

MECANICA RUPERII

LABORATOR 6

DETERMINAREA INTEGRALEI J PE BAZA SOLICITĂRII LA TRACȚIUNE A PROBEI COMPACTE

-
1. Introducere
 2. Metoda energiei pe unitatea de grosime pentru determinarea J_{Ic}
 3. Încercarea standard pentru determinarea J_{Ic}
 4. Condiții experimentale prevăzute de ASTM-ul E 813 pentru determinarea integralei J
 5. Descriere program
 6. Mod de lucru
 7. Obținerea și prelucrarea rezultatelor
-

1. Introducere

O modalitate de a extinde conceptele Mecanicii ruperii din domeniul linear-elastic în domeniul elasto-plastic o reprezintă determinarea integralei J propusă de către Rice, ca o metodă de caracterizare câmpului tensiune-deformație de la vârful fisurii. Din punct de vedere teoretic acest lucru se poate face pe baza unei integrale pe o suprafață sau după o curbă ce încadrează acea suprafață, curbă luată la o distanță mare de vârful fisurii în raport cu dimensiunea acesteia. Din punct de vedere experimental această curbă poate fi luată mai aproape de vârful fisurii decât cea considerată teoretic. Pentru un comportament linear-elastic integrala J este identică cu energia disponibilă pentru propagarea fisurii pe unitatea de extensie a fisurii, G. Prin urmare, criteriul J_{Ic} de propagare a fisurii este identic cu criteriul K_{Ic} , acesta din urmă determinându-se în condiții de deformație linear-elastice.

$$J_{Ic} = G_{Ic} = \frac{(1 - \nu^2) K_{Ic}^2}{E}$$

Integrala J este definită atât pentru un comportament elastic cât și pentru un comportament elasto-plastic:

$$J = \int_{\Gamma} \left(W \cdot dy - T \frac{\partial U}{\partial x} \cdot ds \right)$$

Unde R este un contur oarecare în jurul vârfului fisurii. În figura 1 se arată sistemul de axe cu origine la vârful fisurii și conturul curbei arbitrare Γ . W = densitatea energiei de deformație;

T = vectorul de tracțiune în funcție de normala exterioară n în lungul curbei Γ , $T_i = \sigma_{ij} \cdot n_j$;

U = vectorul deplasare;

s = Lungimea arcului în lungul curbei Γ .

Metodologia de testare actuală este standardizată de ASTM E-813, utilizându-se fie mai multe probe identice, fiecare dintre acestea solicitându-se până la o anumită valoare a deformației, fie se utilizează o singură probă caz în care aceasta se încarcă și se descarcă la anumite valori ale deformației plastice. Atunci când se utilizează metoda determinării prin complianță se utilizează mai multe probe la care variază lungimea fisurii, de unde se obțin curbele de variația a forței în raport cu deplasarea punctelor de aplicație a forței (F în raport cu v). Valorile energiei pe unitatea de grosime (aria de sub curba $F-v$) se obțin pentru diferite valori ale lungimii fisurii inițiale în raport cu valorile deplasărilor v .

Pantele acestor curbe reprezintă modificări ale energiei potențiale pe unitatea de grosime și pe unitatea de lungime de fisură propagată, și ca urmare integral J este dată de relația:

$$J = -\frac{1}{B} \cdot \frac{\partial U}{\partial a}$$

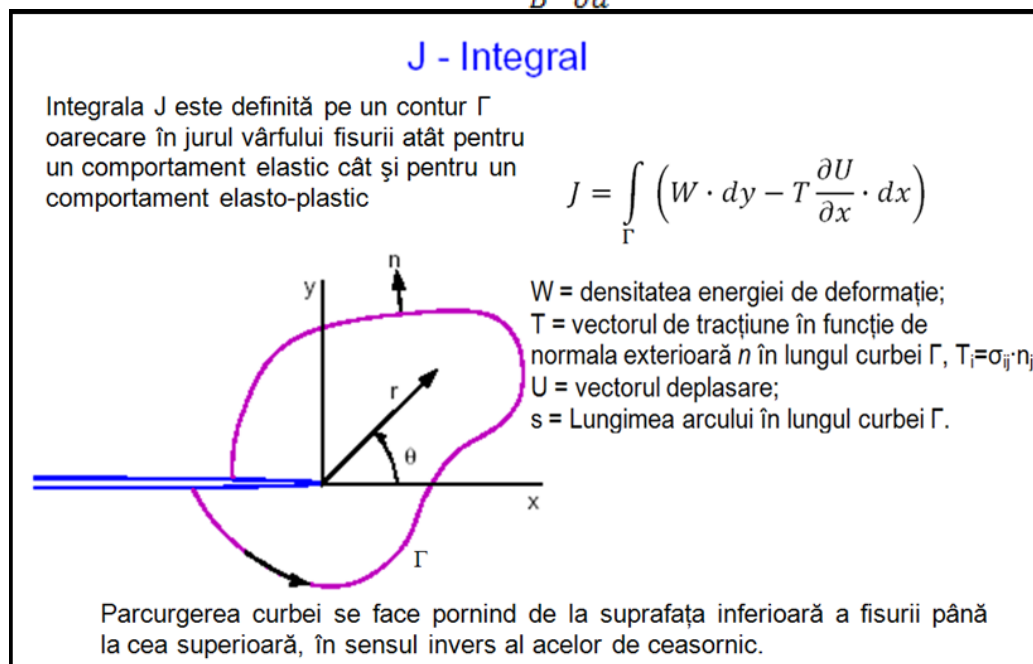


Fig. 1. Definiția integralei J

În figura 2 se prezintă un exemplu ilustrativ pentru interpretarea integralei J. Dimensiunile și formele probelor, echipamentul și procedeul de testare sunt prezentate în ASTM-E813.

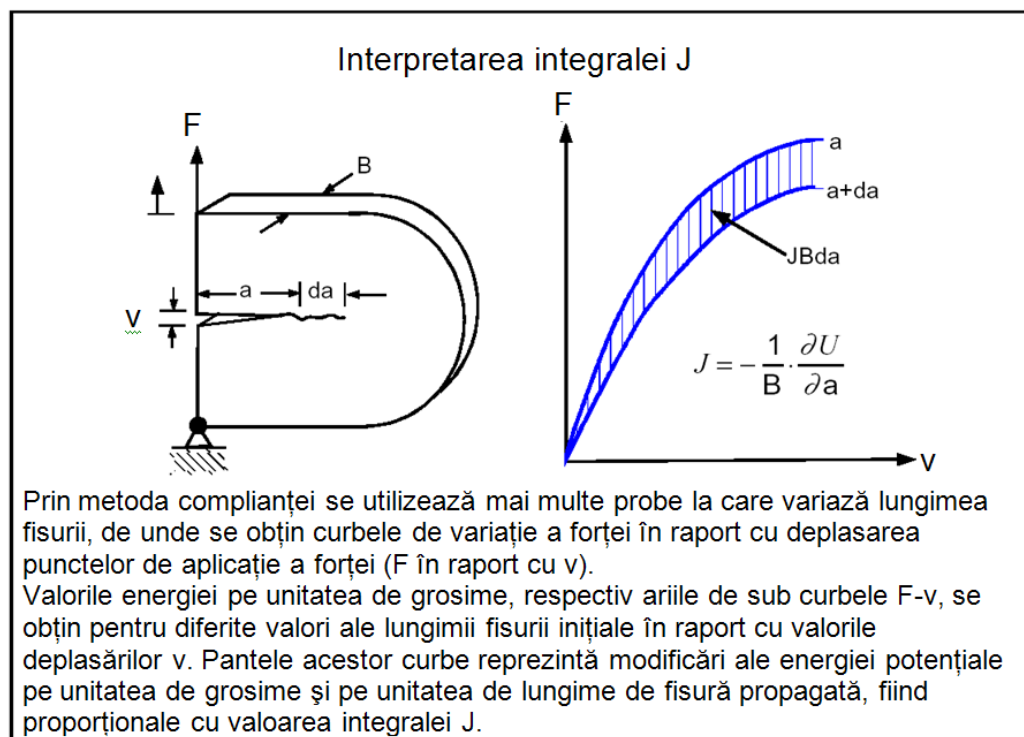


Fig. 2. Metoda complianței pentru determinarea tenacității la fisurare prin integrala J

Din datele analizate, figura 3, se calculează valorile integralei J pornind de la curba F în raport cu v. Utilizând relația $J = A/(B \cdot v(W - a_0) \cdot f(a_0/W))$, unde $f(a_0/W)$ reprezintă un factor de corecție pentru a o formă dată a probei. Pe curba J în raport cu Δa se construiește o

DETERMINAREA INTEGRALEI J PE BAZA SOLICITĂRII LA TRACȚIUNE A PROBEI COMPACTE

curbă de aproximare $J=2 \cdot \sigma_c \cdot \Delta a$ cu $\sigma = \frac{\sigma_c}{\sigma_{max}}$. Se desenează o linie de aproximare pe diagrama J în raport punctele de extensie ale fisurii. Se includ numai punctele în care apare extensia fisurii. Când se produce extensia fisurii numai în zona întinsă punctul trebuie să se plaseze în partea de jos a curbei.

