

KÍSÉRLETI ÉS NUMERIKUS FESZÜLTSGÉGANALÍZIS

LINEÁRIS TÖRÉSMECHANIKA

GUY PUVINAGE

Metzi Egyetem, Franciaország

Készült: a TEMPUS S_JEP_11271 projekt támogatásával

Miskolc
- 1997 -

Kiadja a Miskolci Egyetem

A kiadásért felelős: *Dr. Tóth László*

Műszaki szerkesztő: *Dr. Tóth László*

Példányszám: 40

Készült Colitó fóliáról az MSZ 5601-59 és 5602-55 szabványok szerint

Miskolci Egyetem Sokszorosító Üzeme

A sokszorosításért felelős: *Kovács Tiborné*

TB - '99- - ME

A levonat sokszorosításba leadva: 1999. február 26.

LINEÁRIS TÖRÉSMECHANIKA

GUY PLUVINAGE egyetemi tanár, Metzi Egyetem

Készült: a TEMPUS S_JEP_11271 projekt támogatásával

Miskolc
1997-1999

ELŐSZÓ

Minden történelmi korszak fejlődésének megvan a maga hajtóereje. Míg a XIX. században a tudomány előrehaladását egyértelműen a vasúti közlekedés robbanásszerű elterjedése hatotta át (évente átlagosan 10.000 km hosszágban építettek új vasútvonalakat), addig jelen korunkban a mikroelektronika adta lehetőségek szőtték át a mindennapjainkat, így a műszaki életünket is, szolgáltatva annak fejlődéséhez szükséges hajtóerőt. E két periódus fejlődésének sajátosságai természetesen megmutatkoztak a társadalmi struktúra formálódásában is. Az elmúlt században kialakult a nagyüzemi munkásság, megvalósult a tőke koncentrációja és létrejött a reál - dominánsan a műszaki - tudomány művelőinek népes tábora. Ez utóbbiak kivívták maguknak a széles társadalmi elismertséget, hisz tevékenységük közvetlenül hozzájárult a társadalom látható fejlődéséhez. Napjaink sajátossága az *információs társadalom* kialakulása, amelyben a mikroelektronikai elemek fejlődése átszövi a mindennapi életünk, tevékenységünk lehetőségeit. A műszaki életben ez többek között a számítástechnika robbanásszerű elterjedését, a diagnosztikai vizsgálatok eszközparkjának átalakulását, az anyagok viselkedésének, tulajdonságainak mélyebb megismerését szolgáló anyagvizsgálati módszerek, eszközök létrejöttét eredményezték. A fejlődés ütemét jól tükrözi az, hogy mindez az utóbbi 20 évben következett be (pl. a számítógépek mikroprocesszorainak műveleti sebessége 1978-1998 periódusban 3 nagyságrendet változott!).

A nagy értékű műszaki létesítményeket, szerkezeteket (hidakat, erőműveket, gázolajfeldolgozó rendszereket, vegyipari üzemeket, tranzit energiaszállító vezetékeket, repülőgépeket, hajókat, stb.) 15-50 éves üzemeltetésre tervezik az adott periódusban érvényben levő szabványok, műszaki irányelvek figyelembevételével. Ezekben pedig az azt megelőző néhány év ismeretszintje, technológiai színvonala testesedik meg. A mikroelektronika által diktált fejlődési ütem lehetővé teszi azt, hogy a nagy értékű szerkezetek, létesítmények üzemeltethetőségi feltételeit, maradék élettartamát egyre nagyobb megbízhatósággal becsüljük, azaz integritását egyre kisebb kockázattal ítéljük meg.

Az előzőkből adódóan kialakult egy új, diszciplína, a „*szerkezetek integritása*”, vagy „*szerkezetintegritás*” fogalma és létrejött intézményrendszere szerte a világon. A döntően mérnöki ismereteket integráló tudományterület feladata annak eldöntése, hogy egy adott szerkezet, létesítmény milyen feltételek mellett üzemeltethető a továbbiakban, ill. mennyi a maradék élettartama és ez milyen módon menedzselhető. Ahhoz a szerkezet állapotát a lehető legnagyobb biztonsággal felmérhessük - ebből adódóan a további üzemeltethetőség feltételeit a legkisebb kockázattal megbecsüljük - elengedhetetlen az, hogy

- *diagnosztikai vizsgálatokkal felmérjük a szerkezet állapotát,*
- *tisztázzuk a valóságos üzemi körülményekre jellemző mechanikai állapotot,*
- *megítéljük a beépített anyagok károsodásának folyamatát és mértékét az adott üzemeltetési feltételek mellett.*

Nyilvánvaló egyrészt az, hogy az előzőkben említett három fő terület (méréstechnika - mechanika - anyag) egyforma jelentőséggel bír a szerkezet integritásának megítélésében és bármelyik terület elhanyagolása, súlyának csökkentése hibás döntéshez, esetleg katasztrófához vezethet. Nyilvánvaló másrészt az, hogy minden műszaki döntésben, így az üzemeltethetőség feltételeinek megítélésében is, bizonyos kockázat rejlik, hisz a tudomány adott szintjét hasznosítjuk és a rendelkezésre álló eszközpark maga is az adott kor színvonalát képviseli. Ebből adódóan mérlegelni kell az esetleges hibás döntés műszaki, jogi, közgazdasági és

környezetvédelmi következményeit. Ezek együttes figyelembevételével viszont már kialakíthatók az ésszerű kockázatvállalás feltételei.

A szerkezetintegritás tehát egy igen komplex terület. Akik ezt művelik azoknak képesnek kell lenniük arra, hogy az üzemeltesíthetőséggel kapcsolatos problémákat teljes körűen átlássák, kiemeljék a meghatározó paramétereket, kérdéscsoportokat és alkalmasak legyenek arra, hogy az érintett tudományterületek szakembereivel érdemben szakmailag konzultálni tudjanak.

A szerkezetek integritásának, reális állapotának, maradék élettartamának megítélése mind az üzemeltetők, mind pedig a biztosítótársaságok alapvető érdeke. Az üzemeltető szempontjából a tudatos tervezés, fejlesztés megkerülhetetlen sarokpontja az üzemben levő készülékek műszaki állapota, biztonsága; a szükséges biztosítás tekintetében pedig az ésszerű kockázatvállalás, biztosítási összeg alapeleme a reális állapot ismerete. Ezek jelentőségét mérlegelve támogatta az Európai Unió a TEMPUS program keretében a „*Teaching and Education in Structural Integrity in Hungary*” címmel összeállított pályázatot, amelynek fő célkitűzése ezen új diszciplína meghonosításán kívül egyrészt a szerkezetintegritás oktatási anyagainak kidolgozása, másrészt a **Szerkezetintegritás - Biztosítási Mérnök Szakmérnöki Szak** beindítása. A négy hazai intézmény - Miskolci Egyetem, Budapesti Műszaki Egyetem, Kossuth Lajos Tudományegyetem Műszaki Kara és a Széchenyi István Műszaki Főiskola szakembereinek bevonásával elérendő célok megvalósítását nagyban segítették a következő külföldi partnereink:

- Prof. T. Varga, Bécsi Műszaki Egyetem
- Prof. H. P. Rossmanith, Bécsi Műszaki Egyetem
- Dr. J. Blauel, Fraunhofer Institut für Werkstoffmechanik
- Prof. S. Reale, Università Degli Studi di Firenze
- Prof. G. Pluvinau, University of Metz,

Tóth László

egyetemi tanár
a projekt koordinátora

TARTALOMJEGYZÉK**ELŐSZÓ**

BEVEZETÉS	1
<i>1. Üzemi törések fajtái(26 dia)</i>	<i>3</i>
<i>2. Csavarással bekövetkező törés (5 dia)</i>	<i>16</i>
<i>3. Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete (48 dia)</i>	<i>19</i>
<i>4. Bevezetés a lineáris törésmechanikába (56 dia)</i>	<i>17</i>
<i>5. A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei (38 dia)</i>	<i>71</i>
<i>6. A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány (20 dia)</i>	<i>91</i>
<i>7. A törési szívósság kísérleti meghatározása (13 dia)</i>	<i>101</i>
<i>8. A törési szívósság energetikai meghatározása (18 dia)</i>	<i>108</i>
<i>9. Repedést tartalmazó anyag ridegtörése (59 dia)</i>	<i>117</i>
<i>10. Szívós törés (56 dia)</i>	<i>147</i>

Bevezetés

A berendezések, szerkezetek, gépalkatrészek jelentős részét ma is folyáshatárra méretezik. Az anyag és energiatakarékosság, a szerkezetekkel szemben támasztott egyre növekvő követelmények arra készítetik a tervezőket és gyártókat, hogy az észszerű kockázat vállaláson belül növeljék a terhelhetőséget. Más megfogalmazásban ez azt jelenti, hogy csökkentik a biztonsági tényező értékét, amely a tervezés, a gyártás és az üzemeltetés során jelentkező, és a tervezéskor figyelembe nem vehető kedvezőtlen hatások ellensúlyozását szolgálja. Ennek érzékeltetésére tekintsük át az egyes területeken jelentkező problémákat.

A tervezéskor bizonytalanságot jelent a szerkezet tényleges mechanikai állapota és a számításhoz felhasznált modell közötti eltérés. Ez a hiba egyszerű szerkezeti kialakítások esetében nem jelentős, de a bonyolultabb részek, keresztmetszet változások, elágazások, nyomástartó edények csöcsonkjai esetében, stb. már számottevő; a ma használatos alak- és formatényezőkkal csak pontatlanul közelíthető.

A feszültségi és alakváltozási állapot tisztázatlanságán kívül bizonytalanságot jelent az anyag, ill. a használatos anyagjellemzők pontos ismeretének hiánya. Általánosan használt az anyagminőséghez kötődő legkisebb folyáshatár alkalmazása, amelynél a beépített anyag folyáshatára általában nagyobb. Ugyanakkor ez a megközelítés nem veszi figyelembe a ma még szükségszerűen meglevő, megengedett anyagfolytonossági hibákat.

A tervezéskor nem, vagy csak korlátozottan lehet figyelembe venni bizonyos, gyártás közben jelentkező hatásokat. Nevezetesen a technológiai művelet közben keletkező, de még megengedhető hibákat, pl. hegesztett kötések hibái, ill. a megmunkálás következtében létrejövő maradó feszültségeket.

A normál üzemeltetés során is adódnak olyan járulékos terhelések, amelyek a tervezéskor fel sem merültek, ill. vannak olyanok, amelyek a tervező számára ismertek, de számszerűsítésük nehézkes és így nehezen vehetők figyelembe. Példaként említhetők a hőmérsékletváltozásokból, a szellőzésekből, az indítási és leállási folyamatok tranzienstársaiból, stb. származó járulékos terhelések.

Az előzők alapján egyértelmű, hogy a folyáshatárra végzett helyes méretezés mellett is számolni kell a szerkezeti elemek, alkatrészek egyes helyeinek túlterhelésével, amelyek a szívós anyagok képlékeny alakváltozását okozza. Ez a hatás egyszeri, statikus terhelés esetén a feszültségcsúcsok leépülését, a feszültségek átrendeződését, és ezeken keresztül a teherbíró-képesség növekedését eredményezheti. Ezt a lehetséges kedvező hatást a mai konstruktőrök tudatosan ki is használják. Abban az esetben, ha a kedvezőtlen hatások többször ismétlődnek, a feszültséggyűjtő helyeken a képlékeny alakváltozások is ismétlődnek, ami végül is viszonylag kis számú igénybevétel után repedések kialakulásához, majd töréshez vezethet. Ezért kell foglalkozni a folyáshatár körüli ismétlődő igénybevétellel terhelt szerkezeti elemek, alkatrészek méretezési, ellenőrzési kérdéseivel.

Jelen füzet a **Törésmechanika** egy rövid fejezetével, a ridegtörés kérdéskörével foglalkozik olyan formában, hogy a témakört a lehetséges üzemi törésfajták és azok jellegzetességeinek áttekintésével kezdi. A lineáris törésmechanikai elvek ismertetését

követően részletesen tárgyalásra kerülnek az elvek kiterjesztésének lehetőségei a reális törések területére, azaz az olyan ridegtörésekre, amikor a repedés csúcsában, annak környezetében kisebb mértékű képlékeny alakváltozással, azaz energia elnyelődéssel kell számolni.

A Microsoft Power Point verziójú előadássorozat külön érdekessége, hogy azt GUY PLUVINAGE, a Metzi Egyetem tanára VIDEO konferencia formában angol nyelven adta elő az 1998/99-as tanév első szemeszterében. A Miskolci Egyetem ötödéves hallgatói Miskolcon az Észak-magyarországi Távoktatási Központban követték a Metzből ISDN vonalon érkező képet és hangot. A 16 órás előadássorozat „sugárzási” költségeit pedig a Loarrine tartomány támogatta. Ezen előadássorozat egyben „mérőföldkövet” is jelentett a Miskolci Egyetem távoktatásában, mivel ez volt az első olyan sorozat, amely közvetlenül a tanrendben is VIDEO oktatási formaként illeszkedett. Az előadássorozat elektronikus formában is tárolva lett CD-ken, így az „utókor” számára is hitelesen mutathatja meg a „kezdeteket”

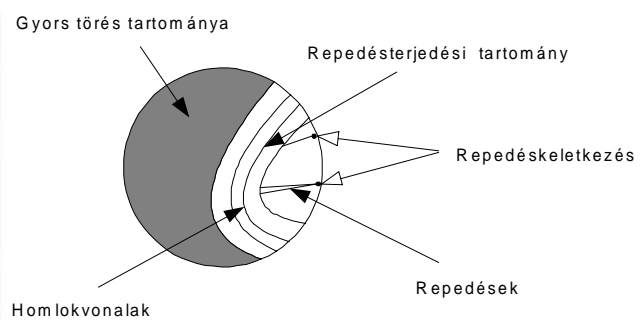
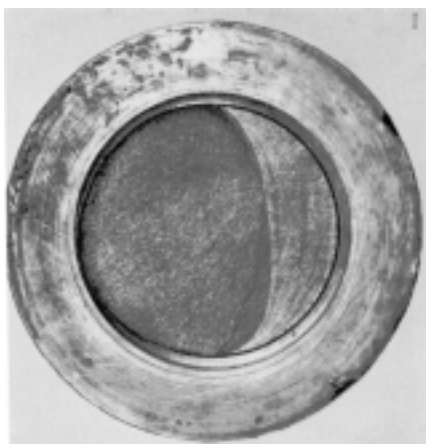
Mint minden új kezdeményezésnek, e füzetnek is nyilvánvalóan meglesznek a maga hiányosságai és a jövőben számos területen kiegészítésre, szorul. Ezt nagyban segítené az, ha a Tisztelt Olvasók észrevételeiket, javaslataikat a szerzőknek vagy a projekt vezetőjének eljuttatnák. A TEMPUS program nyújtotta támogatás lehető legjobb kihasználása érdekében az elkészült tananyagokat INTERNET-en is közzéadjuk (<http://www.bzlogi.hu/tempus.html>) annak érdekében, hogy a szerkezetintegritás diszciplínája hazánkban minél gyorsabban és minél szélesebb körben elfogadásra és elterjedésre találjon.

Tóth László

Üzemi törések

Üzemi törések fajtái - 1

1) Üzemi törési példák



Üzemi törések fajtái - 2

2) Törési fajták osztályozása

- Azonnali törés
- Törés repedésterjedéssel

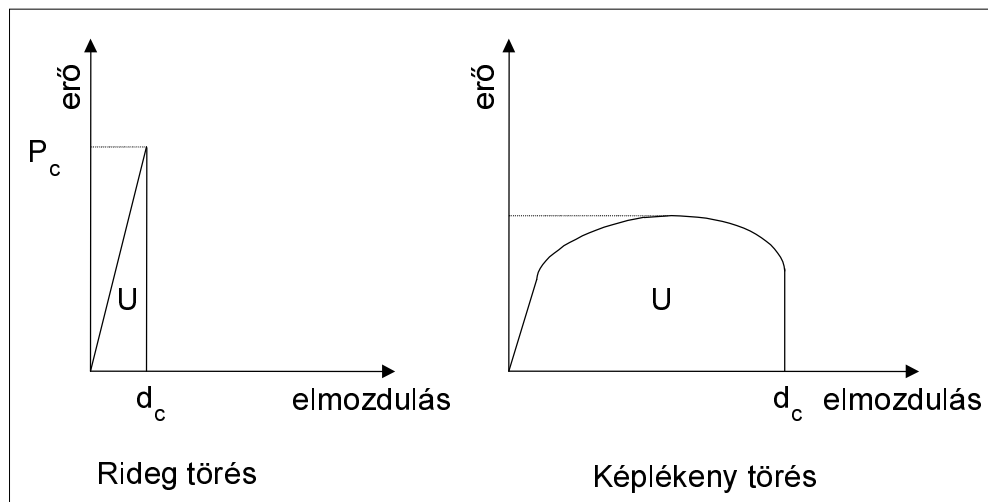
Üzemi törések fajtái - 3

2.1) Gyors törés

Szívós törés	Nagy alakváltozási energia és alakváltozás	Szakadozott felület
Rideg törés	Kis alakváltozási energia és alakváltozás	Lépcsők, folyamok, nyelvek
Átmeneti törés	Kis alakváltozás	Rideg és képlékeny tartomány együttes jelenléte

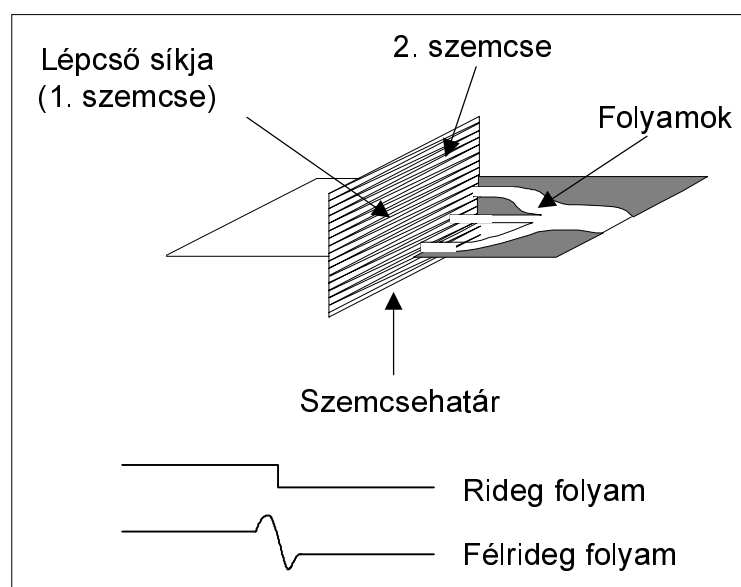
Üzemi törések fajtái - 4

2.1) Gyors törés



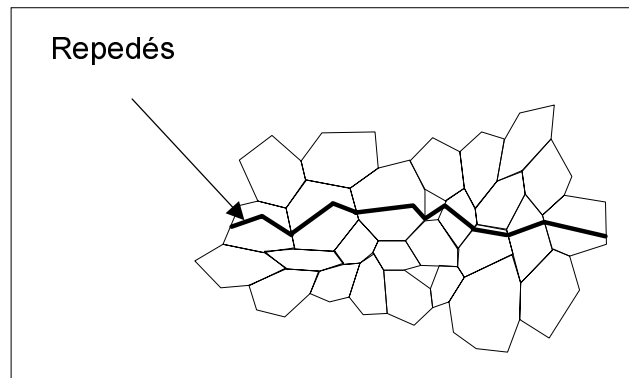
Üzemi törések fajtái - 5

2.1.1 Rideg törés



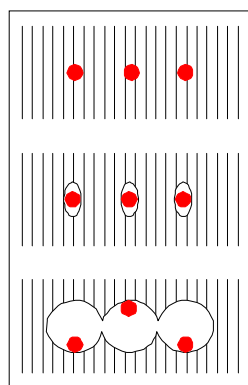
Üzemi törések fajtái - 6

Rideg törés



Üzemi törések fajtái - 7

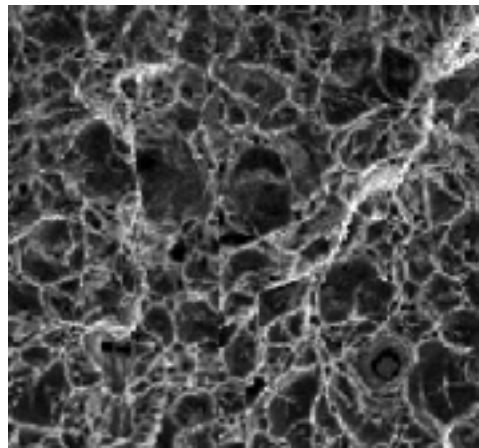
Szívós törés



Gödrök keletkezése

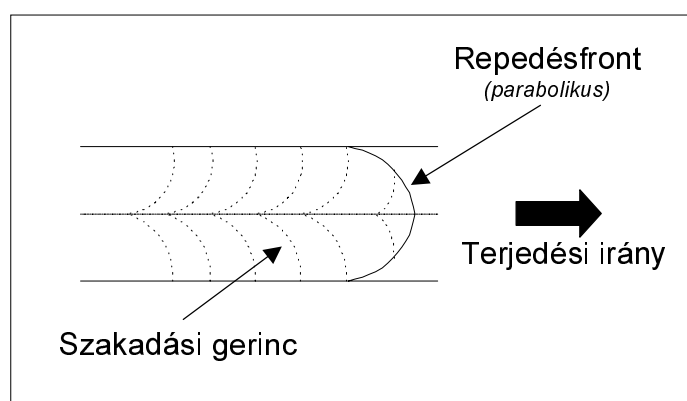
Üzemi törések fajtái - 8

Szívós törés



Üzemi törések fajtái - 9

Félrideg törés



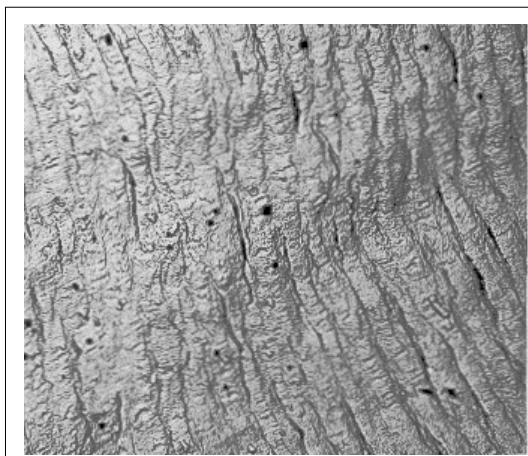
Üzemi törések fajtái - 10

2.2. Törés folyamatos repedésterjedéssel

Repedés kialakulásának módja	Makroszkópikus jellemzők	Mikroszkópikus jellemzők
Mechanikai fáradás	A repedéskeletkezés síkjának a maximális főfeszültség iránya a normálisa	Barázda
Hőfáradás		Transz- vagy intergranuláris törés
Feszültségkorrózió	A fő repedésterjedési irány merőleges a maximális főfeszültség irányára	Korróziótermékek
Hidrogén okozta elridegedés		Leveles töret

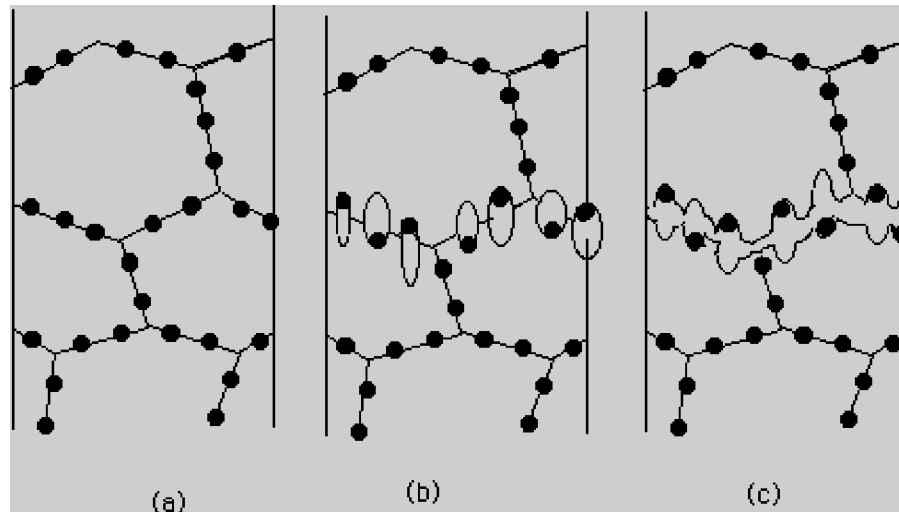
Üzemi törések fajtái - 11

Mechanikai fáradás



Üzemi törések fajtái - 12

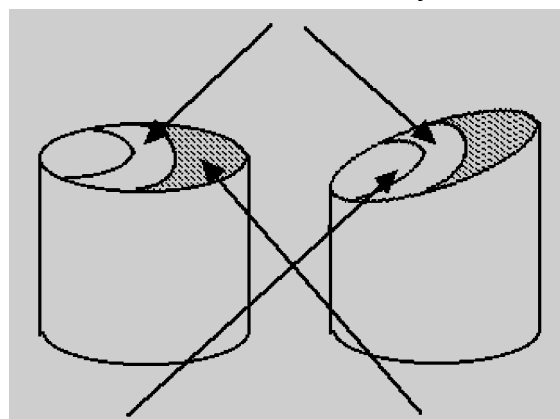
Hőfáradás



Üzemi törések fajtái - 13

3) A törés jellemző részei

Törési sík orientációja



Frontvonalak

A repedésterjedés utolsó szakasza

Üzemi törések fajtái - 14

4) Törési felület iránya

Rideg törés: A repedésterjedés síkja merőleges a húzófeszültségi állapotban jellemző max. főfeszültség irányára

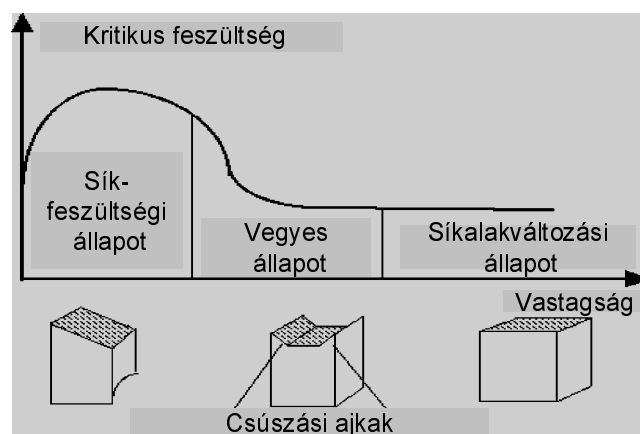
Képlékeny törés: A repedésterjedés síkja párhuzamos a max. csúsztató feszültség irányával

Fáradásos repedéskeletkezés: A repedésterjedés síkja merőleges a húzófeszültségi állapotban jellemző max. főfeszültség irányára

Üzemi törések fajtái - 15

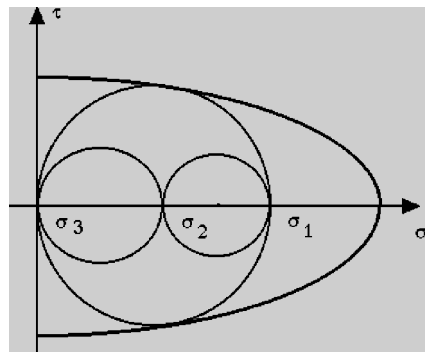
5) A törésmechanikai paradoxon

“Minnél vastagabb, annál ridegebb”

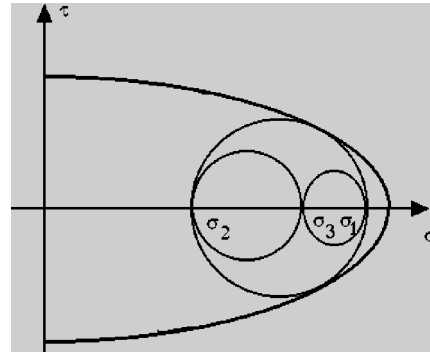


Üzemi törések fajtái - 16

5) A terhelési mód hatása a törési irányra



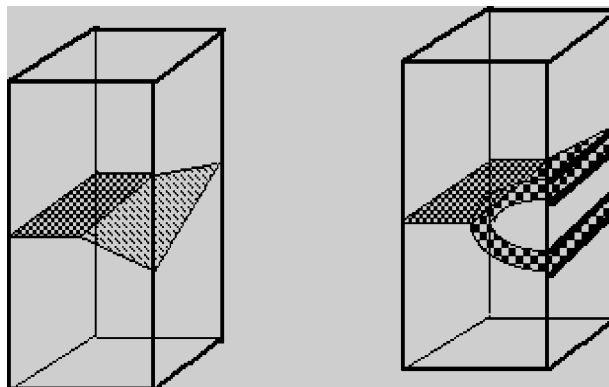
Síkfeszültségi állapot



Síkalkváziozási állapot

Üzemi törések fajtái - 17

5) A terhelési mód hatása a törési irányra



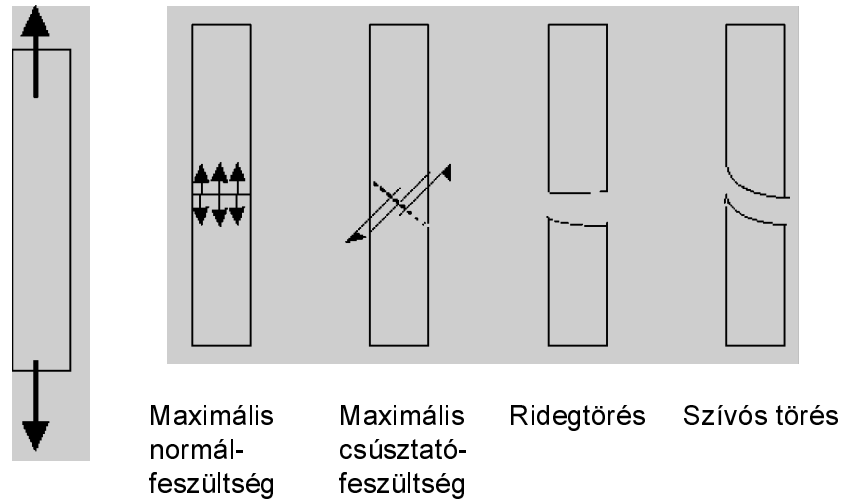
Síkfeszültségi állapot

Síkalkváziozási állapot

Üzemi törések fajtái - 18

6) A terhelési mód hatása a törési irányra

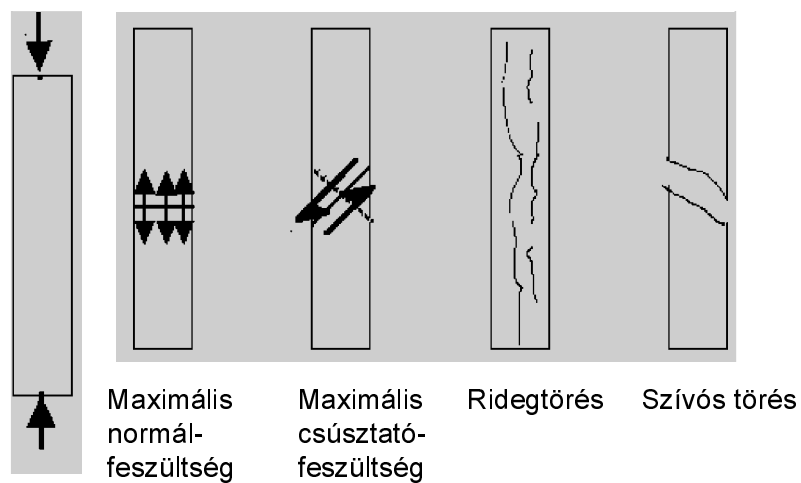
Törés húzó igénybevétel hatására



Üzemi törések fajtái - 19

6) A terhelési mód hatása a törési irányra

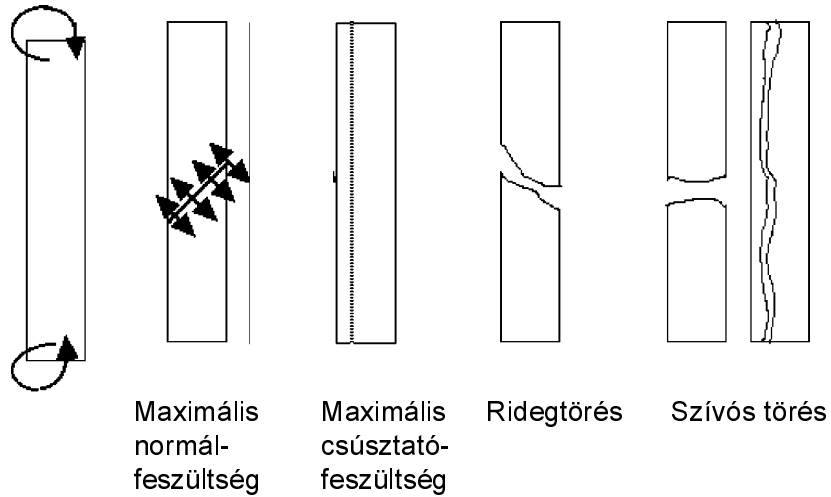
Törés nyomó igénybevétel hatására



Üzemi törések fajtái - 20

6) A terhelési mód hatása a törési irányra

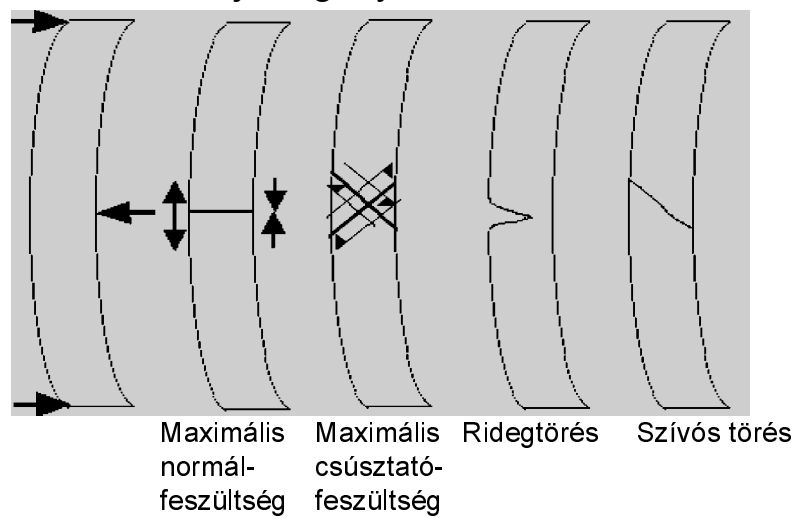
Törés csavaró igénybevétel hatására



Üzemi törések fajtái - 21

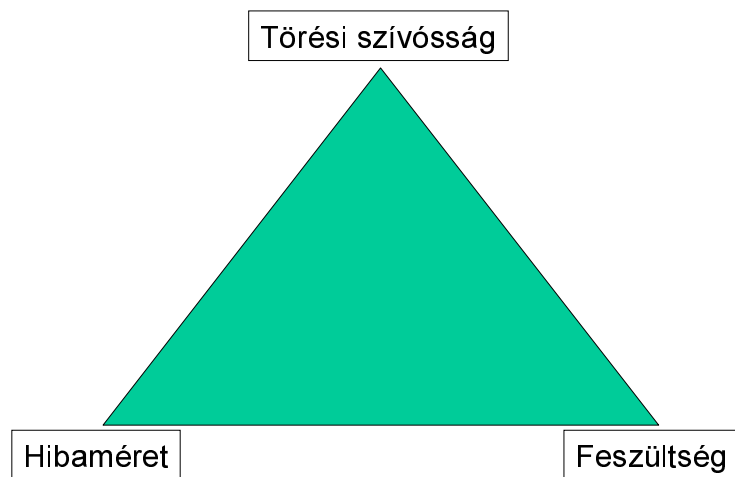
6) A terhelési mód hatása a törési irányra

Törés hajlító igénybevétel hatására



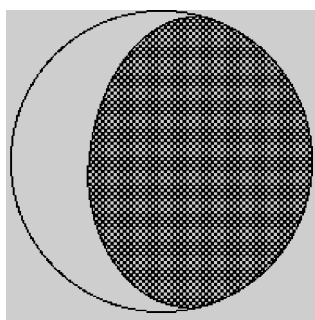
Üzemi törések fajtái - 22

7) A feszültség szint hatása

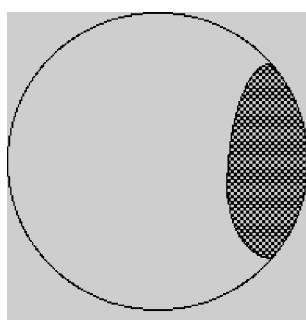


Üzemi törések fajtái - 23

7) A feszültség szint hatása



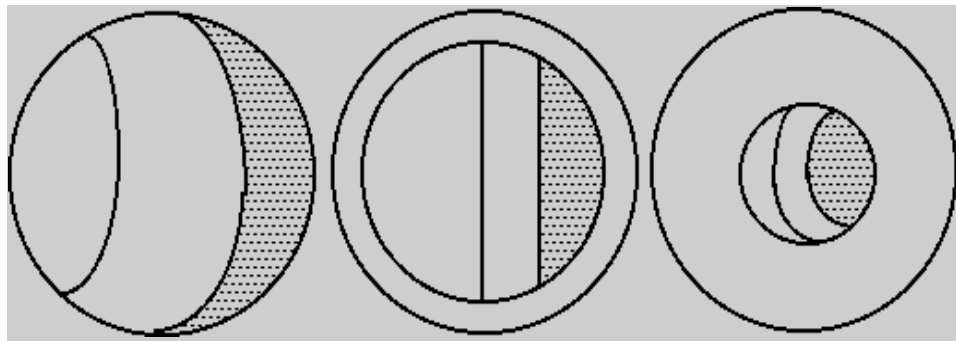
Jelentős globális terhelés



Kis globális terhelés

Üzemi törések fajtái - 24

8) A fajlagos hidrosztatikus feszültség hatása a repedésfront alakjára



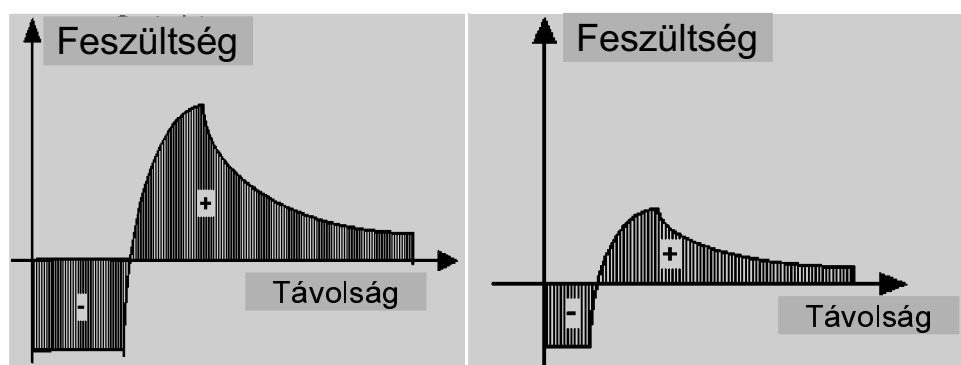
Köszörült felület

Kis bemetszés

Nagy bemetszés

Üzemi törések fajtái - 25

8) A fajlagos hidrosztatikus feszültség hatása a repedésfront alakjára



Síkfeszültségi állapot

Síkalakváltási állapot

Üzemi törések fajtái - 26

Csavarás



Köszörült tengely

A rugalmassági határ fölé terhelt,
csavart tengely törése

Csavarással bekövetkező törés - 1

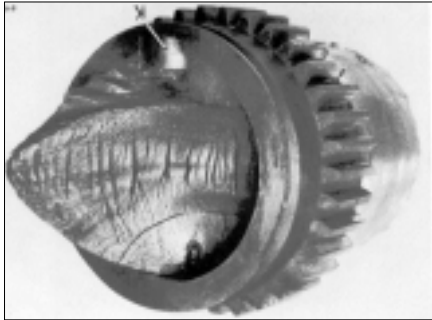
Csavarás



Csavarásra igénybevett tengely
felületi bemunkálásból kiinduló
törése

Csavarással bekövetkező törés - 2

Csavarás



Csavarásra igénybevett tengely
furatból kiinduló törése

Csavarással bekövetkező törés - 3

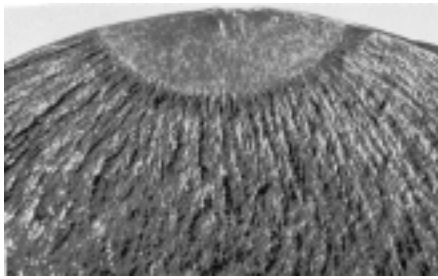
Csavarás



Csavarásra igénybevett tengely
köszörült felületről kiinduló
csavarfelületű törése

