

MECANICA RUPERII

LABORATOR 7

MODELAREA AUTOMATĂ A PROPAGĂRII FISURII

1. Introducere

Procese de rupere pot fi analizate fie la scară microscopică (atomică) fie la scară macroscopică (dimensiunea fisurii).

La nivel microscopic fisurarea pornește de la ruperea legăturilor din aproape în aproape. Dacă această rupere are loc perpendicular pe planul de fisurare apare tendința de clivaj iar dacă are loc paralel cu acest plan (forfecare pură) atunci avem rupere prin alunecare. În cazul *cristalelor perfecte* (fără defecte) se pot determina tensiunile teoretice de rupere prin clivaj sau alunecare. În cazul *materialelor ductile* ruperea este precedată de o importantă deformare plastică datorată creării și deplasării dislocațiilor. În cazul materialelor fragile deformarea plastică, dacă există, rămâne limitată iar ruperea se produce când tensiunea aplicată atinge o valoare critică.

Pentru determinarea tensiunii de rupere prin clivaj a unui cristal perfect se folosește modelul Orowan.

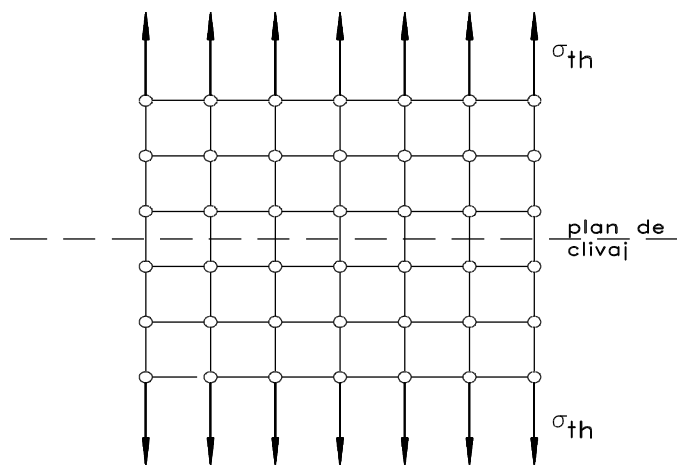


Fig. 1. Clivajul unui cristal perfect

Tensiunea teoretică σ_{th} necesară pentru decoeziunea prin clivaj a unui cristal perfect este:

$$\sigma_{th} = \sqrt{\frac{\gamma_s \cdot E}{b}} \quad (1)$$

în care:

- ❖ γ_s este energia superficială pe unitatea de arie;
- ❖ E este modulul lui Young;
- ❖ b este distanța interatomică.

Pentru determinarea tensiunii teoretice de rupere prin alunecare a unui cristal perfect se folosește modelul Frenkel.

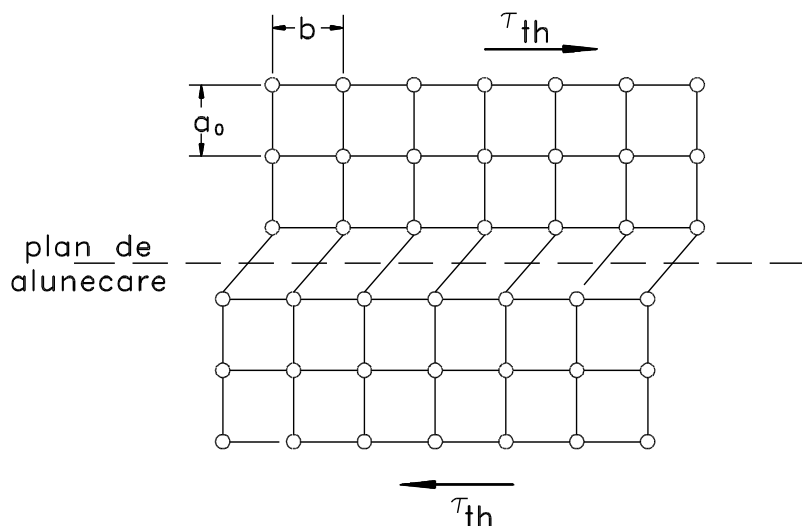


Fig. 2. Ruperea prin alunecare

Tensiunea teoretică τ_{th} necesară decoeziunii prin alunecare a unui cristal perfect este:

$$\tau_{th} = \frac{Gb}{2a_0\pi} \quad (2)$$

în care:

- ❖ G este modulul de elasticitate transversal;
- ❖ b este distanța interatomică măsurată pe direcția alunecării;
- ❖ a_0 este distanța între planele atomice.