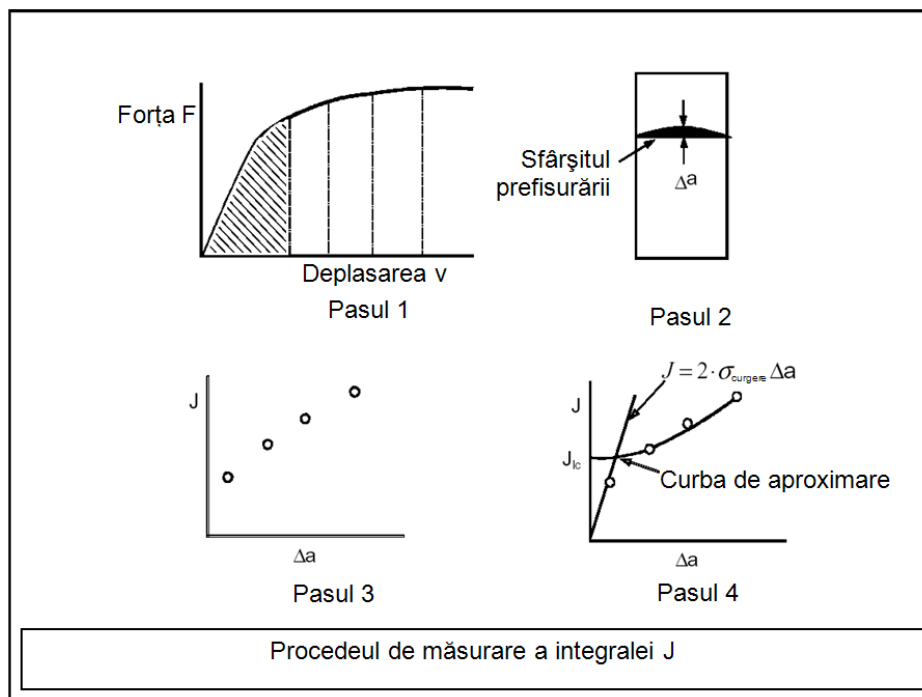


Fig. 3. Etapele pentru determinarea integralei J pe baza ASTM E-813

Se elimină toate punctele care se află deasupra valorii dată de $J_{max}=B_0$verificarea finală a rezultatelor valabile făcându-se prin compararea dimensiunilor probei, B $B_0=W \cdot a_0$, după cum urmează:

$$\alpha = \frac{(a, B \text{ sau } b_0)}{\frac{J_Q}{\sigma_f}} \geq 25$$

2. Metoda energiei pe unitatea de grosime pentru determinarea J_{Ic}

Prima metodă experimentală pentru determinarea integralei J (și anume valoarea sa critică J_{Ic} , în *modul I* de fisurare atunci când are loc propagarea fisurii) a fost prezentată de Begley și Landes în 1972. Metoda se bazează pe definiția integralei $J = \left(-\frac{dW_p}{da} \right)$ și necesită evaluarea grafică a acestei expresii. Metoda este ilustrată în *figura 4* care prezintă schematic procedeul grafic de obținere a J_{Ic} .

Acest procedeu este următorul:

1. Se trasează diagramele încărcare-deplasare pentru un număr de probe prefisurate la diferite lungimi ale fisurilor (a_1, a_2, a_3 , etc.), *figura 4a*. Aria de sub curba încărcare deplasare reprezintă energia pe unitatea de grosime notată cu W_1 . Astfel, aria hașurată din *figura 4a* este egală cu termenul energetic W_1 pentru proba cu lungimea fisurii a_3 încărcată până la deplasarea v_3 ;

2. Pentru anumite valori constante ale deplasării v , se trasează variația energiei W_1 în funcție de lungimea fisurii, *figura 4b*;

3. Pantele negative ale curbelor W_1 - a , respectiv $\left(-\frac{\partial W_1}{\partial a}\right)_{v=const.}$, sunt trasate în raport cu deplasările, pentru orice lungime dorită a fisurii, între cea mai scurtă și cea mai lungă dintre deplasările utilizate în încercare, *figura 4c*. Întrucât energia de deformare elastică a probei este egală cu energia cedată acesteia rezultă că $\left(-\frac{\partial W_1}{\partial a}\right)_v$ este egală cu $\left(-\frac{\partial W_a}{\partial a}\right)_v$. În secțiunea 4.2 din curs, definiția energetică a lui J a fost dată astfel:

$$J = -\frac{dW_p}{da}$$

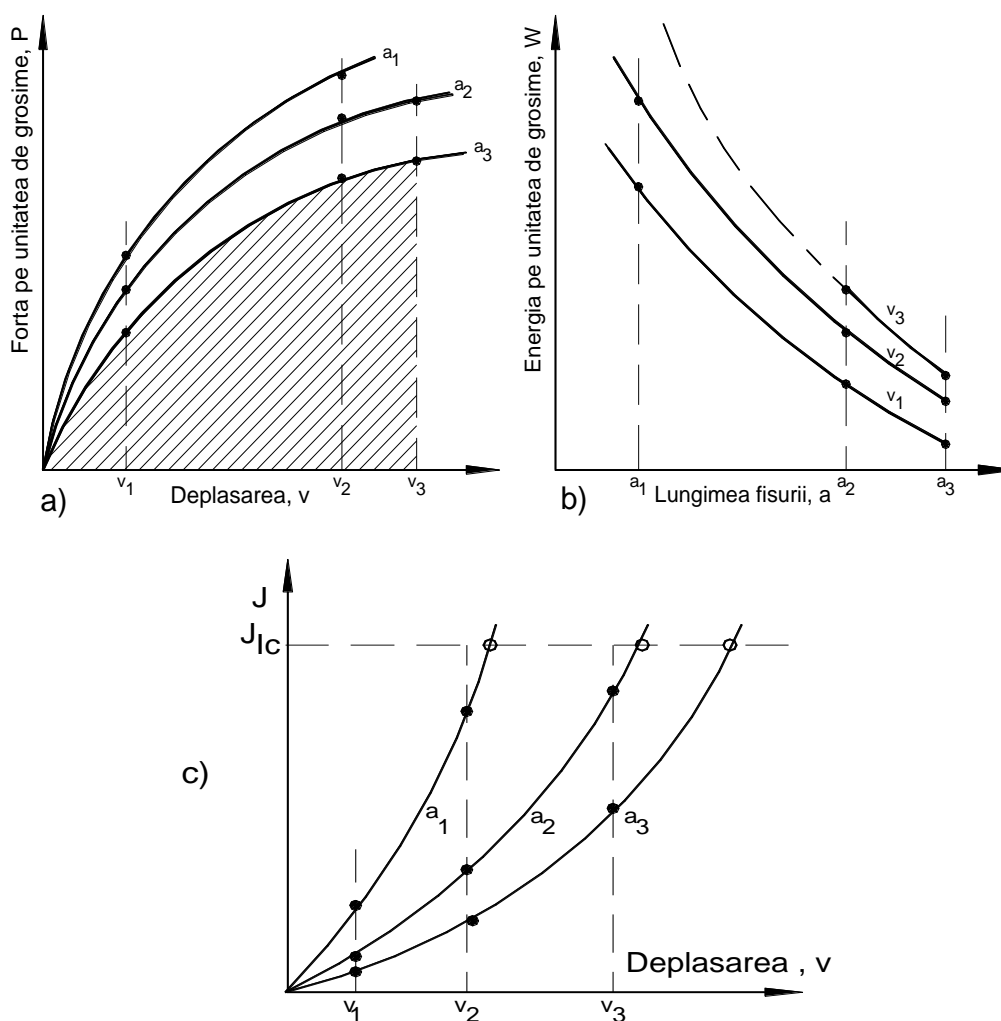


Fig. 4. Procedul grafic utilizat pentru determinarea J_{IC}

Întrucât pentru propagarea fisurii, în condițiile în care proba este fixată, nu se efectuează lucru mecanic prin sistemul de încărcare rezultă că:

$$J = -\left(\frac{\partial W_p}{\partial a}\right)_v = -\left(\frac{\partial W_e}{\partial a}\right)_v$$

Ca urmare, *figura 4c* prezintă în fapt curbele J - v pentru anumite lungimi ale fisurilor.

4. Cunoașterea deplasărilor v , atunci când are loc începutul propagării fisurii, necesită determinarea J_{IC} din curba J - v pentru fiecare lungime inițială a fisurii. În *figura 4c*

valoarea lui J_{Ic} este prezentată schematic ca fiind constantă (caz ideal) și așa și trebuie să fie dacă admitem că integrala J este un criteriu propriu pentru începutul propagării fisurii. Punctul slab al acestei proceduri îl reprezintă determinarea deplasării critice. Pentru unele materiale, punctul de maxim al diagramei încărcare-deplasare coincide cu începutul propagării fisurii. Pentru alte materiale sunt necesare procedee suplimentare de identificare a începutului propagării fisurii. Acest procedeu implică un număr destul de mare de date utilizate și trasarea anumitor grafice care trebuie să se facă cu o acuratețe foarte bună. În aceste condiții, se pot introduce erori în fiecare pas al abordării acestei proceduri. Fiind în legătură directă cu definiția energetică a integralei J , această metodă este de referință pentru verificarea celorlalte metode.

3. Încercarea standard pentru determinarea J_{Ic}

Standardul care propune determinarea J_{Ic} este ASTM E813. Acest standard descrie determinarea J_{Ic} utilizând încercarea de încovoiere prin trei puncte a unei bare cu creștătură de tip SENB și a unei bare compacte de tip CT supuse la tracțiune. Din punct de vedere al geometriei, acestea sunt asemănătoare cu cele utilizate pentru determinarea K_{Ic} (figura 5.1 și figura 5.3 din curs) prezentând anumite detalii diferite. Pentru ambele configurații de probe relația de calcul pentru integrala J are forma generală:

$$J = \frac{2W}{bB} f\left(\frac{a}{w}\right)$$

în care $f\left(\frac{a}{w}\right)$ depinde de configurația și dimensiunile probei.

Încercarea standard revizuită

În 1989 a fost publicată o versiune revizuită a standardului ASTM E813. În acest standard se propune a se utiliza aceeași geometrie a probei dar integrala J este evaluată în mod diferit. Deplasarea pe direcția încărcării este împărțită în două: o parte elastică și una plastică: $v = v_{el.} + v_{pl.}$. În consecință, revizuind ecuațiile (7.11 – din curs- cap. 7) cu încărcarea P definită pe *unitatea de grosime* se poate scrie:

$$J = \frac{1}{B} \int_0^P \left(\frac{\partial v}{\partial a} \right)_P dP = \frac{1}{B} \int_0^P \left(\frac{\partial v_{el.}}{\partial a} \right)_P dP + \frac{1}{B} \int_0^P \left(\frac{\partial v_{pl.}}{\partial a} \right)_P dP = J_{el.} + J_{pl.}$$

Dacă se consideră complianța probei, componenta elastică a deplasării va fi:

$$v_{el.} = c \cdot P$$

Ca urmare, vom avea:

$$J_{el.} = \frac{1}{B} \int_0^P \left(\frac{\partial v_{el.}}{\partial a} \right)_P dP = \frac{1}{B} \int_0^P \left(\frac{\partial (c \cdot P)}{\partial a} \right)_P dP = \frac{P^2}{2B} \frac{\partial c}{\partial a} = G = \frac{1-\nu^2}{E} k_I^2$$

Intrucât probele SENB și CT au aceeași geometrie ca și cele folosite pentru determinarea K_{Ic} , K_I poate fi calculată utilizând relațiile (5.23) și (5.29) – curs- cap. 5. Utilizând același raționament ca cel prezentat în secțiunea anterioară, partea plastică a lui J , $J_{pl.}$ poate fi raportat la aria de sub curba $P-v_{pl.}$. Până la valoarea curentă a lui $v_{pl.}$, standardul ASTM utilizează relația:

$$J_{pl.} = \frac{\eta W_{pl.}}{B_N b}$$

unde: - η este un factor ce depinde de lucrul mecanic $W_{pl.}$ efectuat pentru deformarea

$$\text{plastică} \begin{cases} 2 & \text{pentru proba SENB} \\ 2 + 0,522 \frac{B_N}{W} & \text{pentru proba CT} \end{cases}$$

- B_N reprezintă grosimea netă a probei care este egală cu B dacă nu sunt prezente creștături laterale.

