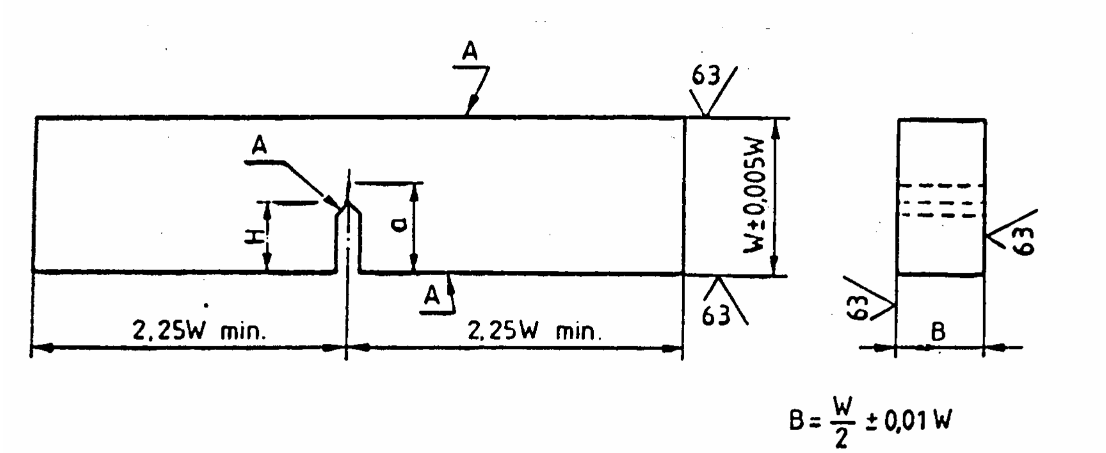
Törésmechanika

(Gyakorlati segédlet)

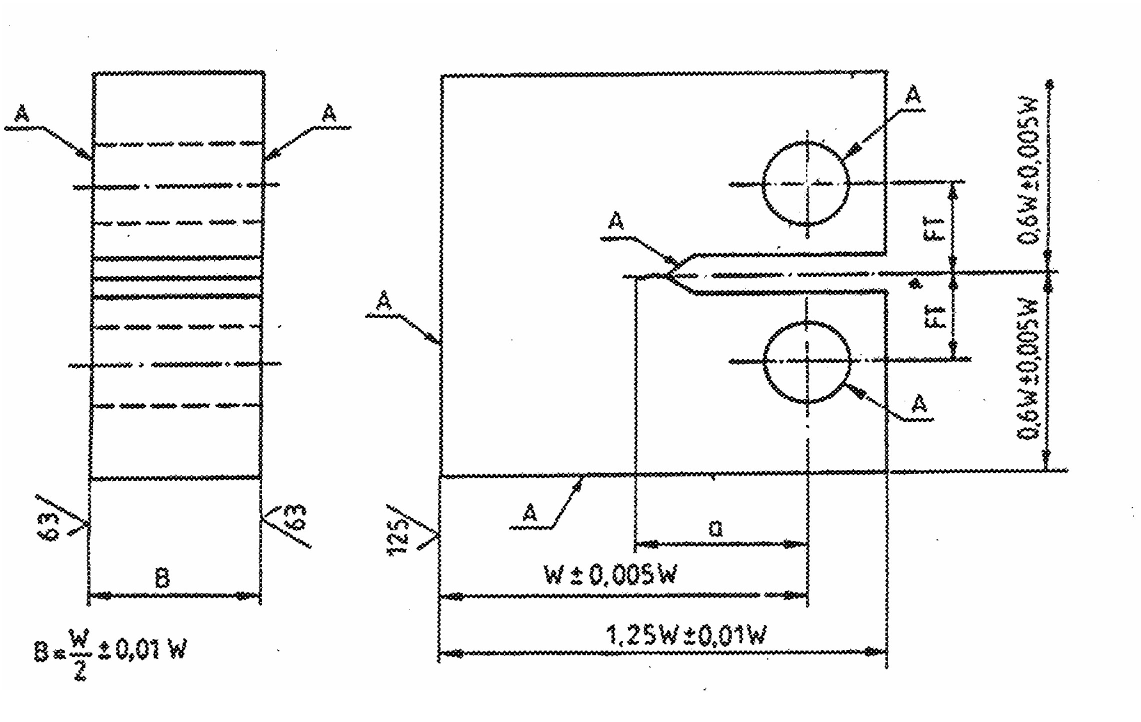
Statikus törésmechanikai vizsgálatok

A K_{IC} törési szívósság meghatározása

A vizsgálatokat általában az 1. és 2. ábrán látható úgynevezett hárompontos hajlító (TPB) illetve CT próbatesteken végzik..