Csavarással bekövetkező törés - 4

Csavarás



A repedéskeletkezés helye,
fáradt törés,
végső törés

Csavarással bekövetkező törés - 5

Rideg-képlékeny átmeneti hőmérséklet fogalma

Elridegítő hatású tényezők

- hőmérséklet
- alakváltozási sebesség
- fajlagos hidrosztatikus feszültség β

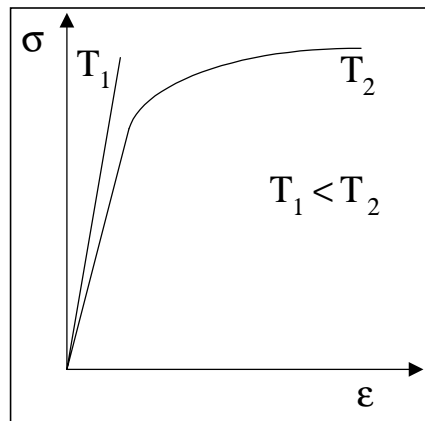
Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 1

1) Elridegítő hatású tényezők

- 1.1) A hőmérséklet hatása
- 1.2) Alakváltozási sebesség hatása
- 1.3) Fajlagos hidrosztatikus feszültség hatása

Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 2

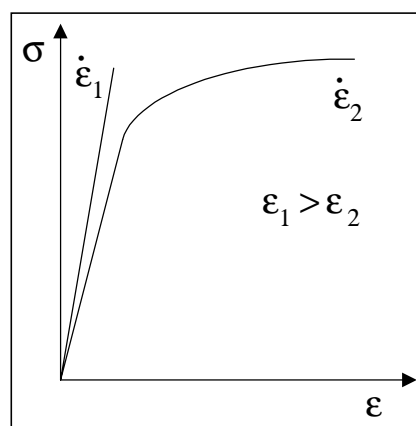
1.1) Hőmérséklet hatása



A hőmérséklet csökkenésekor az anyag ridegebbé válik

Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 3

1.2) Alakváltozási sebesség hatása



Az alakváltozási sebesség növelése ridegíti az anyagot

Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 4

1.3) A fajlagos hidrosztatikus feszültség hatása

Definíció:

$$\beta = 3 \cdot \frac{\sigma_{\bar{\sigma}}}{\sigma_m}$$

$\sigma_{\bar{\sigma}}$ von Mises szerinti összehasonlító feszültség
 σ_m közép feszültség

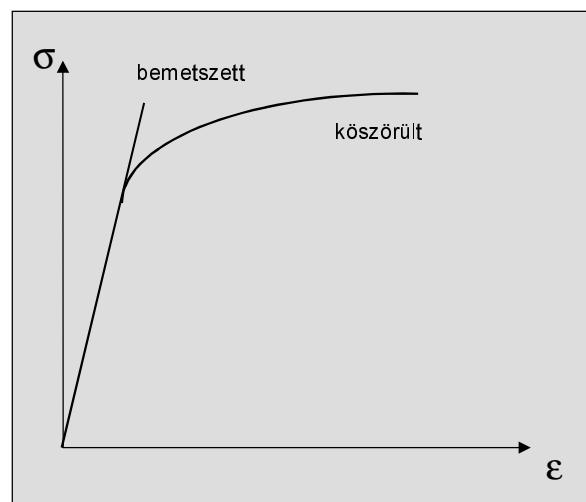
$$\sigma_{\bar{\sigma}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$$

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$: főfeszültségek

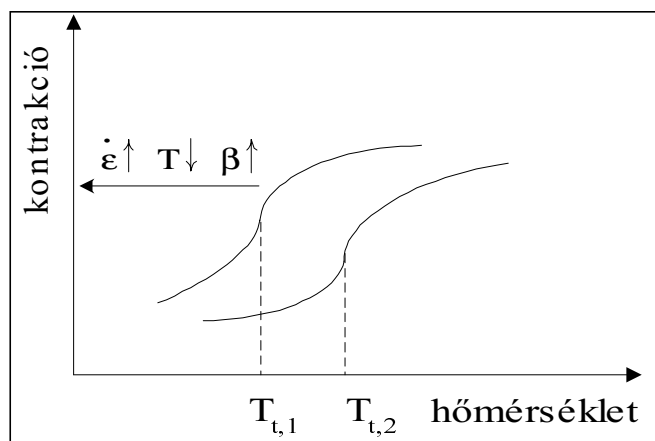
Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 5

1.3) Fajlagos hidrosztatikus feszültség hatása

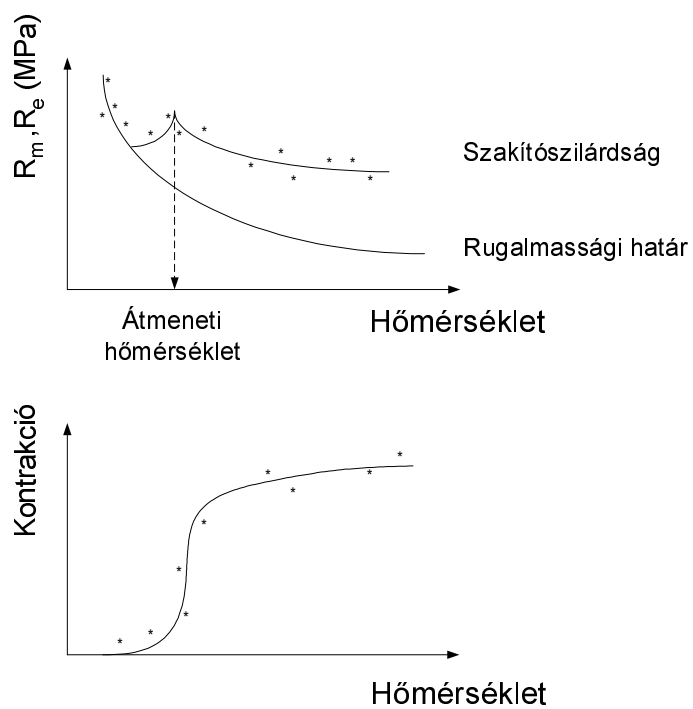


Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 6

1.4) Átmeneti görbék



Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 7



Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 8

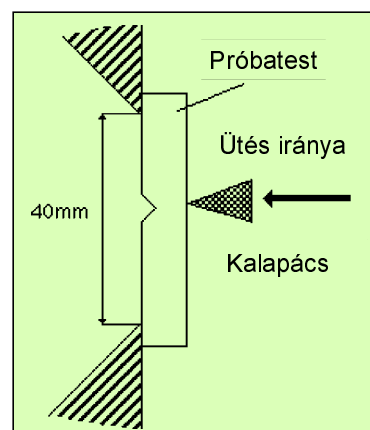
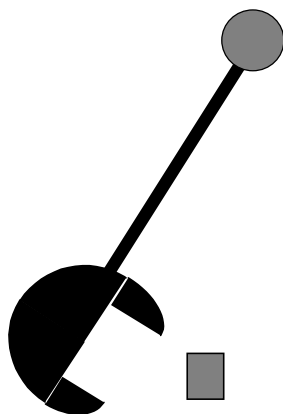
1.4) Átmeneti görbék

Az átmeneti hőmérséklet a rideg és a képlékeny törés közötti átmenetet jelöli

Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 9

2) Ütővizsgálatok

2.1) A vizsgálat elve Charpy (1910) féle vizsgálat

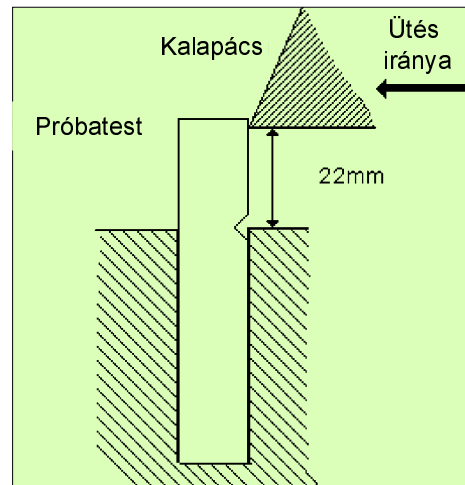


Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 10

2) Ütővizsgálatok

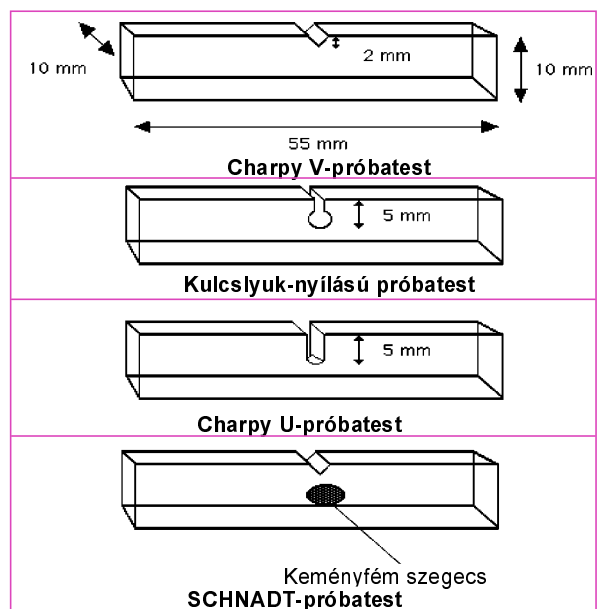
2.1) Vizsgálat elve

Izod féle vizsgálat



Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 11

2.2) Próbatestek



Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 12

2.3) A fajlagos ütőmunka definíciója

A fajlagos ütőmunka a töréshez szükséges munka és az eltört keresztmetszet hányadosa.
Mértékegysége DaJ/cm².

$$K_{CV} = \frac{U_r}{A}$$

Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 13

2.3) A fajlagos ütőmunka definíciója

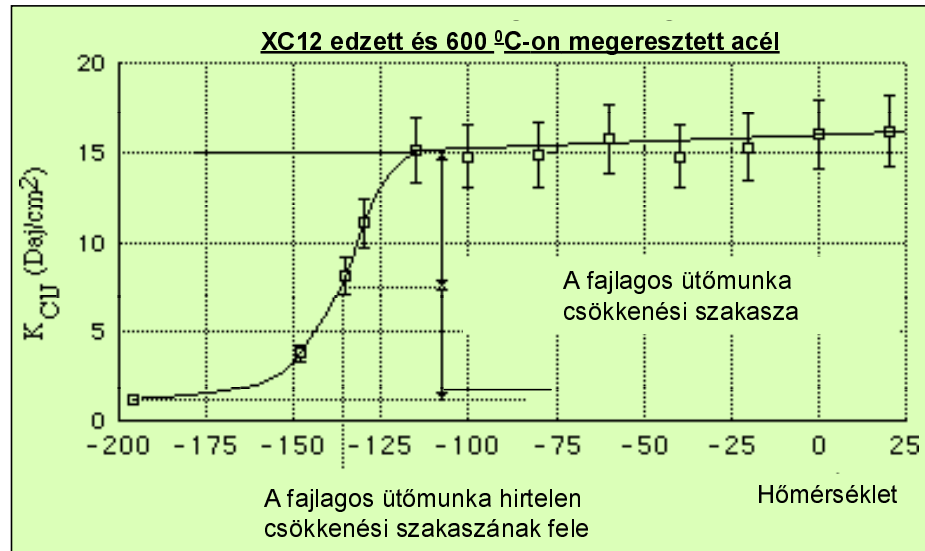
3 különböző lehetőség:

Az átmeneti hőmérséklet:

- a fajlagos ütőmunka hirtelen csökkenési szakaszának fele
- amikor a töret 50 %-a rideg
- a fajlagos ütőmunka egy megállapodás szerinti értéke

Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 14

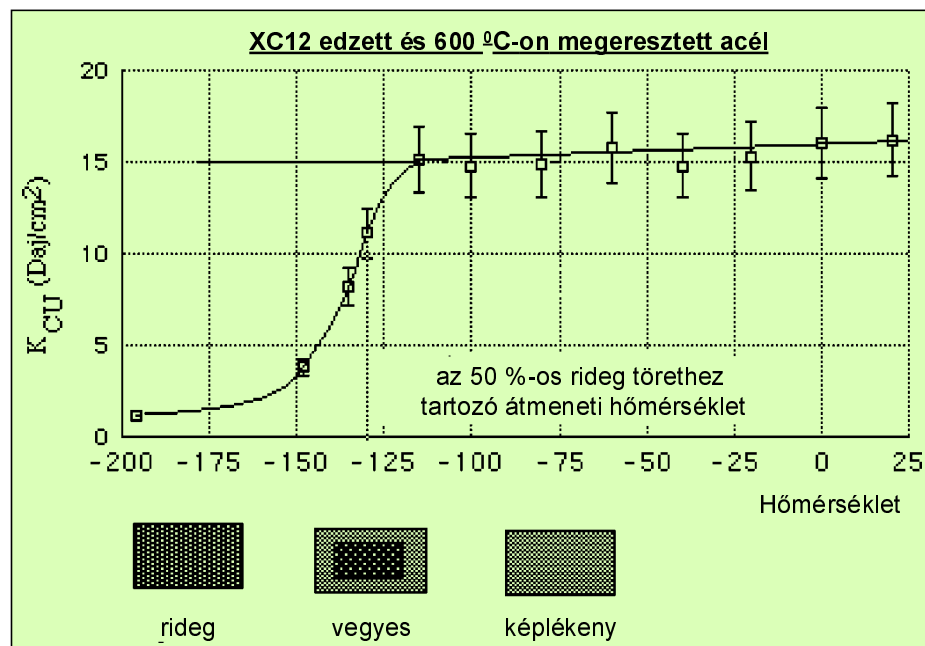
2. 4 Az átmeneti hőmérséklet



Átmeneti hőmérséklet a fajlagos ütőmunka csökkenési szakaszának felénél

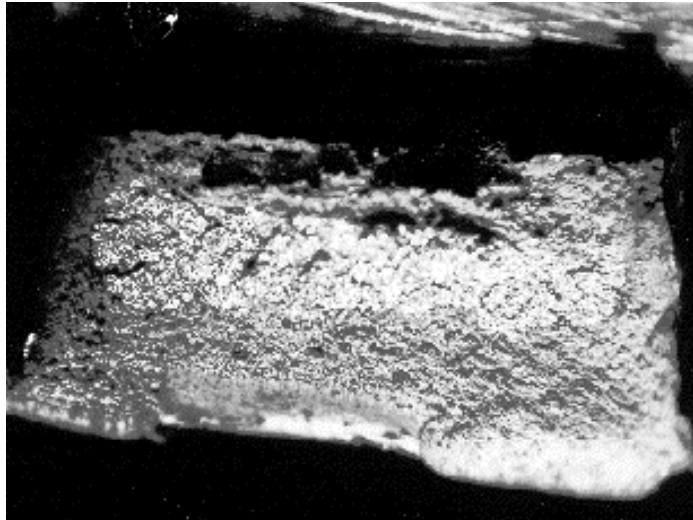
Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 15

Az átmeneti hőmérséklet



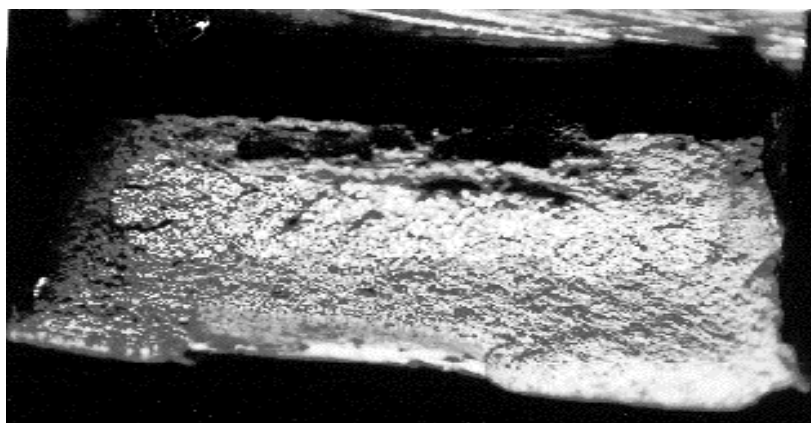
Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 16

Rideg-képlékeny törés



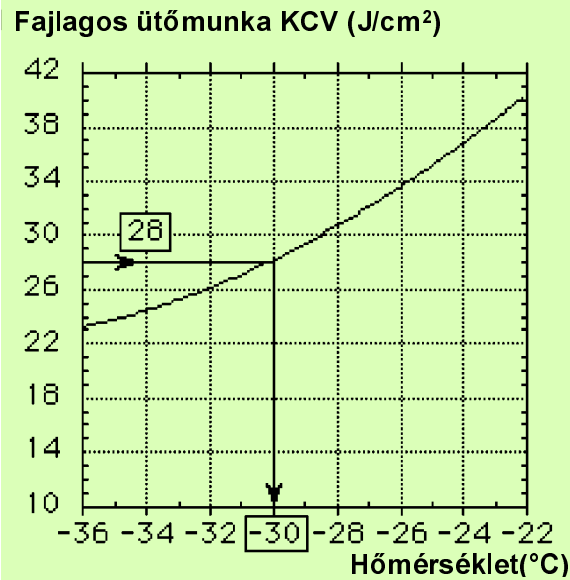
Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 17

Az átmeneti hőmérséklet



Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 18

Az átmeneti hőmérséklet



Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 19

3) CHARPY - féle ütőmű

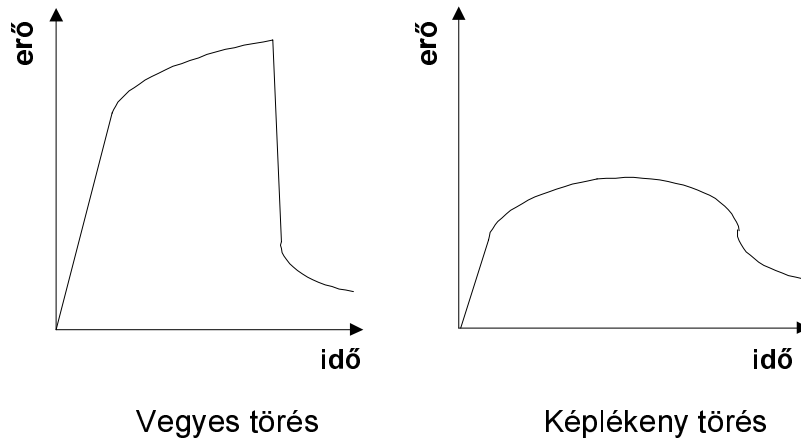
A kalapácson lévő élre feszültségmérő bélyegeket ragasztottak. Az erőjeleket az elmozdulás függvényében oszcilloszkópon jelenítik meg.

A következő erő elmozdulás görbéket regisztrálhatjuk:

- Képlékeny törés:** Rugalmas szakasz, képlékeny keményedés szakasza, maximális erő, folyamatosan csökkenő erő.
- Rideg törés:** Rugalmas szakasz, majd az erő hirtelen csökkenése.
- Vegyes törés:** a képlékeny keményedés szakaszát az erő hirtelen zuhanása követi.

Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 20

3) CHARPY - féle ütőmű



Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 21

3) CHARPY - féle ütőmű

Töréshez szükséges energia

A töréshez szükséges energia értékét korrigáljuk, ami lehetővé teszi a kalapács sebességcsökkenésének figyelembevételét.

$$U_C = V_0 \int_0^t P \cdot dt$$

$$U_C^* = U_C \cdot (1 - \alpha)$$

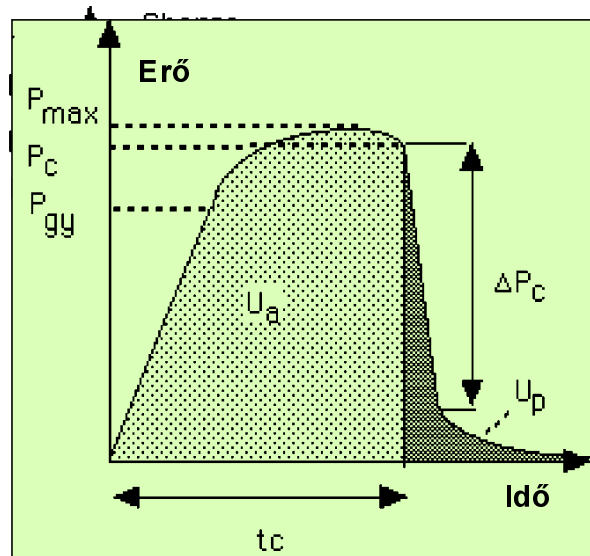
U_C a töréshez szükséges teljes energia állandó sebességű kalapács esetén.

V_0 Kezdősebesség
 P Erő
 t Idő
 U_0 A kalapács kiinduló energiája.

$$\alpha = \frac{U_C}{U_0}$$

Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 22

3) CHARPY - féle ütőmű



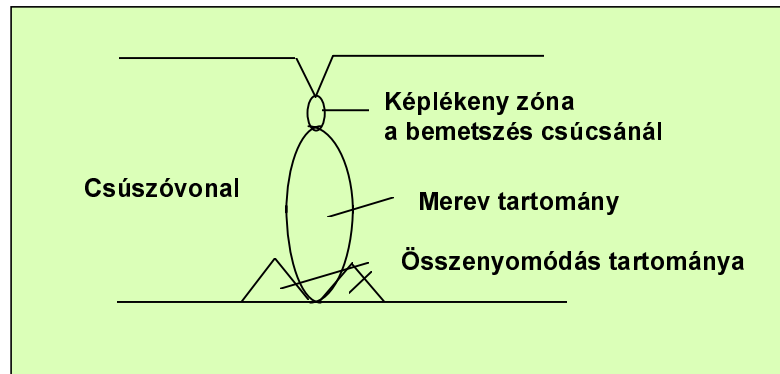
Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 23

4) A fajlagos hidrosztatikus feszültség hatása a dinamikus terheléssel szembeni ellenállásra

- 4.1) Feszültségeloszlás a bemetszés csúcsánál
- 4.2) A fajlagos hidrosztatikus feszültség hatása a vegyes törési mód kialakulására

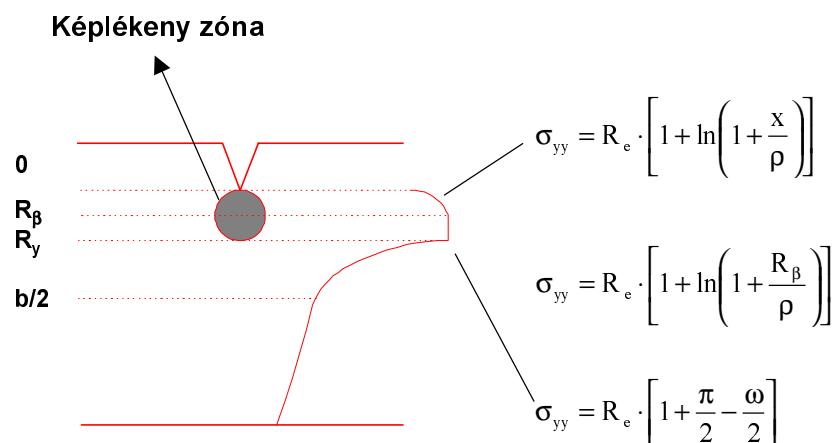
Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 24

4.1) Feszültségeloszlás a bemetszés csúcsánál



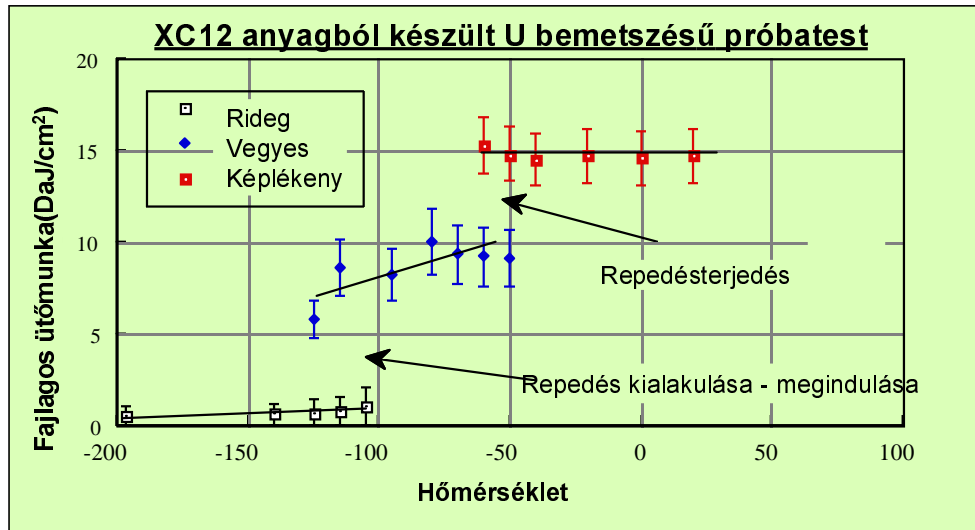
Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 25

4.1) Feszültségeloszlás a bemetszés csúcsánál



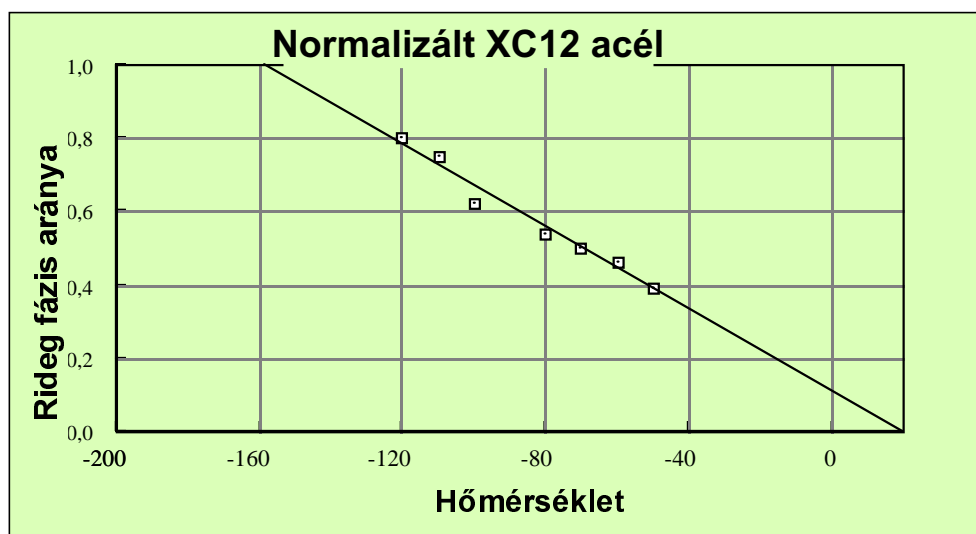
Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 26

4.2) A fajlagos hidrosztatikus feszültség hatása a vegyes törési mód kialakulására



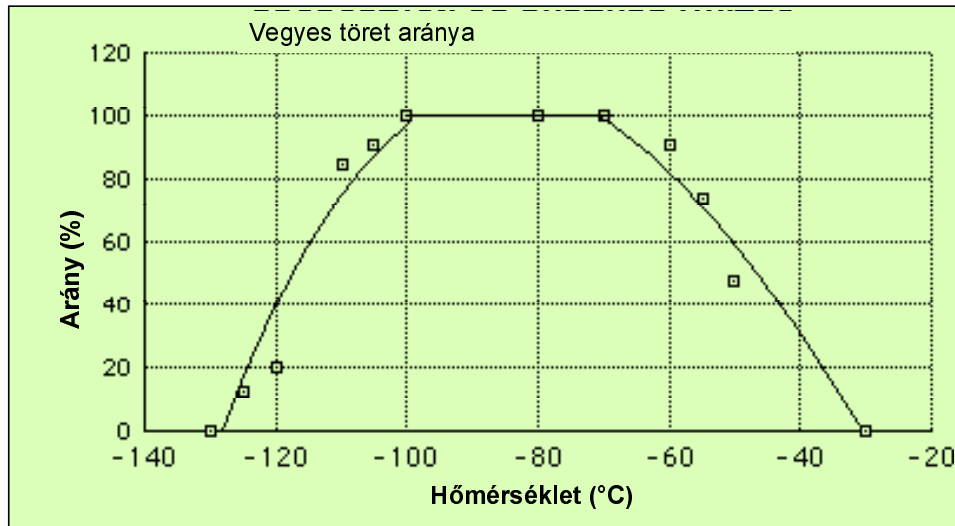
Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 27

4.2) A fajlagos hidrosztatikus feszültség hatása a vegyes törési mód kialakulására



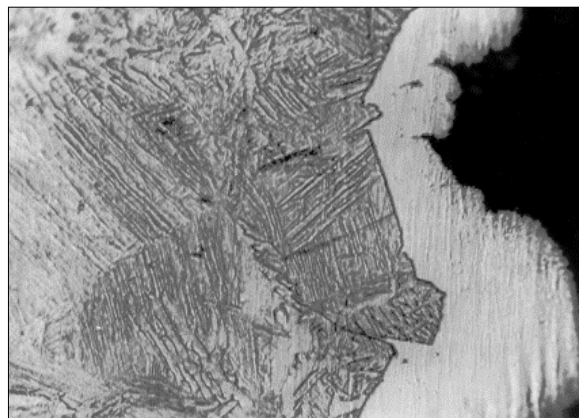
Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 28

4.2) A fajlagos hidrosztatikus feszültség hatása a vegyes törési mód kialakulására



Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 29

4.2) A fajlagos hidrosztatikus feszültség hatása a vegyes törési mód kialakulására



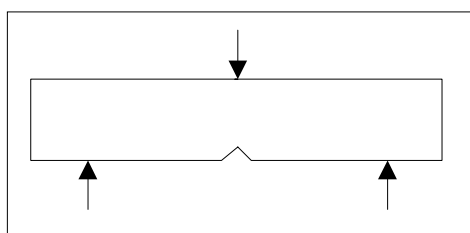
Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 30

5) Az átmeneti hőmérséklet meghatározási módjai

NÉV	ELJÁRÁS	KRITÉRIUM
Van der Veen	Bemetszett, hasáb hárompontos hajlítóvizsgálata	Az a hőmérséklet, amelyen 32 mm-nél hosszabb repedés keletkezik
Kinzel	Lemez síkhajlítóvizsgálata. A repedéskeletkezést V alakú, keresztirányú bemetszés és felhegesztett rideg varrat segíti elő	1%-os keresztirányú kontrakcióhoz tartozó hőmérséklet
Noren	Szakítóvizsgálat élén ívvel ridegített próbatesttel	100%-os rideg törethez tartozó hőmérséklet
S.O.D. Feely	Szakítóvizsgálat adott terheléssel, állandó hőmérsékleten	Az a hőmérséklet, ahol a törés rideg repedésterjedés útján történik

Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 31

5.1) VAN DER VEEN vizsgálat

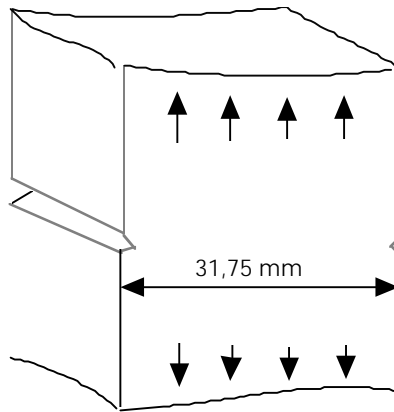


Bemetszett, vékony hasáb hajlításával

Az átmeneti hőmérsékleten a repedés a bemetszés csúcsától 32 mm-re terjed

Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 32

5.2) NOREN vagy TIPPER vizsgálat



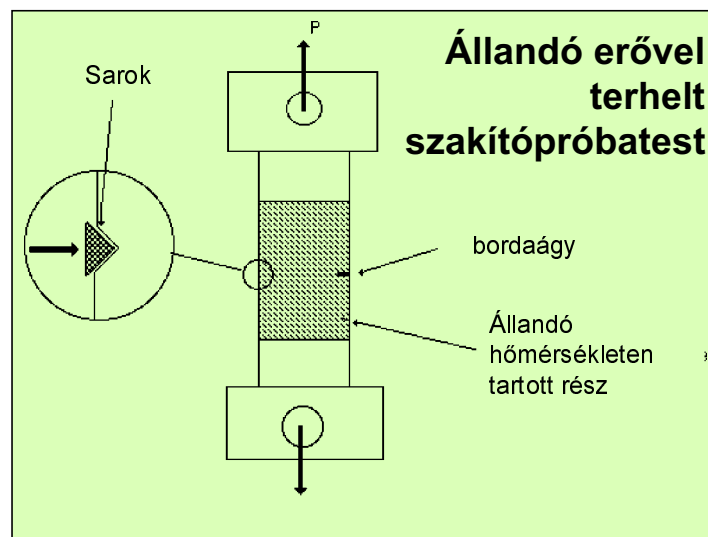
Tipper vizsgálat

Sík própatest
szakítóvizsgálata
élén ívvel ridegített
próbatesttel.

Az átmeneti hőmérséklet a 100 % rideg töret
megjelenéséhez tartozik

Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 33

5.3) S.O.D (FEELY) vizsgálat

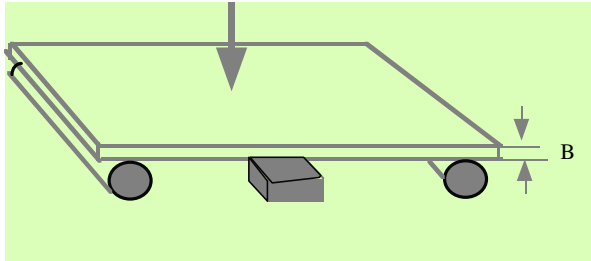


**Állandó erővel
terhelt
szakítópróbatest**

Az átmeneti hőmérsékleten a terhelés
hatására megjelenik a rideg törés.

Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 34

5.4) PELLINI vizsgálat



Egy középén hegesztett és kevésbé bemetszett négyszög alakú lemez próbatestet függőleges ütésirányú kalapáccsal dinamikusan terhelünk

Az NDT (Nil Ductility Temperature) hőmérséklet az a hőmérséklet, amely alatt a repedés könnyedén terjed.

Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 35

5.5) KINZEL vizsgálat

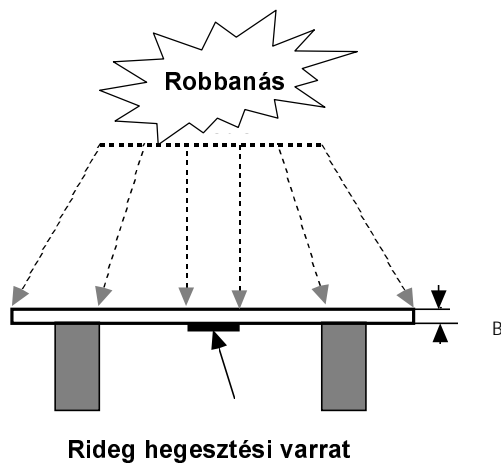
Lemez síkhajlítása. A repedéskeletkezést V alakú, keresztirányú bemetszés és felhegesztett rideg varrat segíti elő

- Statikus hajlítóvizsgálat
- 1%-os keresztirányú kontrakcióhoz tartozó hőmérséklet

Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 36

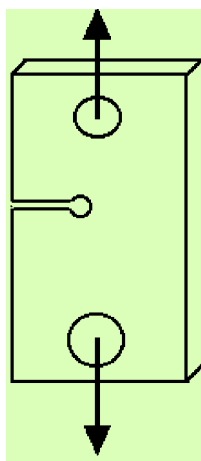
5.6) PELLINI vizsgálat

Robbantásos változat:



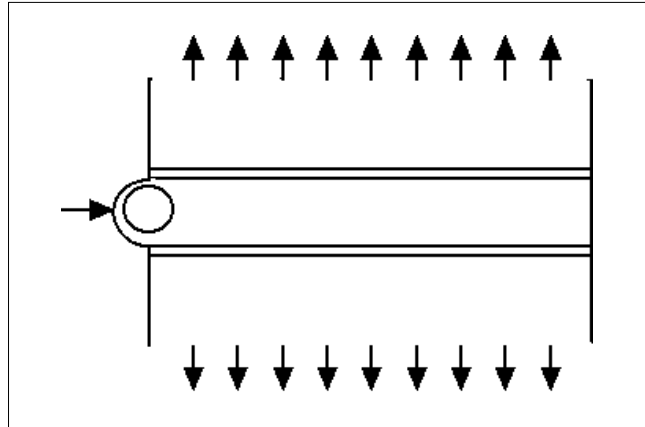
Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 37

5.7) NAVY vizsgálat



Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 38

5.8) ROBERTSON vizsgálat



Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 39

5.8) ROBERTSON vizsgálat

a)

Változó hőmérsékletű próbatesttel. Rideg repedést hozunk dinamikus hatással létre a próbatest hideg szélén. A repedés a próbatest belseje felé halad, amíg olyan hőmérsékletű zónába nem jut, ahol a továbbterjedéshez szükséges képlékeny munka megállítja.

Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 40

5.8) ROBERTSON vizsgálat

b)

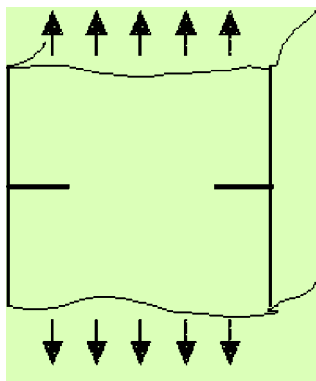
Változó hőmérsékletű próbatesten: A vizsgálandó lemez vastagságával egyező vastagságú próbatestet, amelynek hőmérséklete szélesség irányban változik, adott erővel terhelünk.

A próbatestben a hőmérséklet a repedés hűtött kialakulási helyén kívül állandó hőmérsékletű.

Az átmeneti hőmérséklet az a hőmérséklet, ahol adott terhelés mellett a kialakult rideg repedés terjedése megáll.