Figura 5 ilustrează modul în care este calculat lucrul mecanic $W_{pl.}$

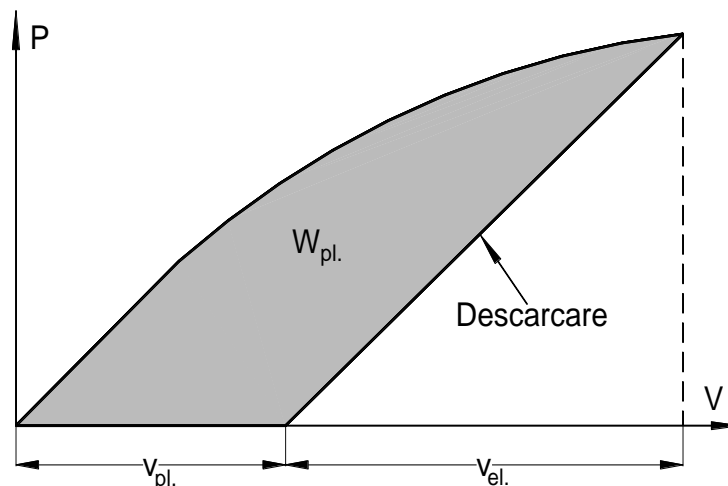


Fig. 5. Reprezentarea lucrului mecanic pentru deformarea plastică

Mai întâi este determinat lucrul mecanic total W prin integrarea curbei $P-v$ fiind extrasă apoi partea elastică. Această parte este egală cu $\frac{P \cdot v_{el}}{2}$ sau, utilizând complianța C a probei, egală cu $\frac{CP^2}{2}$. În mod clar, C trebuie să fie determinat din afara acestei proceduri. De notat de asemenea că valoarea lui C depinde de lungimea curentă a fisurii. C poate fi determinat fie prin calculul cu formula dată în standardul ASTM care este în funcție de lungimea fisurii, dimensiunile probei și modulul lui Young, fie prin măsurarea directă pe baza descărcării parțiale în timpul încercării.

Procedeu pentru determinarea J_{Ic}

Pașii necesari a fi parcurși în vederea determinării J_{Ic} sunt următorii:

- 1) Selectarea tipului de probă (probă de încovoiere cu creștătură sau probă compactă) și pregătirea desenelor de execuție;
- 2) Fabricarea probei;
- 3) Prefisurarea prin oboseală;
- 4) Confecționarea dispozitivului pentru măsurarea deplasării la deschiderea fisurii;
- 5) Încercarea probei (încovoiere, respectiv tracțiune);
- 6) Analiza datelor obținute pe baza încercării;
- 7) Determinarea provizorie a J_{Ic} (J_Q);
- 8) Încercarea finală pentru validarea J_{Ic} .

Atât pentru proba de încovoiere (SENB) cât și pentru cea de tracțiune (CT), lungimea fisurii inițiale (creștătura plus prefisura obținută prin oboseală) trebuie să fie mai mare de $0,5W$ pentru a fi siguri de validitatea formulei utilizată în vederea calculului integralei J . Lungimea maximă este $0,75W$, în timp ce valoarea optimă, utilizată cel mai mult în experimente, este considerată a fi $0,6W$. O trăsătură specială a determinării J_{Ic}

DETERMINAREA INTEGRALEI J PE BAZA SOLICITĂRII LA TRACȚIUNE A PROBEI COMPACTE este aceea că dispozitivul cu mărci tensometrice trebuie poziționat pe direcția solicitării. Pentru proba CT forma creștăturii inițiale este diferită de cea utilizată pentru determinarea K_{Ic} , figura 6.

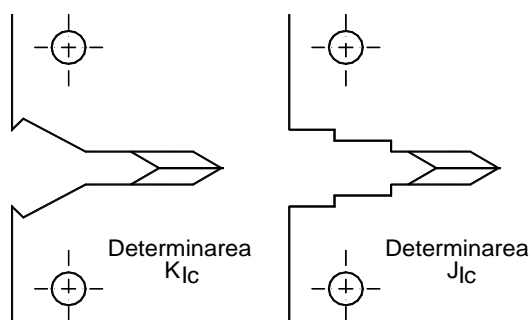


Fig. 6. Crestătura inițială a probei C.T.

Trebuie notat faptul că, creștătura inițială pentru determinarea J_{Ic} nu este recomandată în mod absolut. Același lucru este valabil și pentru proba SENB. Experiența a arătat că o creștătură inițială dreaptă este de obicei suficientă.

În vederea obținerii unui vârf ascuțit al fisurii, proba trebuie să fie prefisurată prin oboseală, cu încărcarea maximă nedepășind 40% din limita de încărcare pentru colapsul plastic P_L care poate fi calculat astfel:

$$\begin{cases} \text{proba SENB} & P_L = \frac{4B(W-a)\sigma_0}{3S} \\ \text{proba CT} & P_L = \frac{B(W-a)\sigma_0}{W+a} \end{cases}$$

în care σ_0 este numită tensiune de curgere și este în mod obișnuit media dintre limita de curgere σ_c și rezistența la tracțiune σ_m . În cadrul încercării pentru determinarea J_{Ic} trebuie luate anumite precauții în cadrul controlului deplasărilor în vederea obținerii unei propagări stabile a fisurii pentru toate încercările. În acest sens este de preferat să se utilizeze o mașină de încercat cu control electronic asupra deplasărilor.

Pentru determinarea J_{Ic} pe baza încercării unei singure probe trebuie utilizate anumite tehnici în vederea măsurării propagării curente a fisurii în timpul încercării, acest lucru permițând determinarea curbei de rezistență J .

O metodă frecvent utilizată pentru monitorizarea lungimii fisurii o reprezintă tehnica complianței cu descărcare. După încărcarea probei, până să apară mici propagări ale fisurii, se face o descărcare parțială și subsecvențială, figura 7.

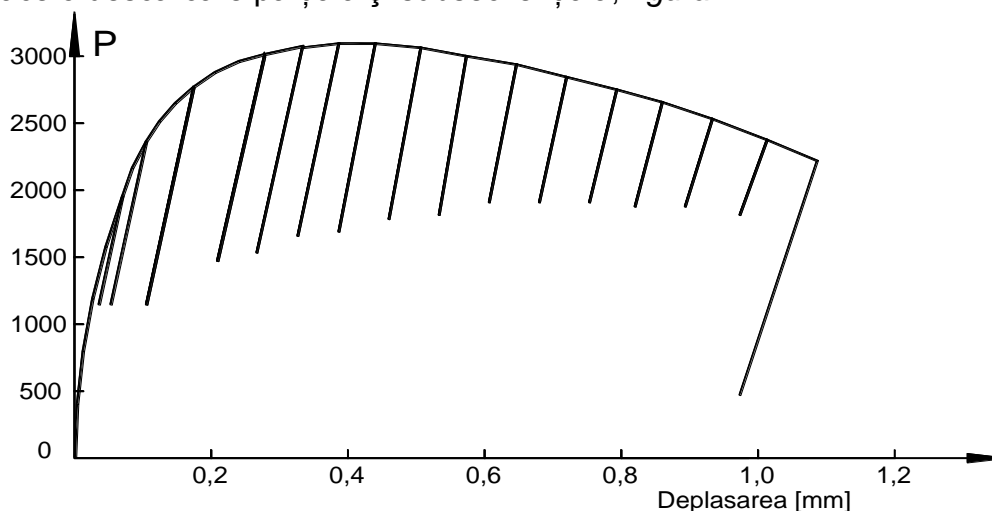


Fig. 7. Exemplu pentru tehnica complianței la descărcare

Pentru a evita o anumită influență a plasticității asupra rezultatelor încercării, descărcarea maximă trebuie să fie mai mică de 50% din încărcarea curentă sau de aproximativ 20% din P_L . În diagrama încărcare-deplasare ($P-v$), acest procedeu de încărcare este reflectat în prima parte a liniei complianței elastice pentru descărcare. Din rezultatele complianței elastice C , poate fi calculată lungimea instantanee a fisurii a și ca urmare poate fi calculată propagarea fisurii ca fiind $\Delta a = a - a_0$. ASTM E 813 prezintă formularea ecuației pentru dimensiunea lungimii fisurii a/W relativă la dimensiunea complianței pentru probele SENB și CT. Valorile curente pentru a , Δa , P și curba $P-v$ până la deplasarea curentă conduc la un punct de pe curba $J-\Delta a$. Prin respectarea acestui proces de un număr de ori, se poate obține curba de rezistență J pe baza unei singure încercări. Un dezavantaj al acestei metode îl constituie faptul că, acuratețea liniei de complianță la descărcare necesită echipament corespunzător și suficientă îndemânare experimentală. Atât pentru determinările în care se utilizează mai multe probe cât și în cazul determinării în care se utilizează o singură probă, după măsurarea fisurii propagate proba se rupe. De notat că, pentru procedeul ce utilizează o singură epruvetă, aprecierea lungimii fisurii propagate este determinată în mare măsură de acuratețea tehnicii complianței la descărcare. Pentru a putea măsura fisura propagată, trebuie să se facă distincție între propagarea Δa și fisurarea reziduală ce apare la ruperea prin deschiderea probei după încercare, *figura 8*.