1. ábra Hárompontos hajlító próbatest



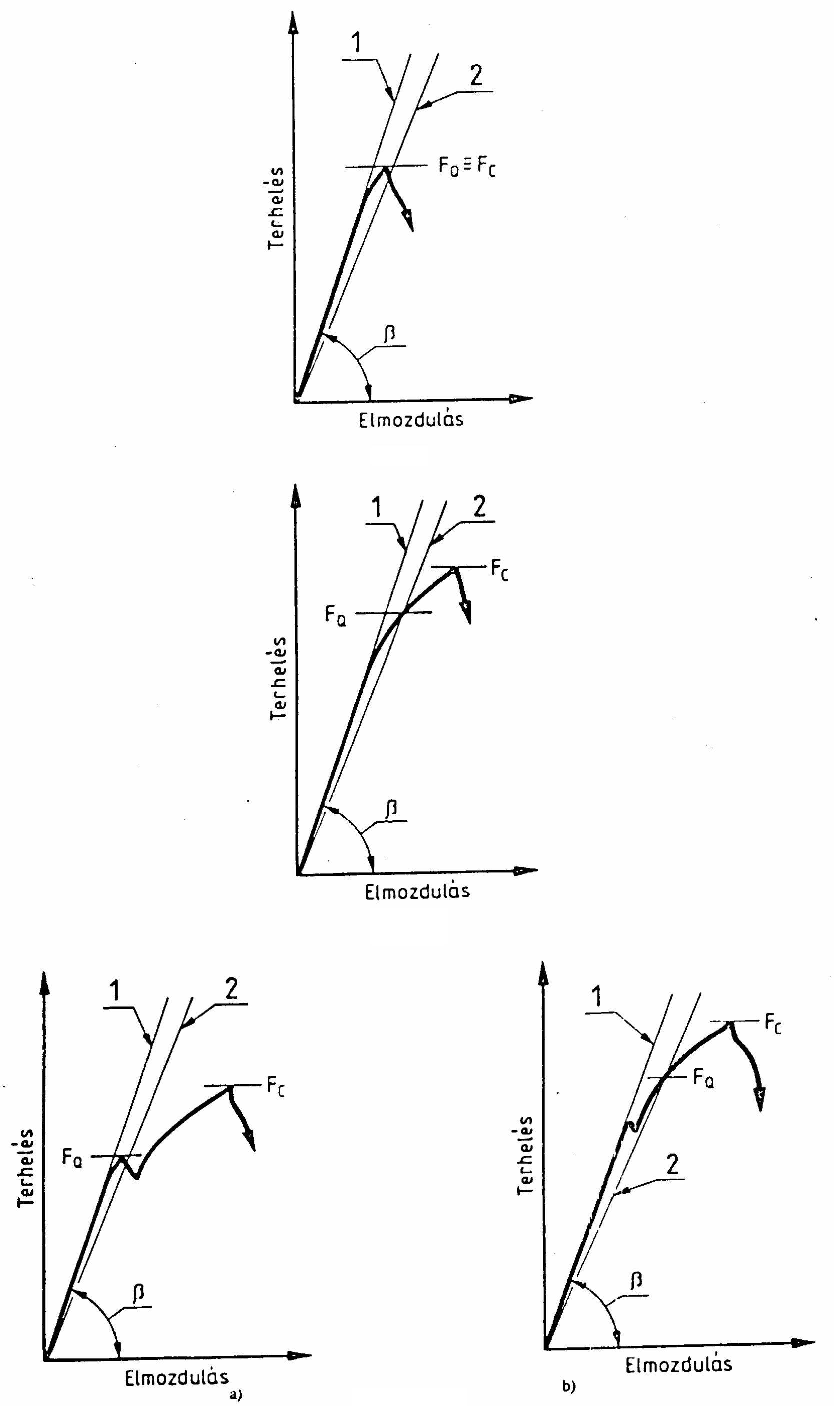
2. ábra CT próbatest

A bemetszett próbatesten a vizsgálat előtt fárasztással adott hosszúságú repedést hoznak létre.