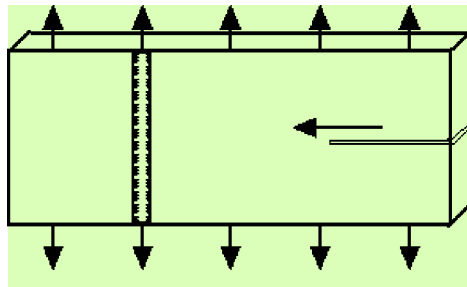
Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 41

5.9) WIDE PLATE vizsgálat



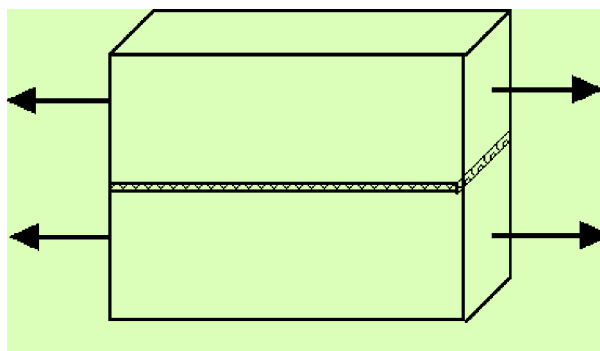
Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 42

5.9) WIDE PLATE vizsgálat



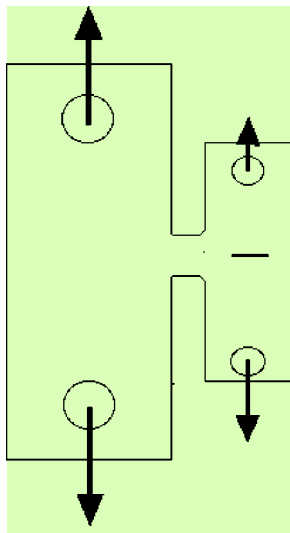
Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 43

5.9) WIDE PLATE vizsgálat



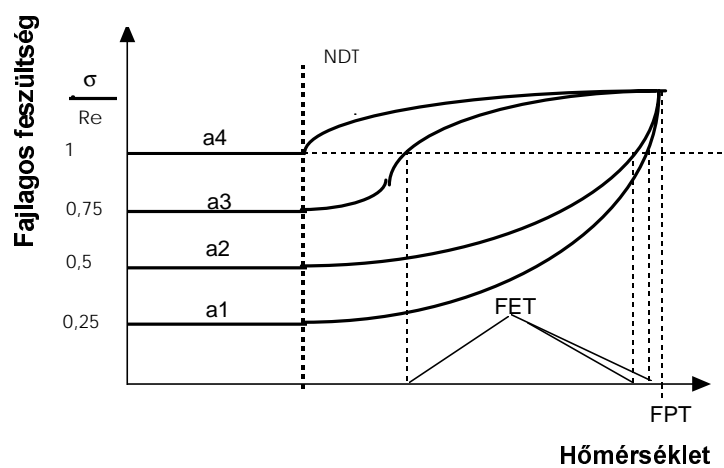
Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 44

5.10) KIHARA vizsgálat



Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 45

5.11) PELLINI diagram



Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 46

6) K_{IC} és a KV ütőmunka kapcsolata

Barsom - Rolfe összefüggés:

- Rideg szint $\left(\frac{K_{IC}}{E}\right)^2 = 0,225 \cdot (KV)^{\frac{3}{2}}$
- Képlékeny szint $\left(\frac{K_{IC}}{R_e}\right)^2 = 0,62 \cdot \left[100 \cdot \left(\frac{KV}{R_e}\right) - 1\right]$

K_{IC} [MPa/m] , KV [J]

Sailors-Corten összefüggés:

$$K_{IC} = 14,6 \cdot \sqrt{KV}$$

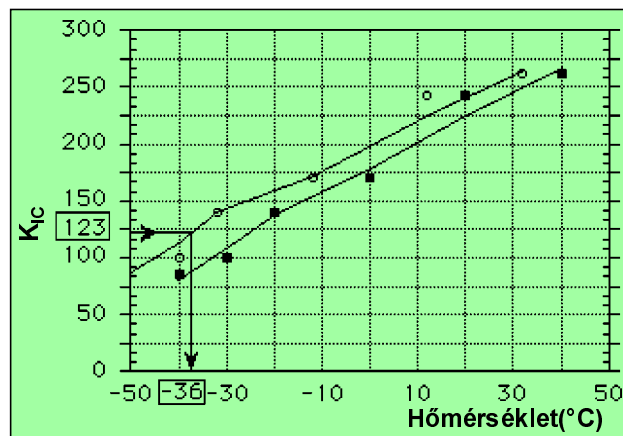
Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 47

6) K_{IC} és a KV ütőmunka kapcsolata

Marandet és Sanz - féle összefüggés:

$$K_{IC} = 19 \cdot \sqrt{KCV}$$

$$T_{t,(K_k)} = 1,4 \cdot T_{t,K28}$$



Rideg-képlékeny átmenet hőmérséklete - 48

Bevezetés a lineáris törésmechanikába

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 1

1) Az atomos kötés (1)

Feltételezzük, hogy az atomok közötti összetartó erő
eleget tesz a következő összefüggésnek:

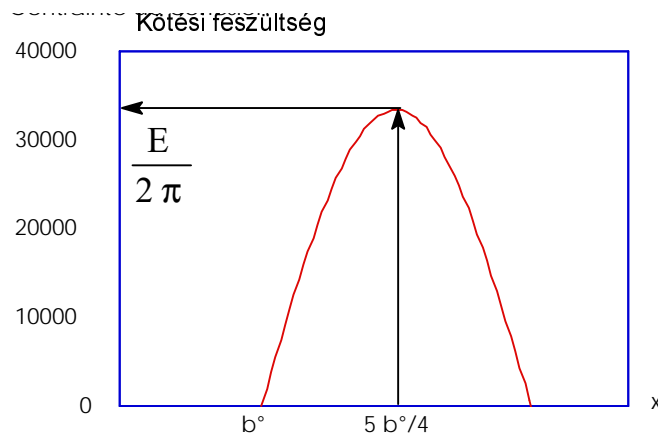
$$\sigma_{\text{coh}} = \sigma_{\text{coh}}^{\text{max}} \cdot \sin \left[\alpha \pi \left(\frac{x - b_0}{b_0} \right) \right]$$

Ezen összefüggésben $\sigma_{\text{coh}}^{\text{max}}$ az egymástól $5b_0/4$
távolságra eltávolított atomok között feszültség
maximumát jelenti

Két, egymástól b_0 -ra eltávolított atom esetén ez a
feszültség nulla, egyébként feltételezzük, hogy
eleget tesz a Hooke-törvénynek.

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 2

1) Az atomos kötés (2)



Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 3

1) Az atomos kötés (3)

A kötés feszültség számítása

A Hooke-törvény alkalmazásakor feltesszük, hogy

$$\sigma_{coh} = E \cdot \varepsilon = E \cdot \left(\frac{x - b_0}{b_0} \right)$$

$$d\sigma_{coh} = E \cdot \frac{dx}{b_0}$$

ha $x = b_0$

$$\frac{d\sigma_{coh}}{dx} = \sigma_{coh}^{max} \cdot \frac{\alpha\pi}{b_0} \cdot \cos \left[\frac{\alpha\pi}{b_0} \left(\frac{x - b_0}{b_0} \right) \right] = \frac{E}{b_0}$$

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 4

1) Az atomos kötés (4)

$$\sigma_{\text{coh}}^{\text{max}} \cdot \frac{\alpha\pi}{b_0} = \frac{E}{b_0}$$

$$\sigma_{\text{coh}}^{\text{max}} \cdot \frac{\alpha\pi}{b_0} = \frac{E}{\alpha\pi}$$

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 5

1) Az atomos kötés (5)

α kiszámítása:

$$\left. \frac{d\sigma_{\text{coh}}}{dx} \right|_{x=x_{\text{max}}} = \sigma_{\text{coh}}^{\text{max}} \cdot \frac{\alpha\pi}{b_0} \cdot \cos\left[\frac{\alpha\pi}{b_0} \cdot \frac{1}{4}\right]$$

$$\left. \frac{d\sigma_{\text{coh}}}{dx} \right|_{x=x_{\text{max}}} = \sigma_{\text{coh}}^{\text{max}} \cdot \frac{\alpha\pi}{b_0} \cdot \cos\left[\alpha\pi \cdot \frac{1}{4}\right] = 0$$

$$\cos\left[\alpha\pi \cdot \frac{1}{4}\right] = 0 \quad \Rightarrow \quad \boxed{\frac{\alpha\pi}{4} = \frac{\pi}{2}}$$

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 6

1) Az atomos kötés (6)

$$\alpha = 2 \Rightarrow \sigma_{\text{coh}}^{\text{max}} = \frac{E}{2\pi}$$

A törés bekövetkeztének elméleti határa nagyságrendileg a Young-modulus tizedével egyenlő, ami a mért érték ($E/100$) sokszorosa. A különbség a különböző hibák jelenlétével magyarázható, amelyek feszültséggyűjtő helyként jelentkeznek.

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 7

1) Az atomos kötés (7)

A törési energia kiszámítása:

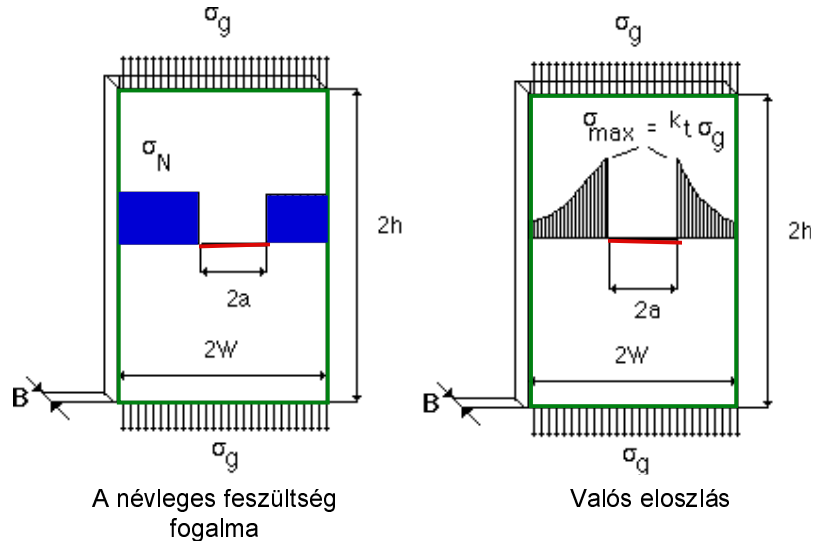
$$2\gamma = \int_{b_0}^{3\frac{b_0}{2}} \sigma_{\text{coh}} dx = \int_{b_0}^{3\frac{b_0}{2}} \frac{E}{2\pi} \cdot \sin \left[2\pi \left(\frac{x - b_0}{b_0} \right) \right] dx = \frac{E \cdot b_0}{2\pi^2}$$

$$\gamma = \frac{E \cdot b_0}{4\pi^2}$$

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 8

2) Feszültségeloszlás hibahely környékén

• 2.1) Globális és névleges feszültség



Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 9

2.1) Globális és névleges feszültség

Globális feszültség: $\sigma_g = \frac{P}{2WB}$

Névleges feszültség: $\sigma_N = \frac{P}{2(W-a)B}$

Maximális feszültség: σ_{\max} $k_t = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_g}$

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 10

2.2) Feszültségintenzitási tényező

Elliptikus repedés
$$\frac{\sigma_{\max}}{\sigma_g} = \left(1 + \frac{2a}{b}\right)$$

Gömb alakú üreg esetén 3-as feszültségintenzitási tényező jelentkezik.

Az ellipszis egyenletéből kiindulva:
$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

Megmutathatjuk, hogy A-ban a ρ görbületi sugár:

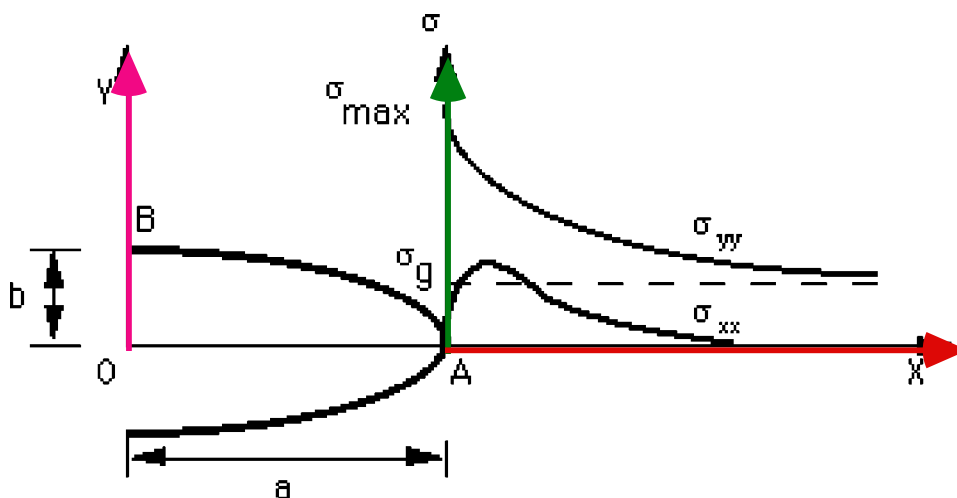
$$\rho = \frac{b^2}{a}$$

Vagyis a kiinduló egyenletből:
$$\frac{\sigma_{\max}}{\sigma_g} = \left(1 + 2\sqrt{\frac{a}{\rho}}\right)$$

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 11

2.3) Feszültségeloszlás a repedéscsúcsban (1)

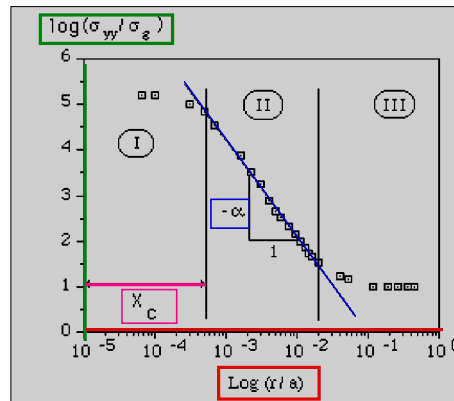
- Elliptikus hiba esetén



Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 12

2.3) Feszültségeloszlás a repedéscsúcsban (2)

- Elliptikus hiba esetén



Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 13

2.3) Feszültségeloszlás a repedéscsúcsban (3)

- Feszültségintenzitási tényező

Az I. övezetben X_c távolságon a feszültség jellemzően állandó és σ_{\max} -al egyenlő

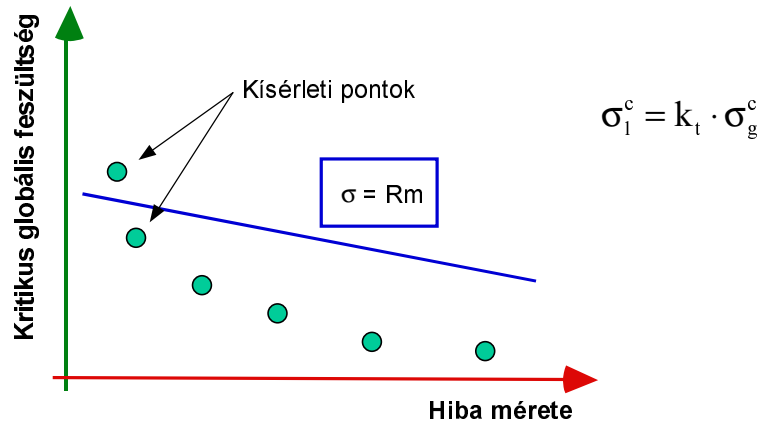
A belső övezetben (II.):
$$\sigma_{yy} = \frac{K_p}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{1}{r^{1/2}}$$

K_p a (bemetszésben ébredő) feszültségintenzitási tényező

A III. övezetben σ_{yy} a globális feszültség σ_g értéke irányában változik

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 14

2.4) A maximális lokális feszültség szerepe



Az a feltétel, hogy töréskor a lokális feszültség megegyezik a törési feszültséggel, nem teszi lehetővé a hiba mérete és a kritikus globális feszültség közötti kapcsolat meghatározását.

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 15

3) A hiba mérete és a globális feszültség közötti kapcsolat

3.1) Griffith elmélet (1)

1920-ban A.A. Griffith energetikai kritériumra épített törési feltételt dolgozott ki.

Ez az elmélet a lineáris törésmechanika alapja.

Egy σ_g globális terhelésnek alávetett lemezt vizsgálunk, amely középpontjában repedést tartalmaz.

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 16

3.1) Griffith elmélet (2)

A P potenciális energia terhelés hatására bekövetkező változást számítjuk, miután létrehoztunk egy $2a$ hosszúságú repedést:

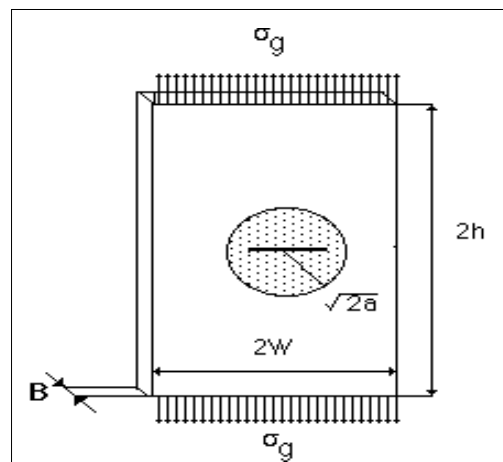
- $U =$ A repedést nem tartalmazó lapban eltárolt rugalmas energia.
- $U =$ A rugalmas energiának a repedés jelenlétéből adódó csökkenése azon térfogatrészben, amely viselkedését a repedés jelenléte megváltoztatja.
- $U =$ Felületi rugalmas energia, amely a repedés felületének kialakulásakor jön létre.

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 17

3.1) Griffith elmélet (3)

Az U_0 eltárolt rugalmas energia : $U_0 = \frac{\sigma_g^2}{2E} V$

ahol: E a Young-modulus és V a lemez térfogata



Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 18

3.1) Griffith elmélet (4)

Feltételezzük, hogy a repedés jelenléte által befolyásolt térfogat gömb alakú, sugara $2a$. A térfogatban eltárolt U_1 energia egységnyi vastagságú, vékony lemezre:

$$U_1 = \frac{\pi a^2 \sigma_g^2}{E}$$

Vastag lemezre: $U_1 = \frac{\pi(1-\nu^2)a^2 \sigma_g^2}{E}$

ahol ν a Poisson tényező

Feltételezve, hogy az anyag felületi energiája γ , egységnyi vastagság esetén: $U_2 = 4 \cdot a\gamma$

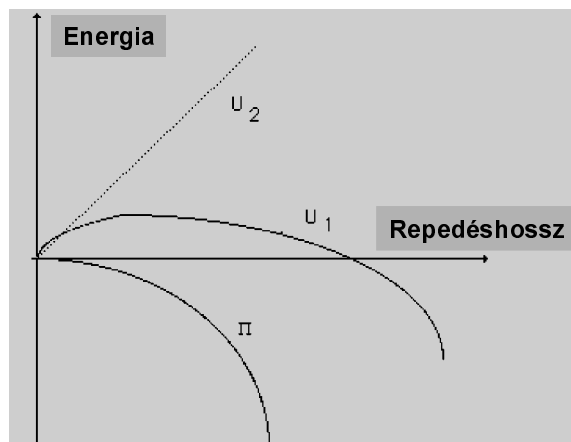
mivel két, $2a$ oldalhosszúságú felület van.

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 19

3.1) Griffith elmélet (5)

Síkfeszültségi állapotban (vékony lemezre):

$$\Pi = \frac{\sigma_g^2}{2E} V - \frac{\pi a^2 \sigma_g^2}{E} + 4a\gamma$$



Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 20

3.1) Griffith elmélet (6)

A repedés egyensúlyi helyzetben van: $d\Pi/da = 0$

$$\frac{\partial \Pi}{\partial a} = 4\gamma - \frac{2\pi a \sigma_g^2}{E}$$

$$\frac{\partial \Pi}{\partial a} = 4\gamma - \frac{2\pi a \sigma_g^2}{E} = 0$$

$$\frac{\partial^2 \Pi}{\partial a^2} = -\frac{2\pi \sigma_g^2}{E}$$

A repedés tehát instabil egyensúlyi helyzetben van.

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 21

3.1) Griffith elmélet (7)

Síkfeszültségi állapot (vékony lemez)

$$\sigma_g^c = \sqrt{\frac{2E\gamma}{\pi a}}$$

Síkalakváltozási állapot (vastag lemez):

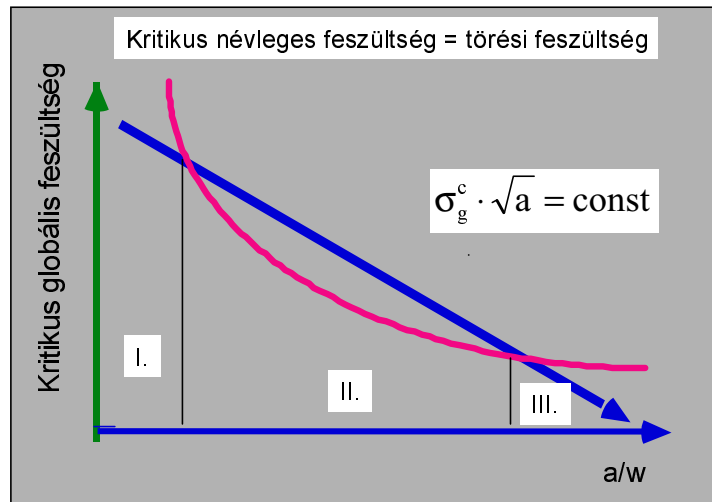
$$\sigma_g^c = \sqrt{\frac{2E\gamma}{\pi a(1-\nu^2)}}$$

A Griffith elmélet szerint a hibahossz négyzetgyökének és a kritikus globális feszültségnek a szorzata állandó.

$$\sigma_g^c \cdot \sqrt{a} = \text{const}$$

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 22

3.2) Feddersen eljárás (1)



Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 23

3.2) Feddersen eljárás (2)

- A Griffith által kidolgozott összefüggés csak a II. tartományban érvényes.
- Nagyon kis hibák (I. tartomány) estében az anyag “nem látja” a hibát, és a törés csak nagyon nagy terheléseknél jelentkezik.
- Nagy hibáknál (III. tartomány) a törés oka a képlékeny instabilitás kialakulása.

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 24

4) A repedés csúcsánál mérhető feszültségeloszlás

4.1) Megoldási módszerek

A feladatot a rugalmasságtanból ismert módszerekkel oldjuk meg. Több lehetőségünk van. Az egyik alkalmazható módszer során a feszültségeket az F rugalmas potenciálfüggvényből, azaz az AIRY függvényből származtathatjuk.

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 25

4.2) Általános megoldás

$$K = \frac{C_1}{\sqrt{2\pi}}$$

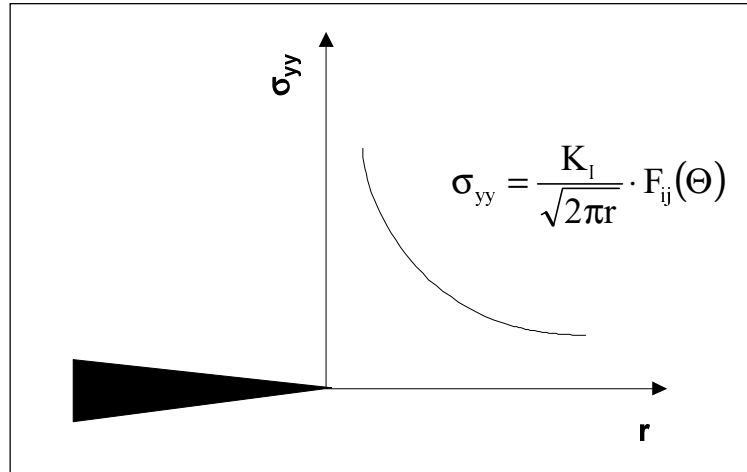
ha

$$\sigma_{ij} = \frac{K_I}{\sqrt{r}} \cdot f_{ij}(\Theta)_{\text{IIR}} \Rightarrow 0$$

A rugalmas feszültségek eloszlásában a repedés csúcsában szingularitás lép fel.

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 26

4.3) A repedés síkjára merőleges terhelés esete



Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 27

4.3) A repedés síkjára merőleges terhelés esete

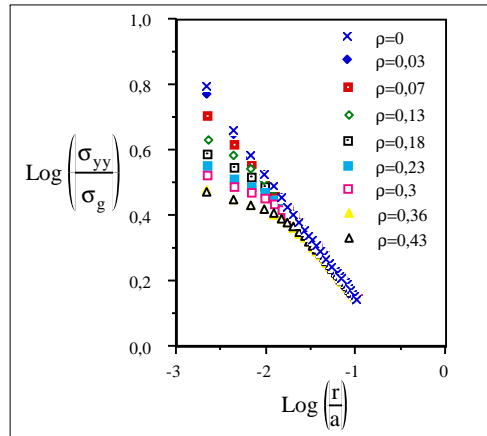
$$\sigma_{yy} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \left[\cos \frac{\Theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\Theta}{2} \cdot \sin \frac{3\Theta}{2} \right) \right]$$

$$\tau_{xy} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \left[\cos \frac{\Theta}{2} \cdot \sin \frac{\Theta}{2} \cdot \cos \frac{3\Theta}{2} \right]$$

$$\sigma_{xx} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \left[\cos \frac{\Theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\Theta}{2} \cdot \sin \frac{3\Theta}{2} \right) \right]$$

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 28

4.4) A bemetszés-élesség hatása a repedéscsúcsban ébredő feszültségek eloszlására



A repedés végtelen $1/\rho$ bemetszés-élességű elliptikus bemetszésként kezelhető.
(ρ a bemetszés sugara)

$$K = \lim_{\rho \rightarrow 0} \frac{k_t}{2} \sigma_g \cdot \sqrt{\pi \rho}$$

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 29

5) A feszültségintenzitási tényező és a külső terhelés kapcsolata

5.1) Alapegyenlet

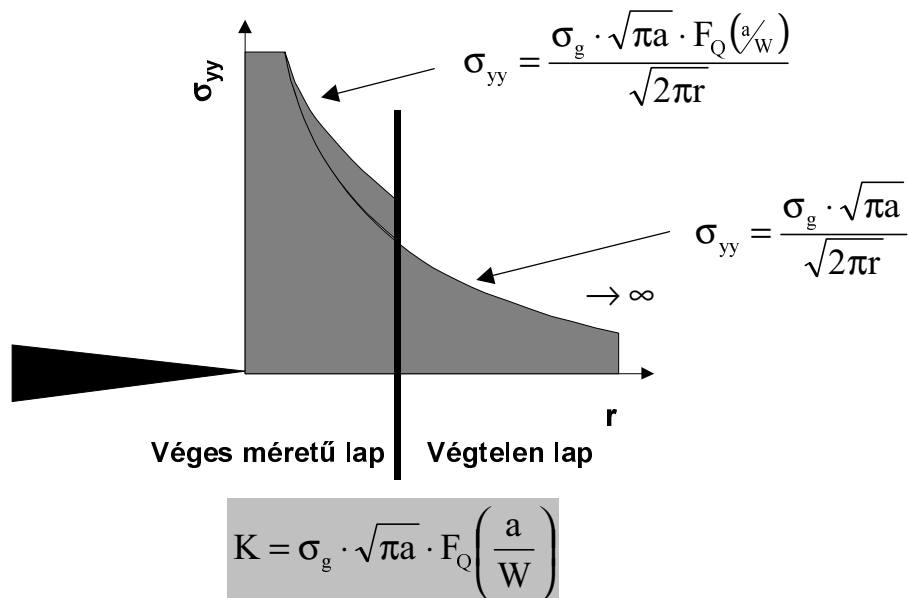
$$\sigma_{yy} = \frac{\sigma_g}{\sqrt{x^2 - a^2}}$$

$$K = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sigma_g \cdot \sqrt{2\pi(x-a)}}{\sqrt{x^2 - a^2}} = \sigma_g \cdot \sqrt{\pi a}$$

$$K = \sigma_g \cdot \sqrt{\pi a}$$

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 30

5.2) A véges méretek hatása (1)



Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 31

5.2) A véges méretek hatása (2)

- végtelen sík:

$$F_Q\left(\frac{a}{W}\right) = 1 \quad K = \sigma_g \cdot \sqrt{\pi a}$$

- végtelen félsík:

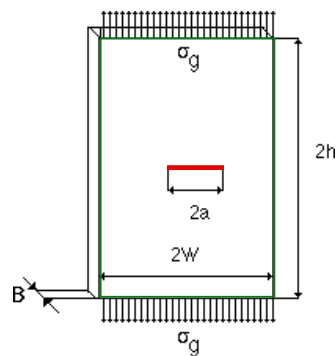
$$F_Q\left(\frac{a}{W}\right) = 1,12$$

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 32

5.2) A véges méretek hatása (3)

- $2W$ hosszú lap:

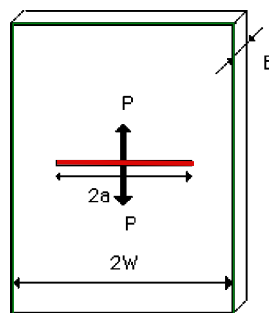
$$K_I = \sigma_g \cdot \sqrt{\pi a} \cdot \sqrt{\sec \frac{\pi a}{W}}$$



Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 33

5.2) A véges méretek hatása (4)

- Koncentrált terhelés:



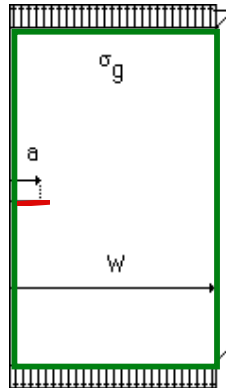
$$K = \frac{P \cdot B}{\sqrt{\pi a}}$$

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 34

5.2) A véges méretek hatása (5)

- Véges hosszúságú lap egyoldali bemetszéssel:

$$F_Q\left(\frac{a}{W}\right) = 1,99 - 0,41 \cdot \frac{a}{W} + 18,7 \cdot \left(\frac{a}{W}\right)^2 - 38,48 \cdot \left(\frac{a}{W}\right)^3 + 53,85 \cdot \left(\frac{a}{W}\right)^4$$

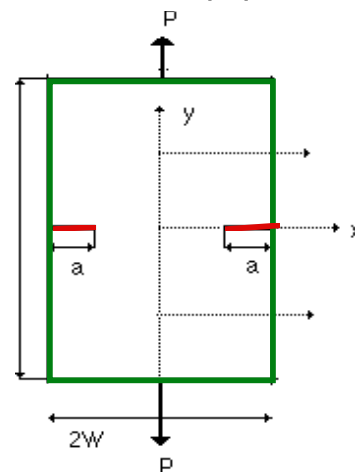


$$1,99 = 1,12 \cdot \sqrt{\pi}$$

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 35

5.2) A véges méretek hatása (6)

- lemez kétoldali bemetszéssel
- a - bemetszésmélység

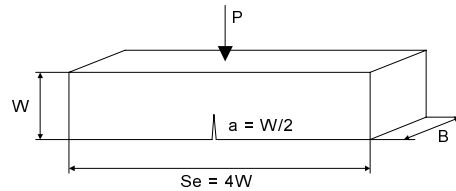


$$F_Q\left(\frac{a}{W}\right) = 1,99 + 0,76 \cdot \frac{a}{W} - 8,48 \cdot \left(\frac{a}{W}\right)^2 + 27,36 \cdot \left(\frac{a}{W}\right)^3$$

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 36

5.2) A véges méretek hatása (7)

- 3 pontos hajlítóvizsgálat:



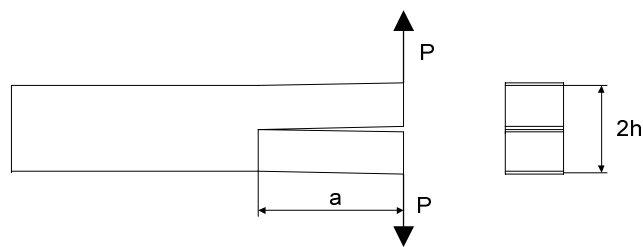
$$K = \frac{P \cdot S_e}{B \cdot W \cdot \sqrt{W}} F_p\left(\frac{a}{W}\right)$$

$$F_p\left(\frac{a}{W}\right) = 2,9 \cdot \left(\frac{a}{W}\right)^{\frac{1}{2}} - 4,6 \cdot \left(\frac{a}{W}\right)^{\frac{3}{2}} + 21,8 \cdot \left(\frac{a}{W}\right)^{\frac{5}{2}} - 37,6 \cdot \left(\frac{a}{W}\right)^{\frac{7}{2}} + 38,7 \cdot \left(\frac{a}{W}\right)^{\frac{9}{2}}$$

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 37

5.2) A véges méretek hatása (8)

- DCB próbatest:



$$K = \frac{P \cdot a}{\sqrt{2 \cdot B \cdot I}}$$

Inercianyomaték:

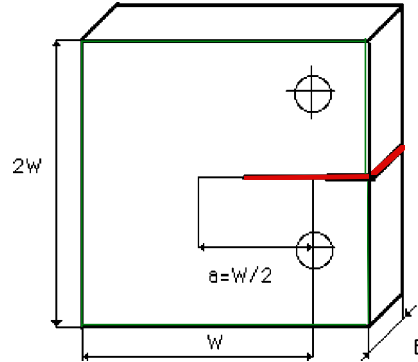
$$I = \frac{B \cdot h^3}{12}$$

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 38

5.2) A véges méretek hatása (9)

- CT próbatest:

$$K = \frac{P}{B \cdot \sqrt{W}} F_p \left(\frac{a}{W} \right)$$

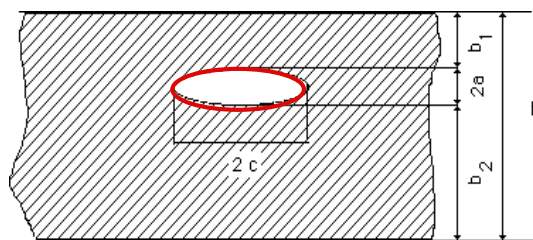


$$F_p \left(\frac{a}{W} \right) = 29,6 \cdot \left(\frac{a}{W} \right)^{\frac{1}{2}} - 185,5 \cdot \left(\frac{a}{W} \right)^{\frac{3}{2}} + 655,7 \cdot \left(\frac{a}{W} \right)^{\frac{5}{2}} - 1017 \cdot \left(\frac{a}{W} \right)^{\frac{7}{2}} + 63,9 \cdot \left(\frac{a}{W} \right)^{\frac{9}{2}}$$

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 39

5.2) A véges méretek hatása (10)

- Elliptikus repedés:



- Végtelen test esetén:

$$K_I = \frac{\sigma_g \sqrt{\pi a}}{\Theta} \left[\sin^2 \Theta + \frac{a^2}{c^2} \cdot \cos^2 \Theta \right]^{\frac{1}{4}}$$

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 40

5.2) A véges méretek hatása (11)

- Másodfajú elliptikus integrál:

$$\Theta = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left[1 - \frac{c^2 - a^2}{c^2} \cdot \sin^2 \Theta \right]^{\frac{1}{2}} d\Theta$$

$$\Theta = \frac{\pi}{2} \left[1 - \frac{1}{4} \left(\frac{c^2 - a^2}{c^2} \right) - \frac{3}{64} \left(\frac{c^2 - a^2}{c^2} \right)^2 - \dots \right]$$

$$\Theta = \frac{3\pi}{8} + \frac{\pi \cdot a^2}{8c^2}$$

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 41

5.2) A véges méretek hatása (12)

- A feszültségintenzitási tényező maximuma:

Véges tartomány esetén: $K_I \Big|_{\Theta=\frac{\pi}{2}} = \frac{\sigma_g \sqrt{\pi a}}{\Theta}$

A szabad felület létezését figyelembevevő MK korrekció:

$$K_{I,\max} = 1,12 \cdot MK \cdot \sigma_g \sqrt{\frac{\pi a}{Q}}$$

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 42

5.2) A véges méretek hatása (13)

- A hiba alakját figyelembe vevő Q tényező:

$$Q = \sqrt{\Theta^2 - 0,212 \cdot \left(\frac{\sigma_g}{R_e} \right)^2}$$

képlékeny korrekció R_e - Rugalmassági határ

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 43

5.2) A véges méretek hatása (14)

- Sík hiba, háromtengelyű terhelés esetén:

$$K = \sigma_m \cdot M_m \sqrt{\pi} \cdot \sqrt{\frac{a}{Q}} + \sigma_b \cdot M_b \sqrt{\pi} \cdot \sqrt{\frac{a}{Q}}$$

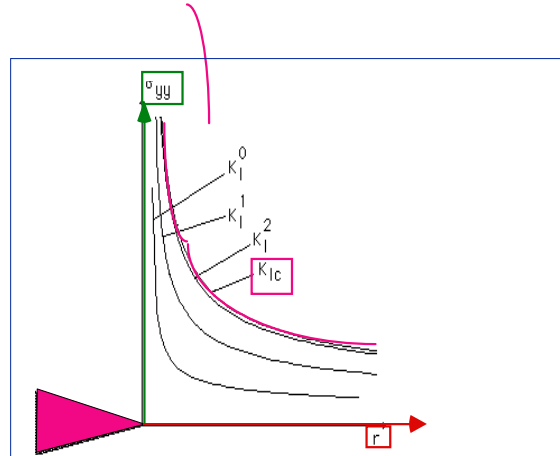
Az elő- és hátlap létét figyelembe vevő korrekciós tényezők: M_m , M_b

- membránfeszültség esetén: M_m
- hajlítófeszültség esetén: M_b

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 44

6) Törési feltételek

A törés akkor következik be, amikor a feszültségintenzitási tényező értéke elér egy kritikus K_{Ic} értéket.



$$K = \sigma_g^c \sqrt{\pi a} \cdot F_Q \left(\frac{a}{W} \right)$$

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 45

7) Vegyes törési mód

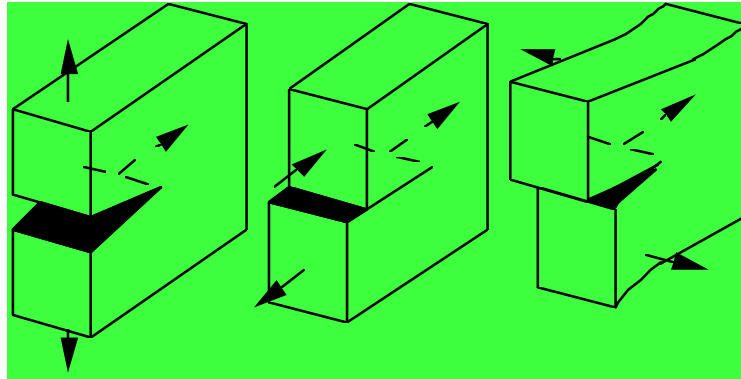
•7.1) Elemi törési módok

Három terhelési módot különböztethetünk meg:

- I. mód, A repedés két felületének felületre merőleges szétnyílását okozza
- II. mód, A repedés két felületének a repedésfrontra merőleges, egymással ellentétes irányú elcsúszását okozza
- III. mód, A repedés két felületének a repedésfronttal párhuzamos, egymással ellentétes irányú elcsúszását okozza

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 46

7.1) Elemi törési módok



I.mód

II.mód

III.mód

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 47

7.2) Feszültségeloszlás a repedéscsúcsban különböző terhelések esetén

• 7.2.1) I. mód:
$$\sigma_{xx} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \left[\cos \frac{\Theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\Theta}{2} \cdot \sin \frac{3\Theta}{2} \right) \right]$$

$$\sigma_{yy} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \left[\cos \frac{\Theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\Theta}{2} \cdot \sin \frac{3\Theta}{2} \right) \right]$$

$$\tau_{xy} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \left[\cos \frac{\Theta}{2} \cdot \sin \frac{\Theta}{2} \cdot \cos \frac{3\Theta}{2} \right]$$

$$K_I = \sigma_g \cdot \sqrt{\pi a}$$

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 48

7.2) Feszültségeloszlás a repedéscsúcsban különböző terhelések esetén

• 7.2.2) II. mód:
$$\sigma_{xx} = \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \left[\cos \frac{\Theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\Theta}{2} \cdot \sin \frac{3\Theta}{2} \right) \right]$$

$$\sigma_{yy} = \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \left[\cos \frac{\Theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\Theta}{2} \cdot \sin \frac{3\Theta}{2} \right) \right]$$

$$\tau_{xy} = \frac{K_{II}}{\sqrt{2\pi r}} \left[\cos \frac{\Theta}{2} \cdot \sin \frac{\Theta}{2} \cdot \cos \frac{3\Theta}{2} \right]$$

$$K_{II} = \tau_g \cdot \sqrt{\pi a}$$

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 49

7.2) Feszültségeloszlás a repedéscsúcsban különböző terhelések esetén

• 7.2.3) III. mód:
$$\tau_{xz} = -\frac{K_{III}}{\sqrt{2\pi r}} \cdot \sin \Theta$$

$$\tau_{yz} = \frac{K_{III}}{\sqrt{2\pi r}} \cos \Theta$$

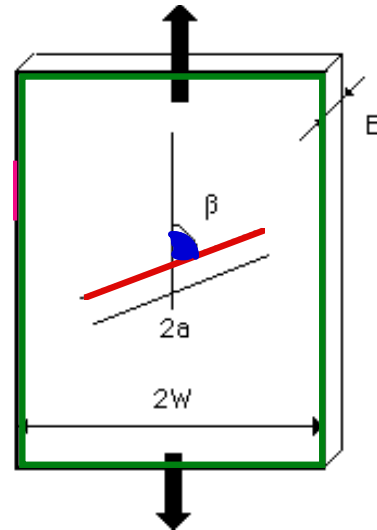
$$K_{III} = \tau_g \cdot \sqrt{\pi a}$$

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 50

7.3) Vegyes törési módok (1)

$$K_I = \sigma_g \cdot \sin^2 \beta \cdot \sqrt{\pi a}$$

$$K_{II} = \sigma_g \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta \cdot \sqrt{\pi a}$$



Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 51

7.3) Vegyes törési módok (2)

- Feszültségeloszlás:

$$\sigma_{\Theta\Theta} = \frac{1}{\sqrt{2\pi r}} \cdot \cos \frac{\Theta}{2} \left[K_I \cdot \cos^2 \frac{\Theta}{2} - \frac{3}{2} K_{II} \cdot \sin \Theta \right]$$

$$\tau_{r\Theta} = \frac{1}{\sqrt{2\pi r}} \cdot \cos \frac{\Theta}{2} \left[K_I \cdot \sin \Theta - K_{II} \cdot (3 \cos \Theta - 1) \right]$$

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 52

7.3) Vegyes törési módok (3)

- Törési feltételek:

- Elemi módok :

$$K_I = K_{Ic} \quad ; \quad K_{II} = K_{IIc} \quad ; \quad K_{III} = K_{IIIc}$$

$$K_{Ic} = K_{IIc} \quad \text{vagy:} \quad K_{Ic} < K_{IIc}$$

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 53

7.3) Vegyes törési módok (4)

- Gömbi feltétel:
$$\left(\frac{K_I}{K_{Ic}} \right)^2 + \left(\frac{K_{II}}{K_{IIc}} \right)^2 = 1$$