2. Comportamentul real al materialelor

Indiferent de tipul ruperii, fragile (rupere prin clivaj) sau ductilă (rupere prin alunecare), tensiunile reale necesare decoeziunii materialului sunt cu mult mai mici față de cele teoretice calculate anterior.

Aceste diferențe apar datorită faptului că în materialele reale există defecte încă din procesul de elaborare a acestora. Acestea sunt în principal defecte de tip fisuri (Griffith) în cazul ruperilor fragile și defecte liniare (dislocații) în cazul deformațiilor plastice.

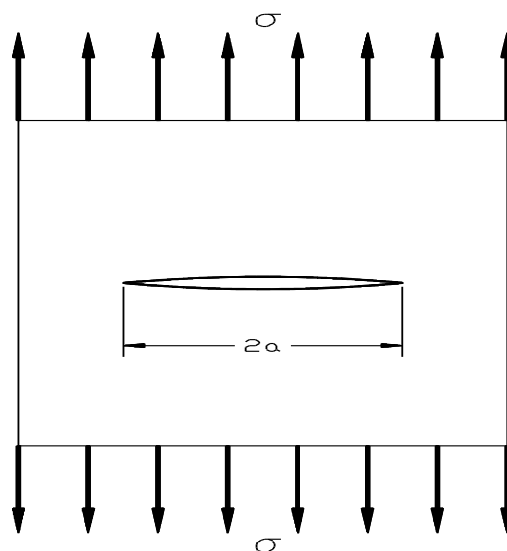


Fig. 3. Fisura Griffith

Pentru determinarea tensiunii necesară rupei unui material real (ce conține o fisură), Griffith propune un criteriu termodinamic, luând în calcul variația totală de energie într-un solid ce conține fisura din *figura 3*.

Prin energie a sistemului se înțelege energia elastică stocată în sistem, energia exterioară și energia superficială necesară creării de 4 noi suprafețe apărute ca urmare a propagării fisurii.

Se obține astfel:

$$\sigma = \sqrt{\frac{2E\gamma_s}{\pi a}} \quad (3)$$

Presupunând că avem o fisură de $2a = 6\mu\text{m}$ iar distanța interatomică $b=3\text{\AA}$ vom avea:

$$\frac{\sigma}{\sigma_{th}} = \sqrt{\frac{b}{a}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 10^{-10}}{3 \cdot 10^{-6}}} = \frac{1}{100}$$

ceea ce arată că o fisură de numai $6\mu\text{m}$ este suficientă pentru a explica că tensiunea de rupere este cu două ordine de mărime mai mică decât tensiunea teoretică de coeziune.

3. Propagarea cvasi-statică a fisurii

Propagarea cvasistatică a fisurii se termină atunci când, presupunând un mecanism de fisurare linear-elastică, creșterea continuă a încercării conduce la instabilitatea propagării fisurii.

Pentru cele mai multe mecanisme de creștere a fisurii, există o relație unică între viteza de propagare v și factorul de intensitate al tensiunii pentru condiții de mediu date. Viteza de propagare a fisurii este independentă de geometria probei și de modul de încărcare.

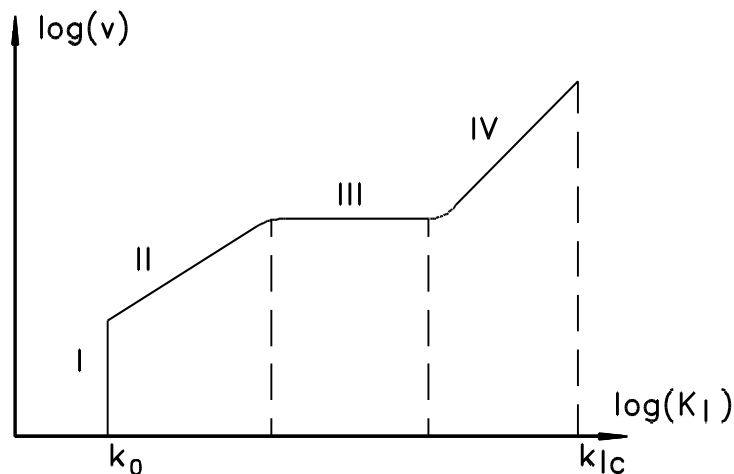


Fig. 4. Variația vitezei de propagare a fisurii

Se pot distinge 4 domenii de creștere a fisurii până să se ajungă la propagarea catastrofală a acestuia.