Az I. terhelési módban végzett statikus hajlító- vagy húzóvizsgálat során regisztrálják a terhelőerő -elmozdulás görbéket.

Az elmozdulás a repedés felületeinek a repedés síkjára merőleges eltávolodása a próbatest homlokfelületétől Z távolságban mérve.

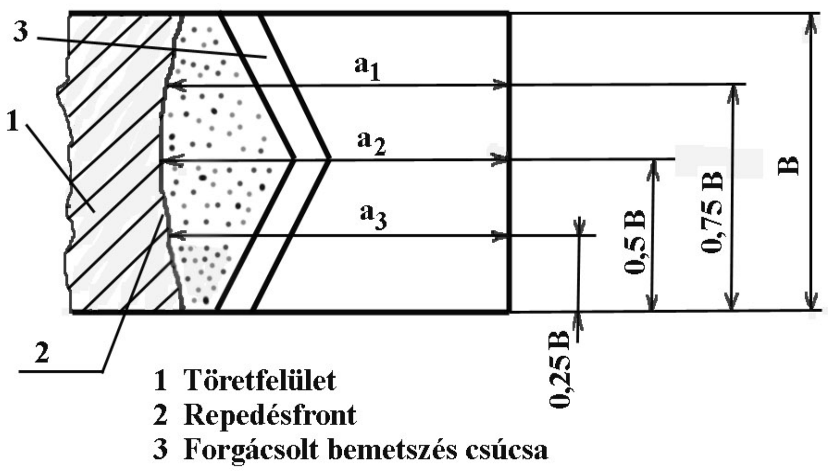
Ezen görbék lehetséges típusait szemlélteti a 3. ábra.



3. ábra Terhelés-elmozdulás diagrammok

A kiértékelés menete a következő:

- az eltört próbatesten három mérés átlagából meghatározzuk a tényleges repedéshosszat



$$a = \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3}$$

- az erő-elmozdulás diagram alapján meghatározzuk az F_Q erő értékét

  Az ábrákon az 1. jelű egyenes a görbe rugalmas szakaszának meghosszabbítása, a 2.jelű pedig egy ennél 5 %-kal kisebb meredekségü egyenes

- meghatározzuk az egyezményes törési szívósság (K_Q) értékét az alábbi összefüggés szerint:

$$K_Q = \frac{F_Q}{B W^{0.5}} Y(a/W) \qquad (1)$$

ahol

B : a próbatest vastagsága
W : a jellemző mérete
$Y\ (a/W\ )$: a próbatest geometriájától függő tényező (lásd a szabványt)

Ha a mért és a számított geometriai, szilárdsági és törésmechanikai jellemzők között fennáll a következő összefüggés:

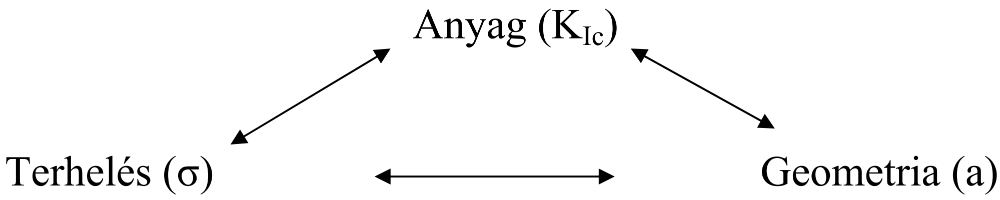
$$a, (W - a), B \geq \gamma \left(\frac{K_Q}{R_{p0.2}} \right)^2$$

ahol az anyagra jellemző tényező:

acélra: $\gamma_a = 2,5$
alumíniumra: $\gamma_{al} = 4$,

akkor a számított K_Q anyagjellemző, azaz a K_{IC} törési szívósság ($K_{IC} = K_Q$)