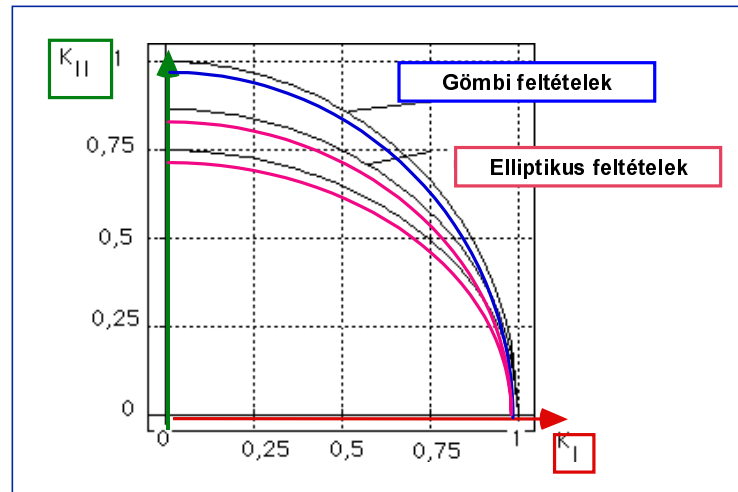
- Elliptikus feltétel:
$$(K_I)^2 + 1,78(K_{II})^2 = (K_{Ic})^2$$

- Erdogan és Sih feltétel:
$$K_I \cdot \cos^2\left(\frac{\Theta}{2}\right) - \frac{3}{2} K_{II} \cdot \sin \Theta = \frac{K_{Ic}}{\cos \frac{\Theta}{2}}$$

$$\tau_{r\Theta} = \frac{K_{Ic}}{\sqrt{2\pi r}}$$

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 54

7.3) Vegyes törési módok (5)



Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 55

7.3) Vegyes törési módok (6)

- Szétágazás iránya:

$$\tau_{r\Theta} = 0 \Rightarrow$$

$$K_I \cdot \sin \Theta - K_{II} \cdot (3 \cos \Theta - 1) = 0$$

Bevezetés a lineáris törésmechanikába - 56

A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei

Amennyiben a az anyag törésig tanúsított viselkedése nem-lineáris, a LTM eredményeit a következő módon alkalmazhatjuk

- Effektív repedéshossz bevezetése
- Kritikus terhelés bevezetése
- Egyenértékű energia módszere
- Feszültségkoncentráció-elmélet

A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 1

1) Az egyenértékű rugalmas feszültségintenzitási tényező fogalma

- Elv : Kiterjesztjük a törésmechanikai összefüggéseket a nem-lineáris törési tartományba.
- Az egyenértékű rugalmas feszültségintenzitási tényező

$$K_{Ie} = \sigma_g \cdot \sqrt{\pi a} \cdot F_Q \left(\frac{a}{W} \right)$$

- A kritikus egyenértékű rugalmas feszültségintenzitási tényező

$$K_{Ie}^c = \sigma_g^c \cdot \sqrt{\pi a} \cdot F_Q \left(\frac{a}{W} \right)$$

A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 2

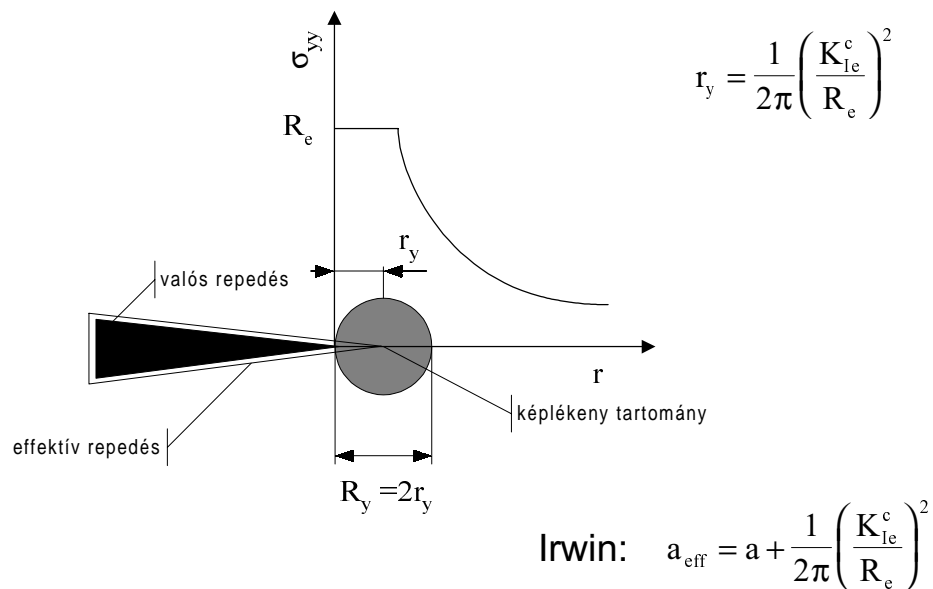
2) A látszólagos törési szívósság fogalma

* Az effektív repedéshossz fogalma

Effektív repedéshossz = repedés valódi hossza +
a rugalmas tartomány mérete

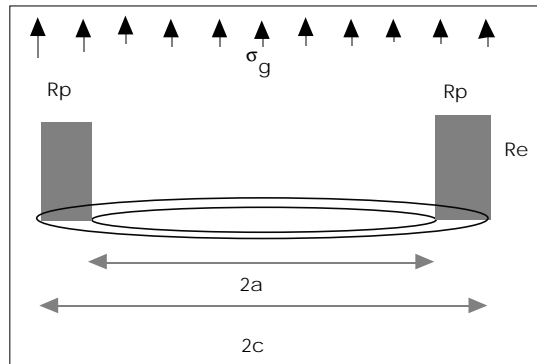
A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 3

2.1) IRWIN-féle képlékeny tartomány



A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 4

2.2) DUGDALE-féle képlékeny tartomány



$$c = a + R_p$$

$$\frac{c}{a} = \sec\left(\frac{\pi \cdot \sigma_g^c}{2R_e}\right)$$

$$R_p = c - a = a \cdot \left[\sec\left(\frac{\pi \cdot \sigma_g^c}{2R_e}\right) - 1 \right]$$

A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 5

3) Az effektív repedéshossz módosítása

- 3.1) IRWIN -féle képlékeny korrekció
- 3.2) DUGDALE -féle képlékeny korrekció
- 3.3) Heald, Spink és Worthington -féle képlékeny korrekció
- 3.4) Allen-féle képlékeny korrekció
- 3.5) Az egyes módszerek összehasonlítása

A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 6

3.1) IRWIN-féle képlékeny korrekció

A látszólagos törési szívósság K_c^* IRWIN szerint a kritikus egyenértékű rugalmas feszültségintenzitási tényezőnek és a ϕ_0 tényezőnek a szorzata

$$K_c^* = K_{le}^c \cdot \sqrt{\Phi_0}$$

Ez a kritikus egyenértékű rugalmas feszültségintenzitási tényezőnek az effektív repedéshossz segítségével számított értéke IRWIN szerint

$$K_c^* = \sigma_g^c \cdot \sqrt{\pi a_{eff}} \cdot F_Q(a/w)$$

ϕ_0 : szorzótényező:

$$\Phi_0 = \left[1 + \left(\frac{\sigma_g^c}{R_e} \right)^2 \right]$$

A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 7

3.2) DUGDALE -féle képlékeny korrekció

A látszólagos törési szívósság K_D^* Dugdale szerint a kritikus egyenértékű rugalmas feszültségintenzitási tényezőnek és a ϕ_1 tényezőnek a szorzata

$$K_D^* = K_{le}^c \cdot \sqrt{\Phi_1}$$

Ez a kritikus egyenértékű rugalmas feszültségintenzitási tényezőnek az effektív repedéshossz segítségével számított értéke Dugdale szerint.

$$K_{c,D}^* = \sigma_g^c \cdot \sqrt{\pi a_{eff}^D} \cdot F_Q(a/w)$$

ϕ_1 : szorzótényező:

$$\Phi_1 = \left(\frac{\pi \sigma_g^c}{2 R_e} \right)$$

A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 8

3.3) HEALD, SPINK és WORTHINGTON -féle képlékeny korrekció

DUGDALE-féle kritikus repedésszétnyílás:

$$\delta_c = 2 \left(\frac{8R_e}{\pi E} \right) \cdot a \cdot \ln \sec \left(\frac{\pi \sigma_g^c}{2R_e} \right)$$

Heald, Spink és Worthington-féle törési szívósság:

$$(K_{HSW}^*)^2 = \delta_c \cdot R_e \cdot E = (\pi \sigma_g^c)^2 \cdot a \cdot \Phi_2$$

Heald, Spink és Worthington-féle törési szívósság az egyenértékű rugalmas feszültségintenzitási tényező és a ϕ_2 korrekciós állandó szorzata:

$$K_{HSW}^* = K_{Ie}^c \sqrt{\Phi_2}$$

A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 9

3.3) HEALD, SPINK és WORTHINGTON -féle képlékeny korrekció

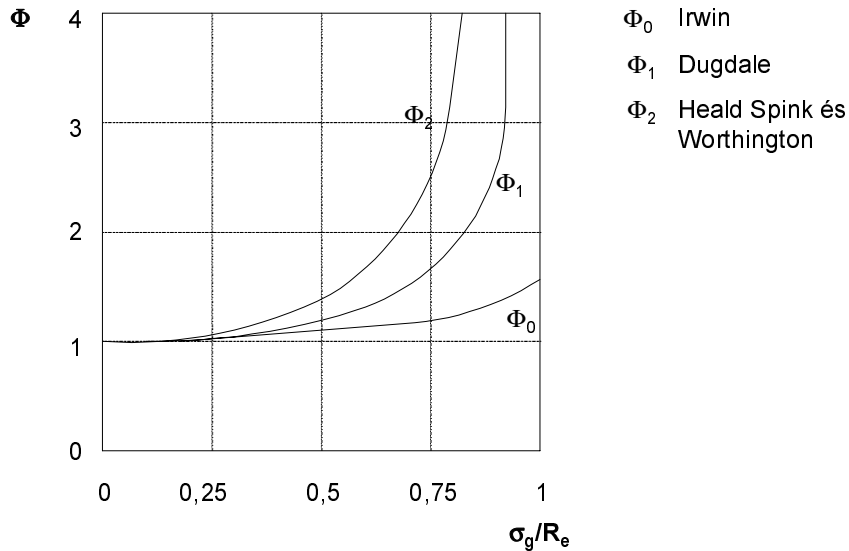
$$K_{HSW}^* = \sigma_g^c \sqrt{\pi a} \cdot F_Q \left(\frac{a}{W} \right) \cdot \sqrt{\Phi_2}$$

ϕ_2 - korrekciós állandó:

$$\Phi_2 = 2 \left(\frac{\pi \sigma_g^c}{2R_e} \right)^{-2} \cdot \ln \sec \left(\frac{\pi \sigma_g^c}{2R_e} \right)$$

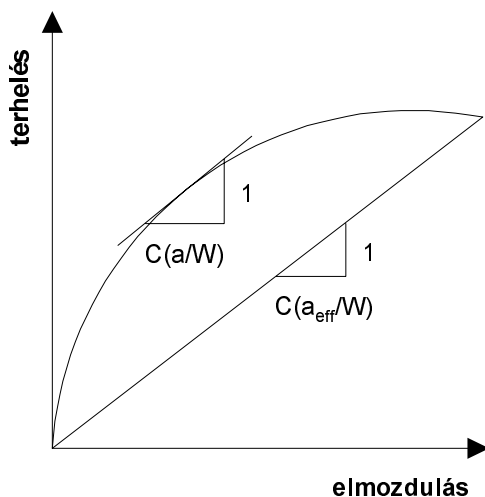
A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 10

3.4) A képlékeny korrekciós tényezők összehasonlítása



A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 11

3.5) ALLEN - féle korrekció



ALLEN-féle effektív hossz:

$$\frac{d_c}{P_c} = C \left(\frac{a_{\text{eff}}}{W} \right)$$

ALLEN-féle látszólagos törési szívósság:

$$K_{c,A}^* = \sigma_g^c \cdot \sqrt{\pi a_{\text{eff}}^A} \cdot F_Q \left(\frac{a}{W} \right)$$

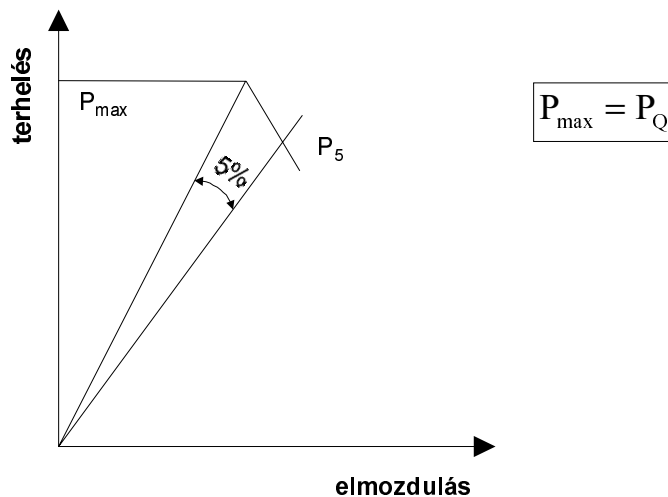
A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 12

4) Határterhelés szerinti korrekció

- 4.1) A határterhelést a KIC meghatározási elvének megfelelően határozzuk meg
- 4.2) A határterhelés értékét az egyenértékű munka elve alapján számítjuk

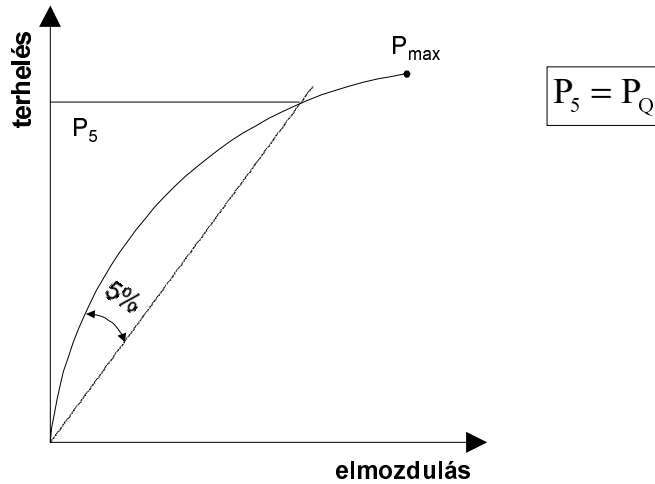
A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 13

4.1) A határterhelés meghatározása a K_{IC} alapján



A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 14

4.1) A határterhelés meghatározása a K_{IC} alapján



A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 15

4.1) A határterhelés meghatározása a K_{IC} alapján

Módosított kritikus feszültség:

$$\sigma_Q^c = \frac{P_Q}{BW}$$

Látszólagos törési szívósság:

$$K_Q^* = \sigma_Q^c \cdot \sqrt{\pi a} \cdot F_Q \left(\frac{a}{W} \right)$$

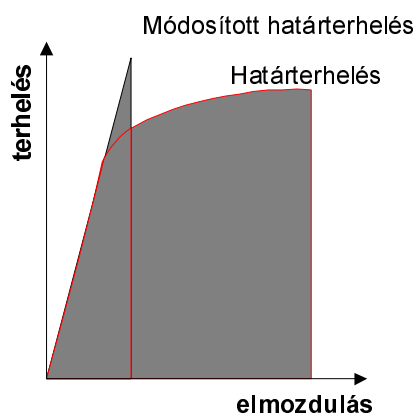
A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 16

4.2) A határterhelés értékének módosítása az egyenértékű munka elve alapján

Az egyenértékű energia elvének alkalmazása során a nem-lineáris anyag a törésig elviselt P_c terhelést egy lineárisan rugalmas anyag P'_c egyenértékű terhelésével helyettesítjük. A P'_c terhelés olyan kell legyen, hogy az U törési munka mindkét esetben megegyezzen.

A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 17

4.2) A határterhelés értékének módosítása az egyenértékű munka elve alapján



Módosított kritikus feszültség:

$$\sigma_{g,eq}^c = \frac{P'_c}{BW}$$

Törési szívósság:

$$K_U^* = \sigma_{g,eq}^c \cdot \sqrt{\pi a} \cdot F_Q \left(\frac{a}{W} \right)$$

A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 18

5) Egyéb módszerek

- 5.1) JONES módszer
- 5.2) NEWMANN módszer

A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 19

5.1) JONES módszer

A törési szívósság értéke Jones szerint a kritikus ekvivalens rugalmas feszültségintenzitási tényező és egy ϕ_J korrekciós tényező szorzata:

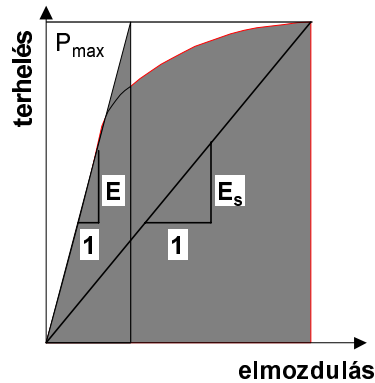
$$K_J^* = K_{Ic}^c \sqrt{\Phi_J}$$

Korrekciós tényező: ϕ_J

$$\Phi_J = \sqrt{\frac{E^*}{E_s}}$$

A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 20

5.1) JONES módszer



A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 21

5.2) NEWMANN módszer

A kritikus ekvivalens rugalmas feszültségintenzitási tényező értéke NEWMANN szerint:

$$K_{Ie}^c = \sigma_N^c \cdot \sqrt{\pi a} \cdot F_Q \left(\frac{a}{W} \right)$$

A névleges kritikus feszültség (és nem a globális kritikus feszültség) segítségével definiáljuk

A látszólagos törési szívósság NEWMANN szerint a kritikus ekvivalens rugalmas feszültségintenzitási tényező és egy ϕ_N korrekciós tényező szorzata:

$$K_N^* = K_{Ie}^c \sqrt{\Phi_N}$$

A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 22

5.2) NEWMANN módszer

$$\Phi_N = \frac{1}{1 - m_N \left(\frac{\sigma_N^c}{\sigma_N^L} \right)}$$

σ_N^c - Névleges kritikus feszültség

σ_N^L - Névleges határfeszültség

m_N - Newmann paraméter

A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 23

6) Egyenértékű munka módszere

$$G = \frac{2U}{Bb} \quad b: \text{ az ép anyagrész mérete}$$

$$\Phi_W = \frac{U^A}{U^B}$$

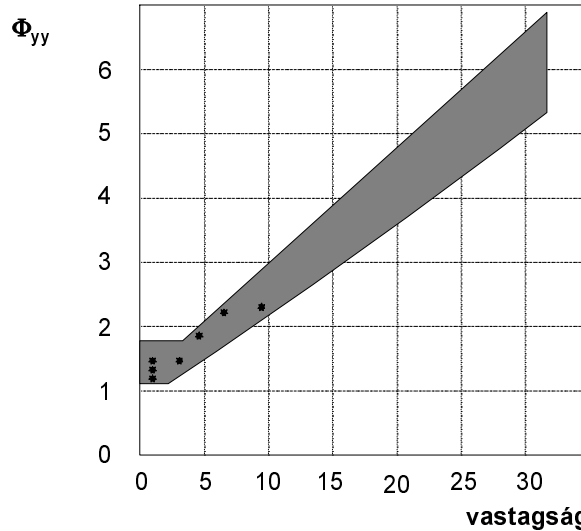
$$\frac{G^B}{G^A} = \frac{U^B}{U^A} \cdot \frac{B^A \cdot b^A}{B^B \cdot b^B} = \frac{\Phi_W}{(\Phi_W)^2}$$

$$G^B = \frac{G^A}{\Phi_W}$$

A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 24

6) Egyenértékű munka módszere

A Φ térfogati arány változása



A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 25

6) Egyenértékű munka módszere

Witt féle látszólagos törési szívósság.

Witt féle látszólagos törési szívósság a kritikus ekvivalens rugalmas feszültségintenzitási tényező és egy ϕ_w korrekciós tényező szorzata

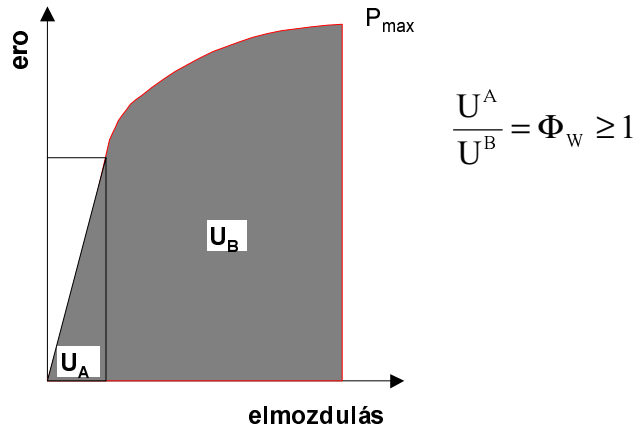
$$K_w^* = K_{Ic}^c \sqrt{\Phi_w}$$

Φ_w - Korrekciós tényező

A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 26

6) Egyenértékű munka módszere

Normalizált terhelés (P/B^2)- normalizált elmozdulás (P/B) diagramm



Két pont (A és B) a hozzájuk tartozó U_A és U_B energia értékekkel

A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 27

6) Egyenértékű munka módszere

A K_W^* Witt-féle látszólagos törési szívósság a K_{Ic} törési szívósság felső határfüggvénye:

$$G_c^A \leq G_c^B$$

$$K_W^{*,B} = \frac{K_{Ic}}{\sqrt{\Phi_W}}$$

$$K_{Ic}^A \leq K_W^{*,B}$$

A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 28

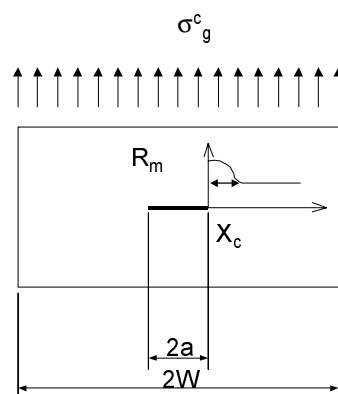
7) Feszültségkoncentrációs elmélet

- 7.1) Kiinduló elv
- 7.2) Módosított egyenlet
- 7.3) Törésmechanikai alkalmazás
- 7.4) A Heald, Spink és Worthington modell alkalmazása
- 7.5) A karakterisztikus hossz meghatározása
- 7.6) Fajlagos törési szívósság: K_{SCT}^*

A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 29

7.1) Kiindulási elv

* Erők egyensúlya: $\sigma_g^c \cdot B \cdot W = 2 \cdot R_m \cdot B \cdot X_c + \sigma_g^c \cdot (W - 2a - 2X_c)$

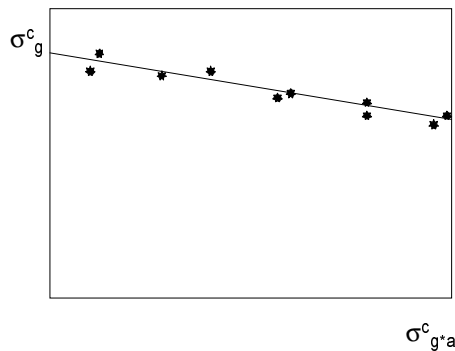


X_c Karakterisztikus hossz
 R_m Szakítószilárdság

A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 30

7.1) Kiindulási elv

Első összefüggés:
$$\sigma_g^c \cdot \left(\frac{a}{X_c} + 1 \right) = R_m$$



A meredekség $-1/X_c$ -vel egyenlő és az origóban a tengelymetsze R_m -mel egyenlő

A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 31

7.1) Kiindulási elv

Henger alakú tartályok esete:
$$C_6 \cdot \sigma_g^c \cdot \left(\frac{a}{X_c} + 1 \right) = R_m$$

C_6 Membrán görbületi korrekció

A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 32

7.2) Módosított összefüggés

$$k_t = \frac{R_m}{\sigma_g^c} = 1 + 2\sqrt{\frac{a}{X_c}} \approx \sqrt{1 + \frac{a}{X_c}}$$

k_t Feszültségkoncentrációs tényező

módosított egyenlet:

$$R_m = \sqrt{1 + \frac{2a}{X_c}} \cdot \sigma_g^c$$

A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 33

7.3) Alkalmazása lineáris esetben

Feszültségeloszlás a repedéscsúcsban:

$$\sigma_{yy} = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}}$$

A karakterisztikus tartományban ébredő feszültség:

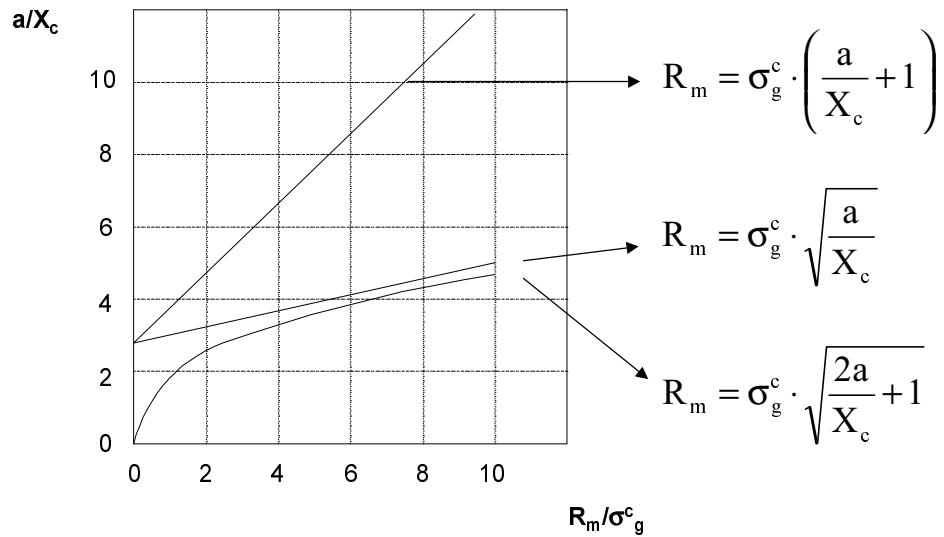
$$R_m = \frac{1}{X_c} \int_0^{X_c} \sigma_{yy} \cdot dr = \sigma_g^c \cdot \sqrt{\frac{2a}{X_c}}$$

Lineáris törésmechanikai egyenlet:

$$R_m = \sigma_g^c \cdot \sqrt{\frac{2a}{X_c}}$$

A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 34

A három összefüggés összehasonlítása



A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 35

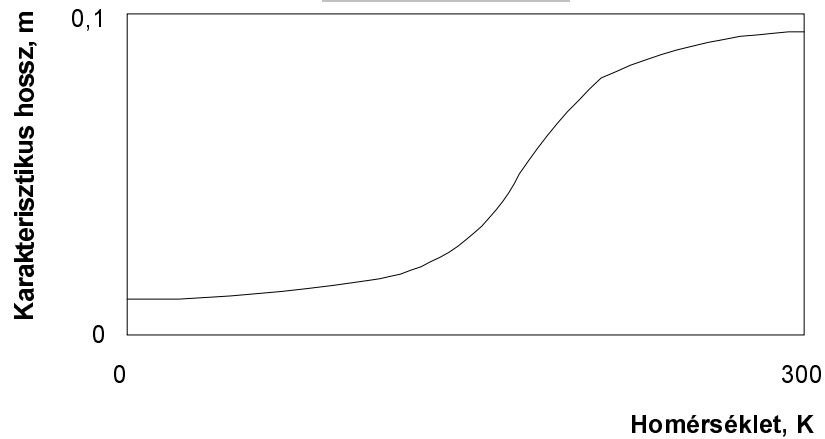
7.4) A HEALD, SPINK és WORTHINGTON modell alkalmazása

$$\frac{\pi X_c}{8a} = \ln \sec \left(\frac{\pi \sigma_g^c}{2R_m} \right)$$

A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 36

7.5) A karakterisztikus hossz meghatározása

$$X_c = C_7 \left(\frac{K_{CV}}{R_e} \right)^{\frac{1}{3}}$$



A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 37

7.6) A látszólagos törési szívósság definíciója K_{SCT}^*

$$(K_{SCT})^2 = (R_m)^2 \cdot X_c$$

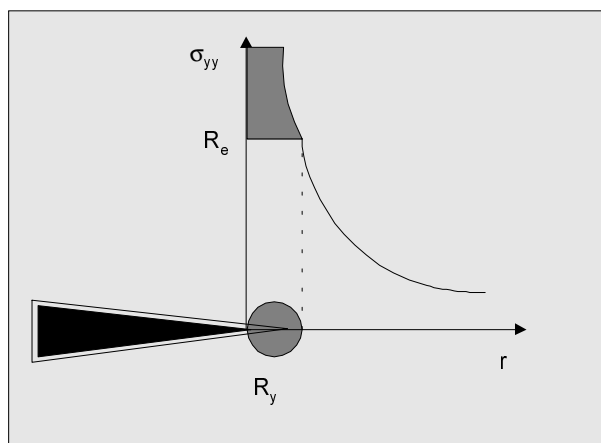
A lineáris törésmechanika kiterjesztésének lehetőségei - 38

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 1

1., Irwin-féle képlékeny tartomány (1)

- A képlékeny tartomány számítása (1)

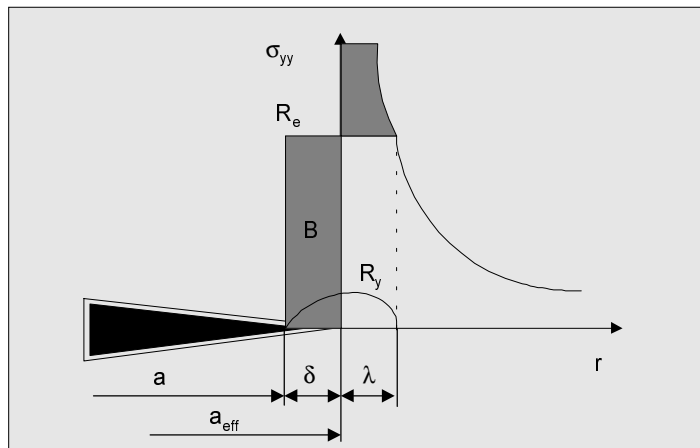


$$r_y = \frac{(K_1)^2}{2\pi(R_e)^2} = \frac{(\sigma_g)^2 a}{2(R_e)^2}$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 2

1., Irwin-féle képlékeny tartomány (2)

- A képlékeny tartomány számítása (2)



$$\sigma_{yy} = \frac{K}{\sqrt{2\pi\lambda}} = \sigma_g \sqrt{\frac{a+\delta}{2\lambda}}$$

$$\lambda = \frac{\sigma_g^2 (a+\delta)}{2R_e^2} = r_y$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 3

1., Irwin-féle képlékeny tartomány (3)

- Az Irwin elmélet módosítása
 $B = R_e \delta$ felület

$$A \text{ felület} = \int_0^\lambda \sigma_g \sqrt{\frac{a+\delta}{2r}} dr - R_e \lambda$$

$$A = B$$

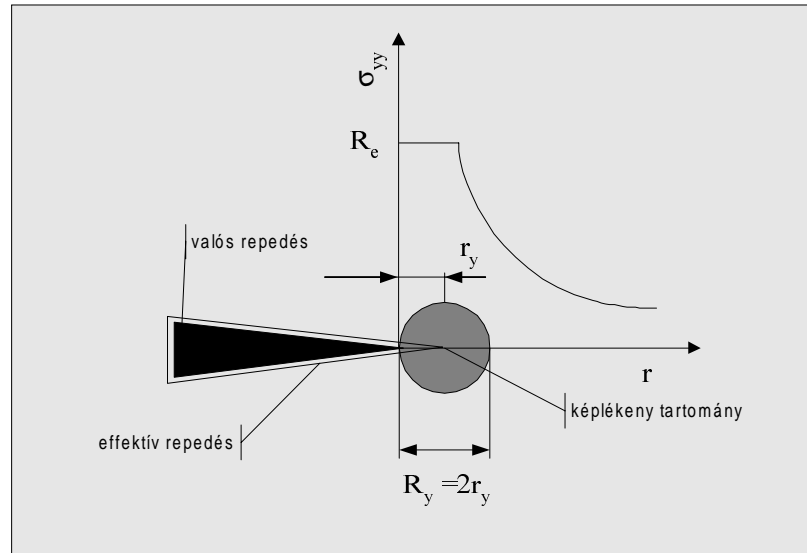
$$\delta R_e = \int_0^\lambda \sigma_g \sqrt{\frac{a+\delta}{2r}} dr - R_e \lambda$$

$$(\delta + r_y) R_e = \sigma_g \sqrt{2a r_y}$$

$$R_y = \lambda + \delta = 2r_y$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 4

1., Irwin-féle képlékeny tartomány (4)



A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 5

1., Irwin-féle képlékeny tartomány (5)

- A feszültségintenzitási tényező képlékeny zóna jelenlétének figyelembevételével korrigált értéke.

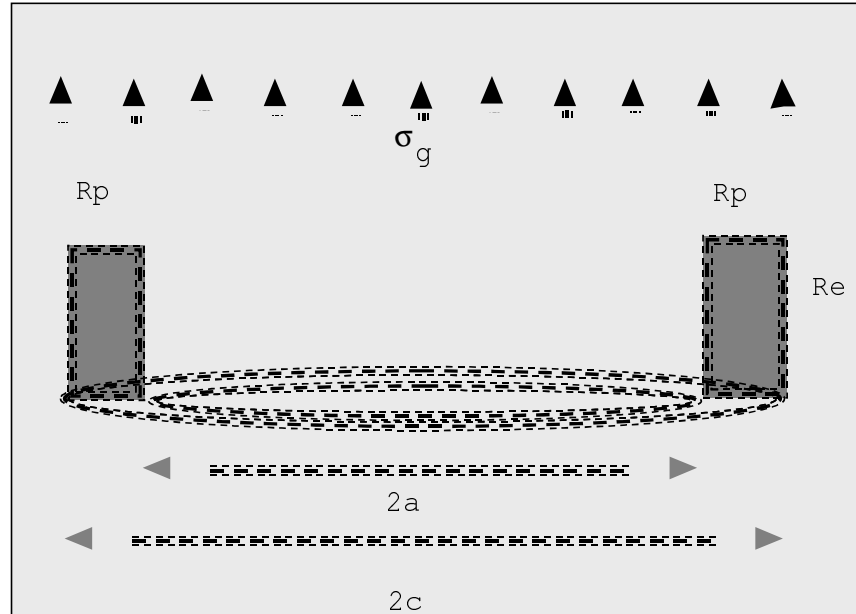
$$K^* = \sigma_g \sqrt{\pi(a + r_y)} F_\sigma \left(\frac{a}{W} \right)$$

$$K^* = \sigma_g \sqrt{a + \frac{K^2}{2\pi R_e^2}} F_\sigma \left(\frac{a}{W} \right)$$

$$a_{\text{eff}} = a + r_y$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 6

2., Dugdale elmélet (1)



A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 7

2., Dugdale elmélet (2)

$$k_A = \frac{2R_e}{\sqrt{\pi}} \sqrt{c} \frac{dt}{\sqrt{(c^2 - t^2)}}$$

$$k_A = \frac{2R_e}{\sqrt{\pi}} \sqrt{c} \cos^{-1}\left(\frac{a}{c}\right)$$

$$K = \sigma_g \sqrt{\pi c}$$

$2c$ - az ekvivalens rugalmas repedés hossza

$$\sigma_g \sqrt{\pi c} = \frac{2R_e}{\sqrt{\pi}} \sqrt{c} \cos^{-1}\left(\frac{a}{c}\right)$$

$$\left(\frac{a}{c}\right) = \cos\left(\frac{\pi \sigma_g}{2R_e}\right)$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 8

2., Dugdale elmélet (3)

$$\frac{a}{c} \Rightarrow 1 - \frac{\pi^2 (\sigma_g)^2}{8 R_e^2} \quad r_p = c - a$$

$$\frac{a}{a + r_p} = \left(1 + \frac{r_p}{a}\right)^{-1} = \left(1 - \frac{r_p}{a} + \dots\right)$$

Dugdale

$$r_p = \frac{\pi^2 \sigma_g^2 a}{8 R_e^2} = \frac{\pi K^2}{8 (R_e^2)^2}$$

Irwin

$$R_y = \frac{K^2}{\pi R_e^2}$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 9

2., Dugdale elmélet (4)

- A kritikus repedésszétnyílás

$$\delta = \frac{8 R_e}{\pi E} \sigma_g a \ln \left[\sec \left(\frac{\pi \sigma_g}{2 R_e} \right) \right]$$

$$\delta = \frac{\sigma_g^2 \pi a}{R_e a} = \frac{K^2}{R_e E}$$

$$G = R_e \delta$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 10

3., A képlékeny tartomány alakja (1)

$$\sigma_{yy} = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta}{2} \right)$$

$$\sigma_{xx} = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \right)$$

Síkalakváltozás esetén

Síkfeszültségi állapot esetén

$$\sigma_{zz} = \nu(\sigma_{yy} + \sigma_{xx}) = \frac{2\nu K}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2}$$

$$\sigma_{zz} = 0$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 11

3., A képlékeny tartomány alakja (2)

- Von Mises-féle folyási feltétel

$$(\sigma_{yy} - \sigma_{xx})^2 + (\sigma_{xx} - \sigma_{zz})^2 = 2R_e^2$$

Síkalakváltozás

$$R_y(\theta) = \frac{K^2}{4\pi R_e^2} \left[\frac{3}{2} \sin^2 \theta + (1 - 2\nu^2)(1 + \cos \theta) \right]$$

Síkfeszültség

$$R_y(\theta) = \frac{K^2}{4\pi R_e^2} \left[1 + \frac{3}{2} \sin^2 \theta + \cos \theta \right]$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 12

3., A képlékeny tartomány alakja (3)

- Tresca-féle folyási feltétel

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2}(\sigma_{yy} - \sigma_{zz}) = \frac{1}{2}(\sigma_{yy} - \sigma_{xx})$$

Síkalakváltozás

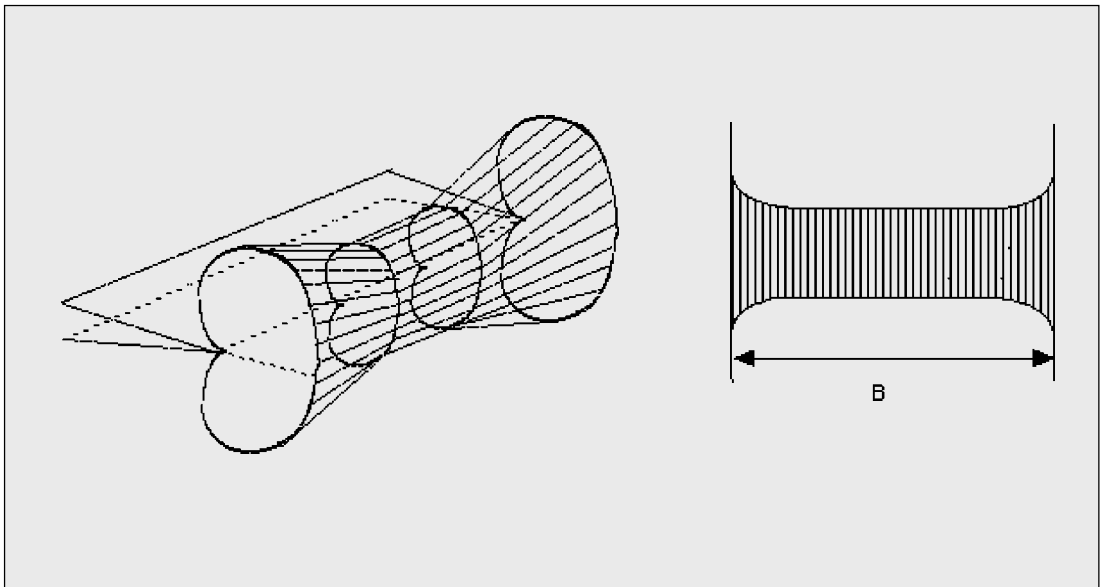
$$R_y(\theta) = \frac{K^2}{2\pi R_e^2} \cos \frac{\theta}{2}$$

Síkfeszültség

$$R_y(\theta) = \frac{K^2}{2\pi R_e^2} \left[\cos \frac{\theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta}{2} \right) \right]^2$$