I. Pentru valori mici ale factorului de intensitate al tensiunii se observă în general că sub valoarea K_{Ic} creșterea este nulă. Acesta este domeniul de lucru în perfectă siguranță.

II + III. În cadrul acestor domenii variația lui v funcție de K_I poate fi descrisă de o lege de forma:

$$v = A \cdot K_I^n$$

în care A și n sunt constante pentru condiții experimentale date și pentru un material dat.

În cazul I, viteza de creștere este controlată prin reacțiile de la vârful fisurii (mecanisme de tip coroziune sub tensiuni) iar în zona II propagarea cu viteză constantă este controlată de difuzii de specii corozive la vârful fisurii.

IV. Acest domeniu se înregistrează pentru valori ale factorului de intensitate al tensiunii mai mari. Aici se produc rupe prin clivaj sau dislocații în avalanșă.

Pentru modelarea propagării fisurii este necesar să presupunem:

- că avem o asemenea încărcare exterioară care duce la inițierea creșterii fisurii;
- direcția propagării fisurii;
- lungimea creșterii fisurii sub încărcare constantă.

Criteriile cel mai des întâlnite care au fost dezvoltate în vederea acestei modelări țin seama de:

- tensiunea de tracțiune circumferențială maximă $\sigma_{(\theta)\max}$;
- nivelul energiei relaxate în cadrul propagării fisurii, $G_{(\theta)\max}$ și $J_{(\theta)\max}$;
- densitatea de energie la tensiune minimă $S_{(\theta)\min}$.

Fiecare din aceste teorii reprezintă mixaje ale modului I și II de propagare a fisurii.

De exemplu ecuația determinată pe baza primei teorii, $\sigma_{(\theta)\max}$ este:

$$1 = \cos \frac{\theta_0}{2} \left[\frac{K_I}{K_{IC}} \cos^2 \frac{\theta_0}{2} - \frac{3}{2} \frac{K_{II}}{K_{IC}} \sin \theta_0 \right]$$

ce reprezintă criteriul de instabilitate în modul mixt, iar direcția propagării fisurii este dată prin:

$$\left[K_I \sin \theta_0 + K_{IC} (3 \cos \theta_0 - 1) \right] = 0, \text{ pentru } \theta_0 \text{ dat în figura 5.}$$

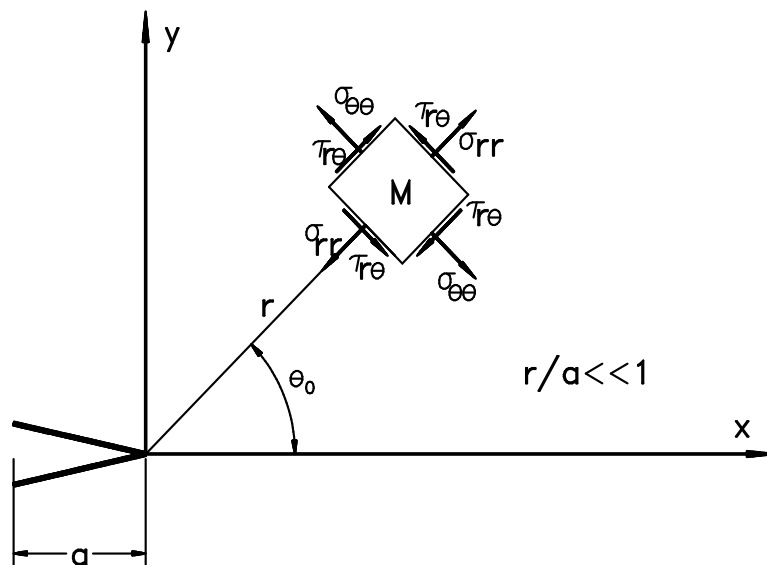


Fig. 5. Sistemul de coordonate polare de vârful fisurii

În general se consideră că energia potențială trece în momentul propagării în energie de suprafață (pentru suprafețele noi formate), iar fisura se propagă în direcția pentru care σ_θ este maximă.

Fisura este instabilă dacă $\sqrt{2\pi\tau}(\sigma_\theta)_{\max} = K_{IC}$

4. Modelarea cu elemente finite

Se încearcă să se modeleze cu ajutorul elementelor finite drumul parcurs de fisură în cazul unei plăci având o fisură străpunsă. Modul de deschidere al fisurii este o combinație a modurilor I și II.