Törésmechanikai méretezés

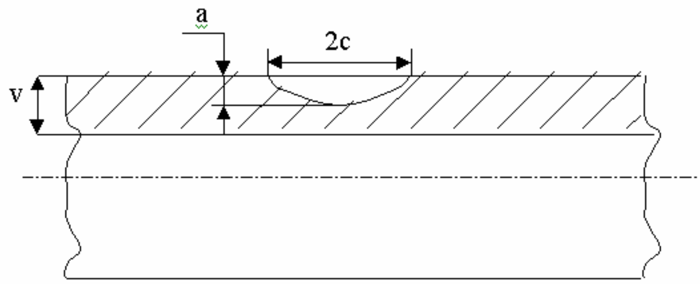


Példa az alkalmazásra:

Egy nyomástartó edény felületén 20 mm mély, 60 mm hosszú repedést mutattak ki.
Kérdés: a 200 bar próbanyomás okozhatja-e ennek a repedésnek instabil terjedését?

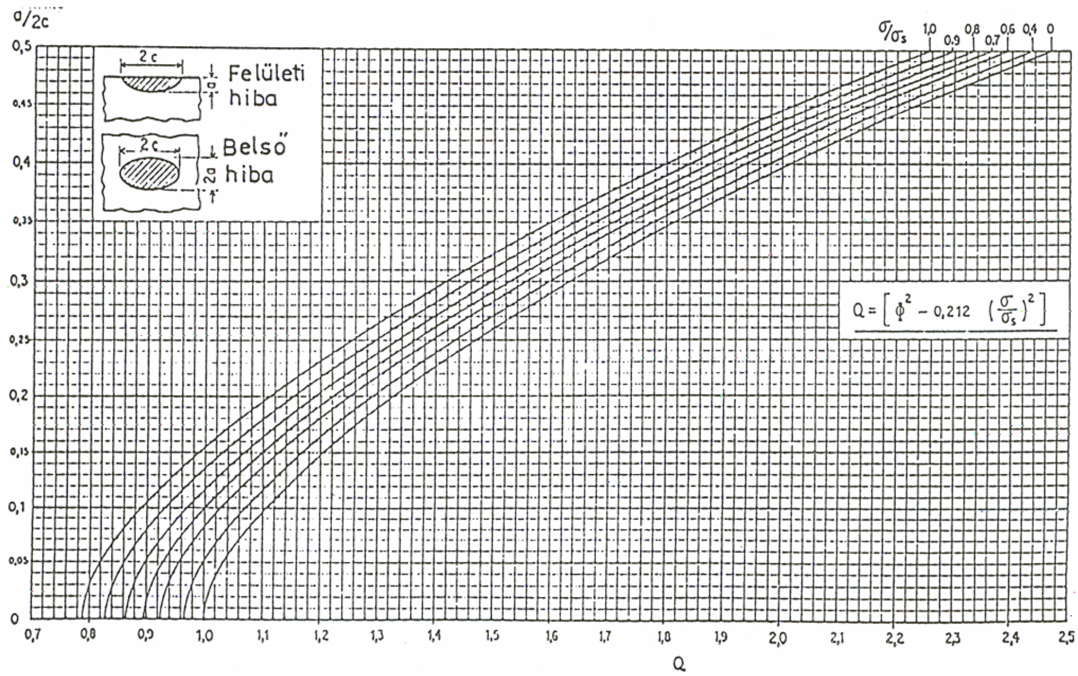
Adatok:

D= 4270mm
v= 200mm
$p_{próba}$= *200 bar (=20MPa)*
K_{Ic}= *2800 Nmm*$^{-3/2}$
$R_{p0,2}$=*560 MPa*
a= 20mm
2c= 60mm



Számítás:

$K_I = \sigma\sqrt{\pi a}Y$, ahol jelen esetben $Y = \sqrt{\frac{1,21}{Q}}M$



Q - alaktényező a nomogrammból határozható meg

M - a falvastagság és a repedés kölcsönhatását figyelembe vevő tényező

A megadott adatokból:

1. A mértékadó feszültség:

$$\sigma_t = \frac{D*p}{2v} = \frac{4270*20}{2*200} = 213{,}5MPa$$

2. $\frac{a}{2c} = 0{,}33$, $\frac{\sigma_t}{R_{p0,2}} = 0{,}382 \Rightarrow (nomogrammból)\ Q = 1{,}65$

   $\frac{a}{v} = \frac{20}{200} = 0{,}1 \Rightarrow M = 1$

3. $K_I = 213{,}5\sqrt{\pi*20}\sqrt{\frac{1{,}21}{1{,}65}}*1 \cong 1449Nmm^{\frac{-3}{2}}$

4. Ellenőrzés:

$$K_I < K_{Ic}$$

Így időben állandó terhelés esetén nem következik be repedésterjedés.

Képlékenységi korrekció

Abban az esetben, ha a repedés csúcsánál kialakuló képlékeny zóna hatását nem lehet elhanyagolni, az alábbi korrekciót szokták alkalmazni:

A feszültségintenzitási tényező az I. terhelési módban:

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi\, a}\, Y$$

A korrekció lényege, hogy a tényleges repedéshossz helyett egy effektív repedéshosszal számolnak, melynek a definíciója a következő:

$a_{eff} = a + r_p$ ahol r_p a képlékeny zóna mérete.

$$r_p = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{K_I}{R_{p\,0.2}}\right)^2$$

A korrekció alkalmazását az alábbi példán mutatjuk be:

Tekintsünk egy vastag (sík alakváltozási állapotban lévő lemezt, melynek mindkét szélén egy a = 8mm hosszúságú repedés van. A terhelő300 MPa.

Az anyag folyáshatára $R_{p\,0.2}$ = 450 MPa, törési szívóssága K_{Ic} = 2400 Nmm$^{-3/2}$.
Ellenőrizzük, hogy statikus igénybevétel esetén bekövetkezik-e a repedés terjedése.

Megoldás:

$K_I = \sigma \sqrt{\pi\, a_{eff}}\, Y$, ahol a repedést a két szélén tartalmazó lemezre Y=1.12.
A fenti adatokkal:

$$r_p = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{K_I}{R_{p\,0.2}}\right)^2 = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{2400}{450}\right)^2 = 4{,}53 \text{ mm.}$$

A feszültségintenzitási tényező:

$$K_I = 300\sqrt{\pi\, 12.53}\ 1.12 = 2107.5 \text{ Nmm}^{-3/2}.$$

Mivel $K_I < K_{Ic}$ a repedés statikus körülmények között nem fog terjedni.

Gyakorló feladatok:

1. Egy repedés csúcsának környezetében I. terhelési mód esetén a feszültségeloszlás a következő alakú:

$$\sigma_{YY} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}}\left[\cos\frac{\theta}{2}\left(1+\sin\frac{\theta}{2}\sin\frac{3\theta}{2}\right)\right] \qquad (1)$$

$$\sigma_{XX} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}}\left[\cos\frac{\theta}{2}\left(1-\sin\frac{\theta}{2}\sin\frac{3\theta}{2}\right)\right] \qquad (2)$$

$$\tau_{XY} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}}\left[\cos\frac{\theta}{2}\sin\frac{\theta}{2}\cos\frac{3\theta}{2}\right] \qquad (3)$$

Határozza meg a képlékeny zónának a repedés irányába eső méretét.

Megoldás:

A megfolyás pillanatában $\sigma_{yy} = R_e$, ahol R_e az anyag folyáshatára.
A repedés irányában $\theta = 0$. Visszahelyettesítve az (1) képletbe:

$$\sigma_{YY} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \qquad (4)$$

Jelölje $r = r_p$ azt a sugarat (ez a képlékeny zóna x irányú mérete) amikor $\sigma_{yy} = R_e$. Rendezés után:

$$r_p = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{K_I}{R_e}\right)^2 \qquad (5)$$

2. Egy hegesztett szerkezet sarokvarrata mellett egy a= 11 mm mélységű repedést találtak. A sarokvarrat feszültségkoncentrációs tényezője α_k (K_t)= 4.3. Az anyag folyáshatára R_e= 500 MPa törési szívóssága K_{Ic}=2400 $Nmm^{3/2}$. Mekkora volt a szerkezet törését okozó feszültség ?

a) A lineáris rugalmas törésmechanika alkalmazásával
b) A képlékenységi korrekció alkalmazásával

Megoldás:

A lineáris rugalmas törésmechanika alkalmazásával:

- A mértékadó feszültség meghatározása:
  A sarokvarrat környezetében ébredő mértékadó feszültség:

$$\sigma = \sigma_g\, \alpha_K$$

- A feszültség intenzitási tényező:

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi\, a}$$

A törés pillanatában $K_I = K_{Ic}$.