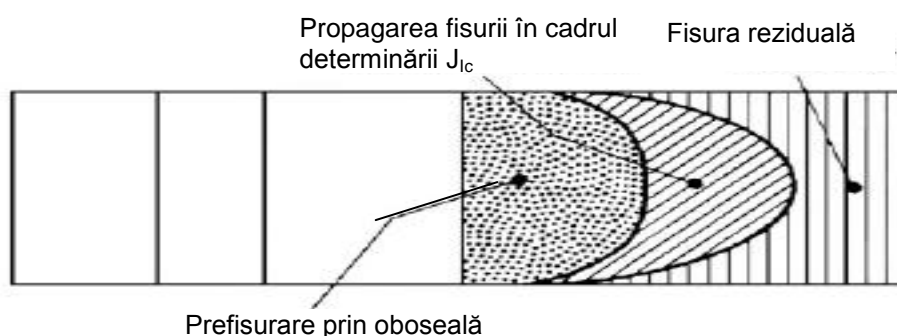


Fig. 8. Schematizarea propagării fisurii

De obicei, probele utilizate la determinarea J_{Ic} sunt relativ subțiri astfel că apare o tendință de „aplatizare” a vârfului fisurii, atât în cadrul prefisurării cât și în cazul încercărilor efective. Experiența a arătat că, pentru obținerea unor valori corecte pentru J și J_{Ic} este necesar a se lua media a cel puțin 9 măsurători pentru a și Δa , cu spații egale de-a lungul grosimii probei.

Analiza datelor experimentale și determinarea J_{Ic}

Analiza datelor experimentale are în vedere calculul valorilor lui J pentru anumite creșteri Δa ale fisurii. Partea elastică a fiecărei valori a lui J , J_{el} , se poate calcula cu relația (7.25) prin substituirea valorii lui K_I corespunzătoare încărcării și lungimii fisurii în momentul în care se atinge valoarea Δa a propagării fisurii.

Dreapta de ecuație $J=2\sigma_0 \cdot \Delta a$ și curba aproximativă sunt influențate de lucrul mecanic de „întărire”. Pentru un lucru mecanic de „întărire” mai mare, panta dreptei inițiale este mai mică, iar curba $J-\Delta a$ este mai abruptă. În aceste condiții șansele de eroare în ceea ce privește estimarea J_Q sunt mai mari, *figura 9*.

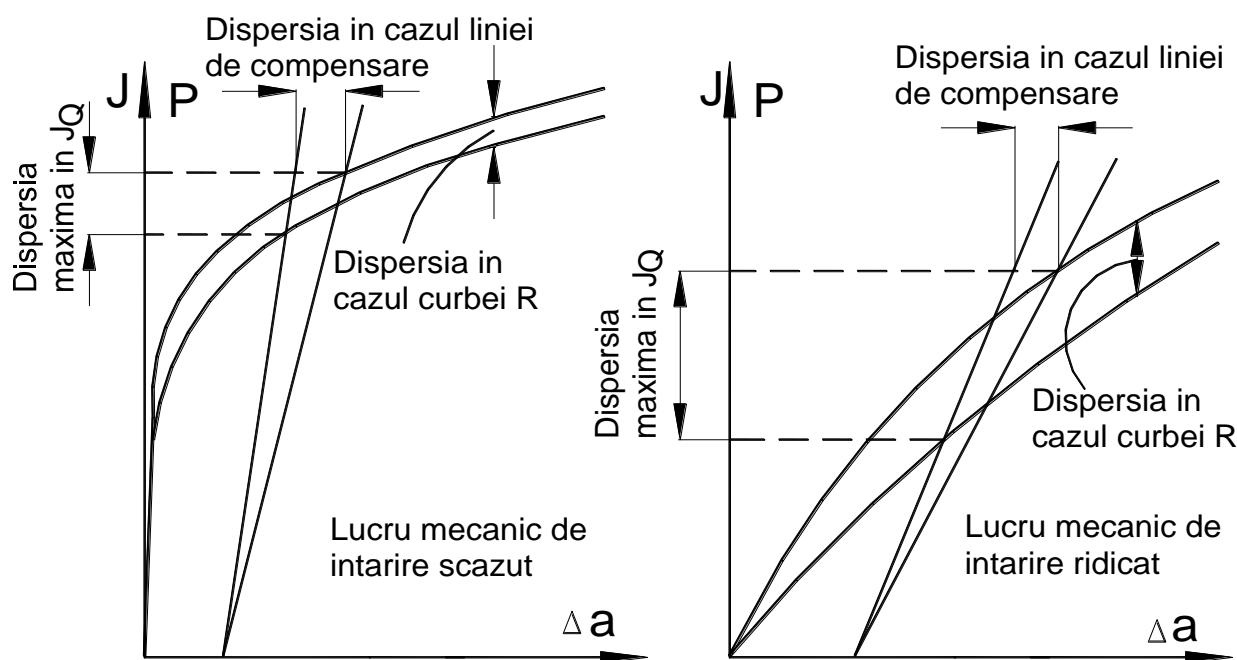


Fig. 9. Influența lucrului mecanic de întărire asupra erorii de estimare a J_Q

În cadrul standardului ASTM acest inconvenient este eliminat într-o oarecare măsură dacă se impune condiția ca panta curbei în J_Q să fie mai mică decât σ_0 .

Dreapta inițială are ecuația $J = \delta_t \cdot \sigma_0$. În concordanță cu standardul ASTM aceeași dreaptă are ecuația $J = M \cdot \delta_t \cdot \sigma_0$ în care $M = 1 \div 3$, de obicei $M = 2$. În aceste condiții, panta acestei drepte este mai abruptă și ca urmare va rezulta o supraestimare a lui J_Q , arătată în figura 10. Experimentele arată că supraestimarea lui J_Q poate fi mai mare de 10%.

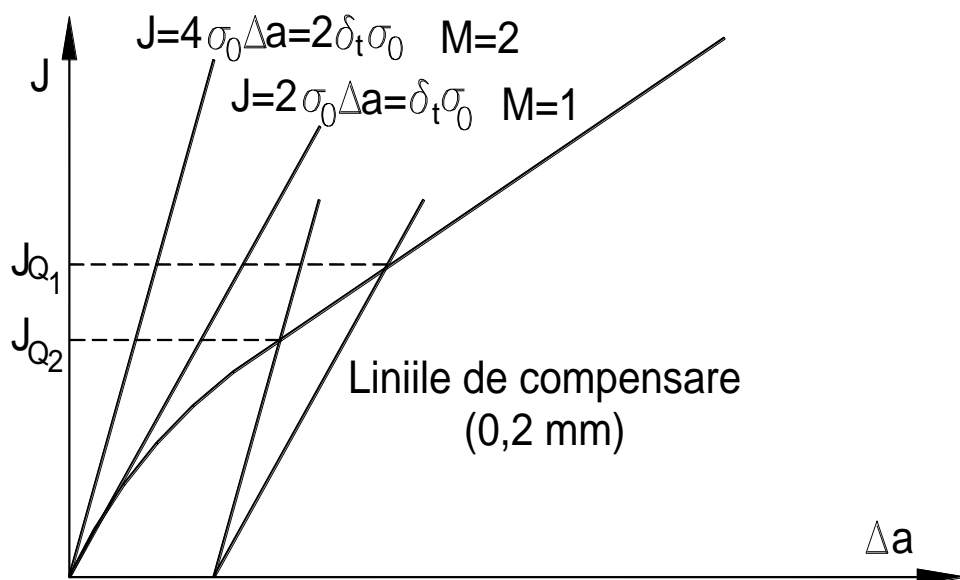


Fig. 10. Influența relației dintre J și δ_t asupra lui J_Q

Linia de excludere de la 0,15 mm asigură faptul că Δa este mai mic de 0,15 mm și integrala J poate fi determinată cu o destul de bună acuratețe. Linia de excludere de la 1,5 mm asigură faptul că Δa este în general mai mică de 6% din lungimea zonei nefisurate pentru probele SENB și CT propuse pentru determinarea J_{Ic} și acest lucru arată că, până la această valoare a propagării fisurii, relația pentru integrala J rămâne valabilă. Trebuie

să notăm faptul că, procedeul de încercare în concordanță cu ASTM E813 permite determinarea numai a J_{Ic} (sau J_Q). Sunt standardizate de asemenea procedee de încercare pentru determinarea curbei de rezistență J în ansamblu, implicând creșteri mari ale propagării stabile a fisurii în vederea determinării J_{Ic} . Cu ajutorul curbei rezultate, se cuantifică efectul creșterii stabile a fisurii în materialul cu o anumită rezistență la fisurare în regim elasto-plastic. Procedeul utilizat pentru determinarea J_{Ic} descris în această secțiune este restricționat la cazurile propagării fisurii pe baza mecanismelor de distrugere ductilă. În orice caz, integrala J se poate utiliza, de asemenea, pentru a caracteriza începutul ruperii fragile înainte sau în timpul propagării stabile a fisurii. Restricțiile impuse în ceea ce privește constrângerile de la vârful fisurii vor fi în acest caz mai severe. Se pot combina cele trei tipuri de măsurători ale rezistenței la fisurare într-un singur set de reguli experimentale. Sunt incluse aici determinarea K_{Ic} , J_{Ic} , curba de rezistență J , δ_{t-crit} , și de asemenea valorile critice pentru integrala J și δ_t în cazul fisurării fragile. Ideea desprinsă de aici este că, poate fi posibilă evaluarea rezistenței la fisurare utilizând un singur procedeu experimental, și în același timp se minimizează riscul invalidării rezultatelor încercării din cauza comportării aleatorii a materialului.

Dacă evaluarea unui parametru critic de fisurare eșuează este posibil de a determina un alt parametru utilizând aceleași date experimentale.

4. Condiții experimentale prevăzute de ASTM-ul E 813 pentru determinarea integralei J

Dacă un material prezintă sau nu o creștere stabilă a unei fisuri pre-existente reprezintă un element important în evaluarea comportamentului său structural. Dacă sunt satisfăcute anumite criterii de validitate, și se poate determina creșterea Δa a fisurii în raport cu încărcarea, în anumite circumstanțe mărimea dată de J -integral obținută din curba JR poate fi considerată, ca o proprietate material. Partea inițială a curbei JR este utilizată în ASTM-ul E813-81 ca procedură standard pentru determinarea tenacității la fisurare J_{Ic} . Acest standard prevede o procedură experimentală pentru determinarea valorii J_{Ic} care se presupune a fi o măsură tenacității inițiale.

