în funcție de lungimea fisurii / The regression line of the cube root of the compliance as a function of the crack length.

O altă metodă de calcul a valorii critice a coeficientului de eliberare a energiei, așa numita "metodă a suprafeței" ia în calcul întreaga formă a curbei sarcină – deplasare obținută în urma unui ciclu complet de încărcare-descărcare. Folosind metoda suprafeței valoarea forței critice corespunzătoare momentului inițierii fisurii a fost determinată prin calculul suprafeței delimitate de curba sarcină-deplasare și raportarea acesteia la suprafața de extensie a fisurii, conform relației:

$$G_{Ic} = \frac{S_{F-\delta}}{b(a_2 - a_1)} [Nmm/mm^2], \quad (7)$$

în care: $S_{F-\delta}$ suprafața mărginită de curba sarcină deplasare, în [Nmm];
 b este lățimea epruvetei, în [mm];
 a_1 este lungimea fisurii inițiale, în [mm];
 a_2 este lungimea de extensie a fisurii, în [mm].

Another method for calculating the critical value of the strain energy release rate, the so-called "area method" takes into account the whole shape of the load - displacement curve obtained through a complete loading - unloading cycle. Using the area method the critical value of the strain energy release rate was determined as the ratio between the surface area closed by the load-displacement curve and the crack extension surface, according to the relation:

$$G_{Ic} = \frac{S_{F-\delta}}{b(a_2 - a_1)} [Nmm/mm^2], \quad (7)$$

where: $S_{F-\delta}$ the surface area closed by the load displacement curve, in [Nmm];
 b is the width of the specimen, in [mm];
 a_1 is the initial crack length, in [mm];
 a_2 is the crack extension length, in [mm].

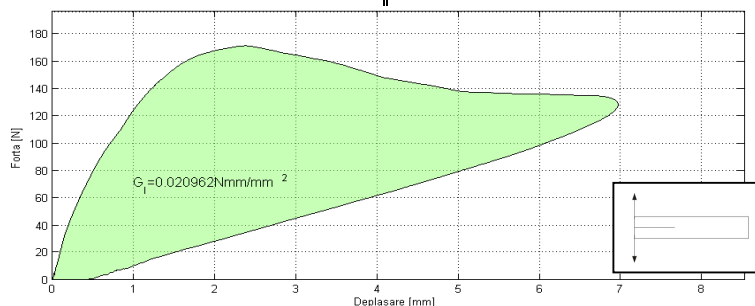


Fig. 5.

Modul de afișare al rezultatului integrării curbei de încărcare la o epruvetă cu o lungime a fisurii, $a = 24$ mm / The integration output of the load curve for a specimen with an initial crack length, $a = 24$ mm.

În mod practic, determinarea valorii critice a coeficientului de eliberare a energiei prin metoda suprafeței s-a realizat prin integrarea curbelor sarcină – deplasare folosind metoda trapezelor cu ajutorul unei rutine de calcul *Matlab*. În Fig. 5. este prezentat modul de afișare a rezultatelor obținute pentru o epruvetă cu o lungime a fisurii $a = 24\text{mm}$, în urma rulării rutinei de calcul *Matlab*.

REZULTATE

În Fig. 6. sunt reprezentate grafic valorile medii și împrăștierea valorilor critice ale coeficientului de eliberare a energiei în funcție de lungimea fisurii inițiale, determinate prin cele două metode.

Practically, the determination of the critical value of the strain energy release rate through the area method was made by integrating the load – displacement curve using the trapezoidal rule with the help of a *Matlab* routine. Fig. 5. shows the way of displaying the integration results obtained by running the *Matlab* routine, for a specimen with an initial crack length $a = 24\text{mm}$.

RESULTS

Fig. 6. shows the data spread and average critical values of the strain energy release obtained by using the two methods, as a function of the initial crack length.