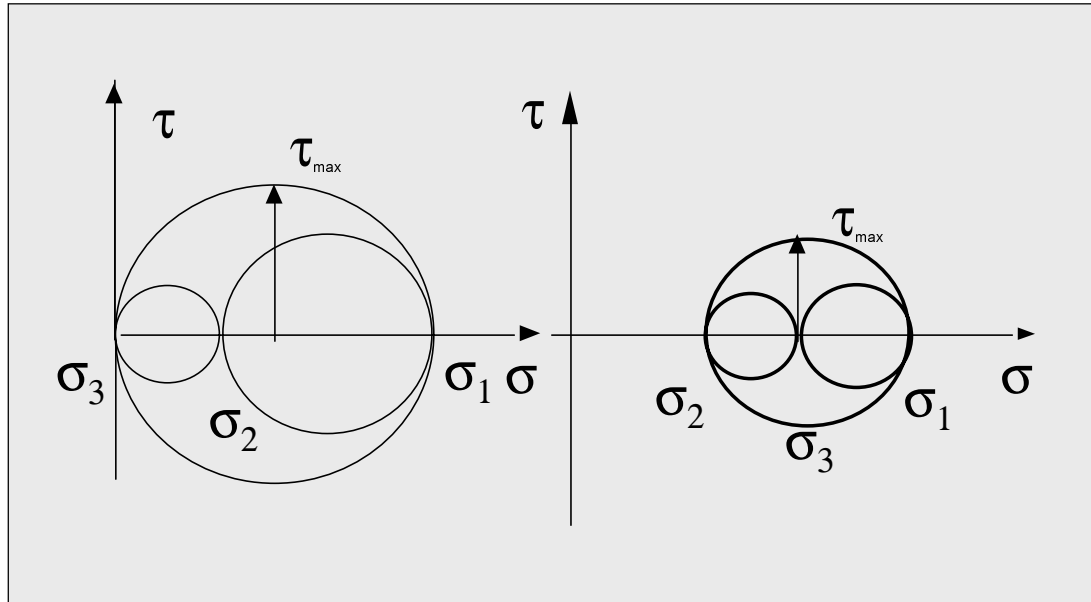
A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 13

3., A képlékeny tartomány alakja (4)



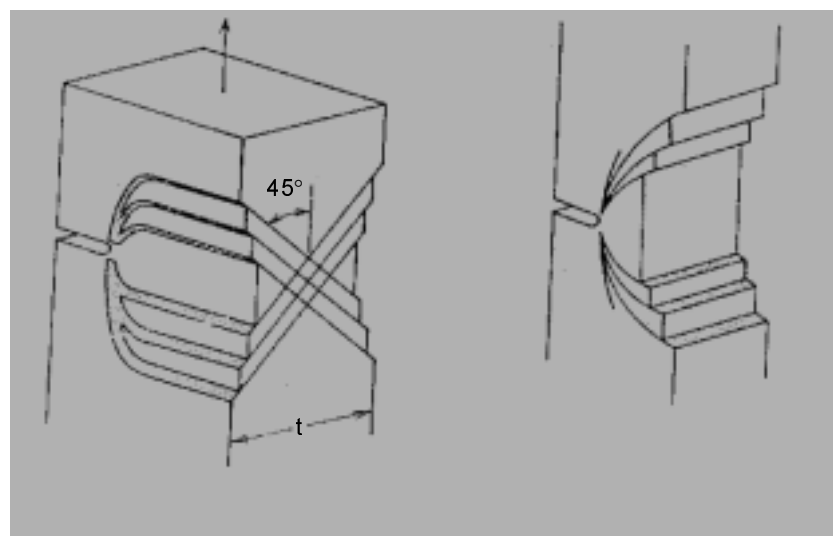
A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 14

3., A képlékeny tartomány alakja (5)



A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 15

3., A képlékeny tartomány alakja (6)



Síkfeszültségi állapot esetén

Síkalakváltozás esetén

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 16

4., Törési tényező (1)

- Definíció

$$L = \frac{\sigma_{\max}}{R_e}$$

Von Mises-feltétel

$$\left[(1-n)^2 + (n-m)^2 + (1-m)^2 \right] (\sigma_{yy})^2 = 2R_e^2$$

$$\sigma_{xx} = m\sigma_{yy}$$

$$\sigma_{zz} = n\sigma_{yy}$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 17

4., Törési tényező (2)

Síkfeszültségi állapot

$$\theta = 0 \Rightarrow \begin{matrix} n = 1 \\ m = 0 \end{matrix} \Rightarrow L = 1$$

Síkalakváltozási állapot

$$\theta = 0 \Rightarrow \begin{matrix} n = 1 \\ m = 2\nu \end{matrix} \Rightarrow L = 3$$

$$R_e^{\text{eff}} = LR_e = 3R_e$$

$$r_y = \frac{K_1^2}{2\pi(3R_e)^2} = \frac{K^2}{18\pi R_e^2}$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 18

4., Törési tényező (3)

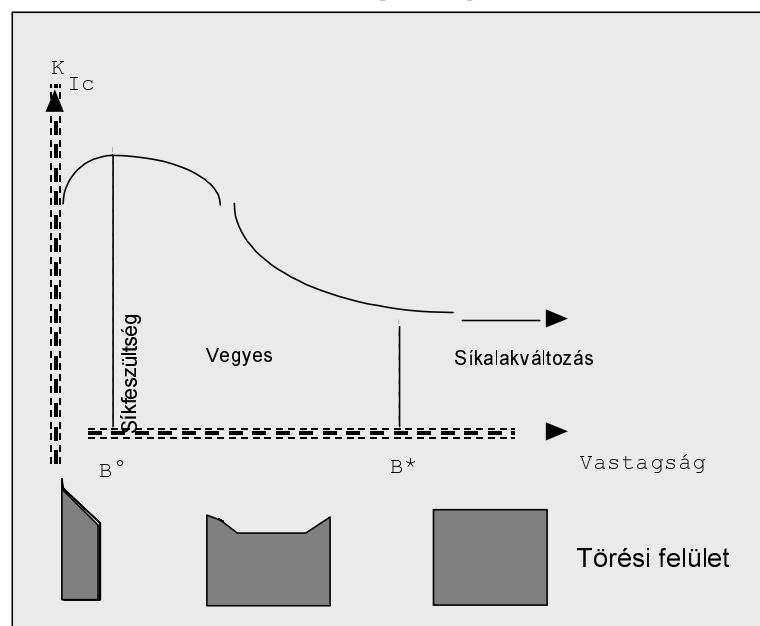
- Irwin-féle törési tényező

$$L = \sqrt{2\sqrt{2}} = 1.68$$

$$r_y = \frac{K_1^2}{2\pi(1.68R_e)^2} = \frac{1}{6\pi} \frac{K_1^2}{R_e^2}$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 19

5., Vastagság hatása



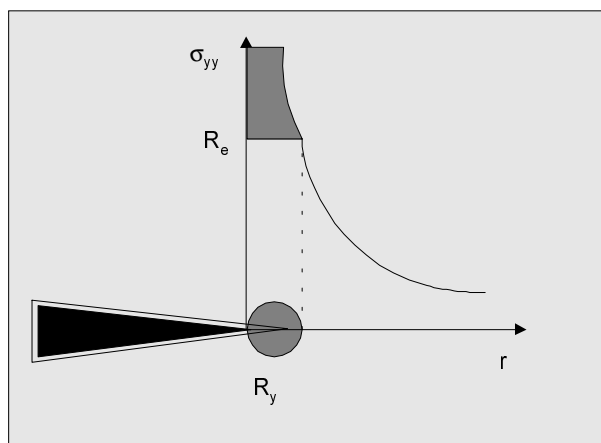
A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 20

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 1

1., Irwin-féle képlékeny tartomány (1)

- A képlékeny tartomány számítása (1)

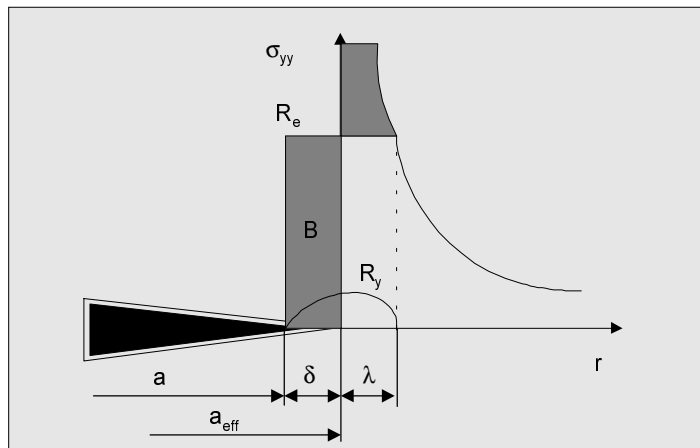


$$r_y = \frac{(K_1)^2}{2\pi(R_e)^2} = \frac{(\sigma_g)^2 a}{2(R_e)^2}$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 2

1., Irwin-féle képlékeny tartomány (2)

- A képlékeny tartomány számítása (2)



$$\sigma_{yy} = \frac{K}{\sqrt{2\pi\lambda}} = \sigma_g \sqrt{\frac{a+\delta}{2\lambda}}$$

$$\lambda = \frac{\sigma_g^2 (a+\delta)}{2R_e^2} = r_y$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 3

1., Irwin-féle képlékeny tartomány (3)

- Az Irwin elmélet módosítása
 $B = R_e \delta$ felület

$$A \text{ felület} = \int_0^\lambda \sigma_g \sqrt{\frac{a+\delta}{2r}} dr - R_e \lambda$$

$$A = B$$

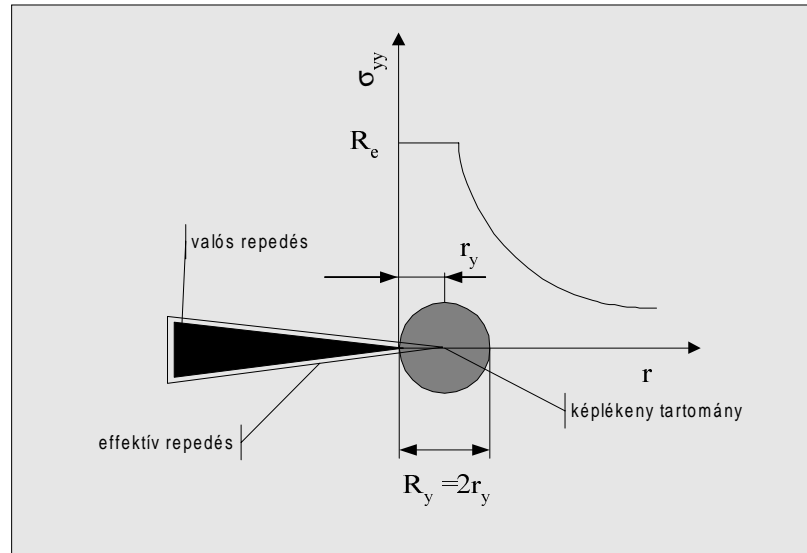
$$\delta R_e = \int_0^\lambda \sigma_g \sqrt{\frac{a+\delta}{2r}} dr - R_e \lambda$$

$$(\delta + r_y) R_e = \sigma_g \sqrt{2a r_y}$$

$$R_y = \lambda + \delta = 2r_y$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 4

1., Irwin-féle képlékeny tartomány (4)



A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 5

1., Irwin-féle képlékeny tartomány (5)

- A feszültségintenzitási tényező képlékeny zóna jelenlétének figyelembevételével korrigált értéke.

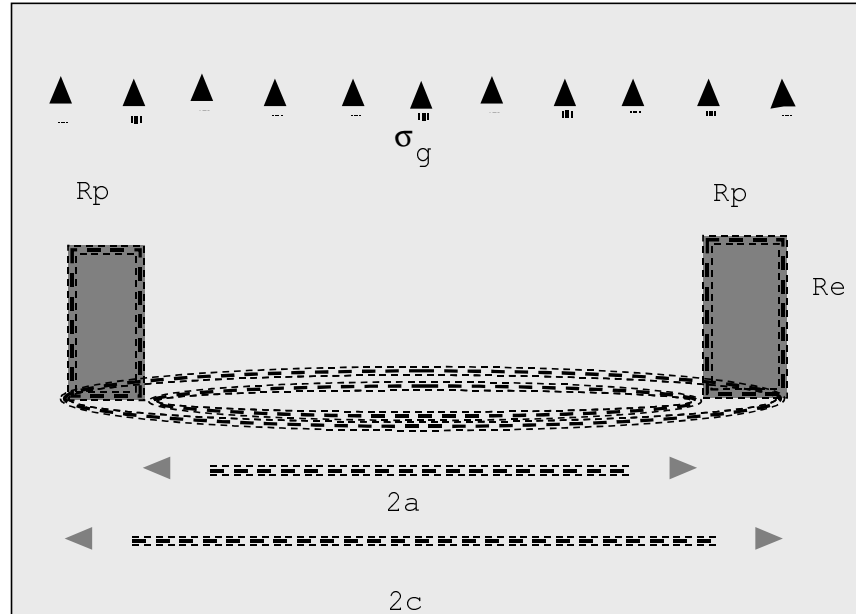
$$K^* = \sigma_g \sqrt{\pi(a + r_y)} F_\sigma \left(\frac{a}{W} \right)$$

$$K^* = \sigma_g \sqrt{a + \frac{K^2}{2\pi R_e^2}} F_\sigma \left(\frac{a}{W} \right)$$

$$a_{\text{eff}} = a + r_y$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 6

2., Dugdale elmélet (1)



A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 7

2., Dugdale elmélet (2)

$$k_A = \frac{2R_e}{\sqrt{\pi}} \sqrt{c} \frac{dt}{\sqrt{(c^2 - t^2)}}$$

$$k_A = \frac{2R_e}{\sqrt{\pi}} \sqrt{c} \cos^{-1} \left(\frac{a}{c} \right)$$

$$K = \sigma_{\text{sq}} \sqrt{\pi c}$$

2c - az ekvivalens rugalmas repedés hossza

$$\sigma_g \sqrt{\pi c} = \frac{2R_e}{\sqrt{\pi}} \sqrt{c} \cos^{-1} \left(\frac{a}{c} \right)$$

$$\left(\frac{a}{c}\right) = \cos\left(\frac{\pi\sigma_g}{2R_e}\right)$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 8

2., Dugdale elmélet (3)

$$\frac{a}{c} \Rightarrow 1 - \frac{\pi^2 (\sigma_g)^2}{8 R_e^2} \quad r_p = c - a$$

$$\frac{a}{a + r_p} = \left(1 + \frac{r_p}{a} \right)^{-1} = \left(1 - \frac{r_p}{a} + \dots \right)$$

Dugdale

$$r_p = \frac{\pi^2 \sigma_g^2 a}{8 R_e^2} = \frac{\pi K^2}{8 (R_e^2)^2}$$

Irwin

$$R_y = \frac{K^2}{\pi R_e^2}$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 9

2., Dugdale elmélet (4)

- A kritikus repedésszétnyílás

$$\delta = \frac{8 R_e}{\pi E} \sigma_g a \ln \left[\sec \left(\frac{\pi \sigma_g}{2 R_e} \right) \right]$$

$$\delta = \frac{\sigma_g^2 \pi a}{R_e a} = \frac{K^2}{R_e E}$$

$$G = R_e \delta$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 10

3., A képlékeny tartomány alakja (1)

$$\sigma_{yy} = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta}{2} \right)$$

$$\sigma_{xx} = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \right)$$

Síkalakváltozás esetén

Síkfeszültségi állapot esetén

$$\sigma_{zz} = \nu(\sigma_{yy} + \sigma_{xx}) = \frac{2\nu K}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2}$$

$$\sigma_{zz} = 0$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 11

3., A képlékeny tartomány alakja (2)

- Von Mises-féle folyási feltétel

$$(\sigma_{yy} - \sigma_{xx})^2 + (\sigma_{xx} - \sigma_{zz})^2 = 2R_e^2$$

Síkalakváltozás

$$R_y(\theta) = \frac{K^2}{4\pi R_e^2} \left[\frac{3}{2} \sin^2 \theta + (1 - 2\nu^2)(1 + \cos \theta) \right]$$

Síkfeszültség

$$R_y(\theta) = \frac{K^2}{4\pi R_e^2} \left[1 + \frac{3}{2} \sin^2 \theta + \cos \theta \right]$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 12

3., A képlékeny tartomány alakja (3)

- Tresca-féle folyási feltétel

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2}(\sigma_{yy} - \sigma_{zz}) = \frac{1}{2}(\sigma_{yy} - \sigma_{xx})$$

Síkalakváltozás

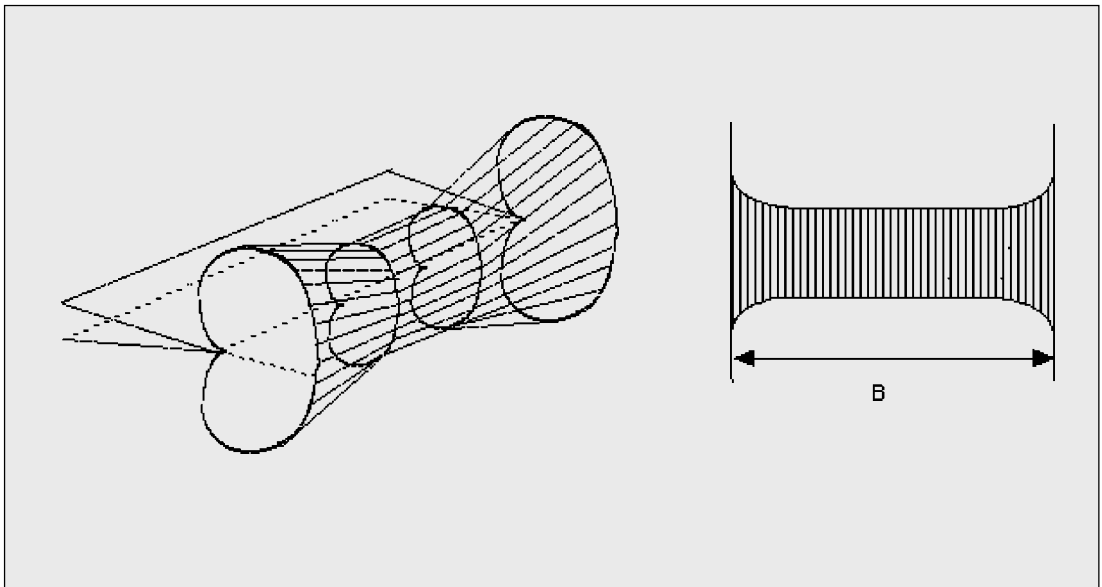
$$R_y(\theta) = \frac{K^2}{2\pi R_e^2} \cos \frac{\theta}{2}$$

Síkfeszültség

$$R_y(\theta) = \frac{K^2}{2\pi R_e^2} \left[\cos \frac{\theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta}{2} \right) \right]^2$$

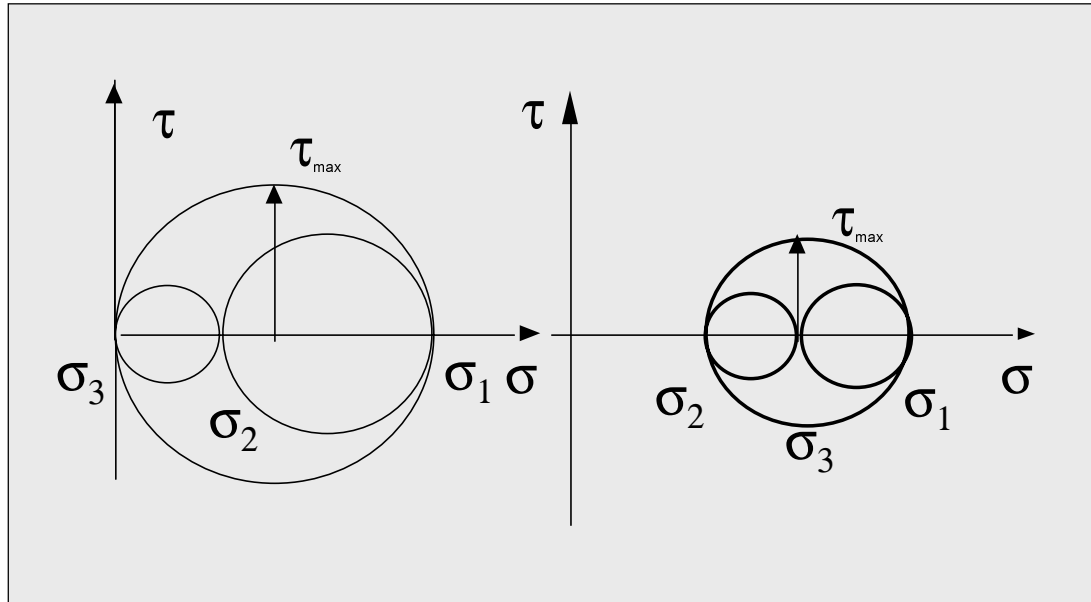
A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 13

3., A képlékeny tartomány alakja (4)



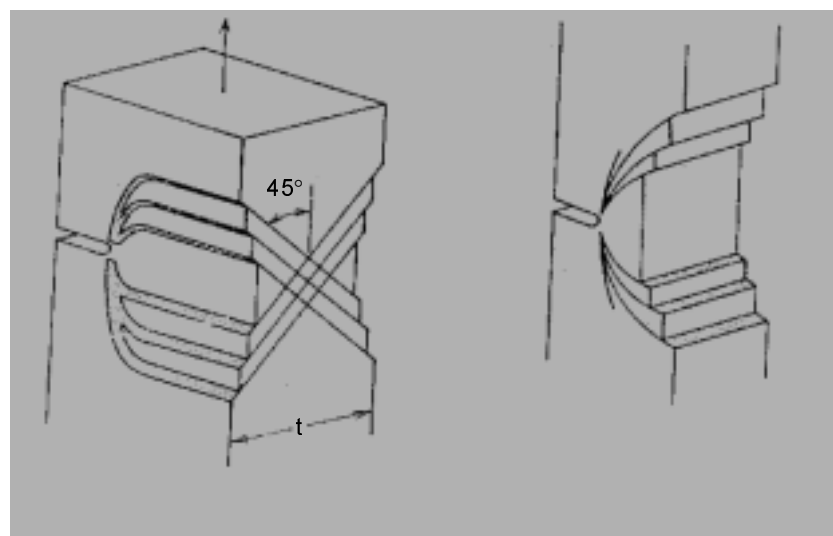
A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 14

3., A képlékeny tartomány alakja (5)



A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 15

3., A képlékeny tartomány alakja (6)



Síkfeszültségi állapot esetén

Síkalakváltozás esetén

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 16

4., Törési tényező (1)

- Definíció

$$L = \frac{\sigma_{\max}}{R_e}$$

Von Mises-feltétel

$$\left[(1-n)^2 + (n-m)^2 + (1-m)^2 \right] (\sigma_{yy})^2 = 2R_e^2$$

$$\sigma_{xx} = m\sigma_{yy}$$

$$\sigma_{zz} = n\sigma_{yy}$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 17

4., Törési tényező (2)

Sík feszültségi állapot

$$\theta = 0 \Rightarrow \begin{matrix} n = 1 \\ m = 0 \end{matrix} \Rightarrow L = 1$$

Síkalakváltozási állapot

$$\theta = 0 \Rightarrow \begin{matrix} n = 1 \\ m = 2\nu \end{matrix} \Rightarrow L = 3$$

$$R_e^{\text{eff}} = LR_e = 3R_e$$

$$r_y = \frac{K_I^2}{2\pi(3R_e)^2} = \frac{K^2}{18\pi R_e^2}$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 18

4., Törési tényező (3)

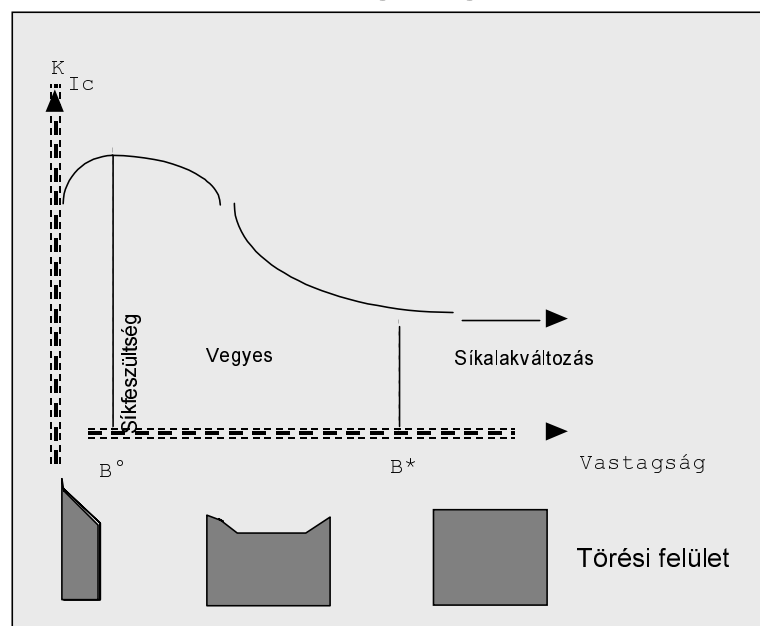
- Irwin-féle törési tényező

$$L = \sqrt{2\sqrt{2}} = 1.68$$

$$r_y = \frac{K_1^2}{2\pi(1.68R_e)^2} = \frac{1}{6\pi} \frac{K_1^2}{R_e^2}$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 19

5., Vastagság hatása



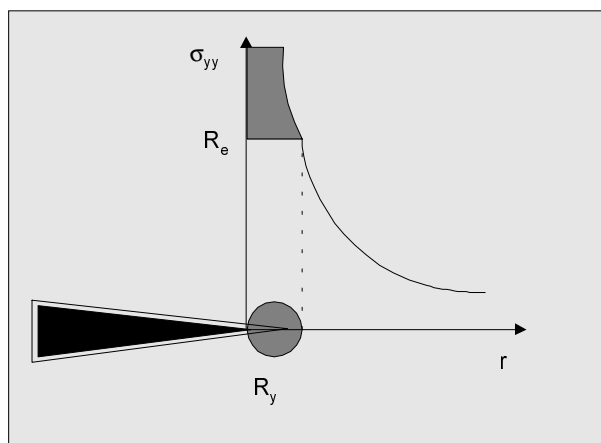
A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 20

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 1

1., Irwin-féle képlékeny tartomány (1)

- A képlékeny tartomány számítása (1)

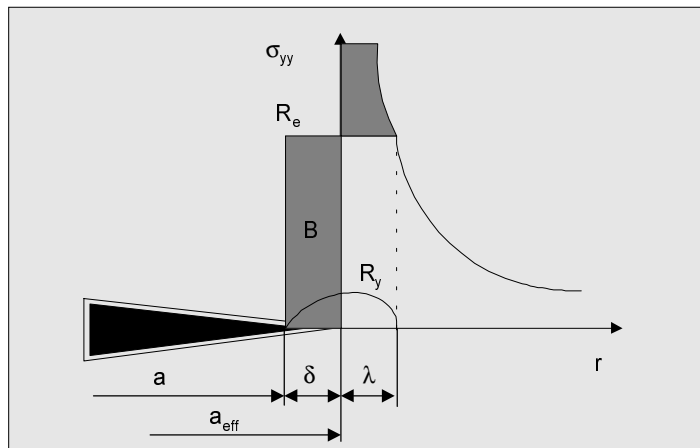


$$r_y = \frac{(K_1)^2}{2\pi(R_e)^2} = \frac{(\sigma_g)^2 a}{2(R_e)^2}$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 2

1., Irwin-féle képlékeny tartomány (2)

- A képlékeny tartomány számítása (2)



$$\sigma_{yy} = \frac{K}{\sqrt{2\pi\lambda}} = \sigma_g \sqrt{\frac{a+\delta}{2\lambda}}$$

$$\lambda = \frac{\sigma_g^2 (a+\delta)}{2R_e^2} = r_y$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 3

1., Irwin-féle képlékeny tartomány (3)

- Az Irwin elmélet módosítása
 $B = R_e \delta$ felület

$$A \text{ felület} = \int_0^\lambda \sigma_g \sqrt{\frac{a+\delta}{2r}} dr - R_e \lambda$$

$$A = B$$

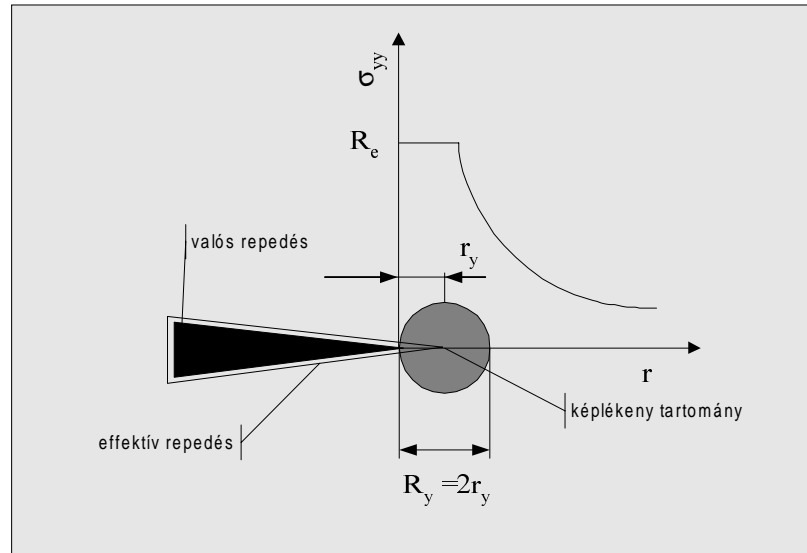
$$\delta R_e = \int_0^\lambda \sigma_g \sqrt{\frac{a+\delta}{2r}} dr - R_e \lambda$$

$$(\delta + r_y) R_e = \sigma_g \sqrt{2a r_y}$$

$$R_y = \lambda + \delta = 2r_y$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 4

1., Irwin-féle képlékeny tartomány (4)



A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 5

1., Irwin-féle képlékeny tartomány (5)

- A feszültségintenzitási tényező képlékeny zóna jelenlétének figyelembevételével korrigált értéke.

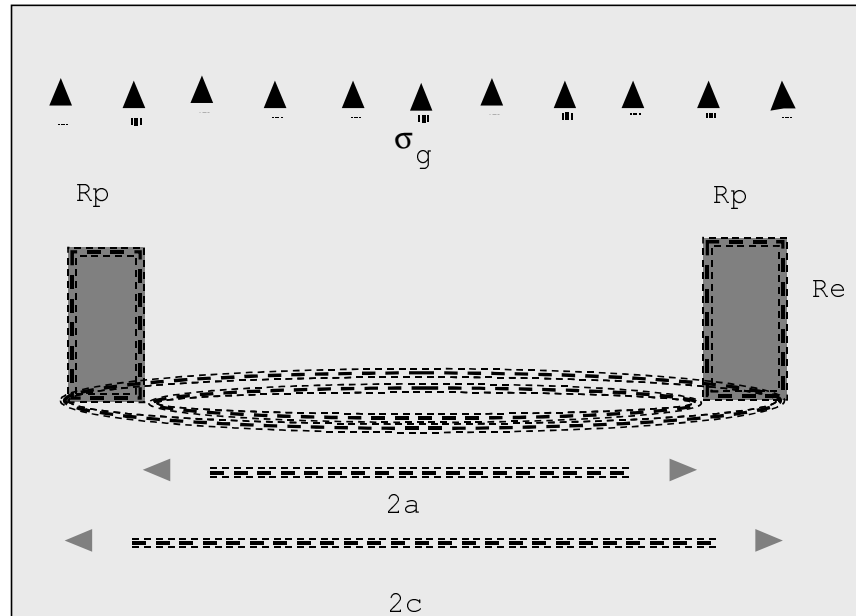
$$K^* = \sigma_g \sqrt{\pi(a + r_y)} F_\sigma \left(\frac{a}{W} \right)$$

$$K^* = \sigma_g \sqrt{a + \frac{K^2}{2\pi R_e^2}} F_\sigma \left(\frac{a}{W} \right)$$

$$a_{\text{eff}} = a + r_y$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 6

2., Dugdale elmélet (1)



A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 7

2., Dugdale elmélet (2)

$$k_A = \frac{2R_e}{\sqrt{\pi}} \sqrt{c} \frac{dt}{\sqrt{(c^2 - t^2)}}$$

$$k_A = \frac{2R_e}{\sqrt{\pi}} \sqrt{c} \cos^{-1}\left(\frac{a}{c}\right)$$

$$K = \sigma_g \sqrt{\pi c}$$

$2c$ - az ekvivalens rugalmas repedés hossza

$$\sigma_g \sqrt{\pi c} = \frac{2R_e}{\sqrt{\pi}} \sqrt{c} \cos^{-1}\left(\frac{a}{c}\right)$$

$$\left(\frac{a}{c}\right) = \cos\left(\frac{\pi \sigma_g}{2R_e}\right)$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 8

2., Dugdale elmélet (3)

$$\frac{a}{c} \Rightarrow 1 - \frac{\pi^2 (\sigma_g)^2}{8 R_e^2} \quad r_p = c - a$$

$$\frac{a}{a + r_p} = \left(1 + \frac{r_p}{a} \right)^{-1} = \left(1 - \frac{r_p}{a} + \dots \right)$$

Dugdale

$$r_p = \frac{\pi^2 \sigma_g^2 a}{8 R_e^2} = \frac{\pi K^2}{8 (R_e^2)^2}$$

Irwin

$$R_y = \frac{K^2}{\pi R_e^2}$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 9

2., Dugdale elmélet (4)

- A kritikus repedésszétnyílás

$$\delta = \frac{8 R_e}{\pi E} \sigma_g a \ln \left[\sec \left(\frac{\pi \sigma_g}{2 R_e} \right) \right]$$

$$\delta = \frac{\sigma_g^2 \pi a}{R_e a} = \frac{K^2}{R_e E}$$

$$G = R_e \delta$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 10

3., A képlékeny tartomány alakja (1)

$$\sigma_{yy} = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta}{2} \right)$$

$$\sigma_{xx} = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \right)$$

Síkalakváltozás esetén

Síkfeszültségi állapot esetén

$$\sigma_{zz} = \nu(\sigma_{yy} + \sigma_{xx}) = \frac{2\nu K}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2}$$

$$\sigma_{zz} = 0$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 11

3., A képlékeny tartomány alakja (2)

- Von Mises-féle folyási feltétel

$$(\sigma_{yy} - \sigma_{xx})^2 + (\sigma_{xx} - \sigma_{zz})^2 = 2R_e^2$$

Síkalakváltozás

$$R_y(\theta) = \frac{K^2}{4\pi R_e^2} \left[\frac{3}{2} \sin^2 \theta + (1 - 2\nu^2)(1 + \cos \theta) \right]$$

Síkfeszültség

$$R_y(\theta) = \frac{K^2}{4\pi R_e^2} \left[1 + \frac{3}{2} \sin^2 \theta + \cos \theta \right]$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 12

3., A képlékeny tartomány alakja (3)

- Tresca-féle folyási feltétel

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2}(\sigma_{yy} - \sigma_{zz}) = \frac{1}{2}(\sigma_{yy} - \sigma_{xx})$$

Síkalakváltozás

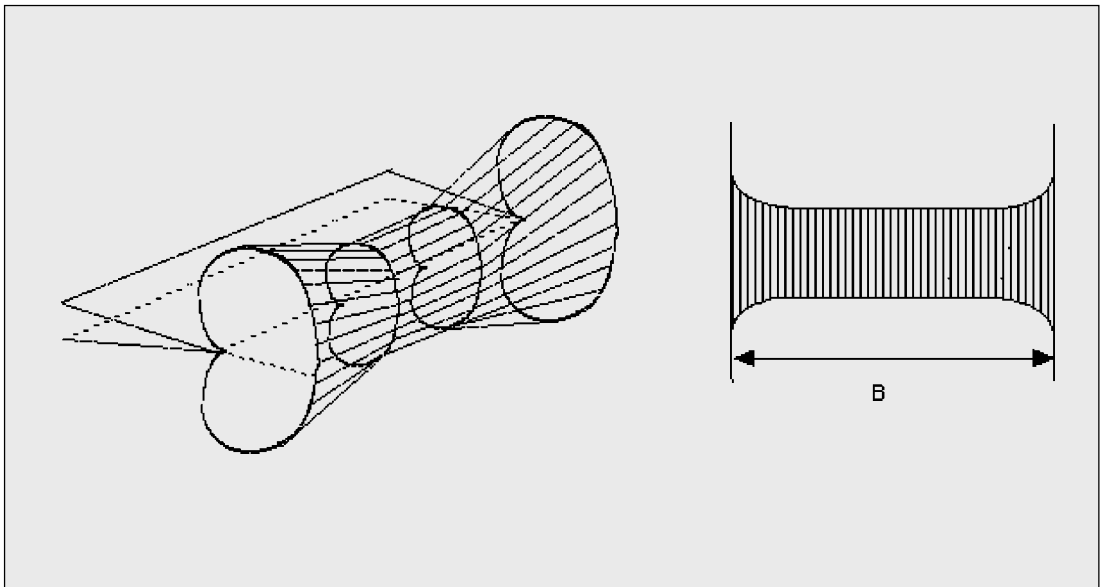
$$R_y(\theta) = \frac{K^2}{2\pi R_e^2} \cos \frac{\theta}{2}$$

Síkfeszültség

$$R_y(\theta) = \frac{K^2}{2\pi R_e^2} \left[\cos \frac{\theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta}{2} \right) \right]^2$$

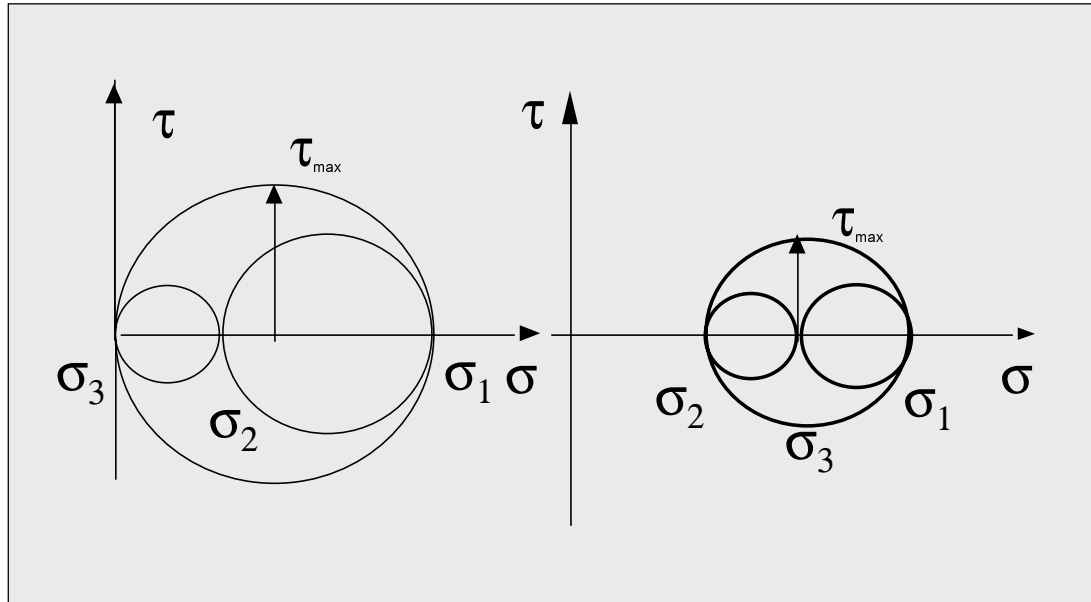
A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 13

3., A képlékeny tartomány alakja (4)



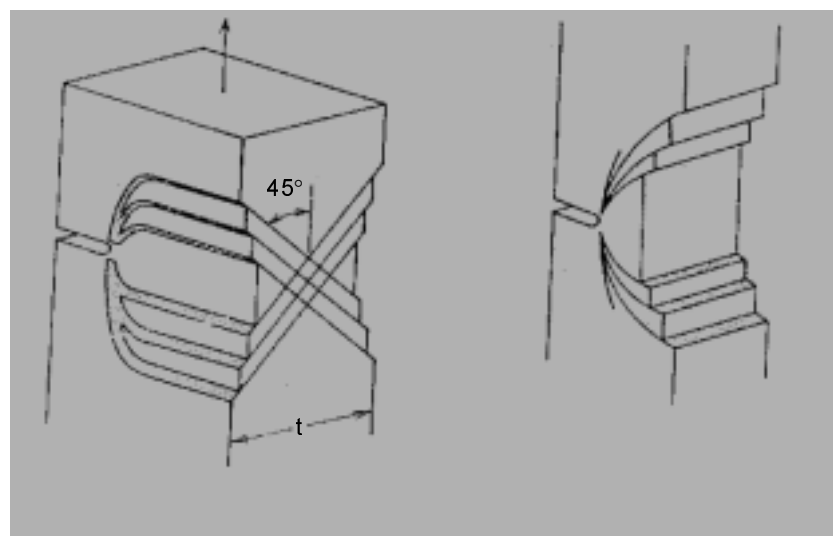
A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 14