Domeniul de aplicare

Această metodă de testare permite determinarea J_{Ic} , care poate fi utilizată pentru estimarea tenacității la fisurare în apropierea propagării lente, stabile, a fisurilor, pentru materiale metalice. Se aplică pieselor ce prezintă defecte sub formă de fisuri ascuțite propagate prin oboseală. Probele recomandate se supun solicitărilor de încovoiere sau tracțiune și conțin fisuri inițiale. Viteza de încărcare este mică, încercarea fiind statică, influența mediului înconjurător asupra propagării fisurii fiind considerată neglijabilă.

Pentru solicitarea de tracțiune se recomandă proba compactă CT (compact tension) ce respectă proporționalitatea $a_0/W=0,5\div 0,7$.

Dimensiunile probei vor fi în funcție de raportul dintre integrala J și limita de curgere a materialului. Prin urmare, pentru a determina dimensiunile piesei trebuie să avem în vedere rezultatele aproximative care se așteaptă a fi obținute. Alte configurații ale probei decât cele stabilite de standardul ASTM E813 implică cerințe suplimentare de validitate a rezultatelor.

Această metodă se aplică în cazul pieselor cu o comportare ductilă la rupere. Sunt două tehnici prin care se poate obține curba J - Δa :

- Utilizarea mai multor probe atunci când fiecare dintre acestea este solicitată până la o anumită valoare a solicitării înregistrându-se lungimea fisurii propagate;

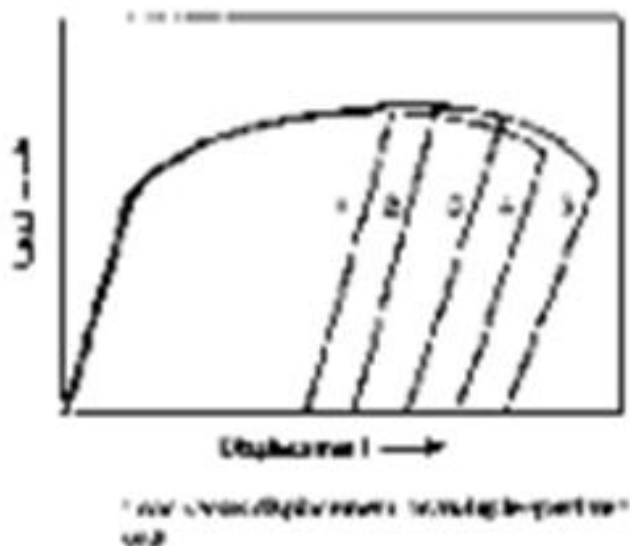


Fig. 11. Utilizarea mai multor probe

- Utilizarea unei singure epruvete caz în care este utilizată metoda complianței pentru monitorizarea lungimii fisurii propagate.

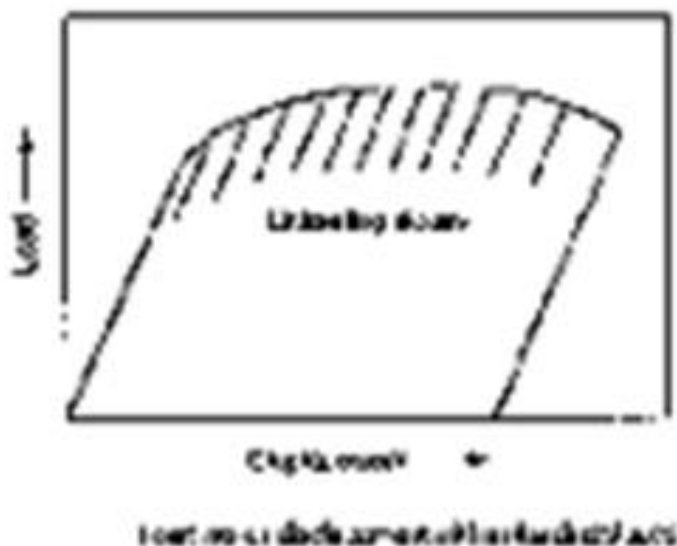


Fig. 12. Utilizarea unei probe unice

Amândouă abordări sunt acceptabile, totuși procedeul prin care se utilizează o singură epruvetă este mai practic și mai puțin costisitor. În acest caz epruveta este supusă la solicitarea de oboseală pentru a produce o fisură ascuțită. Proba este încărcată cu controlul deplasării pentru a ne asigura că propagarea fisurii se face în mod stabil. În timpul încercării se realizează descărcări parțiale pentru a obține pantele elastice pentru care poate fi dedusă lungimea fisurii.

Integrala J se calculează pe baza datelor privind încărcarea și deplasarea, în fiecare punct în care are loc descărcarea. Integrala J se calculează pe baza unei combinații lineare a termenilor elastic și plastic și este dată de relația:

$$J = J_{el} + J_{pl} = \frac{K^2(1-\nu^2)}{E} + \frac{\eta_{pl}}{Bb} \int_0^{v_{pl}} P dv_{pl}$$

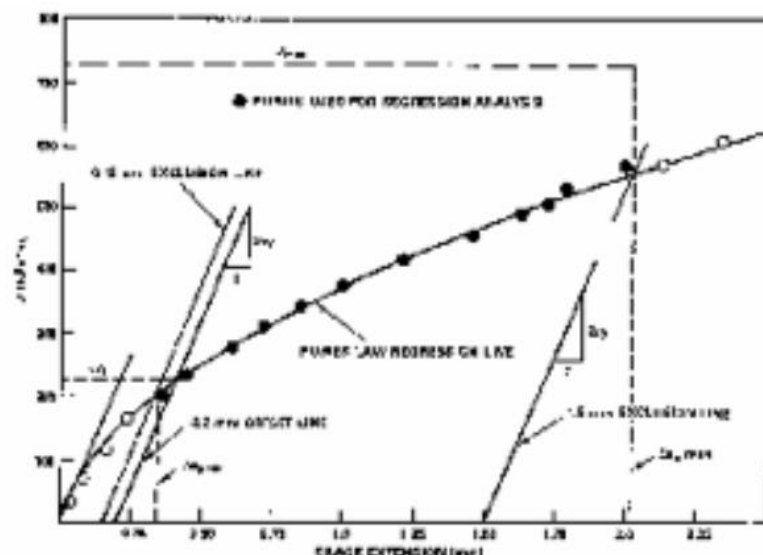


Fig. 13. Curba J în raport cu extensia fisurii

Aceste calcule care sunt efectuate pentru fiecare punct de descărcare sunt reprezentate în funcția de propagarea fisurii Δa .

Validarea mărimii J_Q ca fiind J_{Ic} .

- $B > 25J_Q/\sigma_y$;
- $b_o > 25J_Q/\sigma_y$;
- panta drepte de regresie dJ/da , calculată la Δa_Q să fie mai mică decât σ_y ;
- Să nu existe o comportare fragilă la rupere;
- Să fie îndeplinite cerințele de spațiere;
- Să se verifice alte cerințe privind măsurătorile asupra lungimilor precum și predicții asupra complianței.

Conversia J_{Ic} la K_{Ic} se face cu relația:

$$J_{Ic} = \frac{K_{Ic}^2}{E^*}$$

unde:

- $E^* = E$ pentru starea plană de tensiuni;
- $E^* = E/(1-\nu^2)$ pentru starea plană de deformații.

5. Descriere program

O dreaptă aproximativă este trasată printre punctele de pe diagramă și este calculată în raport cu limita de curgere a materialului, aproximând efectele de întindere de la vârful fisurii. O dreaptă de compensare paralelă cu cea descrisă anterior, este trasată la 0,2 mm de aceasta, intersecția acestora cu curba va defini J_{Ic} .

Parametrii de încercare se pot introduce în ecranul principal prezentat în figura 14. Programul utilizat pentru determinarea J_{Ic} reprezintă o încercare pentru determinarea tenacității la fisurare în condiții cvasi-stactice în care se produce o încărcare și descărcare în mod repetat a probei utilizate (proba compactă) în vederea forțării propagării unei fisuri pornind de la pre-fisura propagată anterior prin oboseală. Încercarea are loc până când fisura ajunge la o lungime pre-specificată a incrementului de creștere sau până când se atinge un număr pre-specificat de cicluri de încărcare-descărcare, moment în care se raportează anumite rezultate și valori ale unor mărimi calculate în mod automat, printre care și valoarea estimată a integralei J, respectiv J_Q . Se pot selecta pentru a fi

DETERMINAREA INTEGRALEI J PE BAZA SOLICITĂRII LA TRACȚIUNE A PROBEI COMPACTE

reprezentate graficele de variație a integrale J în raport cu extensia fisurii sau în raport cu lungimea fisurii, J în raport cu complianța sau factorul de intensitate a tensiunii în raport cu extensia fisurii.