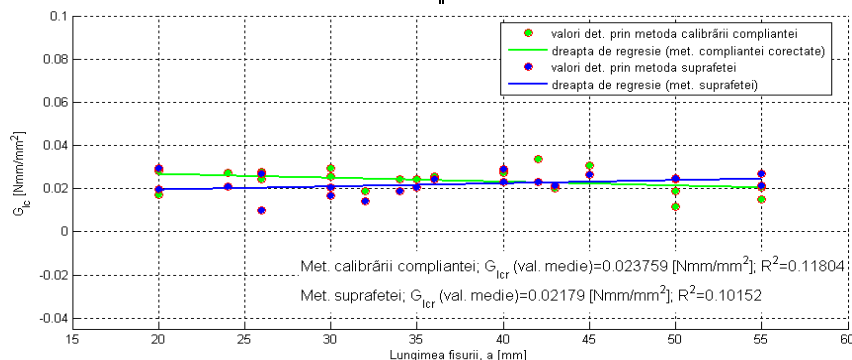


Fig. 6.

Valorile medii și împrăștierea valorilor critice ale coeficientului de eliberare a energiei în funcție de lungimea fisurii / The data spread and the average critical values of the strain energy release rate versus initial crack length.

Se observă că valoarea coeficientului de corelație liniară R^2 este apropiată de zero în ambele cazuri, ceea ce înseamnă că valoarea medie critică calculată a coeficientului de eliberare a energiei nu depinde de lungimea fisurii, fiind doar un parametru de material. Diferența foarte mică dintre cele două valori medii calculate este explicabilă datorită metodei de lucru (prin observație vizuală) folosite la aprecierea lungimii de extensie a fisurii în timpul încercării, urmată de descărcarea epruvetei.

One observe that in both cases the calculated value of the linear correlation coefficient R^2 very close to zero means a critical average value of the strain energy release rate which doesn't depends on the crack length, it being only a material parameter. Very small difference between the two averages could be explained due to the working method (by visual observation) used in assessing the length of the crack extension during the test, followed by the specimen unloading.

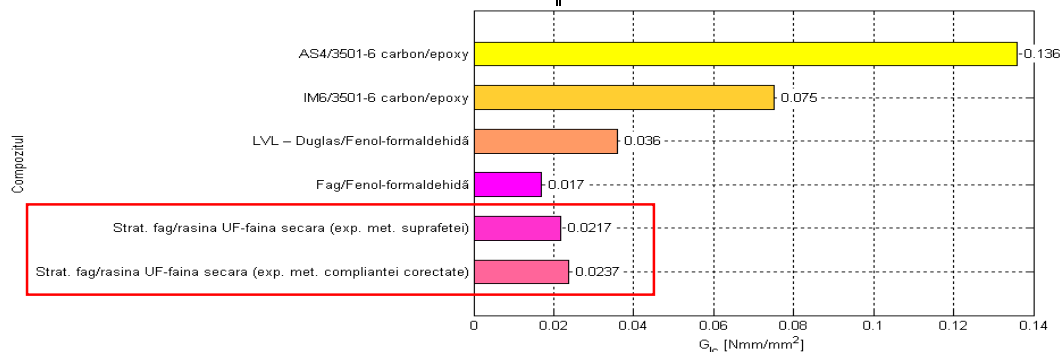


Fig. 7.

Grafic comparativ cu valorile critice ale coeficientului de eliberare a energiei la avansarea fisurii interlaminare în modul I pentru câteva structuri stratificate pe bază de lemn / A comparative plot of the critical values of the strain energy release rate in mode I for some wood based laminated structures.

În Fig. 7. sunt reprezentate comparativ valorile critice medii ale coeficientului de eliberare a energiei în modul I, și anume: cele determinate prin metoda complianței corectate și respectiv prin metoda suprafeței, cu câteva valori specifice de referință raportate în literatură (River 1994, Turon 2007). Se poate observa că valorile medii critice ale coeficientului de eliberare a energiei obținute prin cele două metode așa cum s-a arătat mai sus, se încadrează aproximativ în același ordin de mărime cu valorile specifice unor structuri compozite de tipul LVL – Douglas / Fenol formaldehidă și respectiv Fag / Fenol formaldehidă. Raportat însă la unidirecționalul AS4/3501 - 6 carbon / rășină epoxidică, valorile medii calculate pentru stratificatul supus studiului (Fag / Rășină UF – făină de secară) sunt de aproximativ 2,5 ori mai mici.