Ezt kihasználva:

2400= σ_g 4.3 $\sqrt{\pi 11}$
rendezve:

$$\sigma_g = 94.7\, MPa$$

A képlékenységi korrekció alkalmazásával

- A mértékadó feszültség meghatározása:
A sarokvarrat környezetében ébredő mértékadó feszültség:

$$\sigma = \sigma_g\, \alpha_K \tag{1}$$

- A képlékenységi korrekció alkalmazása:

$$a_{eff} = a + r_p \quad \text{ahol:} \quad r_p = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{K_I}{R_e}\right)^2 \tag{2}$$

A feszültségintenzitási tényező:

$$K_I = \sigma\sqrt{\pi\left(a_{eff}\right)} = \sigma\sqrt{\pi\left(a + r_p\right)} = \sigma\sqrt{\pi\left(a + \frac{1}{2\pi}\left(\frac{K_I}{R_e}\right)^2\right)} \tag{3}$$

A törés pillanatában $K_{I} = K_{Ic.}$
Ezt kihasználva és helyettesítve a 3. képletbe:

$$2400 = \sigma\sqrt{\pi\left(11 + \frac{1}{2\pi}\left(\frac{2400}{500}\right)^2\right)}$$

Rendezés után $\sigma = 354\, MPa$.

Az 1. képlet felhasználásával:

$$\sigma_g = \frac{\sigma}{\alpha_K} = \frac{354}{4.3} = 82.36 \text{ MPa.}$$

3. Egy nyomástartó edény falvastagsága v= 25mm, a mértékadó tangenciális feszültség $\sigma_t = 300$ MPa. Az edény anyagának folyáshatára R_e= 400 MPa. Mekkora minimális törési szívóssággal kell hogy rendelkezzék a nyomástartó edény anyaga

c) A lineáris rugalmas törésmechanika alkalmazásával

d) A képlékenységi korrekció alkalmazásával ($r_p = \frac{1}{2\pi}\left(\frac{K_I}{R_{p0.2}}\right)^2$)

ahhoz, hogy egy 2c= 14 mm hosszúságú a= 5 mm mély felületi repedés az edény falán keresztülhatoljon?

Megoldás:

Amikor a repedés a falon keresztülhatol $K_I = K_{Ic\,min}$ és a kritikus repedésméret éppen az edény falvastagságával lesz egyenlő:

A lineáris rugalmas törésmechanika alkalmazásával:

$$K_{Ic\min} = \sigma\sqrt{\pi\, v}$$

helyettesítve:

$$K_{Ic\min} = 300\sqrt{\pi\, 25} = 2658 \text{ Nmm}^{-3/2}$$

A képlékenységi korrekció alkalmazásával:

$$K_I = \sigma\sqrt{\pi\left(a_{eff}\right)} = \sigma\sqrt{\pi\left(a + r_p\right)} = \sigma\sqrt{\pi\left(a + \frac{1}{2\pi}\left(\frac{K_I}{R_e}\right)^2\right)}$$

Négyzetre emelve és rendezve:

$$K_I = \sigma\sqrt{\pi\, a}\sqrt{\frac{1}{1 - \frac{1}{2}\left(\frac{\sigma}{R_e}\right)^2}}$$

Amikor a repedés a falon keresztülhatol $K_I = K_{Ic\,min}$ és a kritikus repedésméret éppen az edény falvastagságával lesz egyenlő. Innen:

$$K_{Ic\min} = 300\sqrt{\pi\, 25}\sqrt{\frac{1}{1 - \frac{1}{2}\left(\frac{300}{400}\right)^2}} = 3135 \text{ Nmm}^{-3/2}$$