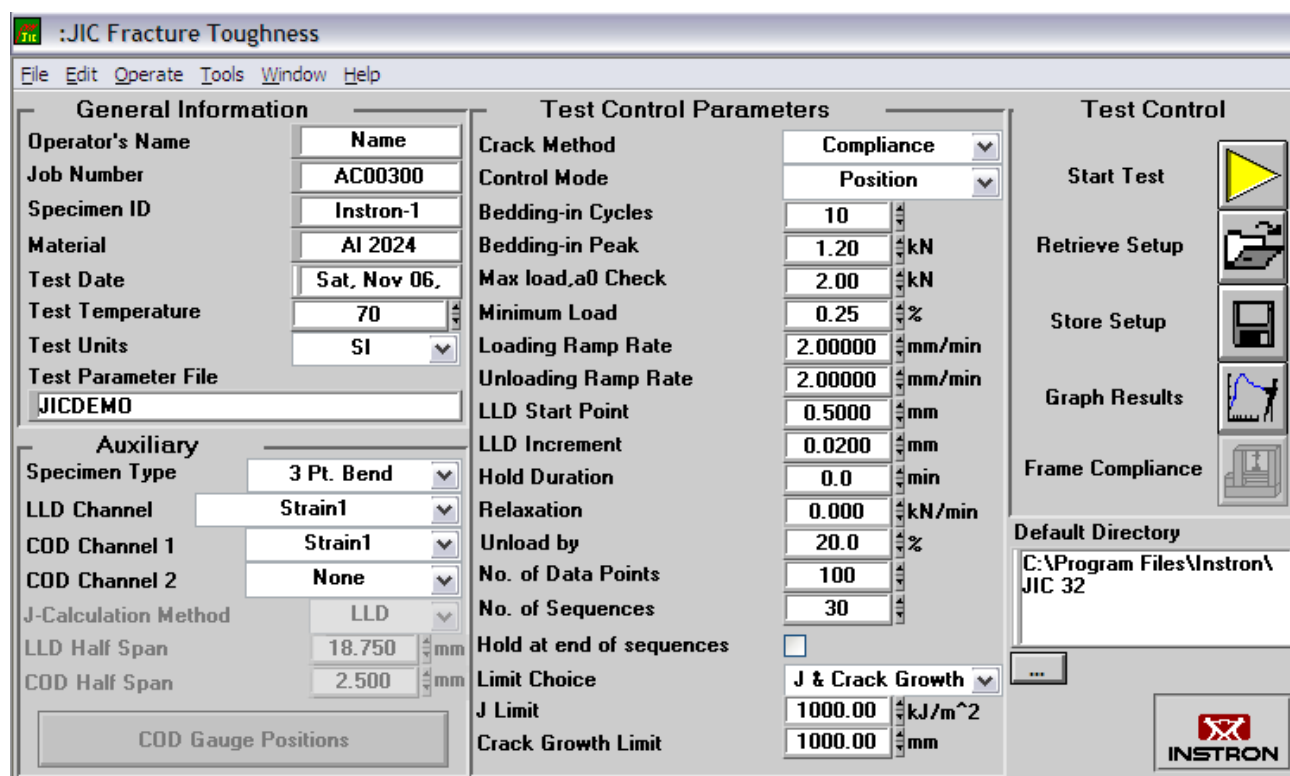


Fig. 14. Ecranul principal al programului

Prin apăsarea click dreapta pe fiecare câmp cu date se deschide o fereastră intermediară care conține butonul *Description and Tip*. Prin apăsarea acestui buton se deschide o nouă fereastră în care se dau explicații asupra semnificațiilor datelor ce trebuie introduse. Același rezultat se obține dacă se deschide *Help-ul* și se apasă pe *Show Context Help* și apoi se apasă pe câmpul cu data a cărei semnificație vrem să o descifrăm.

Mod de control

Acest câmp se utilizează pentru a alege modul de control pentru testare. Controlul prin COD oferă o acuratețe mai mare la descărcare. Controlul prin COD este posibil numai cu probele CT.

Acoperirea în cicluri

Acest câmp se utilizează pentru a introduce numărul de cicluri de tip sinusoidal ce acoperă frecvența de 1Hz. Aceste cicluri vor așeza punctele de aplicare a forței în probă.

Acoperirea în amplitudine

Utilizați acest câmp pentru a introduce amplitudinea undei de 1Hz utilizată în pre-test. Aceasta amplitudine este o jumătate din amplitudinea de la vârf la vârf.

Încărcarea maximă, verificarea lungimii a_0

Acest câmp se utilizează pentru a introduce sarcina maximă în secvența de încărcare / descărcare care este utilizată pentru a determina lungimea fisurii inițiale. Vârfurile de încărcare pentru celelalte două secvențe sunt 60% și 80% din acest vârf.

Viteza de încărcare

Utilizați acest câmp pentru a introduce viteza pentru secvența de încărcare. Viteza de descărcare este de 50% din această valoare.

LPD Start Point

Utilizați acest câmp pentru a introduce punctul de start al deplasării punctelor de aplicație

ale forței pentru prima secvență de încărcare.

LPD Increment

Utilizați acest câmp pentru a introduce incrementul în deplasarea punctelor de aplicație ale forței între secvențele adiacente încărcării/descărcării.

Durata de menținere

Utilizați acest câmp pentru a introduce durata de timp de menținere în secvența de încărcare.

Relaxare

Utilizați acest câmp pentru a introduce pragul de relaxare la terminarea menținerii.

Procent de descărcare

Utilizați acest câmp pentru a introduce procentul din vârful de forță care urmează să fie descărcat pentru cazul de măsurare prin complianță. Acest câmp nu este utilizat atunci când măsoară lungimea fisurii cu metoda DCPD.

Nr de Secvențe

Utilizați acest câmp pentru a introduce numărul total de secvențe de încărcare / descărcare dorit, pentru a efectua testul. Numărul maxim de secvențe permis este de 50.

Nr de puncte de date

Utilizați acest câmp pentru a introduce numărul dorit de puncte de date care urmează să fie preluat în timpul fiecărui ciclu al secvenței de descărcare.

Ecranul care apare după apăsarea butonului start, cunoscut sub numele de **Run-time**, este cel din figura 15. Acest ecran conține grafice care sunt actualizate în timpul încercării, o serie de indicații privind parametrii de testare, și un set de butoane de control al programului.

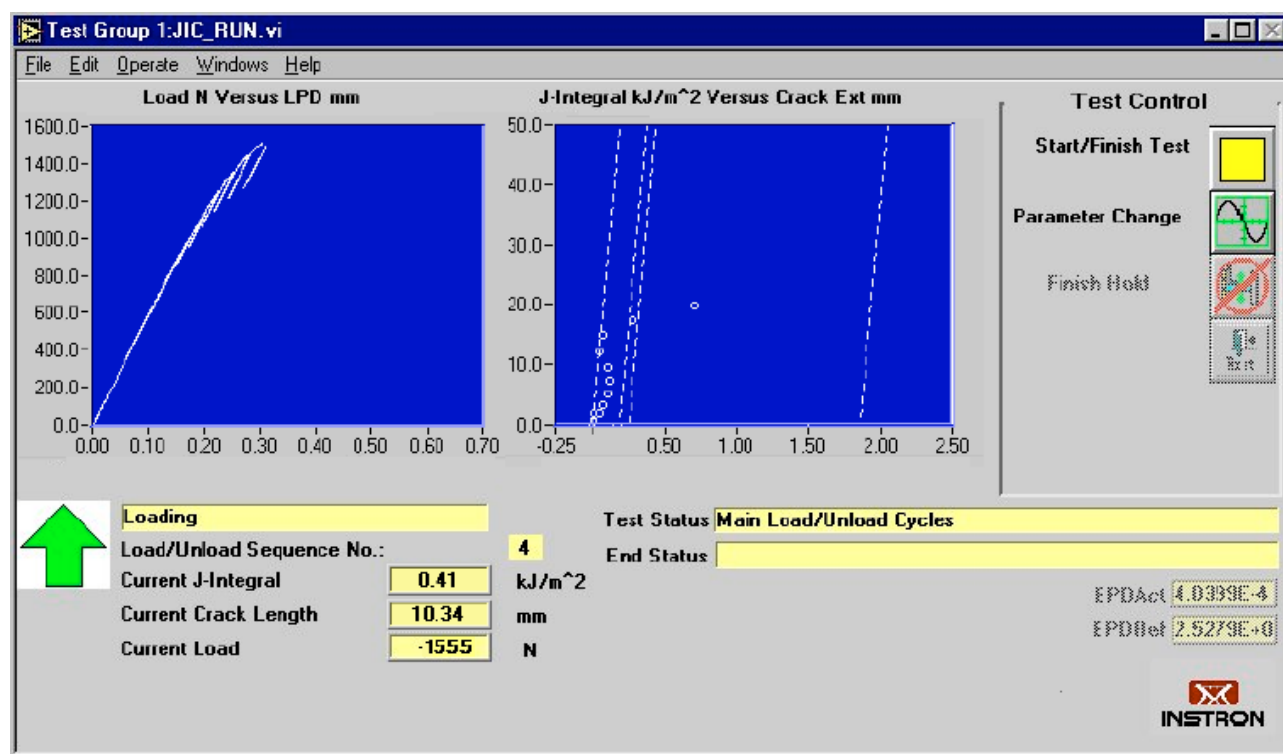


Fig. 15. Ecranul Run-time

6. Mod de lucru

Operațiunile ce trebuie efectuate pentru determinarea J_{Ic} sunt următoarele:

- pregătirea sistemului de încercare pentru un test de determinarea a tenacității la fisurare;

- introducerea parametrilor de testare în programul pentru un nou test sau deschiderea unui fișier deja existent cu parametrii de testare stabiliți anterior;
- rularea programului;
- recuperarea, stocarea, și afișarea rezultatelor testului.

Pentru a rula un test în vederea determinării JIc, se vor face următorii pași:

a) Se pregătește sistemul de încercare:

Atunci când probele se supun încărcării și descărcării trebuie ca acest lucru să se facă cu mare atenție. Orice mișcare neașteptată poate provoca accidente grave și distrugerea echipamentelor.

- 1) Dacă se utilizează un extensometru COD pentru măsurarea deplasării deschiderii flancurilor fisurii, acesta se conectează la consola de pe mașină, înainte de a porni softul „Console” fără a-l monta pe probă;
- 2) Se calibrează toate canalele sistemului de testare, respectiv, forța (calibrare existentă), deplasarea (calibrare existentă) și deformăție (calibrare nouă pentru COD);

Atenție!

Se pot produce vătămări corporale sau deteriorarea echipamentului ca urmare a furnizării de date neașteptate de către actuatori în cazul în care limitele de electronice nu sunt stabilite cu precizie. Asigurați-vă că toate limitele sunt stabilite și că toate cele 6 linii de control, superioare și inferioare, sunt pe culoarea verde.