CONCLUZII

În ceea ce privește stratificatele compozite pe bază de lemn realizate în stadiul actual, se constată că încluirea cu ajutorul adezivilor sau rășinilor constituie procedeul de bază folosit pentru cuplarea elementelor structurale, calitatea procesului de încluire fiind influențată de o multitudine de factori dependenți de natura materiei prime lignocelulozice (lemn sau alte fibre naturale), a adezivilor folosiți, procesului de încluire, cât și de condițiile de utilizare. Interacțiunea complexă a acestor factori se regăsește în performanțele materialelor compozite realizate, care la rândul lor asigură succesul utilizării acestora în diverse aplicații inginerești. Deși proprietățile mecanice ale elementelor structurale (furnire, aşchii, fibre, adezivi) considerate individual “*in vacuo*”, care compun ansamblul structurii lignocelulozice laminate sunt în general cunoscute sau pot fi determinate cu ușurință, nu același lucru se poate spune despre determinarea proprietăților mecanice ale stratului interfazic dintre două lamine adiacente, valorile acestora fiind variabile pe grosime între cele ale adezivului și cele ale materialului laminelor.

Astfel, având în vedere dezavantajele pe care le implică încercările recomandate de standardele specifice materialelor compozite pe bază de lemn, o analiză profundă asupra modului de realizare a aderenței între straturile structurii compozite și implicit a comportării la rupere interlaminară a acestora este dificilă (rezultatul încercărilor putând oferi doar o valoare medie aproximativă a tensiunilor ce se dezvoltă în stratul de adeziv). Avantajul folosirii testului DCB pentru determinarea valorii critice a coeficientului de eliberare a energiei la avansarea fisurii pentru stratificatele compozite pe bază de lemn se datorează atât metodei de lucru care este focalizată pe analiza cedării în stratul de adeziv prin prezența fisurii interlaminare inițiale cât și abordării energetice în deducerea relațiilor de calcul. Analizând rezultatele încercărilor experimentale pentru stratificatul din furnire de fag și rășină

Fig. 7. shows a comparative plot of the critical values of the strain energy release rate in mode I, namely: those determined by using the corrected compliance method and the surface method respectively, versus some specific values reported in literature (River 1994, Turon 2007). It can be seen that the average critical values of the strain energy release obtained by using the two methods as described above, falls roughly in the same order of magnitude with the specific values of some wood laminates like LVL – Douglas / Phenol formaldehyde and Beech / Phenol formaldehyde respectively. However, the average specific values for the wood laminated structure under study (Beech / Urea formaldehyde resin – rye flour filler) are about 2,5 times smaller with respect to the unidirectional AS4 / 3501 - 6 carbon / epoxy resin.

CONCLUSIONS

As regards the wood-based layered composites produced at this stage, it is found that gluing with the help of adhesives or resins represents the basic process for structural coupling, the quality of the gluing process being influenced by a multitude of factors depending on the nature of the lignocellulosic raw materials (clear wood or other natural fibers), the adhesives, the gluing process, and the conditions of use. The complex interaction of these factors is reflected in the performances of the manufactured composite materials, which in turn ensures their successful use in various engineering applications. Although the mechanical properties of structural elements (veneers, chips, fibers, adhesives) taken separately “*as a bulk material*” within the ensemble of the lignocellulosic structure, are generally known or may be easier to be determined, not the same thing can be said about the mechanical properties of the interphase layer between two adjacent laminae, their values being variable on the thickness between the ones of the adhesive and the ones of the material's laminae respectively.