3., A képlékeny tartomány alakja (5)



A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 15

3., A képlékeny tartomány alakja (6)



Síkfeszültségi állapot esetén

Síkalakváltozás esetén

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 16

4., Törési tényező (1)

- Definíció

$$L = \frac{\sigma_{\max}}{R_e}$$

Von Mises-feltétel

$$\left[(1-n)^2 + (n-m)^2 + (1-m)^2 \right] (\sigma_{yy})^2 = 2R_e^2$$

$$\sigma_{xx} = m\sigma_{yy}$$

$$\sigma_{zz} = n\sigma_{yy}$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 17

4., Törési tényező (2)

Síkfeszültségi állapot

$$\theta = 0 \Rightarrow \begin{matrix} n = 1 \\ m = 0 \end{matrix} \Rightarrow L = 1$$

Síkalakváltozási állapot

$$\theta = 0 \Rightarrow \begin{matrix} n = 1 \\ m = 2\nu \end{matrix} \Rightarrow L = 3$$

$$R_e^{\text{eff}} = LR_e = 3R_e$$

$$r_y = \frac{K_1^2}{2\pi(3R_e)^2} = \frac{K^2}{18\pi R_e^2}$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 18

4., Törési tényező (3)

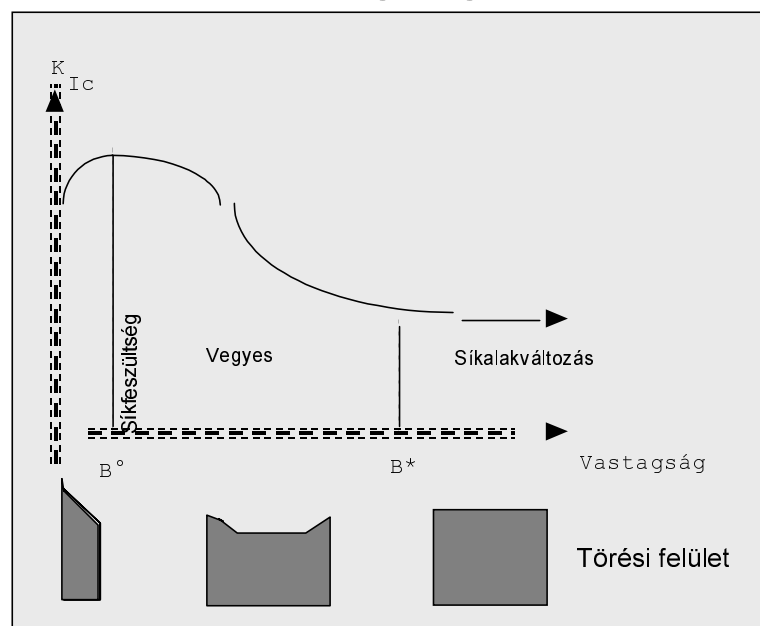
- Irwin-féle törési tényező

$$L = \sqrt{2\sqrt{2}} = 1.68$$

$$r_y = \frac{K_1^2}{2\pi(1.68R_e)^2} = \frac{1}{6\pi} \frac{K_1^2}{R_e^2}$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 19

5., Vastagság hatása



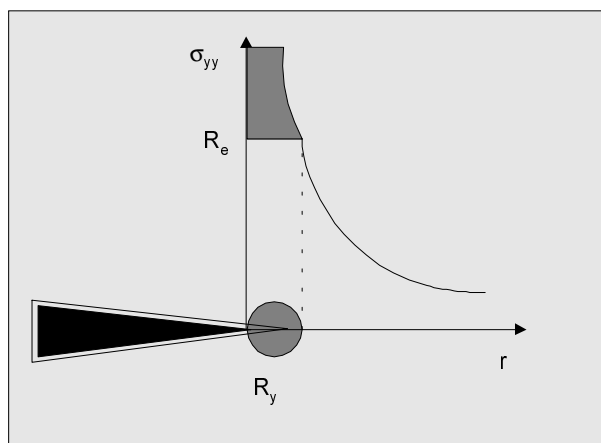
A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 20

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 1

1., Irwin-féle képlékeny tartomány (1)

- A képlékeny tartomány számítása (1)

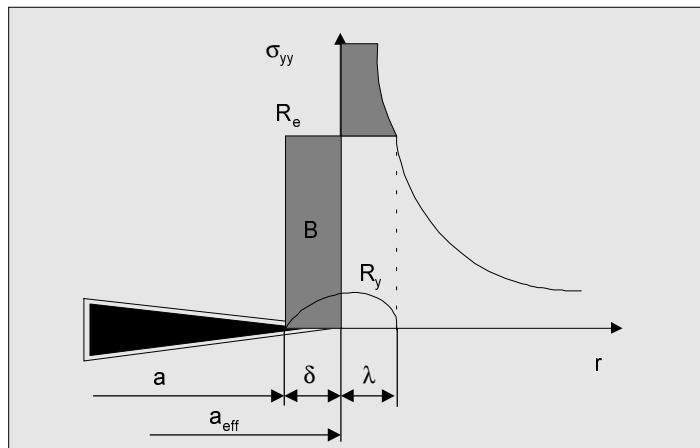


$$r_y = \frac{(K_1)^2}{2\pi(R_e)^2} = \frac{(\sigma_g)^2 a}{2(R_e)^2}$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 2

1., Irwin-féle képlékeny tartomány (2)

- A képlékeny tartomány számítása (2)



$$\sigma_{yy} = \frac{K}{\sqrt{2\pi\lambda}} = \sigma_g \sqrt{\frac{a+\delta}{2\lambda}}$$

$$\lambda = \frac{\sigma_g^2 (a+\delta)}{2R_e^2} = r_y$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 3

1., Irwin-féle képlékeny tartomány (3)

- Az Irwin elmélet módosítása
 $B = R_e \delta$ felület

$$A \text{ felület} = \int_0^\lambda \sigma_g \sqrt{\frac{a+\delta}{2r}} dr - R_e \lambda$$

$$A = B$$

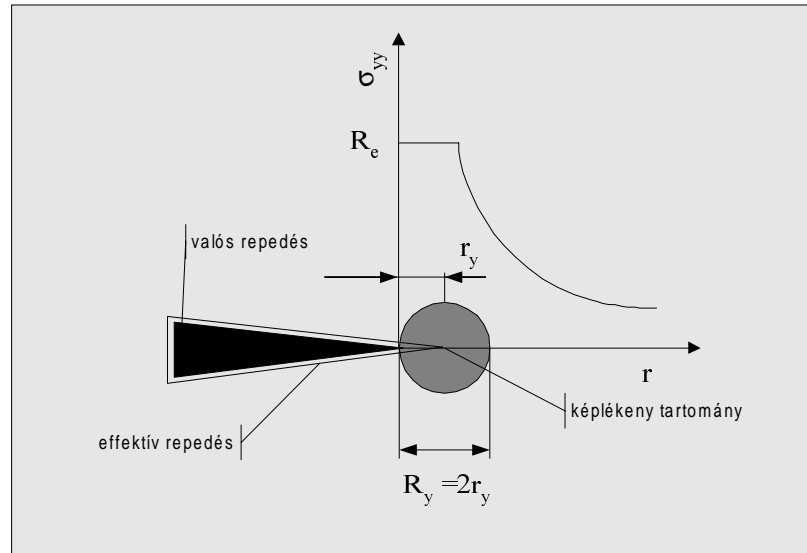
$$\delta R_e = \int_0^\lambda \sigma_g \sqrt{\frac{a+\delta}{2r}} dr - R_e \lambda$$

$$(\delta + r_y) R_e = \sigma_g \sqrt{2a r_y}$$

$$R_y = \lambda + \delta = 2r_y$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 4

1., Irwin-féle képlékeny tartomány (4)



A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 5

1., Irwin-féle képlékeny tartomány (5)

- A feszültségintenzitási tényező képlékeny zóna jelenlétének figyelembevételével korrigált értéke.

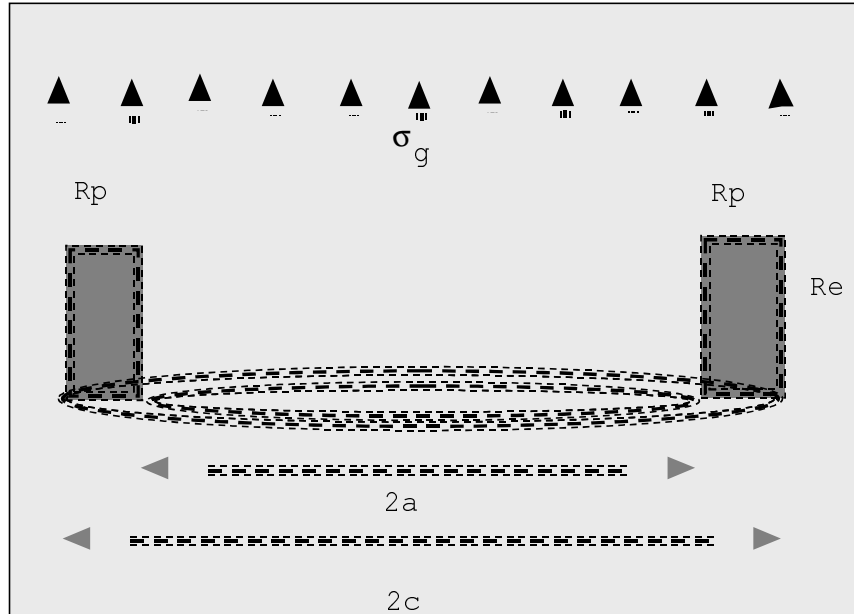
$$K^* = \sigma_g \sqrt{\pi(a + r_y)} F_\sigma \left(\frac{a}{W} \right)$$

$$K^* = \sigma_g \sqrt{a + \frac{K^2}{2\pi R_e^2}} F_\sigma \left(\frac{a}{W} \right)$$

$$a_{\text{eff}} = a + r_y$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 6

2., Dugdale elmélet (1)



A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 7

2., Dugdale elmélet (2)

$$k_A = \frac{2R_e}{\sqrt{\pi}} \sqrt{c} \frac{dt}{\sqrt{(c^2 - t^2)}}$$

$$k_A = \frac{2R_e}{\sqrt{\pi}} \sqrt{c} \cos^{-1} \left(\frac{a}{c} \right)$$

$$K = \sigma_g \sqrt{\pi c}$$

$2c$ - az ekvivalens rugalmas repedés hossza

$$\sigma_g \sqrt{\pi c} = \frac{2R_e}{\sqrt{\pi}} \sqrt{c} \cos^{-1} \left(\frac{a}{c} \right)$$

$$\left(\frac{a}{c} \right) = \cos \left(\frac{\pi \sigma_g}{2R_e} \right)$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 8

2., Dugdale elmélet (3)

$$\frac{a}{c} \Rightarrow 1 - \frac{\pi^2 (\sigma_g)^2}{8 R_e^2} \quad r_p = c - a$$

$$\frac{a}{a + r_p} = \left(1 + \frac{r_p}{a} \right)^{-1} = \left(1 - \frac{r_p}{a} + \dots \right)$$

Dugdale

$$r_p = \frac{\pi^2 \sigma_g^2 a}{8 R_e^2} = \frac{\pi K^2}{8 (R_e^2)^2}$$

Irwin

$$R_y = \frac{K^2}{\pi R_e^2}$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 9

2., Dugdale elmélet (4)

- A kritikus repedésszétnyílás

$$\delta = \frac{8 R_e}{\pi E} \sigma_g a \ln \left[\sec \left(\frac{\pi \sigma_g}{2 R_e} \right) \right]$$

$$\delta = \frac{\sigma_g^2 \pi a}{R_e a} = \frac{K^2}{R_e E}$$

$$G = R_e \delta$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 10

3., A képlékeny tartomány alakja (1)

$$\sigma_{yy} = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta}{2} \right)$$

$$\sigma_{xx} = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \right)$$

Síkalakváltozás esetén

Síkfeszültségi állapot esetén

$$\sigma_{zz} = \nu(\sigma_{yy} + \sigma_{xx}) = \frac{2\nu K}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2}$$

$$\sigma_{zz} = 0$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 11

3., A képlékeny tartomány alakja (2)

- Von Mises-féle folyási feltétel

$$(\sigma_{yy} - \sigma_{xx})^2 + (\sigma_{xx} - \sigma_{zz})^2 = 2R_e^2$$

Síkalakváltozás

$$R_y(\theta) = \frac{K^2}{4\pi R_e^2} \left[\frac{3}{2} \sin^2 \theta + (1 - 2\nu^2)(1 + \cos \theta) \right]$$

Síkfeszültség

$$R_y(\theta) = \frac{K^2}{4\pi R_e^2} \left[1 + \frac{3}{2} \sin^2 \theta + \cos \theta \right]$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 12

3., A képlékeny tartomány alakja (3)

- Tresca-féle folyási feltétel

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2}(\sigma_{yy} - \sigma_{zz}) = \frac{1}{2}(\sigma_{yy} - \sigma_{xx})$$

Síkalakváltozás

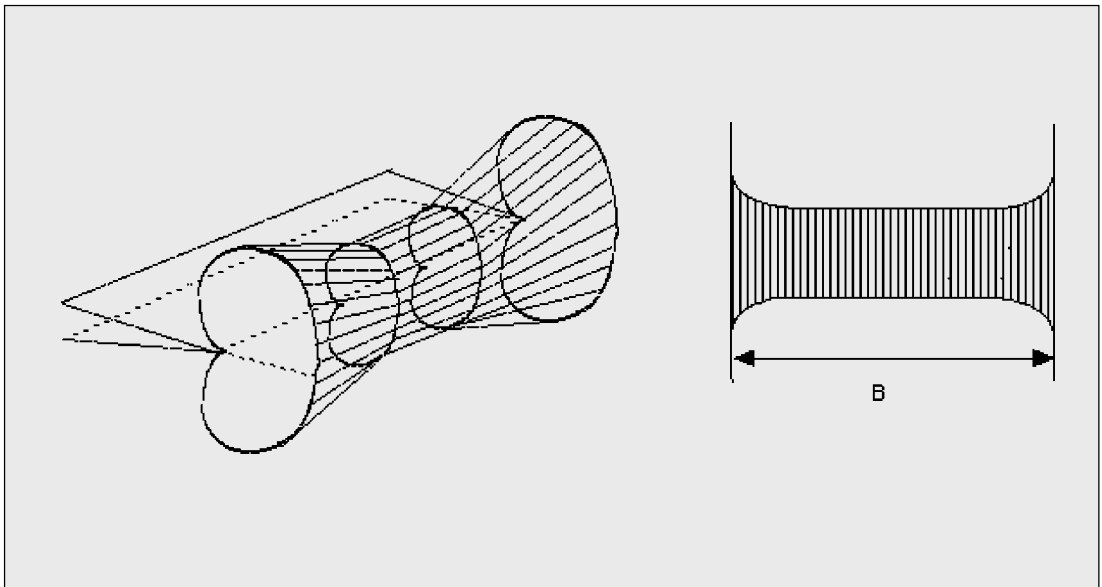
$$R_y(\theta) = \frac{K^2}{2\pi R_e^2} \cos \frac{\theta}{2}$$

Síkfeszültség

$$R_y(\theta) = \frac{K^2}{2\pi R_e^2} \left[\cos \frac{\theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta}{2} \right) \right]^2$$

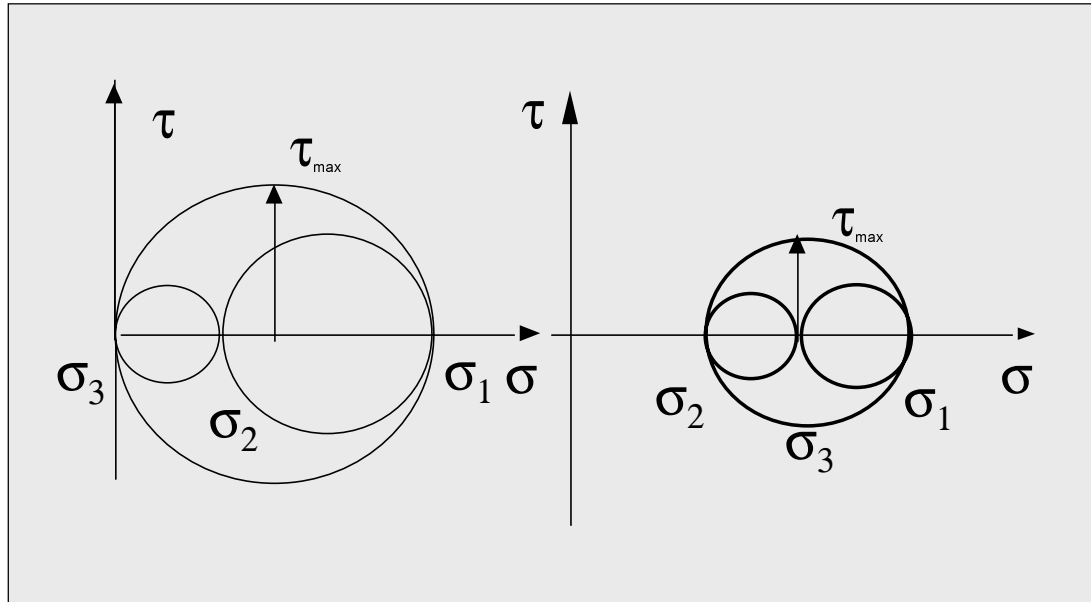
A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 13

3., A képlékeny tartomány alakja (4)



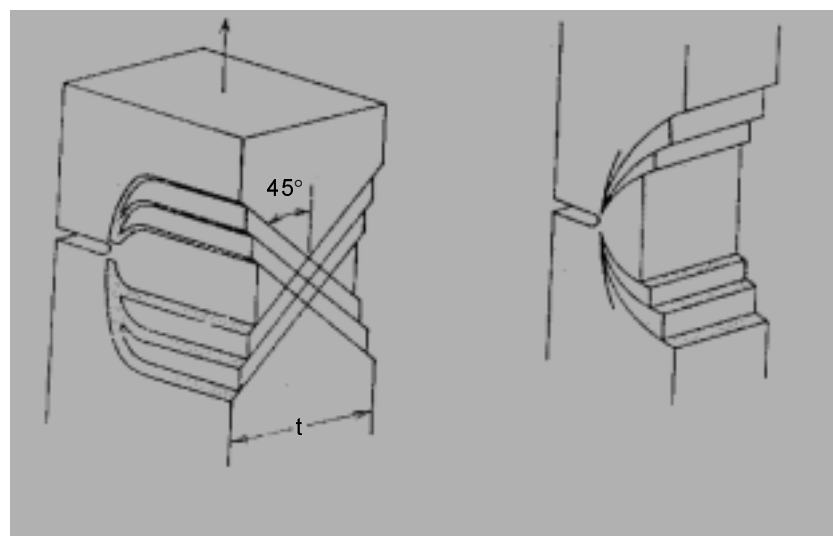
A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 14

3., A képlékeny tartomány alakja (5)



A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 15

3., A képlékeny tartomány alakja (6)



Síkfeszültségi állapot esetén

Síkalakváltozás esetén

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 16

4., Törési tényező (1)

- Definíció

$$L = \frac{\sigma_{\max}}{R_e}$$

Von Mises-feltétel

$$\left[(1-n)^2 + (n-m)^2 + (1-m)^2 \right] (\sigma_{yy})^2 = 2R_e^2$$

$$\sigma_{xx} = m\sigma_{yy}$$

$$\sigma_{zz} = n\sigma_{yy}$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 17

4., Törési tényező (2)

Síkfeszültségi állapot

$$\theta = 0 \Rightarrow \begin{matrix} n = 1 \\ m = 0 \end{matrix} \Rightarrow L = 1$$

Síkalakváltozási állapot

$$\theta = 0 \Rightarrow \begin{matrix} n = 1 \\ m = 2\nu \end{matrix} \Rightarrow L = 3$$

$$R_e^{\text{eff}} = LR_e = 3R_e$$

$$r_y = \frac{K_I^2}{2\pi(3R_e)^2} = \frac{K^2}{18\pi R_e^2}$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 18

4., Törési tényező (3)

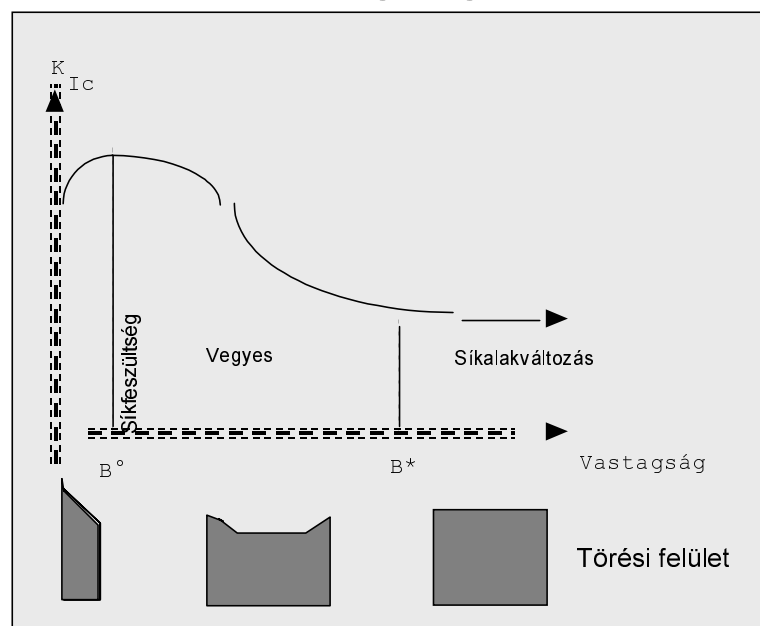
- Irwin-féle törési tényező

$$L = \sqrt{2\sqrt{2}} = 1.68$$

$$r_y = \frac{K_1^2}{2\pi(1.68R_e)^2} = \frac{1}{6\pi} \frac{K_1^2}{R_e^2}$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 19

5., Vastagság hatása



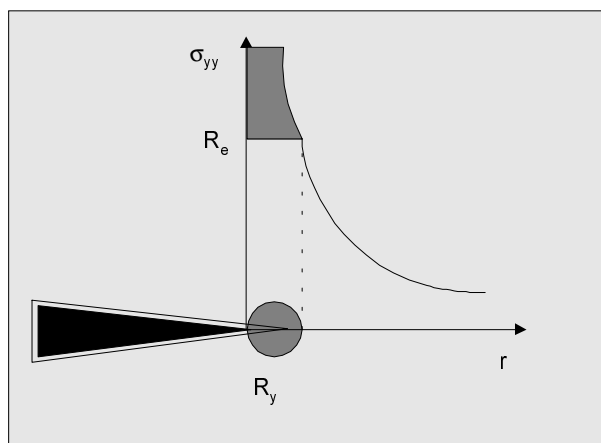
A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 20

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 1

1., Irwin-féle képlékeny tartomány (1)

- A képlékeny tartomány számítása (1)

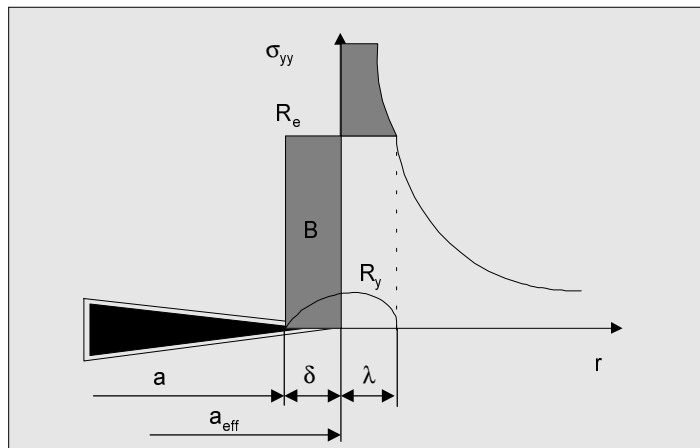


$$r_y = \frac{(K_1)^2}{2\pi(R_e)^2} = \frac{(\sigma_g)^2 a}{2(R_e)^2}$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 2

1., Irwin-féle képlékeny tartomány (2)

- A képlékeny tartomány számítása (2)



$$\sigma_{yy} = \frac{K}{\sqrt{2\pi\lambda}} = \sigma_g \sqrt{\frac{a+\delta}{2\lambda}}$$

$$\lambda = \frac{\sigma_g^2 (a+\delta)}{2R_e^2} = r_y$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 3

1., Irwin-féle képlékeny tartomány (3)

- Az Irwin elmélet módosítása
 $B = R_e \delta$ felület

$$A \text{ felület} = \int_0^\lambda \sigma_g \sqrt{\frac{a+\delta}{2r}} dr - R_e \lambda$$

$$A = B$$

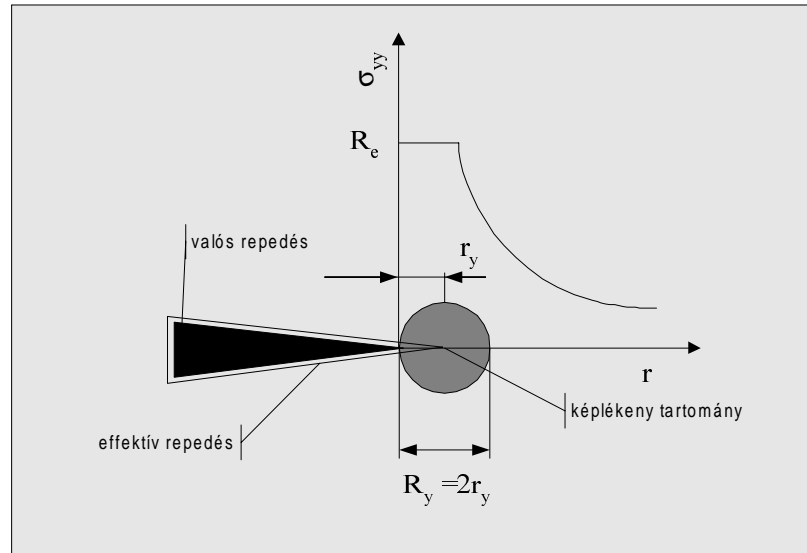
$$\delta R_e = \int_0^\lambda \sigma_g \sqrt{\frac{a+\delta}{2r}} dr - R_e \lambda$$

$$(\delta + r_y) R_e = \sigma_g \sqrt{2a r_y}$$

$$R_y = \lambda + \delta = 2r_y$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 4

1., Irwin-féle képlékeny tartomány (4)



A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 5

1., Irwin-féle képlékeny tartomány (5)

- A feszültségintenzitási tényező képlékeny zóna jelenlétének figyelembevételével korrigált értéke.

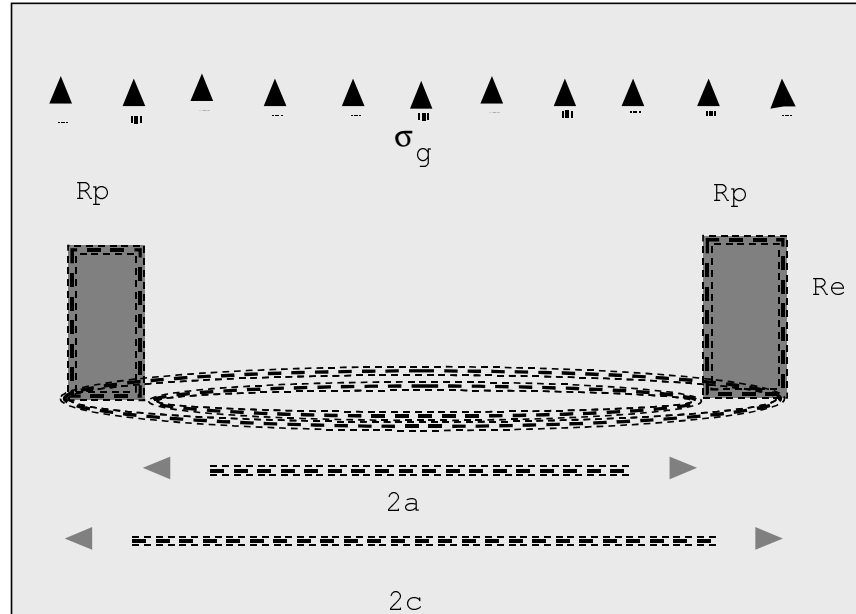
$$K^* = \sigma_g \sqrt{\pi(a + r_y)} F_\sigma \left(\frac{a}{W} \right)$$

$$K^* = \sigma_g \sqrt{a + \frac{K^2}{2\pi R_e^2}} F_\sigma \left(\frac{a}{W} \right)$$

$$a_{\text{eff}} = a + r_y$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 6

2., Dugdale elmélet (1)



A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 7

2., Dugdale elmélet (2)

$$k_A = \frac{2R_e}{\sqrt{\pi}} \sqrt{c} \frac{dt}{\sqrt{(c^2 - t^2)}}$$

$$k_A = \frac{2R_e}{\sqrt{\pi}} \sqrt{c} \cos^{-1} \left(\frac{a}{c} \right)$$

$$K = \sigma_g \sqrt{\pi c}$$

$2c$ - az ekvivalens rugalmas repedés hossza

$$\sigma_g \sqrt{\pi c} = \frac{2R_e}{\sqrt{\pi}} \sqrt{c} \cos^{-1} \left(\frac{a}{c} \right)$$

$$\left(\frac{a}{c} \right) = \cos \left(\frac{\pi \sigma_g}{2R_e} \right)$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 8

2., Dugdale elmélet (3)

$$\frac{a}{c} \Rightarrow 1 - \frac{\pi^2 (\sigma_g)^2}{8 R_e^2} \quad r_p = c - a$$

$$\frac{a}{a + r_p} = \left(1 + \frac{r_p}{a} \right)^{-1} = \left(1 - \frac{r_p}{a} + \dots \right)$$

Dugdale

$$r_p = \frac{\pi^2 \sigma_g^2 a}{8 R_e^2} = \frac{\pi K^2}{8 (R_e^2)^2}$$

Irwin

$$R_y = \frac{K^2}{\pi R_e^2}$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 9

2., Dugdale elmélet (4)

- A kritikus repedésszétnyílás

$$\delta = \frac{8 R_e}{\pi E} \sigma_g a \ln \left[\sec \left(\frac{\pi \sigma_g}{2 R_e} \right) \right]$$

$$\delta = \frac{\sigma_g^2 \pi a}{R_e a} = \frac{K^2}{R_e E}$$

$$G = R_e \delta$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 10

3., A képlékeny tartomány alakja (1)

$$\sigma_{yy} = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta}{2} \right)$$

$$\sigma_{xx} = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \right)$$

Síkalakváltozás esetén

Síkfeszültségi állapot esetén

$$\sigma_{zz} = \nu(\sigma_{yy} + \sigma_{xx}) = \frac{2\nu K}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2}$$

$$\sigma_{zz} = 0$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 11

3., A képlékeny tartomány alakja (2)

- Von Mises-féle folyási feltétel

$$(\sigma_{yy} - \sigma_{xx})^2 + (\sigma_{xx} - \sigma_{zz})^2 = 2R_e^2$$

Síkalakváltozás

$$R_y(\theta) = \frac{K^2}{4\pi R_e^2} \left[\frac{3}{2} \sin^2 \theta + (1 - 2\nu^2)(1 + \cos \theta) \right]$$

Síkfeszültség

$$R_y(\theta) = \frac{K^2}{4\pi R_e^2} \left[1 + \frac{3}{2} \sin^2 \theta + \cos \theta \right]$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 12

3., A képlékeny tartomány alakja (3)

- Tresca-féle folyási feltétel

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2}(\sigma_{yy} - \sigma_{zz}) = \frac{1}{2}(\sigma_{yy} - \sigma_{xx})$$

Síkalakváltozás

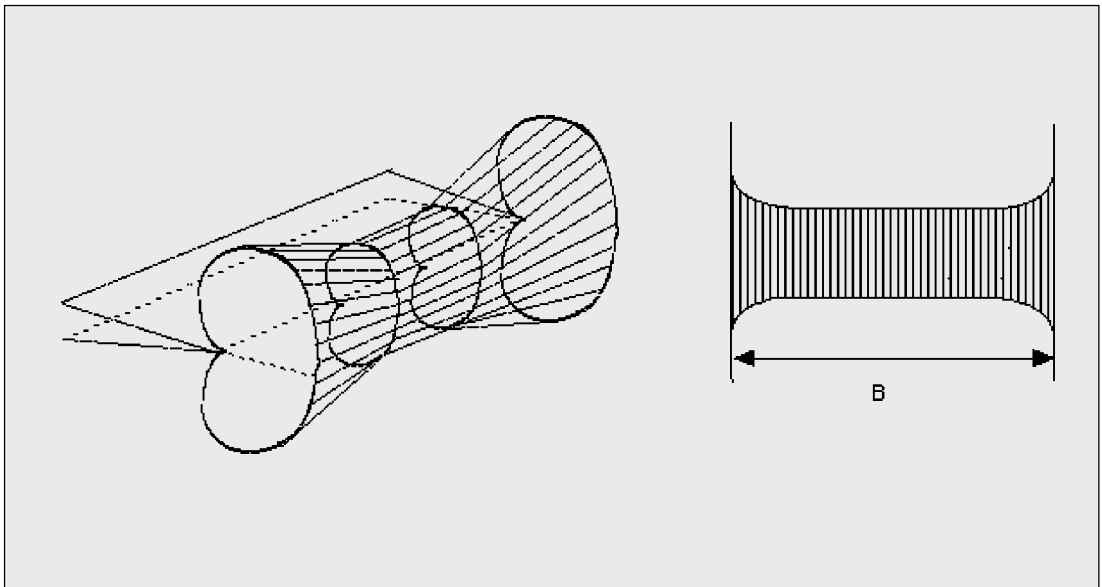
$$R_y(\theta) = \frac{K^2}{2\pi R_e^2} \cos \frac{\theta}{2}$$

Síkfeszültség

$$R_y(\theta) = \frac{K^2}{2\pi R_e^2} \left[\cos \frac{\theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta}{2} \right) \right]^2$$

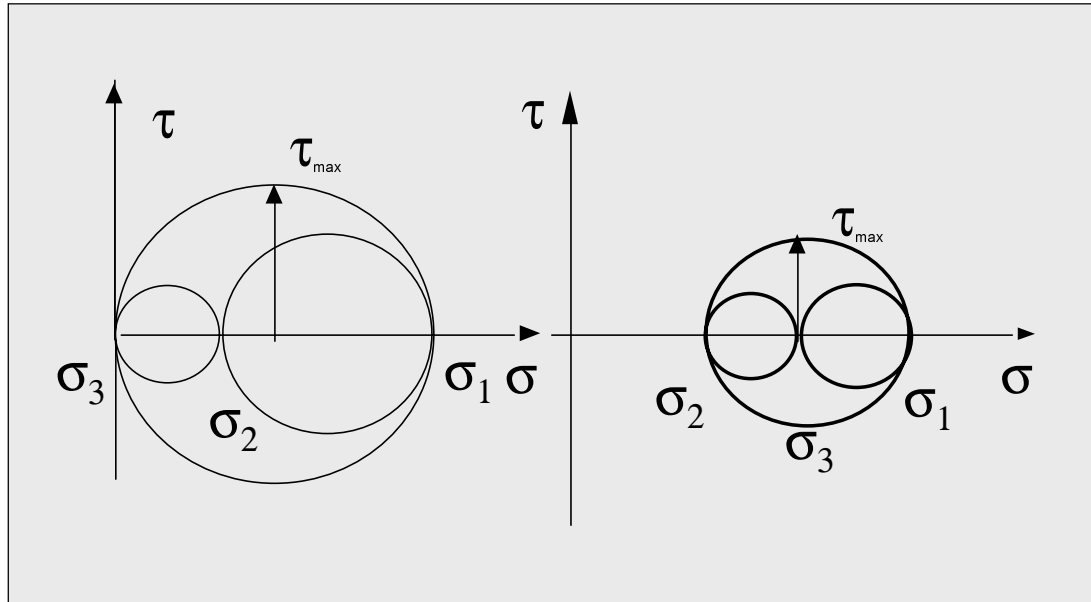
A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 13

3., A képlékeny tartomány alakja (4)



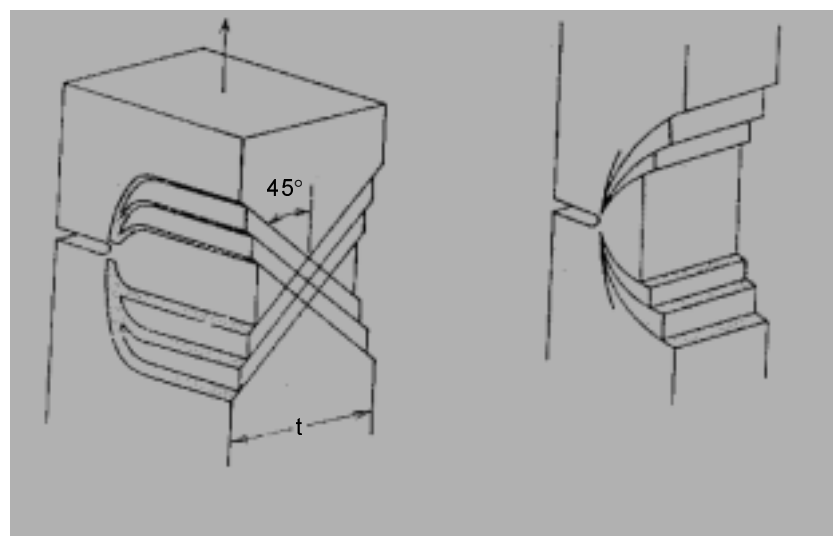
A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 14

3., A képlékeny tartomány alakja (5)



A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 15

3., A képlékeny tartomány alakja (6)



Síkfeszültségi állapot esetén

Síkalakváltozás esetén

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 16

4., Törési tényező (1)

- Definíció

$$L = \frac{\sigma_{\max}}{R_e}$$

Von Mises-feltétel

$$\left[(1-n)^2 + (n-m)^2 + (1-m)^2 \right] (\sigma_{yy})^2 = 2R_e^2$$

$$\sigma_{xx} = m\sigma_{yy}$$

$$\sigma_{zz} = n\sigma_{yy}$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 17

4., Törési tényező (2)

Síkfeszültségi állapot

$$\theta = 0 \Rightarrow \begin{matrix} n = 1 \\ m = 0 \end{matrix} \Rightarrow L = 1$$

Síkalakváltozási állapot

$$\theta = 0 \Rightarrow \begin{matrix} n = 1 \\ m = 2\nu \end{matrix} \Rightarrow L = 3$$

$$R_e^{\text{eff}} = LR_e = 3R_e$$

$$r_y = \frac{K_1^2}{2\pi(3R_e)^2} = \frac{K^2}{18\pi R_e^2}$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 18

4., Törési tényező (3)

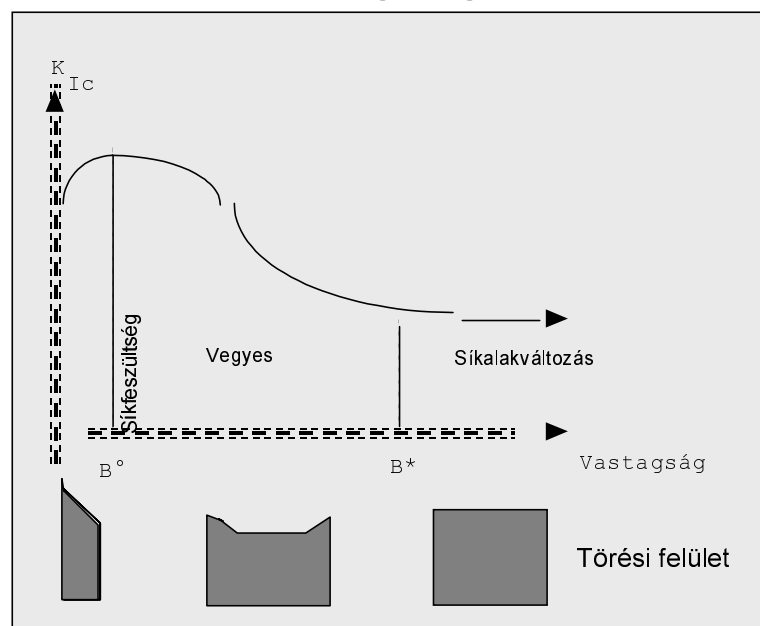
- Irwin-féle törési tényező

$$L = \sqrt{2\sqrt{2}} = 1.68$$

$$r_y = \frac{K_1^2}{2\pi(1.68R_e)^2} = \frac{1}{6\pi} \frac{K_1^2}{R_e^2}$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 19

5., Vastagság hatása



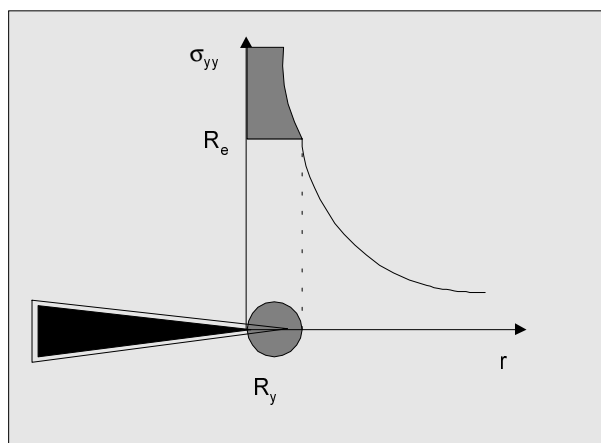
A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 20

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 1

1., Irwin-féle képlékeny tartomány (1)

- A képlékeny tartomány számítása (1)

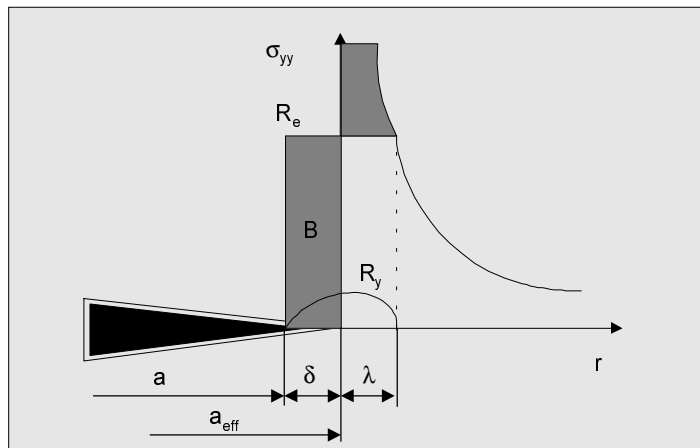


$$r_y = \frac{(K_1)^2}{2\pi(R_e)^2} = \frac{(\sigma_g)^2 a}{2(R_e)^2}$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 2

1., Irwin-féle képlékeny tartomány (2)

- A képlékeny tartomány számítása (2)



$$\sigma_{yy} = \frac{K}{\sqrt{2\pi\lambda}} = \sigma_g \sqrt{\frac{a+\delta}{2\lambda}}$$

$$\lambda = \frac{\sigma_g^2 (a+\delta)}{2R_e^2} = r_y$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 3

1., Irwin-féle képlékeny tartomány (3)

- Az Irwin elmélet módosítása
 $B = R_e \delta$ felület

$$A \text{ felület} = \int_0^\lambda \sigma_g \sqrt{\frac{a+\delta}{2r}} dr - R_e \lambda$$

$$A = B$$

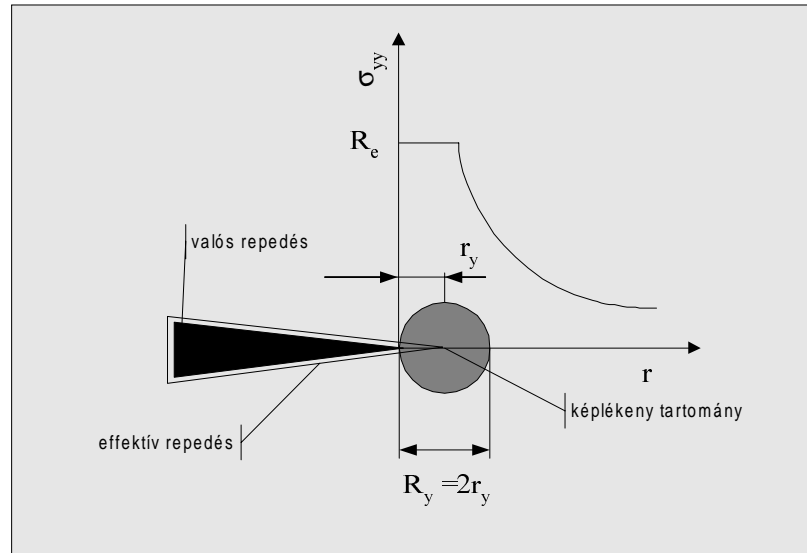
$$\delta R_e = \int_0^\lambda \sigma_g \sqrt{\frac{a+\delta}{2r}} dr - R_e \lambda$$

$$(\delta + r_y) R_e = \sigma_g \sqrt{2a r_y}$$

$$R_y = \lambda + \delta = 2r_y$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 4

1., Irwin-féle képlékeny tartomány (4)



A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 5

1., Irwin-féle képlékeny tartomány (5)

- A feszültségintenzitási tényező képlékeny zóna jelenlétének figyelembevételével korrigált értéke.