- 3) Setarea limitelor pentru toate cele trei canale: forță, deplasare și deformăție (de la COD);
- 4) Se pornește sistemul hidraulic. Asigurați-vă că presiunea sistemului hidraulic este setată la presiunea normală de funcționare;
- 5) Se prinde în bacuri proba compactă ce va fi solicitată la tracțiune;
- 6) Asigurați-vă că bucla de modelare a parametrilor de pe canalul de sarcină este stabilită în mod corect. Acest lucru se realizează prin transferul sistemului de testare în controlul forței și efectuarea Auto Loop Shaping.

b). Se stabilește configurația de testare, fie prin introducerea de informații în câmpurile corespunzătoare de pe ecranul principal fie utilizarea unui fișier de date deja existent și salvat la un test anterior;

c). După ce toate câmpurile de pe ecranul principal au fost completate în conformitate cu cerințele utilizatorului se face click pe butonul Start aflat în secțiunea Control Test;

d) Dacă se utilizează numele unui fișier de un test care a fost salvat anterior, sunteți întrebat dacă doriți să suprascrieți fișierul existent. Dacă alegeți Suprascriere fișier, programul trece la etapa următoare și datele de testare vor fi suprascrise. Dacă alegeți „Folosiți Fișier nou”, o casetă de dialog se deschide pentru a vă permite să introduceți un nume pentru fișier.

e) Acum sunteți întrebat dacă sunteți gata pentru a începe testul. Faceți clic pe butonul Start pentru a începe testul. Alternativ, faceți clic pe butonul Finish, dacă doriți să anulați testul.

f) Apare o casetă de dialog cu mesajul: "8500 Remote Control seized by computer ", faceți clic pe butonul OK pentru a continua.

g) Programul rulează acum secvența de cicluri selectată în parametrii de configurare și testare.

În figura 16 este prezentat ecranul afișat în timpul testului ce conține două cicluri de încărcare din care se poate vedea forma undei, numărul secvențelor de încărcare / descărcare și secvențele cu starea curentă de testare.

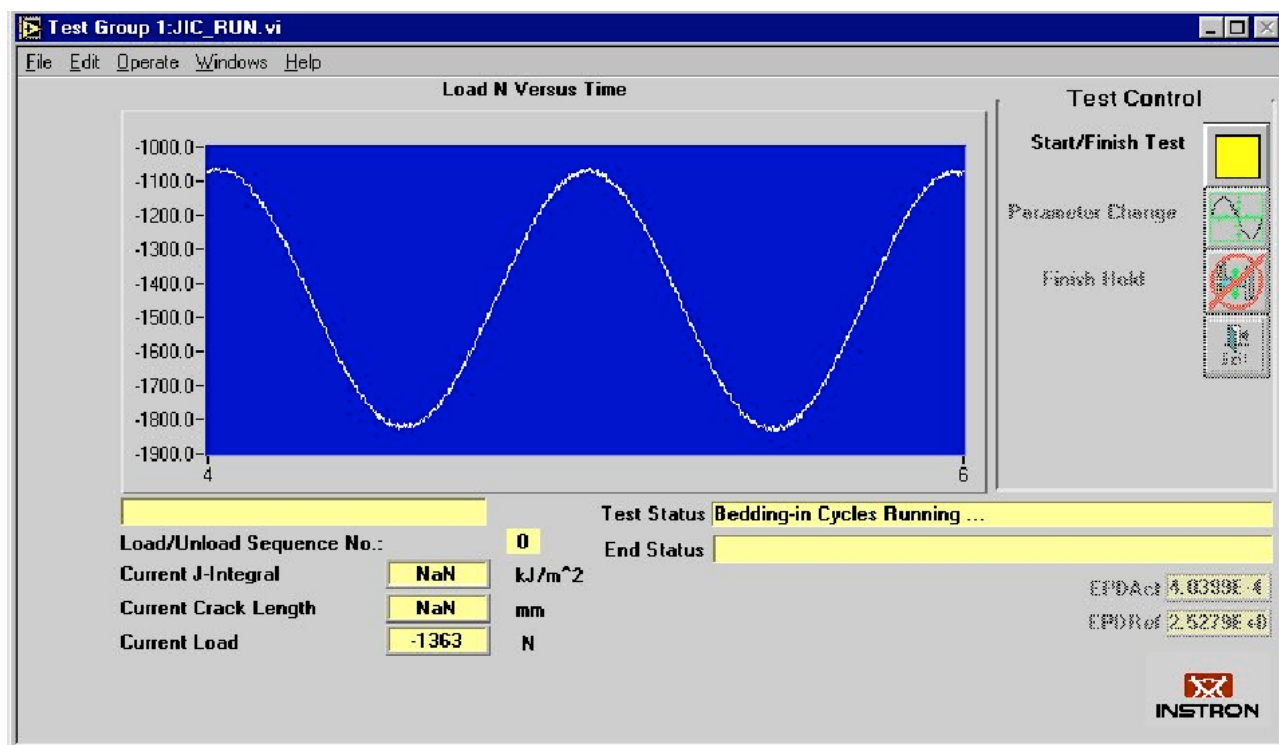


Fig. 16. Ecranul din timpul pre-solicitării

j) Atunci când cele trei secvențe primare de încărcare/descărcare s-au terminat apare mențiunea **Select Initial Crack Length**. Acest ecran furnizează lungimea fisurii, lungimea medie a fisurii și diferența în procente. **Dacă se dorește se introduce o lungime diferită a fisurii**. La final se face click pe OK.

k). Apare din nou pe ecran ecranul de rulare, așa cum se prezintă în figura 17. . Acest ecran conține două grafice în timp real: încărcare în raport cu LPD (load point displacement) și integrala J în raport cu extensia fisurii; săgeata verde arată modul de lucru în timp real: încărcare, descărcare sau menținere. Perioada de menținere oferă relaxarea probei după un ciclu de solicitare.

În timpul încercării se poate suprascrise perioada de menținere făcând click pe butonul Override Hold în secțiunea Test Control a ecranului. Butonul este accesibil doar în timpul perioadei de menținere. Butonul **Parameters** vă permite să modificați parametrii de încercare în timp ce testul se execută. Când faceți click pe acest buton, apare ecranul principal de instalare și puteți introduce noi parametri în același mod ca și cum ați seta din nou acești parametri. Butonul este nedisponibil la unele puncte în timpul testului și nu puteți schimba orice parametri până când acesta nu devine activ din nou. Atunci când testul a finalizat după numărul solicitat de secvențe de încărcare / descărcare, sau atunci când testul este oprit prin intervenția operatorului, butonul Exit în secțiunea Test de control al ecranului devine disponibil. Faceți clic pe acest buton pentru a reveni la ecranul principal de instalare.

Atunci când testul a finalizat numărul solicitat de încărcare / descărcare secvențe, sau atunci când testul este oprit prin intervenția operatorului, butonul Exit în secțiunea Test Control al ecranului devine disponibil. Faceți clic pe acest buton pentru a reveni la ecranul principal de instalare.

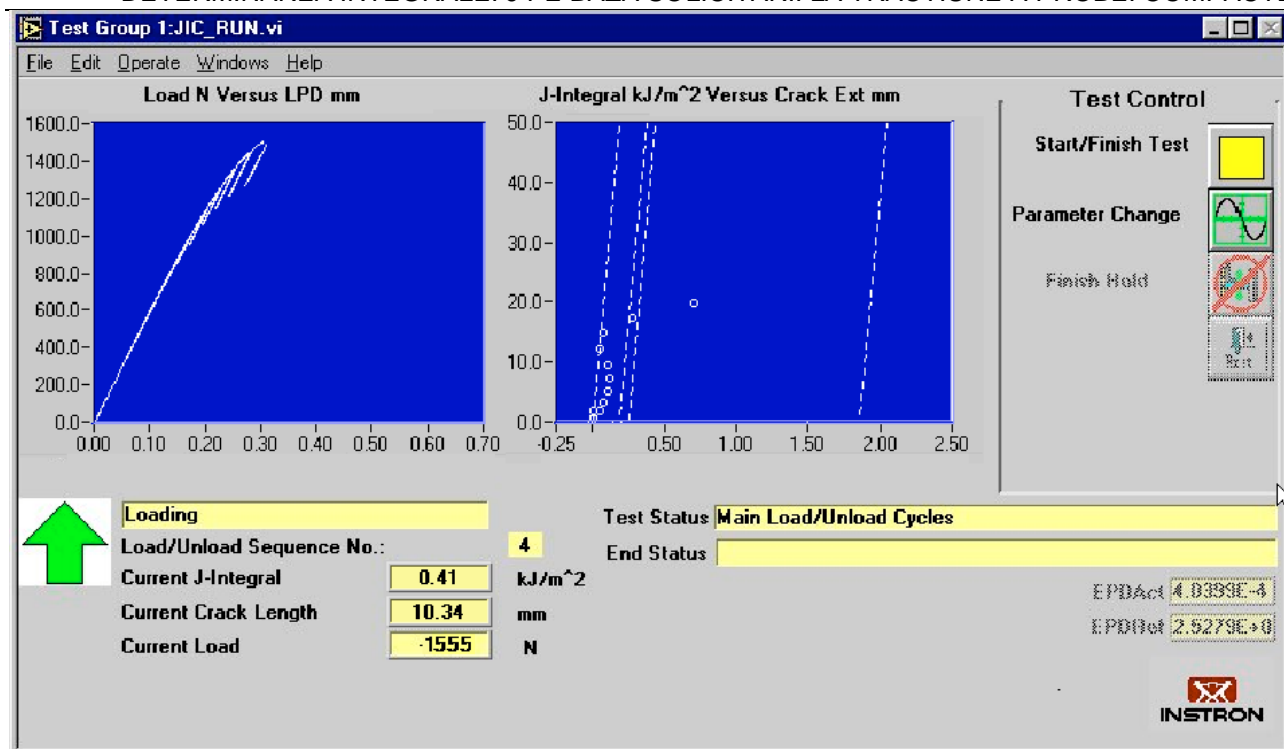


Fig. 17. Ecranul din timpul încercării

Finalizarea încercării se poate face și manual în orice moment al încercării. Se dă click pe butonul **Start/Finish Test**, încercarea se oprește, butonul se schimbă din pătrat în triunghi iar ecranul revine la cel din figura 14.

7. Obținerea și prelucrarea rezultatelor

În momentul în care s-au încărcat un set de date, fie datorită utilizării butonului **Retrieve Setup** care încarcă datele din testul anterior sau datorită faptului că tocmai s-a terminat o încercare, se poate afișa sau printa rezultatele testului făcând click pe butonul **Graph Results** din menu-ul principal. În acel moment softul încarcă fișierul *****.dat**, cu numele (*******) dat în **Test Param File**. Primul ecran care apare este **Set Modulus** în care se pot introduce valorile pentru modulul lui Young, Rezistența la tracțiune și limita de curgere, sau se acceptă valorile deja existente. Când se termină se apasă pe butonul **OK** și va apărea ecranul cu rezultatele pentru J_{Ic} (**JIC Results**), figura 18. Explicații ale elementelor care intervin în această diagramă sunt date în figura 19.