Thus, in view of the disadvantages of the tests recommended by the specific standards for wood-based composite materials, a deep analysis on the way to achieve a good adhesion between the composite layers and therefore to assess the behavior of the interlaminar fracture is difficult to perform (the test results can only offer an approximate average of the stresses that develops in the adhesive layer). The advantage of using the DCB test for determining the critical strain energy release rate in the case of wood laminated composites relies both on the working method which is focused on failure analysis in adhesive layer through the presence of initial interlaminar crack, but also due to the energetic approach used in deduction of calculus relations. By analyzing the results of experimental tests for the cross-layered made by beech veneers glued together with urea

ureoformaldehidică, pot fi subliniate următoarele concluzii:

- în cazul modului I de solicitare valorile critice medii ale coeficientului de eliberare a energie determinate prin metoda complianței corectate și metoda suprafeței au fost $G_{Ic} = 0,0237 \text{ Nmm/mm}^2$ și respectiv $G_{Ic} = 0,0217 \text{ Nmm/mm}^2$.
- o valoare a coeficientului de corelație liniară apropiată de zero în obținută în urma aplicării ambelor metode demonstrează că valoarea medie critică calculată a coeficientului de eliberare a energiei nu depinde de lungimea fisurii fiind doar un parametru de material.
- valorile medii critice ale coeficientului de eliberare a energiei în cazul modului I de solicitare, obținute prin metoda complianței corectate și respectiv metoda suprafeței, se încadrează aproximativ în același ordin de mărime cu valorile specifice unor structuri lignocelulozice de tipul LVL – Douglas / Fenol formaldehidă și Fag / Fenol formaldehidă.
- raportat la unidirecționalul AS4/3501 - 6 carbon / rășină epoxidică, valorile medii calculate ale coeficientului de eliberare a energie pentru stratificatul pe bază de lemn supus studiului (Fag / rășină UF – făină de secară) sunt de aproximativ 2,5 ori mai mici.

formaldehyde resin and the addition of rye flour filler, the following conclusions can be highlighted:

- in the case of mode I fracture, the critical values of the strain energy release rate obtained by using the corrected compliance method and the area method, were $G_{Ic} = 0,0237 \text{ Nmm/mm}^2$ and $G_{Ic} = 0,0217 \text{ Nmm/mm}^2$ respectively.
- the calculated value of the linear correlation coefficient vanishing to zero, obtained through the application of both methods, demonstrates that the critical average value of the strain energy release rate doesn't depends on the crack length, being only a material parameter.
- the average critical values of the mode I strain energy release rate obtained through the corrected compliance method and area method respectively, fit about into the same range with some specific values available in literature for LVL – Douglas / Phenol formaldehyde and Beech / Phenol formaldehyde laminated composites.
- with respect to the unidirectional AS4/3501 - 6 carbon / epoxy resin, the computed average values of the strain energy release rate in the case of the wood based laminate under study (Beech / Urea formaldehyde resin – rye flour filler) are about 2,5 times smaller.

BIBLIOGRAFIE / REFERENCES

- ANDERSONS, J. KÖNIG, M. (2004). Dependence of fracture toughness of composite laminates on interface ply orientations and delamination growth direction. *Composites Science and Technology*, 64: 2139-52.
- HODGKINSON, J.M. (2000). *Mechanical Testing of Advanced Fibre Composites*. Woodhead Publishing Cambridge (UK).
- JENNINGS, JESSICA, D. (2003). Investigating the surface energy and bond performance and compression densified wood. Theses submitted to the Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science.
- PEREIRA, A.B., DE MORAIS, A.B. (2006). Mixed mode I-II interlaminar fracture of glass/epoxy multidirectional laminates – Part 2: Experiments. *Composites Science and Technology*, 66: 1896-1902.
- RIVER, B.H. (1994). Fracture of Adhesive-Bonded Wood Joints. Pizzi, A.; Mittal, K.L., eds. *Handbook of adhesive technology*. New York: Marcel Dekker, Inc.; Chapter 9.
- SCOVILLE, CHRISTOPHER, R. (2001). Characterizing the Durability of PF and pMDI Adhesive Wood Composites Through Fracture Testing. Thesis Submitted to the Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of *Master of Science*, 15 October, Department of Wood Science and Forest Products, Blacksburg, Virginia.
- TURON, T.A. (2007). Simulation of delamination in composites under quasi – static and fatigue loading using cohesive zone models. Universitat de Girona, ISBN: 978-84-690-4372-1.