Modalitatea de lucru se bazează pe propagarea fisurii din aproape în aproape.

Pentru început are loc discretizarea modelului prezentat în *figura 6*. Discretizarea se face astfel încât să existe elemente cu patru noduri cu dimensiunile laturilor din ce în ce mai mici spre vârfurile fisurii.

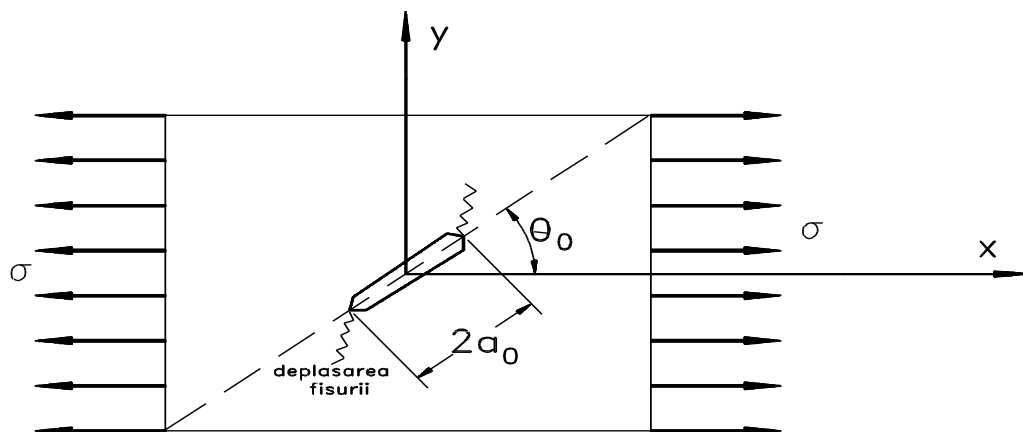


Fig. 6. Modelul fisurii

Se admite că propagarea fisurii se face prin clivaj adoptându-se *criteriul tensiunii maxime*.

După procesare se verifică în care din nodurile rețelei, din imediata apropiere a fisurii preexistente, s-a introdus cea mai mare tensiune.

Se rețin acele noduri într-un tabel de forma:

Nr. nod	coord. X	coord y	Tensiunea σ_{\max}	θ_0

Revenind în programul de desenare se creează o fisură pe direcția nodurilor menționate.

Se reia procesul până când se constată deplasarea semnificativă a fisurii ($a > \frac{a_0}{2}$).

Se trasează apoi traiectoria fisurii ca în *figura 7*.

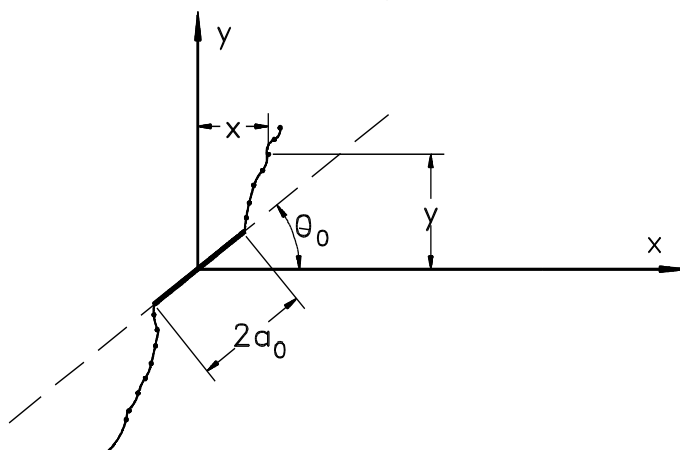


Fig. 7. Traseul fisurii

Pentru fiecare pereche de noduri aflate de o parte și de alta a fisurii se determină și unghiul θ sub care se propagă fisura față de direcția inițială.

Procedeul se va relua având în vedere criteriul energiei de deformării maxime: $U = \frac{\sigma \cdot \varepsilon}{2}$

Pentru aceasta este disponibil un program care efectuează calculul de mai sus pentru fiecare nod în parte. Fisura se va propaga mai întâi în nodul având acumulată cea mai mare energie internă de deformare.

Procedeul de fisurare și calcul este asemănător cu cel aplicat la criteriul σ_{\max} .