Chiar dacă datele sunt înregistrate în tabelul de date de la începutul încercării, se consideră valabile numai acele puncte care se încadrează între dreptele de excludere ce trec prin deplasările de 0,15 mm și 1,5 mm și sunt paralele cu dreapta de elasticitate. Valoarea integralei J_{Ic} este determinată pentru punctul în care curba de aproximare exponențială se intersectează cu dreapta ce trece prin deplasarea de 0,2 mm și este paralelă cu dreapta de elasticitate.

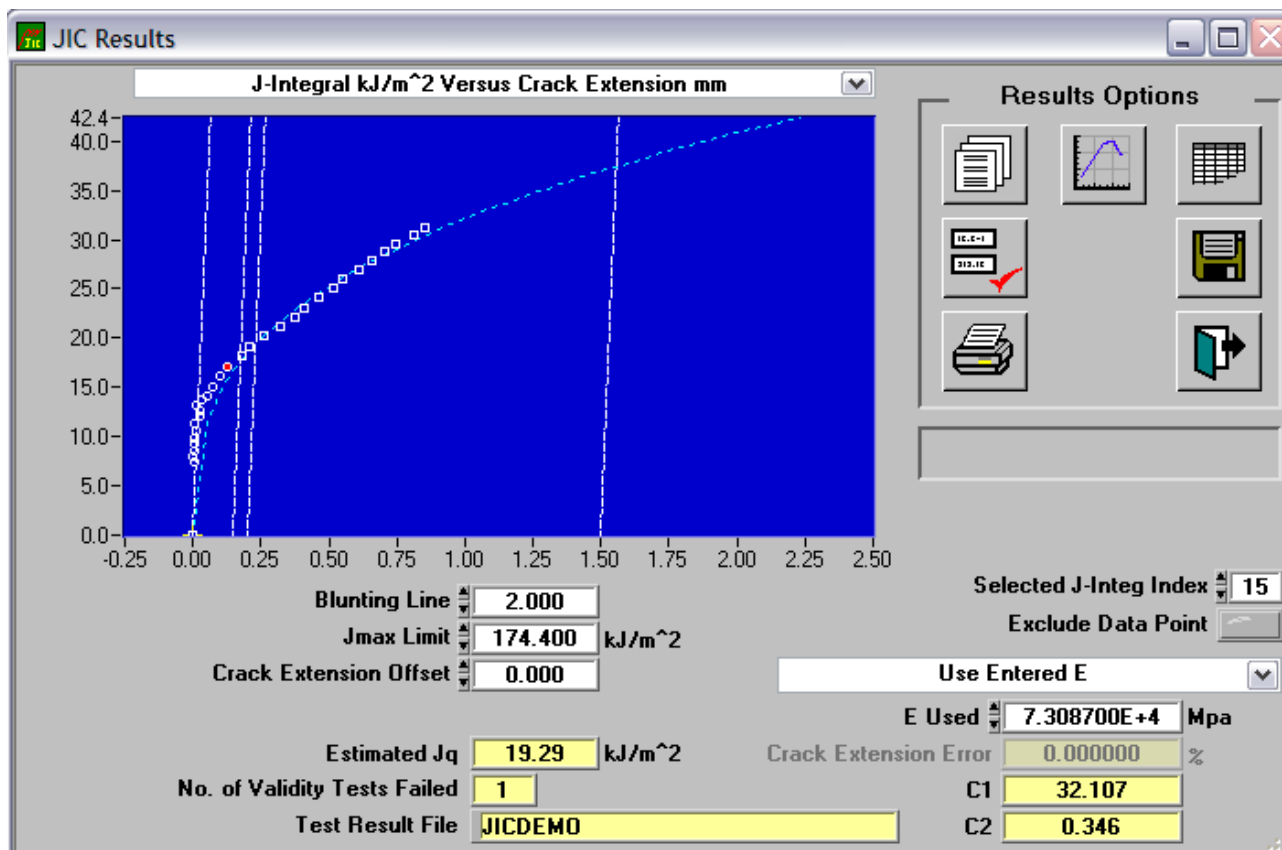


Fig. 18. Ecranul cu datele referitoare la integrala J

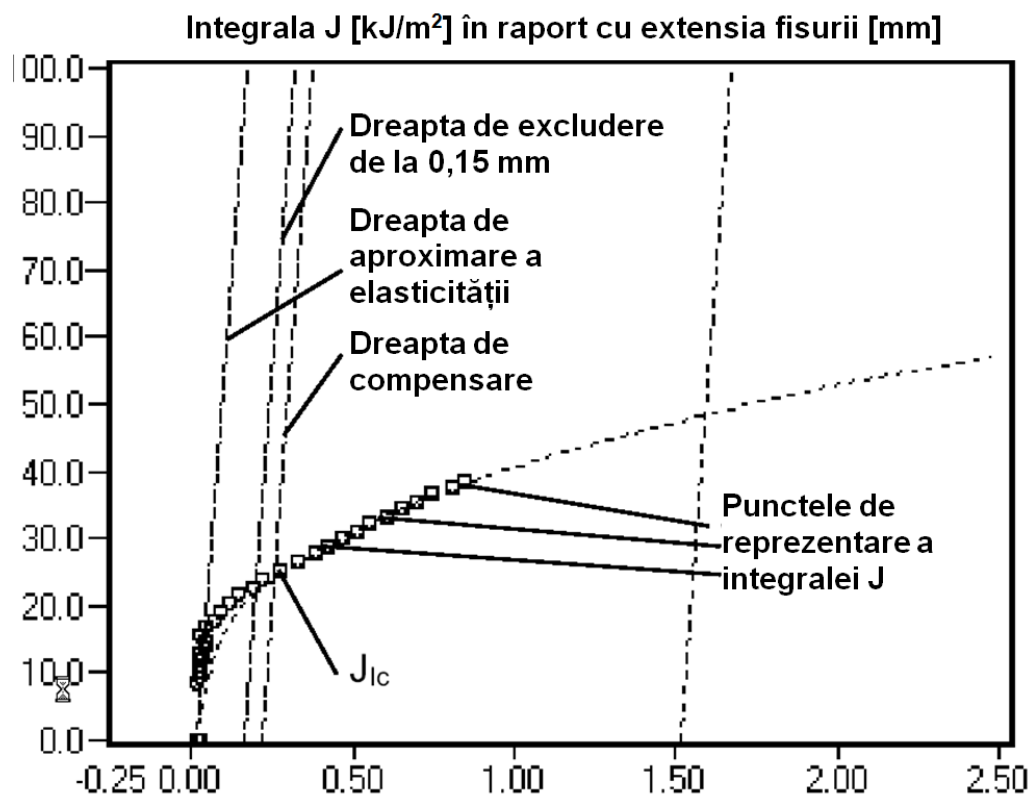
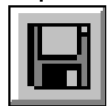


Fig. 19. Elemente explicative asupra graficului integralei J



În acest ecran apar și butoanele pentru rezultate. Butonul **Reports** apar detalii privind identificarea încercării și a probei. Prin click pe OK se avansează la Report Summary în care se prezintă un sumar al rezultatelor încercării, date despre probă și despre lungimea porțiunii nefisurate. Din acest ecran, prin butonul **Crack Front** se avansează la ecranul care prezintă date privind lungimea fisurii, iar prin butonul **Validity** se avansează la ecranul care prezintă mesaje privind invalidități depistate în timpul calculelor.



Butonul **Join Data** unește rezultatele din fișierul file (<filename>.dat) cu fișierul de date raw (<filename>.lop). Rezultatul se regăsește în fișierul <filename>.txt de tip ASCII.

Prin apăsarea butonului **Print** în această fereastră se va obține o copie printată a graficului de variație a integralei J în raport cu extensia fisurii, figura 8.



Prin butonul **Graph Results** se avansează la un ecran intermediar în care se poate alege un anumit grafic de reprezentare a încercării efectuate, respectiv: diagrama forța în raport cu deplasarea preluată de la extensometru (LLD - load line displacement) sau în raport cu (COD – crack opening displacement) și curba de descărcare în raport tot cu LLD - load line displacement. Primul grafic este prezentat în figura 20.

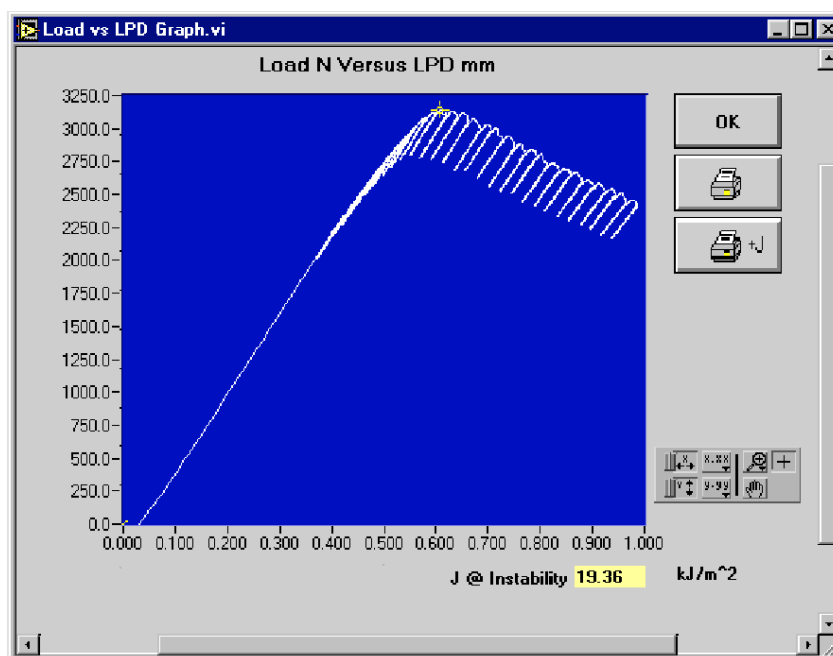


Fig. 20. Graficul Forță în raport cu deplasarea preluată de la extensometru (COD)

Graficul se scalează în mod automat pe baza datelor achiziționate. Se poate printa o copie numai a graficului – Print, sau se poate include și valoarea integralei J – Print+J.