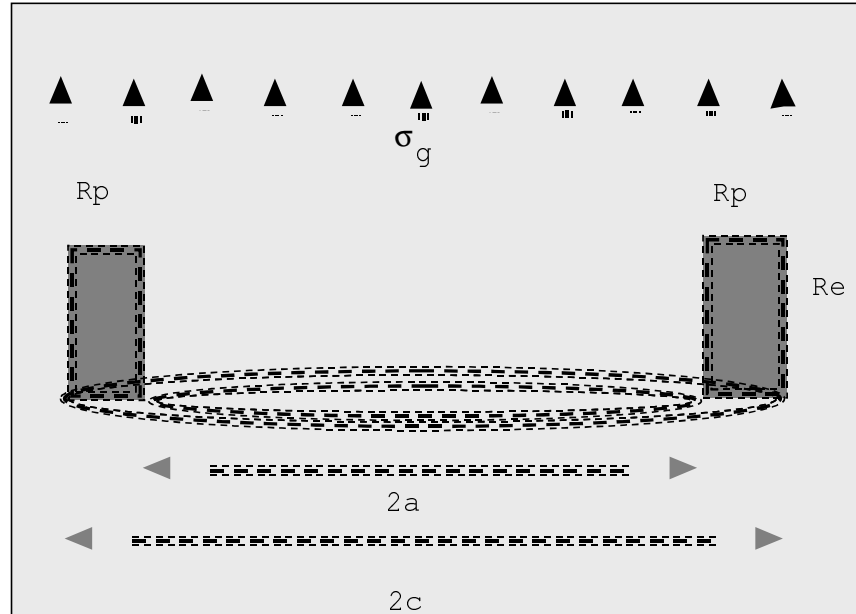
$$K^* = \sigma_g \sqrt{\pi(a + r_y)} F_\sigma \left(\frac{a}{W} \right)$$

$$K^* = \sigma_g \sqrt{a + \frac{K^2}{2\pi R_e^2}} F_\sigma \left(\frac{a}{W} \right)$$

$$a_{\text{eff}} = a + r_y$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 6

2., Dugdale elmélet (1)



A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 7

2., Dugdale elmélet (2)

$$k_A = \frac{2R_e}{\sqrt{\pi}} \sqrt{c} \frac{dt}{\sqrt{(c^2 - t^2)}}$$

$$k_A = \frac{2R_e}{\sqrt{\pi}} \sqrt{c} \cos^{-1}\left(\frac{a}{c}\right)$$

$$K = \sigma_g \sqrt{\pi c}$$

$2c$ - az ekvivalens rugalmas repedés hossza

$$\sigma_g \sqrt{\pi c} = \frac{2R_e}{\sqrt{\pi}} \sqrt{c} \cos^{-1}\left(\frac{a}{c}\right)$$

$$\left(\frac{a}{c}\right) = \cos\left(\frac{\pi \sigma_g}{2R_e}\right)$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 8

2., Dugdale elmélet (3)

$$\frac{a}{c} \Rightarrow 1 - \frac{\pi^2 (\sigma_g)^2}{8 R_e^2} \quad r_p = c - a$$

$$\frac{a}{a + r_p} = \left(1 + \frac{r_p}{a} \right)^{-1} = \left(1 - \frac{r_p}{a} + \dots \right)$$

Dugdale

$$r_p = \frac{\pi^2 \sigma_g^2 a}{8 R_e^2} = \frac{\pi K^2}{8 (R_e^2)^2}$$

Irwin

$$R_y = \frac{K^2}{\pi R_e^2}$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 9

2., Dugdale elmélet (4)

- A kritikus repedésszétnyílás

$$\delta = \frac{8 R_e}{\pi E} \sigma_g a \ln \left[\sec \left(\frac{\pi \sigma_g}{2 R_e} \right) \right]$$

$$\delta = \frac{\sigma_g^2 \pi a}{R_e a} = \frac{K^2}{R_e E}$$

$$G = R_e \delta$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 10

3., A képlékeny tartomány alakja (1)

$$\sigma_{yy} = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta}{2} \right)$$

$$\sigma_{xx} = \frac{K}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \right)$$

Síkalakváltozás esetén

Síkfeszültségi állapot esetén

$$\sigma_{zz} = \nu(\sigma_{yy} + \sigma_{xx}) = \frac{2\nu K}{\sqrt{2\pi r}} \cos \frac{\theta}{2}$$

$$\sigma_{zz} = 0$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 11

3., A képlékeny tartomány alakja (2)

- Von Mises-féle folyási feltétel

$$(\sigma_{yy} - \sigma_{xx})^2 + (\sigma_{xx} - \sigma_{zz})^2 = 2R_e^2$$

Síkalakváltozás

$$R_y(\theta) = \frac{K^2}{4\pi R_e^2} \left[\frac{3}{2} \sin^2 \theta + (1 - 2\nu^2)(1 + \cos \theta) \right]$$

Síkfeszültség

$$R_y(\theta) = \frac{K^2}{4\pi R_e^2} \left[1 + \frac{3}{2} \sin^2 \theta + \cos \theta \right]$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 12

3., A képlékeny tartomány alakja (3)

- Tresca-féle folyási feltétel

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2}(\sigma_{yy} - \sigma_{zz}) = \frac{1}{2}(\sigma_{yy} - \sigma_{xx})$$

Síkalakváltozás

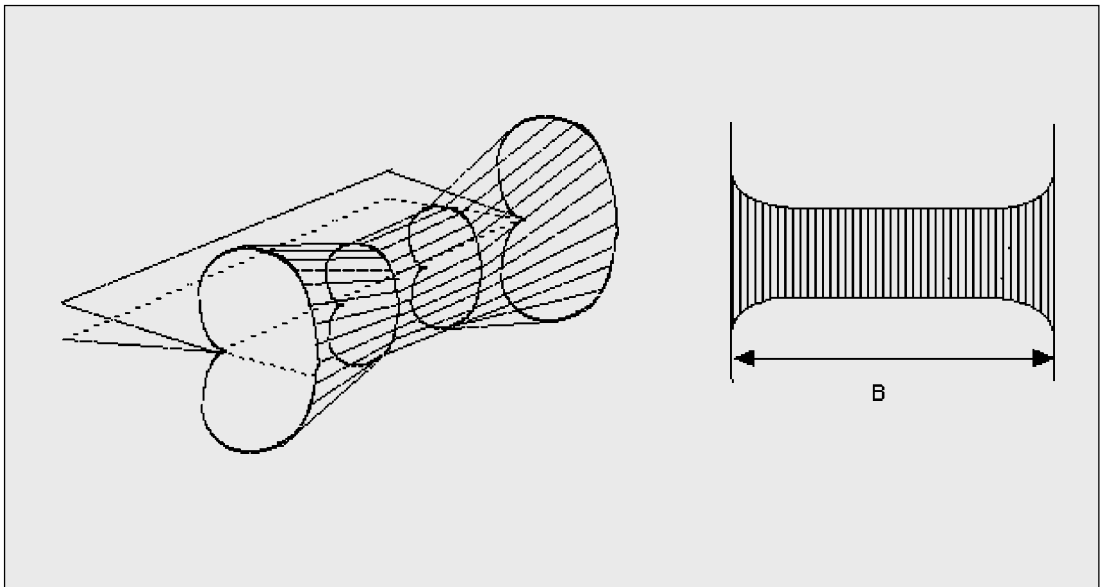
$$R_y(\theta) = \frac{K^2}{2\pi R_e^2} \cos \frac{\theta}{2}$$

Síkfeszültség

$$R_y(\theta) = \frac{K^2}{2\pi R_e^2} \left[\cos \frac{\theta}{2} \left(1 + \sin \frac{\theta}{2} \right) \right]^2$$

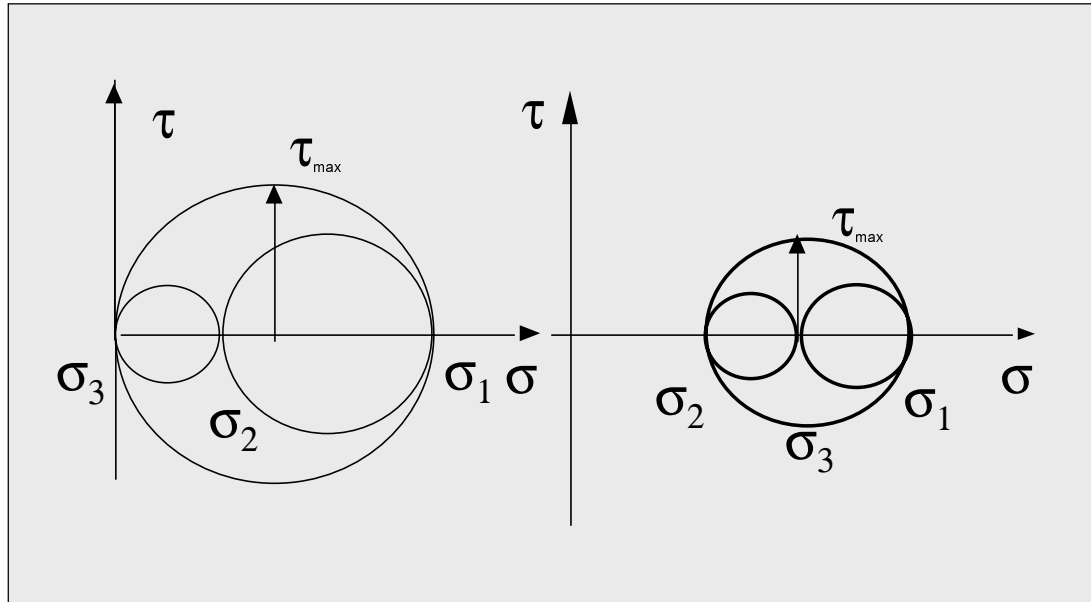
A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 13

3., A képlékeny tartomány alakja (4)



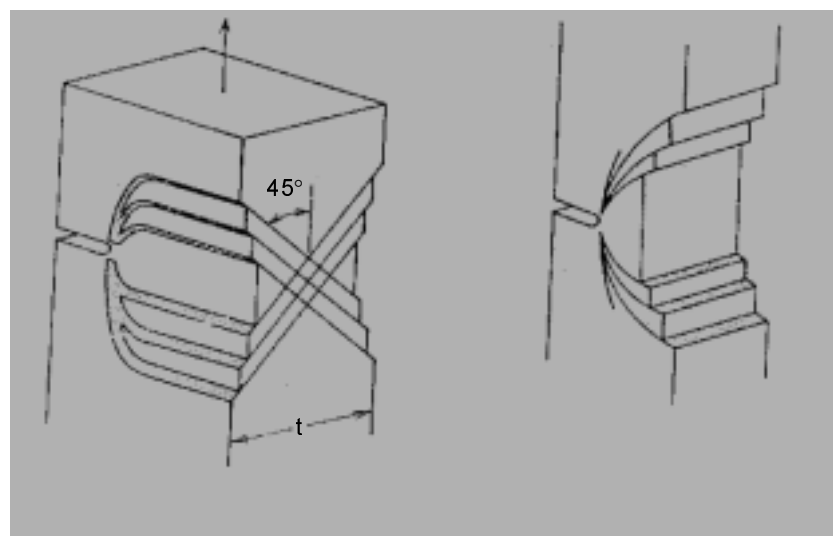
A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 14

3., A képlékeny tartomány alakja (5)



A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 15

3., A képlékeny tartomány alakja (6)



Síkfeszültségi állapot esetén

Síkalakváltozás esetén

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 16

4., Törési tényező (1)

- Definíció

$$L = \frac{\sigma_{\max}}{R_e}$$

Von Mises-feltétel

$$\left[(1-n)^2 + (n-m)^2 + (1-m)^2 \right] (\sigma_{yy})^2 = 2R_e^2$$

$$\sigma_{xx} = m\sigma_{yy}$$

$$\sigma_{zz} = n\sigma_{yy}$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 17

4., Törési tényező (2)

Síkfeszültségi állapot

$$\theta = 0 \Rightarrow \begin{matrix} n = 1 \\ m = 0 \end{matrix} \Rightarrow L = 1$$

Síkalakváltozási állapot

$$\theta = 0 \Rightarrow \begin{matrix} n = 1 \\ m = 2\nu \end{matrix} \Rightarrow L = 3$$

$$R_e^{\text{eff}} = LR_e = 3R_e$$

$$r_y = \frac{K_1^2}{2\pi(3R_e)^2} = \frac{K^2}{18\pi R_e^2}$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 18

4., Törési tényező (3)

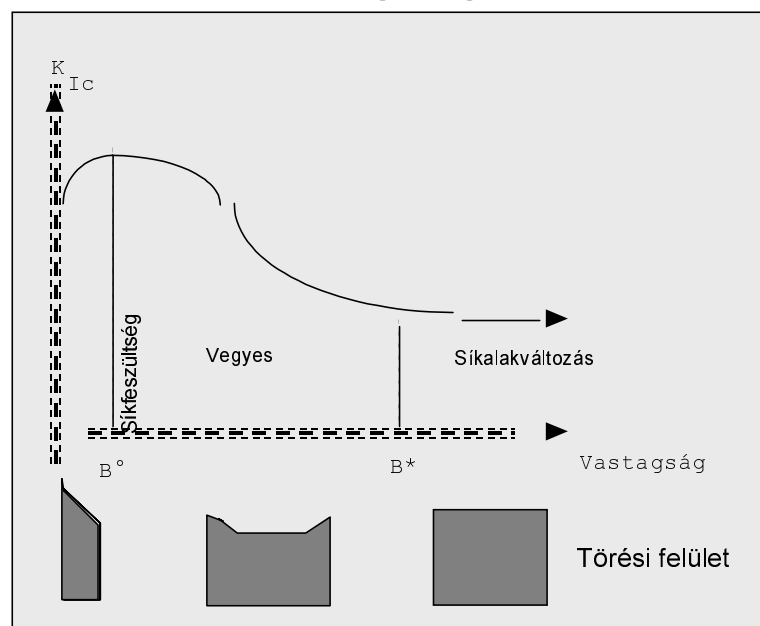
- Irwin-féle törési tényező

$$L = \sqrt{2\sqrt{2}} = 1.68$$

$$r_y = \frac{K_1^2}{2\pi(1.68R_e)^2} = \frac{1}{6\pi} \frac{K_1^2}{R_e^2}$$

A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 19

5., Vastagság hatása



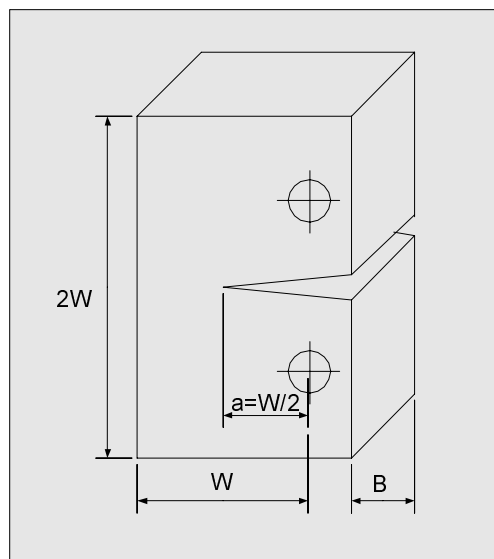
A repedés csúcsánál kialakuló képlékeny tartomány - 20

A törési szívósság kísérleti meghatározása

A törési szívósság kísérleti meghatározása - 1

1., Próbatesszt (1)

- CT próbatesszt

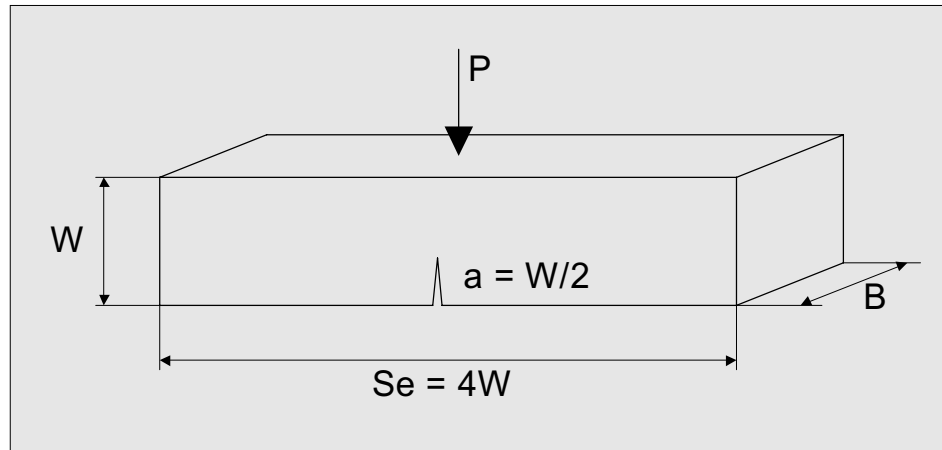


$$\begin{aligned} W &= 2a \\ W &= 2B \\ L &= 1,2W \end{aligned}$$

A törési szívósság kísérleti meghatározása - 2

1., Próbatess (2)

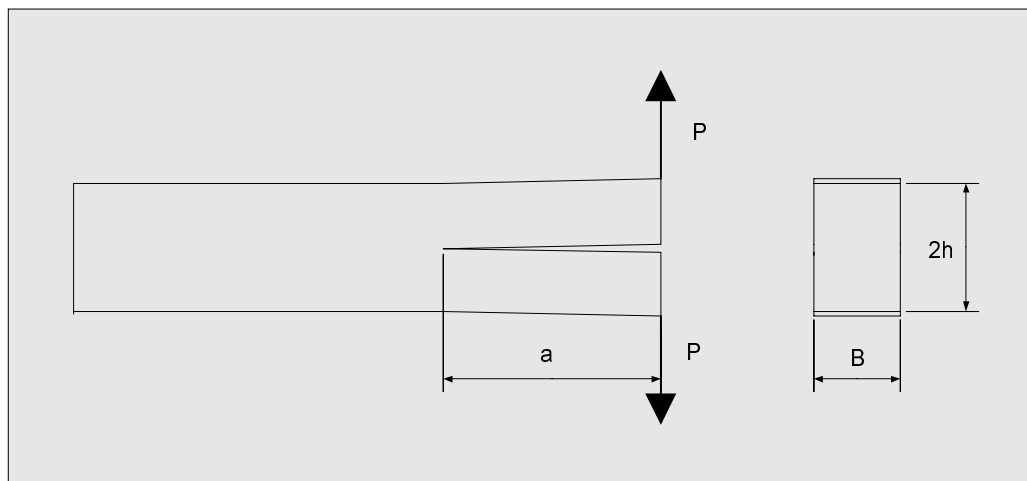
- 3PB Próbatess



A törési szívósság kísérleti meghatározása - 3

1., Egyéb próbatess (3)

- DCB Próbatess (pl.)



A törési szívósság kísérleti meghatározása - 4

1., Próbatest (4)

- Előrepezstés feltételei

$$K_{IF} \leq 60\% K_{IC}$$

- A repedésfront alakjára vonatkozó kritériumok

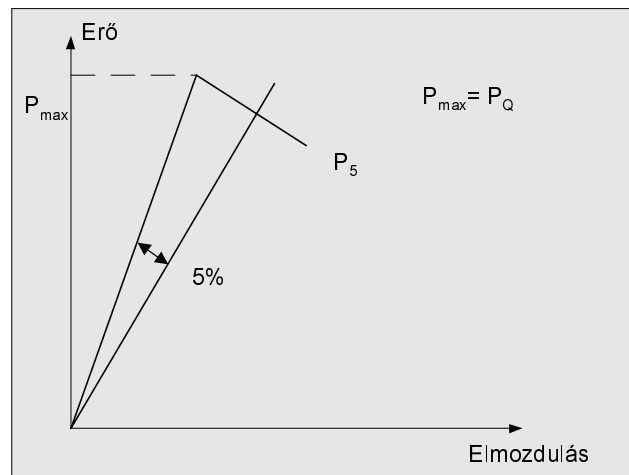
$$a = \frac{1}{3}(a_1 + a_2 + a_3)$$

$$\frac{a_i - a}{a} \leq 10\%$$

A törési szívósság kísérleti meghatározása - 5

2., A kritikus terhelés meghatározása (1)

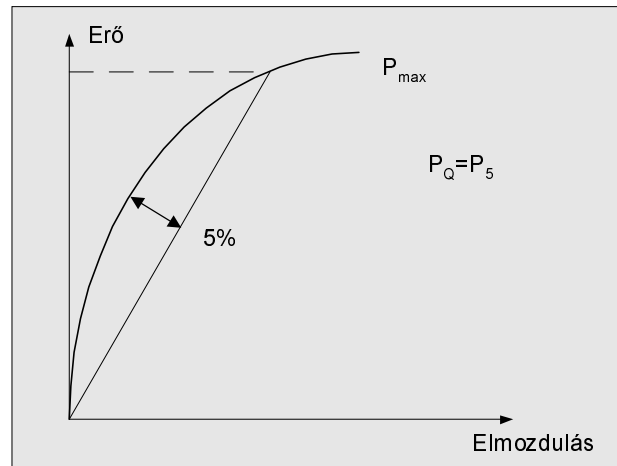
- Rideg törés esetén



A törési szívósság kísérleti meghatározása - 6

2., A kritikus terhelés meghatározása (2)

- Szívós törés esetén



A törési szívósság kísérleti meghatározása - 7

2., A kritikus terhelés meghatározása (3)

- Feltételezett törési szívósság

$$\sigma_Q^c = \frac{P_Q}{BW}$$

$$K_Q^* = \sigma_Q^c \pi a F_\sigma(a_w)$$

A törési szívósság kísérleti meghatározása - 8

3., A feszültségintenzitási tényező számítása (1)

- CT próbatest

$$K_{IC} = \frac{P_c}{B\sqrt{W}} F_\sigma \left(\frac{a}{W} \right)$$

P_c - kritikus terhelés

$F_\sigma(a/W)$ - rúgómerevség

B - vastagság

W - szélesség

$$F_\sigma \left(\frac{a}{W} \right) = \left[29,6 \left(\frac{a}{W} \right)^{1/2} - 185,5 \left(\frac{a}{W} \right)^{3/2} + 655,7 \left(\frac{a}{W} \right)^{5/2} - 1017 \left(\frac{a}{W} \right)^{7/2} + 639 \left(\frac{a}{W} \right)^{9/2} \right]$$

A törési szívósság kísérleti meghatározása - 9

3., A feszültségintenzitási tényező számítása (2)

- TPB Próbatest

$$K_{IC} = \frac{P_c S_e}{B\sqrt{W}} F_\sigma \left(\frac{a}{W} \right)$$

P_c - kritikus terhelés

$F_\sigma(a/W)$ - rúgómerevség

B - vastagság

W - szélesség

S_e - alátámasztások közötti távolság

$$F_\sigma \left(\frac{a}{W} \right) = \left[29,6 \left(\frac{a}{W} \right)^{1/2} - 185,5 \left(\frac{a}{W} \right)^{3/2} + 655,7 \left(\frac{a}{W} \right)^{5/2} - 1017 \left(\frac{a}{W} \right)^{7/2} + 639 \left(\frac{a}{W} \right)^{9/2} \right]$$

A törési szívósság kísérleti meghatározása - 10

4., Érvényességi kritériumok (1)

- Nem-lineáris diagrammok kiértékelése

P - terhelés

d - elmozdulás

- A nem-linearitás oka:
 - képlékeny zóna a repedéscsúcsban
 - stabil repedésterjedés
- A képlékeny alakváltozás hatása

- rugalmas elmozdulás

C_1 állandó

$$d = C_1 \frac{P_a}{E}$$

- rugalmas - képlékeny alakváltozás

C_2 állandó

$$d = C_1 \frac{P}{E} (a + r_p) = C_1 \frac{P}{E} \left(a + C_2 \frac{\sigma_g^2 a}{R_e^2} \right)$$

A törési szívósság kísérleti meghatározása - 11

4., Érvényességi kritériumok (2)

- A képlékeny zónára vonatkozó feltételek

$$B \text{ és } (W - a) \leq 25r_p$$

$$R_y = \frac{1}{3\pi} \left(\frac{K_{IC}}{R_e} \right)^2$$

$$B, (W - a) \leq 2,5 \left(\frac{K_{IC}}{R_e} \right)^2$$

$$B \leq 2,5 \left(\frac{K_{IC}}{R_e} \right)^2$$

A törési szívósság kísérleti meghatározása - 12

4., Érvényességi kritériumok (3)

- Az erő - elmozdulás diagramm alakjára vonatkozó feltételek

$x_Q + y_Q$ = a lineáristól való eltérés $P = P_Q$

x_1 = a lineáristól való eltérés $P = P_1$

x_Q = a képlékeny zóna jelenlétéből adódó eltérés

y_Q = a repedésterjedésből adódó eltérés

- 1. Érvényességi feltétel: $X_Q \bar{S} Y_Q$ és $x_1 = \bar{S} \frac{1}{4} (x_Q + y_Q)$

$$y_Q = 2\% \Rightarrow x_Q + y_Q \sim 4\% \quad x_Q + y_Q = f\left(\frac{a}{W}\right)$$

$$x_Q + y_Q \cong 5\%$$

- 2. Érvényességi feltétel:

$$\frac{P_{\max}}{P_Q} > 1,1$$

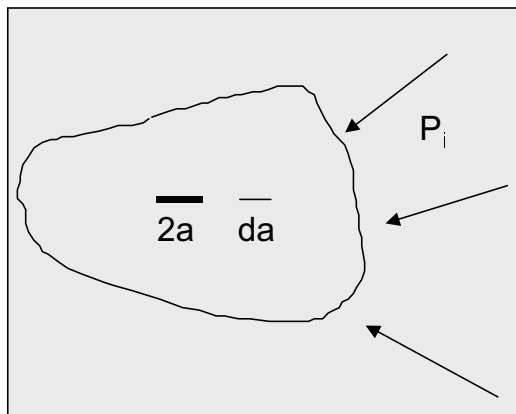
A törési szívósság kísérleti meghatározása - 13

A törési szívósság energetikai meghatározása

A törési szívósság energetikai meghatározása - 1

1., Rendelkezésre álló alakváltozási energia (1)

- Egységnyi hosszúságú repedés létrehozásához szükséges energia
- U külső erők munkája
- U_{el} rugalmas energia
- U_s a repedés létrehozásához szükséges energia



Egyensúlyi feltétel:

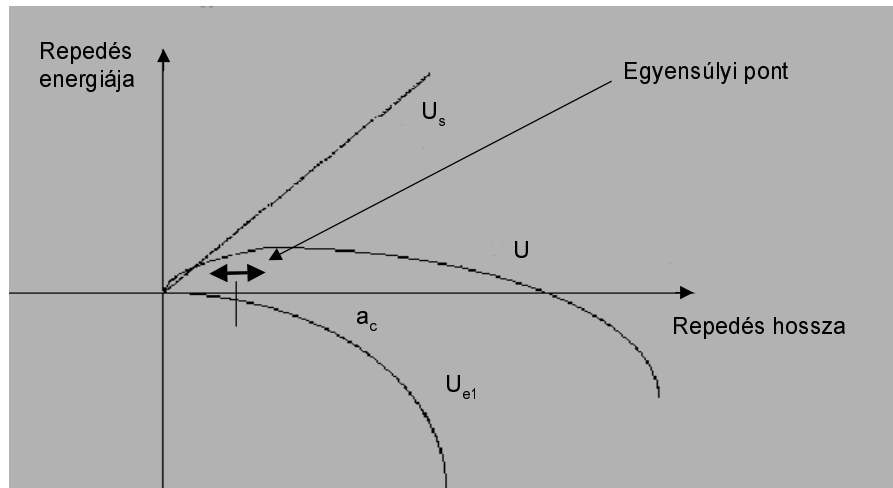
$$\frac{d}{da}(U_{el} - U + U_s) = 0$$

$$\frac{d}{da}(U - U_{el}) = \frac{dU_s}{da}$$

A törési szívósság energetikai meghatározása - 2

1., Rendelkezésre álló alakváltozási energia (2)

- A repedés méretének hatása a folyamat energiamérlegére



A törési szívósság energetikai meghatározása - 3

1., Rendelkezésre álló alakváltozási energia (3)

- A G repedés nyitásához rendelkezésre álló energia

$$G = \frac{d}{da} (U - U_{el})$$

$$G = \frac{d}{da} (U - U_{el}) = \frac{1}{B} \left(P \frac{d(d)}{da} - \frac{dU_{el}}{da} \right)$$

$$U_{el} = \frac{1}{2} Pd = \frac{1}{2} CP^2$$

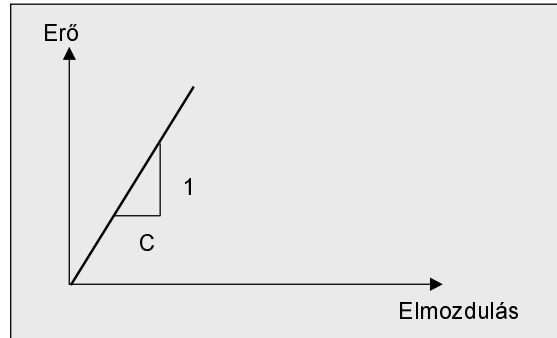
$$d = CP$$

C - rúgómerevség, d - elmozdulás, P - terhelés

A törési szívósság energetikai meghatározása - 4

1., Rendelkezésre álló alakváltozási energia (4)

$$G = \frac{1}{B} \left(P^2 \frac{\partial C}{\partial a} + CP \frac{dp}{da} - \frac{1}{2} P^2 \frac{\partial C}{\partial a} - CP \frac{dP}{da} \right)$$



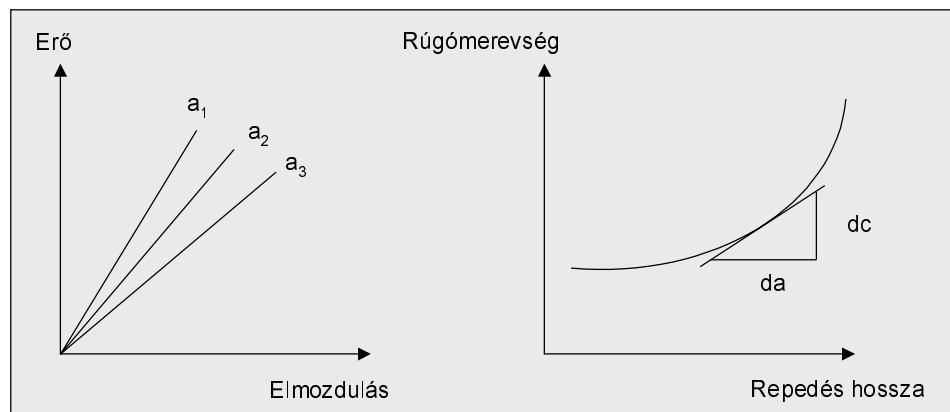
G a terheléstől független

$$G = \frac{P^2}{2B} \frac{\partial C}{\partial a}$$

A törési szívósság energetikai meghatározása - 5

1., Rendelkezésre álló alakváltozási energia (5)

- Kísérleti meghatározása

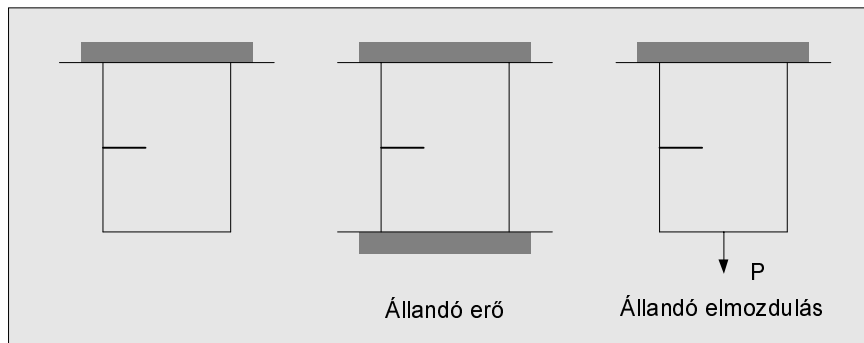


A törési szívósság energetikai meghatározása - 6

1., Rendelkezésre álló alakváltozási energia (6)

- A terhelési mód hatása

$$G = \frac{1}{B} \left(\frac{\partial U_{el}}{\partial a} \right)_P = - \frac{1}{B} \left(\frac{dU_{el}}{da} \right)_d$$



A törési szívósság energetikai meghatározása - 7

2., Rendelkezésre álló alakváltozási energia és a feszültségintenzitási tényező kapcsolata (1)

- A repedés bezárásához szükséges energia

$$G_I = \lim_{\delta a \rightarrow 0} \frac{2}{\delta a} \int_0^{\delta a} \frac{\sigma_{yy} V}{2} dr$$

v - a bemetszéstágulás fele, δa - repedéskinyílás

$$v = \frac{2\sigma_g}{E} \sqrt{a^2 - x^2} = \frac{2K_I}{E} \sqrt{\frac{a - x^2}{a}}$$

$$x = r + a - \delta a$$

$$V \cong \frac{2K_I}{E\sqrt{\pi}} \sqrt{2(\delta a - r)}$$

A törési szívósság energetikai meghatározása - 8

2., Rendelkezésre álló alakváltozási energia és a feszültségintenzitási tényező kapcsolata (2)

- G és K közötti összefüggés

$$G = \lim_{\delta a \rightarrow 0} \frac{2K_I^2}{\pi E \delta a} \int_0^{\delta a} \sqrt{\frac{1-r/\delta a}{r/\delta a}} dr \quad r/\delta = \sin^2 \phi$$

$$G = \frac{K_I^2}{E} \quad \text{Síkfeszültségi állapot}$$

$$G_I = (1-\nu^2) \frac{K_I^2}{E} \quad \text{Síkalkváltozási állapot}$$

A törési szívósság energetikai meghatározása - 9

2., Rendelkezésre álló alakváltozási energia és a feszültségintenzitási tényező kapcsolata (3)

- Az egyes repedéskinyílási módokhoz tartozó összefüggések

I. mód $G_I = (1-\nu^2) \frac{K_I^2}{E}$

II. mód $G_{II} = (1-\nu^2) \frac{K_{II}^2}{E}$

III. mód $G_{III} = (1-\nu^2) \frac{K_{III}^2}{E}$

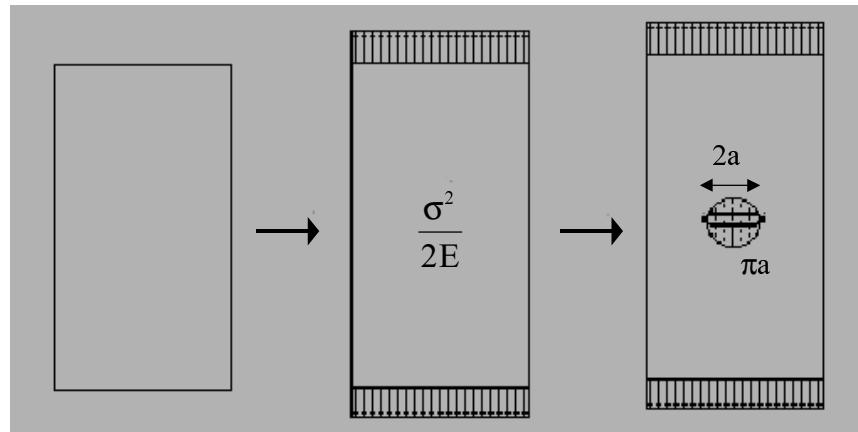
összetett mód

$$G = G_I + G_{II} + G_{III} = \frac{1-\nu^2}{E} \left(K_I^2 + K_{II}^2 + \frac{K_{III}^2}{1-\nu} \right)$$

A törési szívósság energetikai meghatározása - 10

3., Repedéskeletkezési feltételek (1)

- Griffith feltétel



A törési szívósság energetikai meghatározása - 11

3., Repedéskeletkezési feltételek (2)

- Felületi energia, törési szívósság és egyensúlyi feltétel

$$U_{el} = 2\gamma a \qquad R = \frac{dU_s}{da} = 2\gamma$$

U_{el} - eltárolt energia

U_s - repedés felületi energiája

Egyensúlyi feltétel: $G=R$

A törési szívósság energetikai meghatározása - 12

3., Repedéskeletkezési feltételek (3)

- Griffith - egyenlet

$$G=R \quad \frac{dU_{el}}{da} = \frac{2\pi\sigma_g^2 a}{E}$$

Végtelen térben elhelyezkedő, ellipszis alakú repedés viselkedése σ_g feszültség hatására

$$G = 2\gamma = \frac{2\pi\sigma_g^2 a}{E}$$

$$\sigma_g^c = \sqrt{\frac{2\gamma E}{\pi a}}$$

A törési szívósság energetikai meghatározása - 13

3., Repedéskeletkezési feltételek (4)

- Orowan egyenlet

$$\Gamma = 2\gamma_s + \gamma_p = G_{IC}$$

γ_s - felületi energia

γ_p - képlékeny alakváltozás energiája

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{EG_{IC}}{\pi a}}$$

A törési szívósság energetikai meghatározása - 14

4., Rúgómerevség (1)

- Alapelv

$$K^2 = EG = \frac{EP^2}{2B} \frac{\partial C}{\partial a}$$

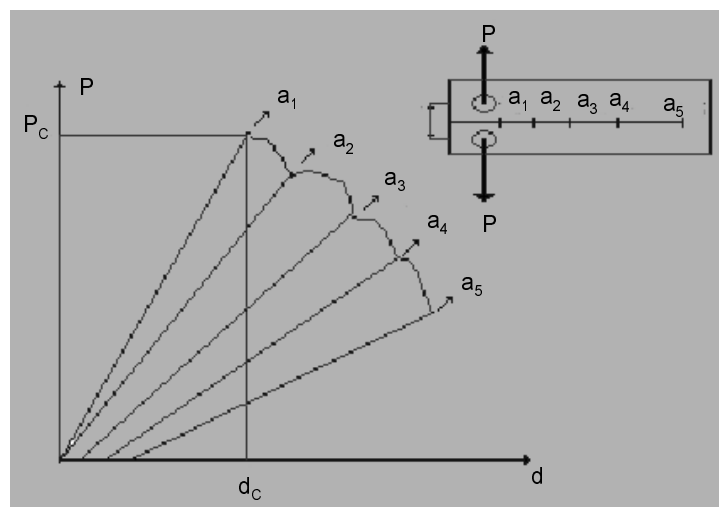
Rúgómerevség

$$C = \frac{V}{P}$$

A törési szívósság energetikai meghatározása - 15

4., Rúgómerevség (2)

- DCB próbatest esetén



A törési szívósság energetikai meghatározása - 16

4., Rúgómerevség (3)

- DCB próbatest esetén

$$C = \frac{V}{P} = \frac{8a^3}{Eh^3B}$$

$$V = \frac{2Pa^3}{3EI} = \frac{8Pa^3}{Eh^3B}$$

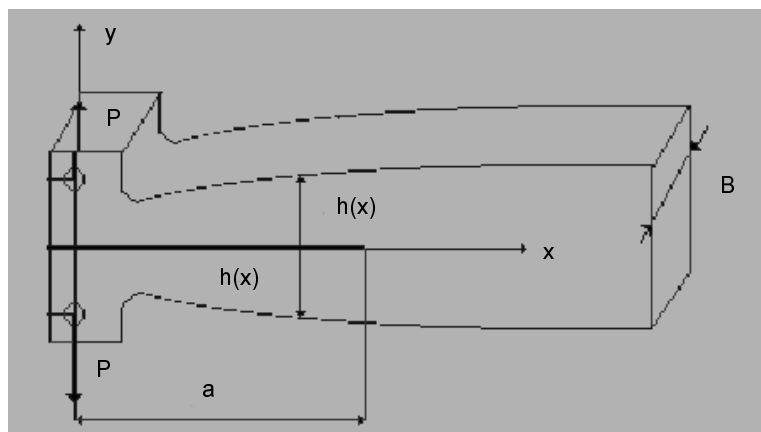
$$G = \frac{P^2}{2B} \frac{\partial C}{\partial a} = \frac{12P^2a^2}{Eh^3B^2}$$

$$K = 2\sqrt{3} \frac{P}{h^{3/2}} \frac{a}{B}$$

A törési szívósság energetikai meghatározása - 17

4., Rúgómerevség (4)

- DCB próbatest ha K állandó



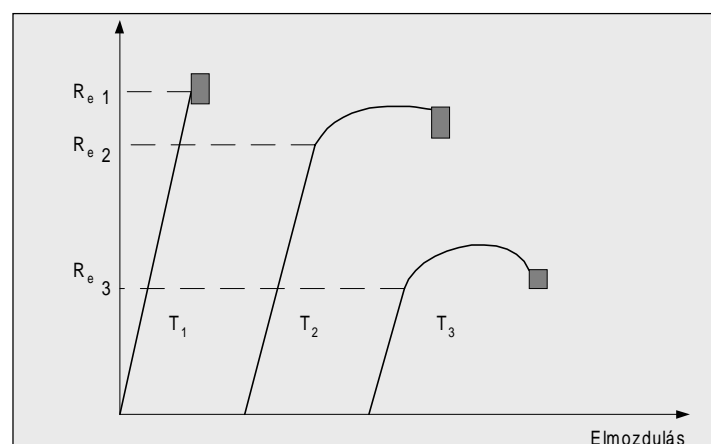
A törési szívósság energetikai meghatározása - 18

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 1

1., A rideg - képlékeny átmenet fogalma

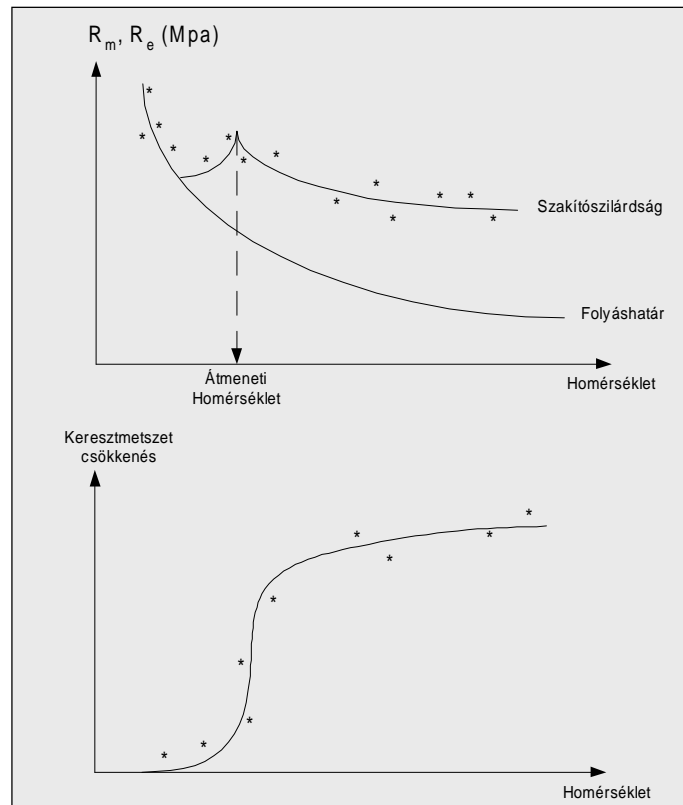
Különböző hőmérsékleten végzett szakítóvizsgálatok



R_e - Rugalmassági határ, R_m - Szakítószilárdság

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 2

1., A rideg - képlékeny átmenet fogalma



Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 3

1., A rideg - képlékeny átmenet fogalma

- A rideg - képlékeny törési mód közötti átmenet akkor következik be, amikor a szakítószilárdság nagyobb válik, mint a folyáshatár.
- Az a hőmérséklet, amelyen az átmenet bekövetkezik, az átmeneti hőmérséklet.

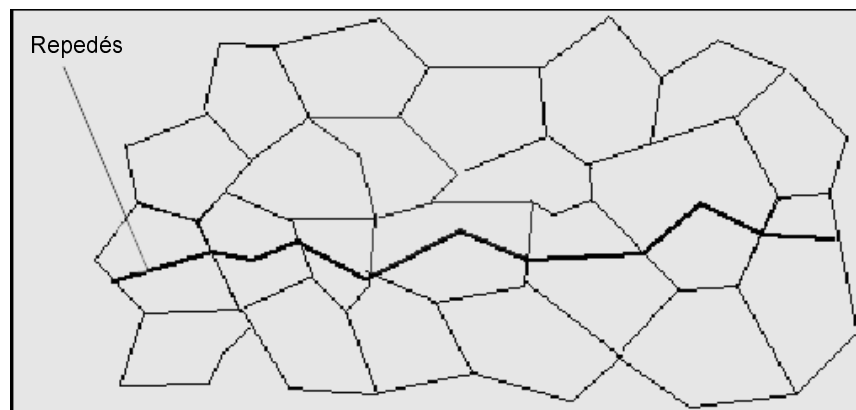
Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 4

2., A ridegtörés szerkezeti jellemzői

- Makroszkópikus jellemzők
 - A ridegtörés kis energia befektetésével, kis alakváltozást eredményezve következik be.
- Mikroszkópikus jellemzők
 - A ridegen eltört darab felületén repedés-terjedés nyomait lehet megfigyelni.

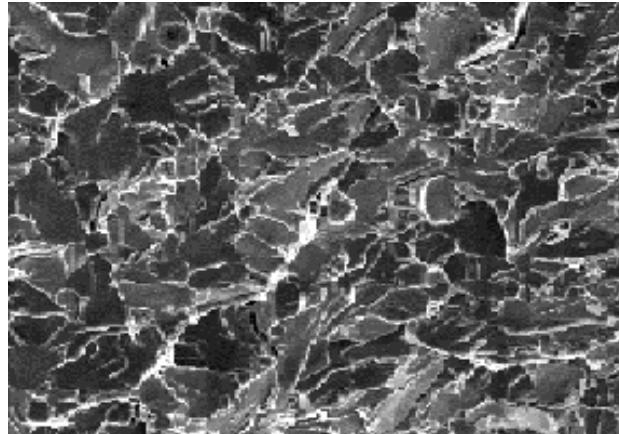
Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 5

2., A ridegtörés szerkezeti jellemzői



Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 6

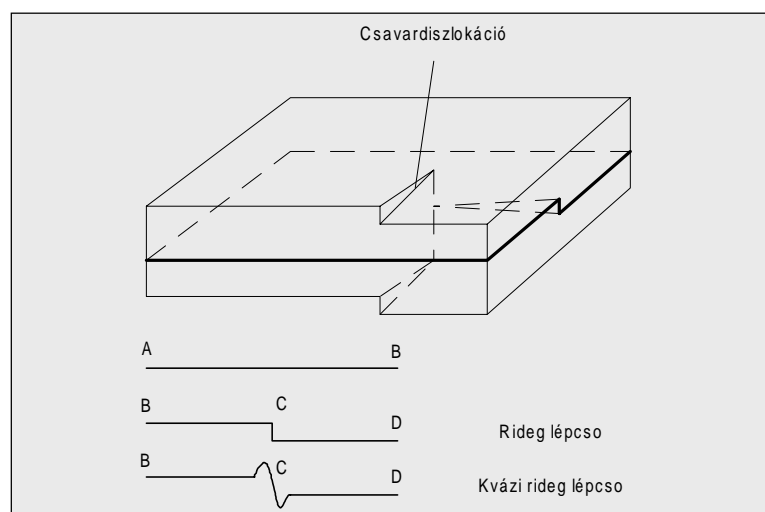
2., A ridegtörés szerkezeti jellemzői



Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 7

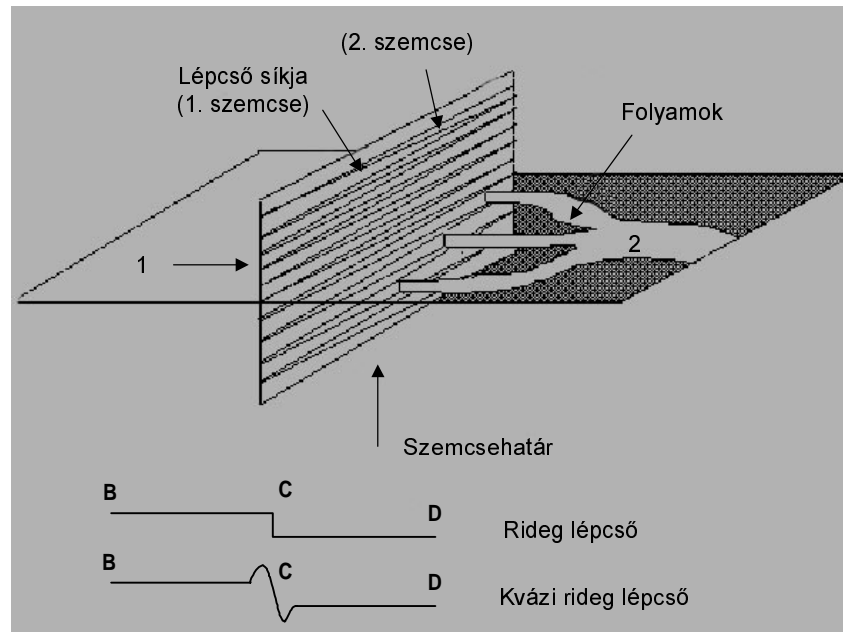
2., A ridegtörés szerkezeti jellemzői

- A töretfelületen lépcsőket figyelhetünk meg



Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 8

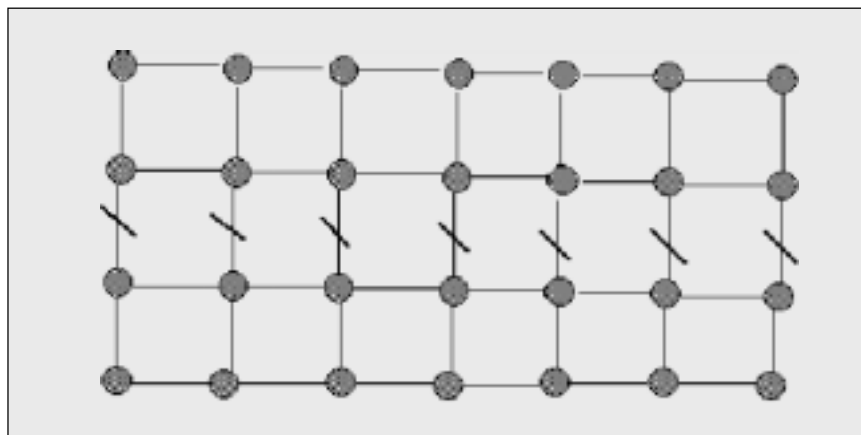
2., A ridegtörés szerkezeti jellemzői



Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 9

3., A repedésterjedés jellemzői

- 3.1., Repedésterjedés síkja



Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 10

3.2., Kritikus repedésterjedési feszültség

$$\sigma_c^*$$

Anyag	σ_F : Szakítószilárdság Mpa * 10 ⁻⁴	E Young modulus Mpa * 10 ⁻³	E / σ_F
Szilícium szál	2.46	99	4
Vas- Whisker	1.34	301	23
Szilícium- Whisker	0.66	169	26
Szilícium	0.53	169	32

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 11

3.2., Kritikus repedésterjedési feszültség

$$\sigma_c^*$$

- Feltételezés:
A törésig csak teljesen rugalmas alakváltozás
következik be

$$\text{Griffith - összefüggés : } \sigma_c^* = \left(\frac{E \gamma_s}{b_0} \right)^{1/2}$$

γ_s - felületi energia, b_0 - rácsállandó

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 12

4., RITCHIE KNOTT és RICE feltétel

• 4.1., Definíció

A törés akkor következik be, amikor a feszültség egy X_c karakterisztikus értékkel nagyobb lesz a repedés terjedéséhez szükséges kritikus feszültségnél.

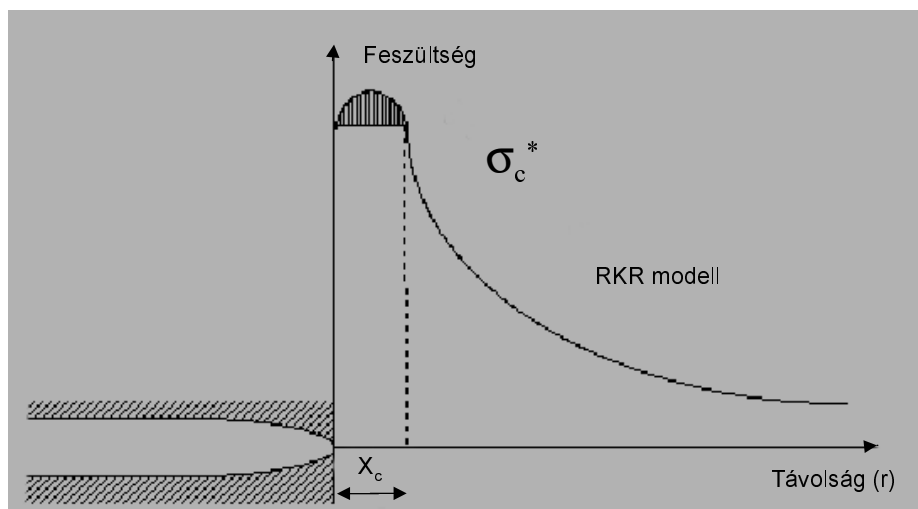
A repedés csúcsában ébredő feszültség eloszlása a Hutchinson Rice és Rosengreen szerint

$$\frac{\sigma_{yy}}{R_c} = \left(\frac{1 - \nu^2}{\epsilon_y I_N} \right) \left[\frac{x}{(K_{Ic} / R_c)^2} \right]^{-1/N+1} f(\theta, N)$$

- ϵ_y a folyáshatárhoz tartozó alakváltozás
- I_N az N keményedési kitevőtől függő állandó
- $f(\theta, N)$ az N keményedési kitevőtől és a θ szögtől függő dimenziómentes tényező

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 13

4.1., Definíció



Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 14

4.2., A feltétel alkalmazása

$x=X_c$ $\sigma_{yy} = \sigma_c^*$ esetén

X_c karakterisztikus távolság

$$K_{Ic} = C^{-\frac{N+1}{2}} \sqrt{X_c} \left\{ \frac{(\sigma_c^*)^{\frac{N+1}{2}}}{(R_e)^{\frac{N-1}{2}}} \right\}$$

$$\text{ahol } C = f(\theta, N) \left[\frac{(1 - \nu^2)}{\epsilon_y I_N} \right]$$

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 15

4.2., A feltétel alkalmazása

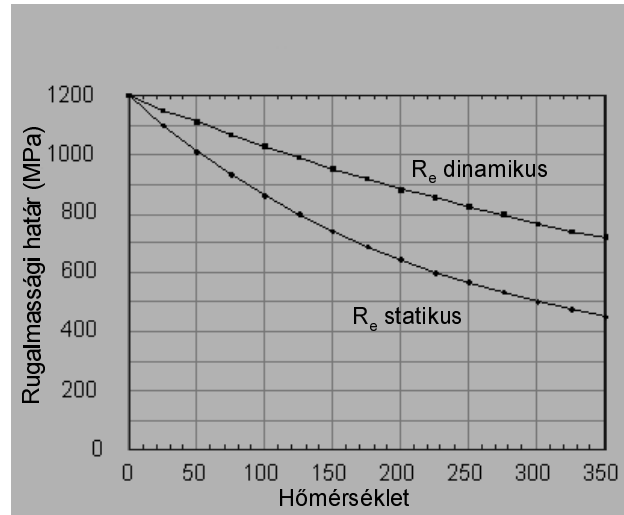
- Egyszerűsített alak

$$K_{Ic} \cdot R_e^{\frac{N-1}{2}} = \text{állandó}$$

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 16

4.3., Alkalmazási példa

- A rugalmassági határ változása a hőmérséklet és az alakváltozási sebesség függvényében



Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 17

4.3., Alkalmazási példa

$$R_e = R_{e^0} + (R_{e^0} - R_{e^\mu}) \exp \left(-CT \log \frac{A_F}{\dot{\epsilon}} \right)$$

R_{e^μ} : A rugalmassági határ hőmérséklettől független része

R_{e^0} : A rugalmassági határ értéke 0 K-en

A_F : Frekvencia-tényező

T : Hőmérséklet

$\dot{\epsilon}$: Alakváltozási sebesség

C : Állandó

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 18

4.3., Alkalmazási példa

$$K_{Ic} R_e^{\frac{N-1}{2}} = \text{const.}$$

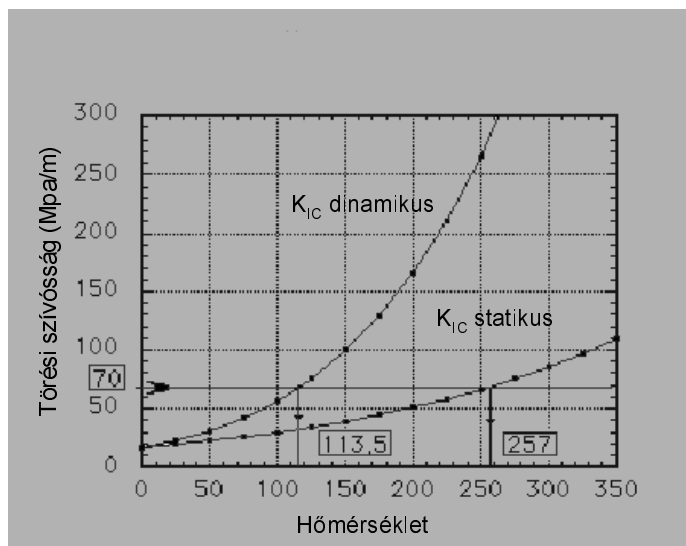
$$K_{Ic} = K_{Ic}^0 \left(\frac{R_e}{R_e^0} \right)^{\frac{1-N}{2}}$$

$$K_{Ic} = K_{Ic}^0 \left[\frac{R_e^\mu + (R_e^0 - R_e^\mu) \exp \left(-CT \log \frac{A_F}{\epsilon} \right)}{R_e^0} \right]^{\frac{1-N}{2}}$$

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 19

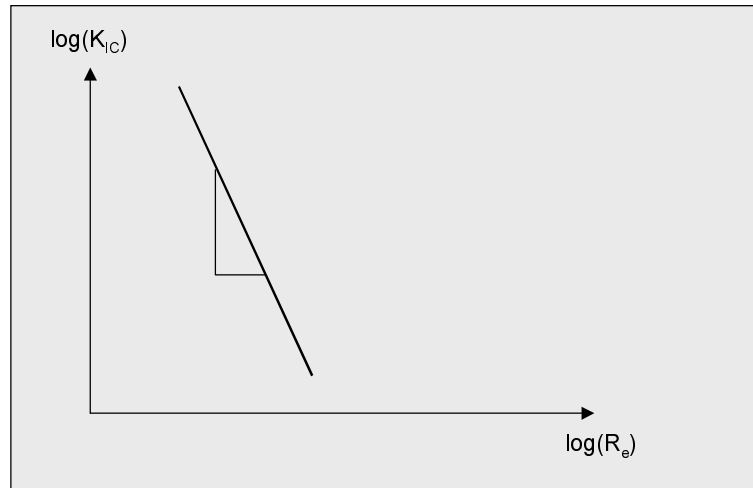
4.3., Alkalmazási példa

- A K_{Ic} törési szívóssághoz tartozó átmeneti hőmérséklet megállapodás alapján 70 MPa nyomáson mérjük



Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 20

4.3., Alkalmazási példa

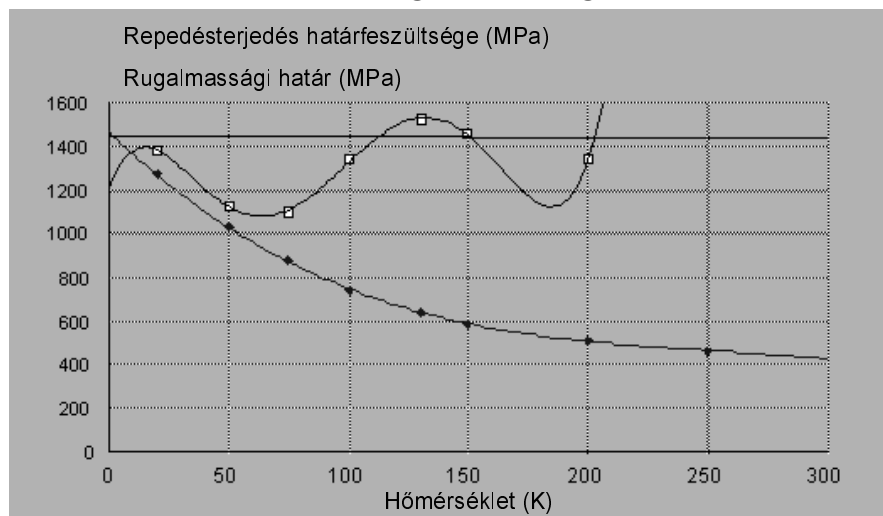


A rugalmassági határt leíró hatványfüggvény ellen őrzése

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 21

5., A repedésterjedéshez szükséges kritikus feszültség értékének számítása

- 5.1., 0 K-en mérhető rugalmassági határ



Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 22

5.2., Birdgmann módszer (1)

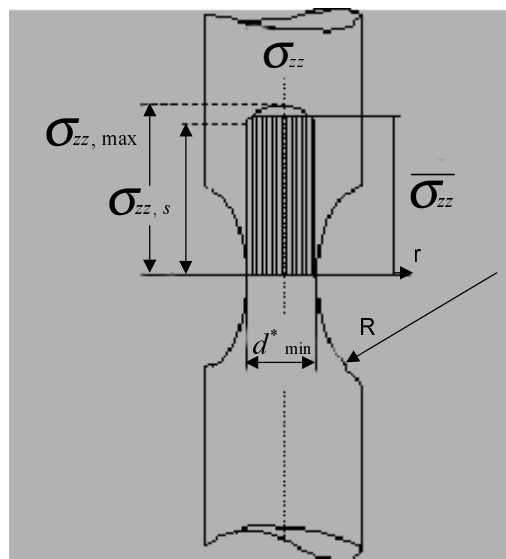
- A repedésterjedés megindulásához szükséges határfeszültség meghatározásához bemetszett, tengelyszimmetrikus darabokat használunk.
- A próbatestekben ébredő tengelyirányú feszültséget az alábbi összefüggés segítségével számíthatjuk:

$$\sigma_{zz} = \overline{\sigma_{zz}} \left[1 + \frac{\left(\frac{d_{\min}^*}{2} \right)^2 - (r)^2}{d_{\min}^* R} \right]$$

r - a próbatest tengelyétől mért távolság

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 23

5.2., Birdgmann módszer (2)



$\overline{\sigma_{zz}}$ a próbatestben ébredő közép feszültség

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 24

5.2., Birdgmann módszer (3)

$$\overline{\sigma_{zz}} = \frac{4P}{\pi(d_{\min}^*)^2}$$

$$\sigma_{zz,s} = \frac{\overline{\sigma_{zz}}}{1 + \frac{d_{\min}^*}{8R}}$$

P - a próbatestre ható terhelés

$\sigma_{zz,s}$ - a felületen ébredő feszültség

d_{\min}^* - a próbatest keresztmetszete a bemetszésnél

R - a bemetszés sugara

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 25

5.2., Birdgmann módszer (4)

$$\sigma_{zz, \max} = \overline{\sigma_{zz}} \left[1 + \frac{\left(\frac{d_{\min}^*}{2} \right)^2 - (r)^2}{d_{\min}^* R} \right] = \overline{\sigma_{zz}} \left[1 + \frac{d_{\min}^*}{4R} \right]; \sigma_{zz,s} = \left[\frac{\overline{\sigma_{zz}}}{1 + \frac{d_{\min}^*}{8R}} \right]$$

$$\overline{\sigma_{zz}} = \sigma_{zz,s} \left[1 + \frac{d_{\min}^*}{8R} \right]$$

$$\sigma_{zz, \max} = \sigma_{zz,s} \left[\frac{1 + d_{\min}^*}{4R} \right] \left[1 + \frac{d_{\min}^*}{8R} \right]$$

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 26

5.2., Birdgmann módszer (5)

- A von Mises folyási feltétel

$$(\sigma_{rr} - \sigma_{\theta\theta})^2 + (\sigma_{\theta\theta} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{rr})^2 + 6\sigma_{zz}^2 = 6\left(\frac{R_e}{\sqrt{3}}\right)^2$$

- Egyensúlyi egyenletek

$$\sigma_{rr} = \sigma_{\theta\theta}$$

$$\sigma_{zz} = 0$$

- A feszültségek közötti összefüggés

$$\sigma_{rr} = \sigma_{\theta\theta} = \sigma_{zz} - R_e$$

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 27

5.2., Birdgmann módszer (6)

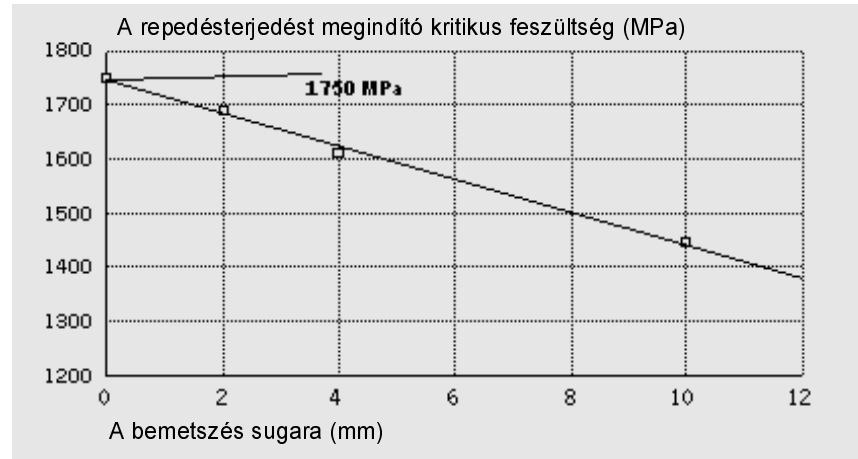
- Feltételezzük, hogy az anyag rugalmas - tökéletesen képlékeny
- A felületen ébredő feszültségek

$$\sigma_{\theta\theta} = \sigma_{rr} = 0; \sigma_{zz,s} = R_e$$

$$\overline{\sigma_{zz}} = R_e \left[1 + \frac{d_{\min}^*}{8R} \right]$$

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 28

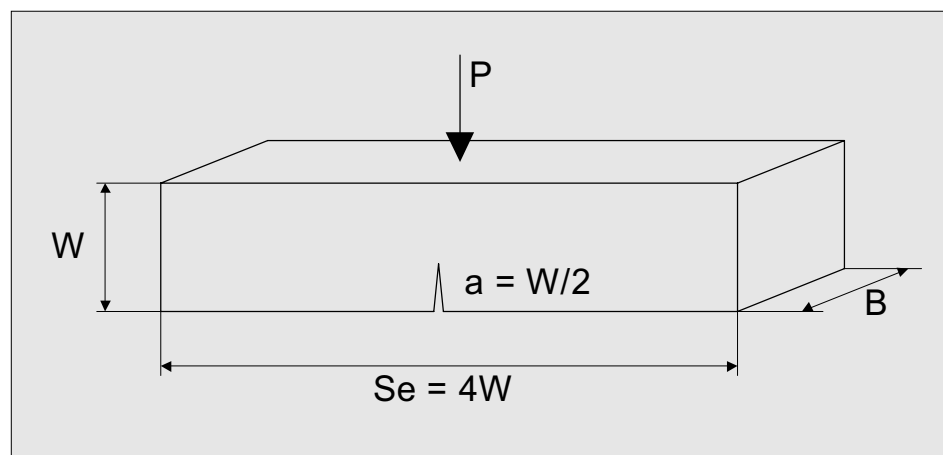
5.2., Birdgmann módszer (6)



Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 29

5.3., 3 pontos hajlítópróba használata

- A bemetszés végén kialakuló képlékeny zónában ébredő feszültségek eloszlása.

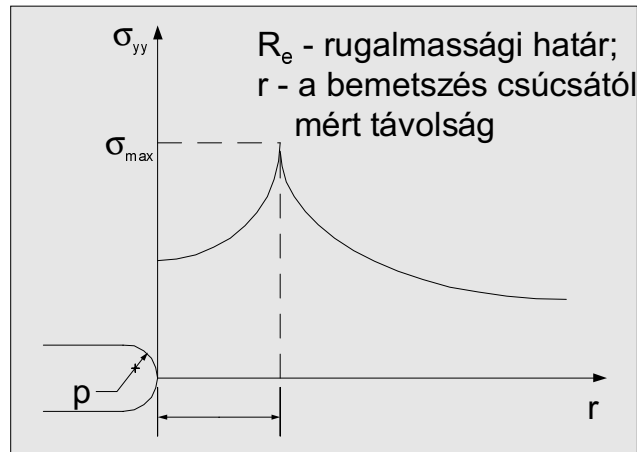


Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 30

5.3., 3 pontos hajlítópróba használata

- Ewing egyenlet (1)

$$\sigma_{yy} = R_e \left[1 + \ln \left(1 + \frac{x}{p} \right) \right]$$



Ropedést tartalmazó anyag ridegtörése - 31

5.3., 3 pontos hajlítópróba használata

- Ewing egyenlet (2)

A csúszóvonalak logaritmikus spirál alakúak, ha

$$r' = R_y, R_{yy} = \sigma_{max}$$

$$R_y = \alpha \left(\frac{K_{Ic}}{R_e} \right)^2$$

R_y a képlékeny zóna átmérője

$$\sigma_{max} = R_e \left[1 + \ln \left(1 + \frac{R_y}{r} \right) \right]$$

Ropedést tartalmazó anyag ridegtörése - 32

5.3., 3 pontos hajlítópróba használata

- Ewing egyenlet (3)

$$\sigma_{\max} = R_e \left[1 + \ln \left(1 + \frac{R_y}{r} \right) \right]$$

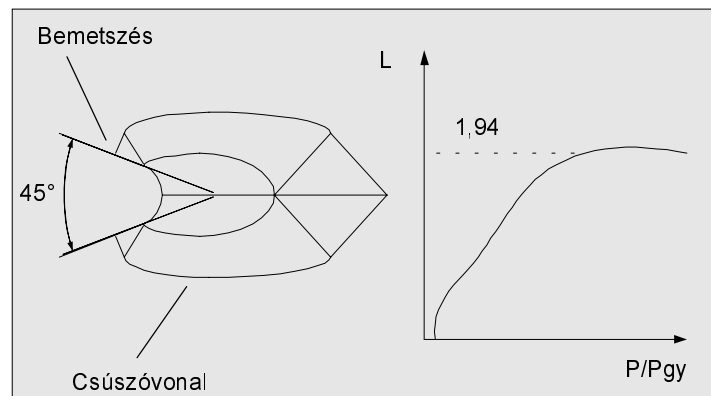
$$\sigma_{\max} = R_e \left[1 + \ln \left(1 - \frac{\alpha}{r} \left(\frac{K_{Ic}}{R_e} \right)^2 \right) \right] = \left(\frac{E\gamma}{2d_g} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma_{\max} = R_e L = \sigma_C^*$$

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 33

5.3., 3 pontos hajlítópróba használata

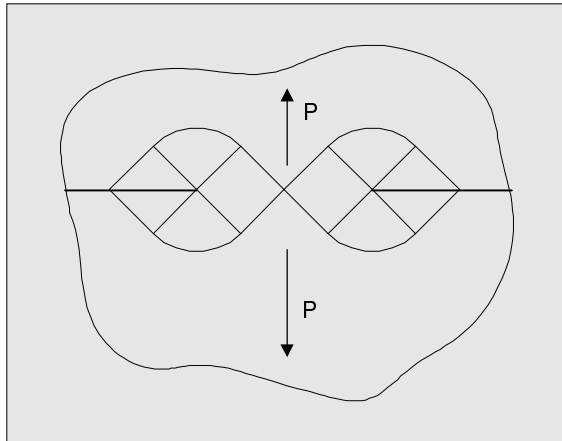
- Ewing egyenlet (4)
L- Az alakváltozás akadályozásának mértéke
 $L=f(B)$, $L=1,944$



Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 34

5.3., 3 pontos hajlítópróba használata

- Green egyenlet



Charpy ütőpróbatestre

$$\sigma_{yy} = R_e \left(1 + \frac{\pi}{2} - \frac{\theta}{2} \right) = \text{állandó}$$

$$\theta = \frac{\pi}{4} \quad \sigma_{\max} = R_e \cdot 2,18 = \sigma_C^*$$

Ropedést tartalmazó anyag ridegtörése - 35

5.4., A szemcseméret hatása

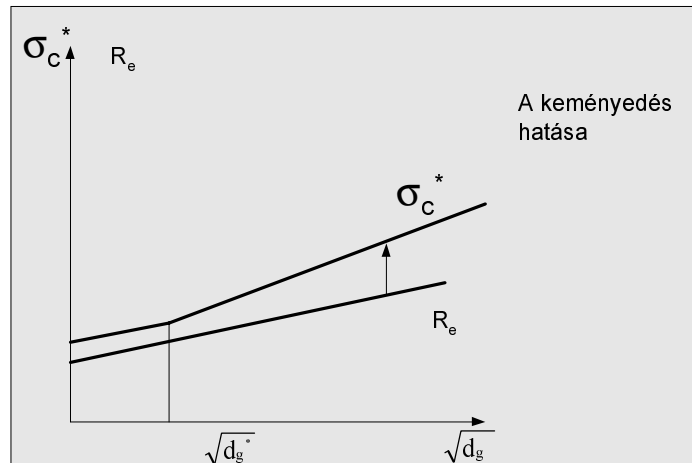
- Hall - Petch összefüggés (1953)

$$\sigma_C^* = \sigma_0 + K_g d^{1/2}$$

Ropedést tartalmazó anyag ridegtörése - 36

6., A karakterisztikus távolság meghatározása

- Kapcsolat a mikroszerkezettel $X_c = d_g$
 d_g - átlagos szemcseméret



Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 37

7., A fizikai és fémtani paraméterek hatása a feszültség - intenzitás kritikus értékére K_{Ic}

- 7.1., A rugalmassági határ hatása
 RKR

$$K_{Ic} R_e^{\frac{N-1}{2}} = \text{állandó}$$

Hahn és szerzőtársai

$$\sigma_c^* = \alpha \left(\frac{K_{Ic}}{R_e} \right)^\beta$$

A 533 B

 $\alpha=1,75$ $\beta=0,50$

Cr Mo.V acél

 $\alpha=3,12$ $\beta=0,25$

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 38

7.1., A rugalmassági határ hatása

- Pisarenko és Krasowsky (1971)

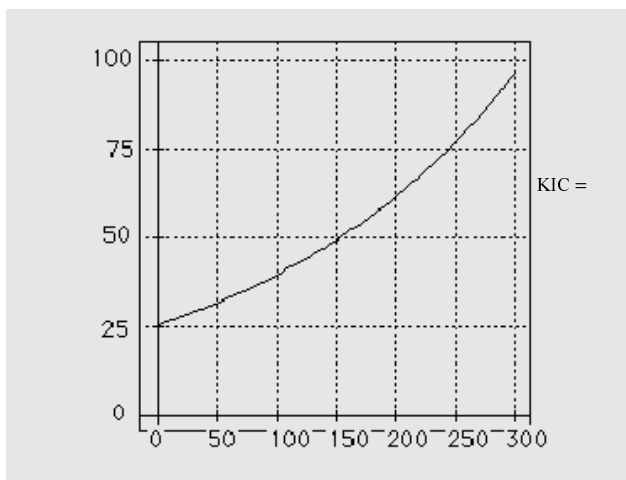
$$\left(\frac{R_e}{\sigma_C^*} \right)^{\frac{1-n}{2n}} = \frac{K_\mu}{K_{Ic}}$$

$$K_\mu = \sigma_C^* \sqrt{\pi X_C}$$

n - keményedési kitevő

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 39

7.2., A feszültség intenzitás kritikus értéke - K_{Ic} - és a hőmérséklet kapcsolata



Nakamura (1975)

$$K_{Ic} = K_{Ic}^0 \exp \frac{T}{T_0}$$

$$K_\mu = K_{Ic}^0$$

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 40

7.3., K_{Ic} kapcsolata a szemcsemérettel

- Schwalbe (1977)

$$K_{Ic} = \frac{2(\sigma_c^*)2\sqrt{d_g}}{R_e}$$

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 41

7.4., Második fázis jelenlétének hatása a feszültség intenzitás értékére

- Hahn és Rosenfeld (1979)

$$K_{Ic} = 1,27\sqrt{R_e E d_g f_V^{1/6}}$$

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 42

7.5., A feszültség intenzitás kritikus értékének változása a keményedési kitevővel

- Kraft

$$K_{Ic} = En\sqrt{2\pi X_c}$$

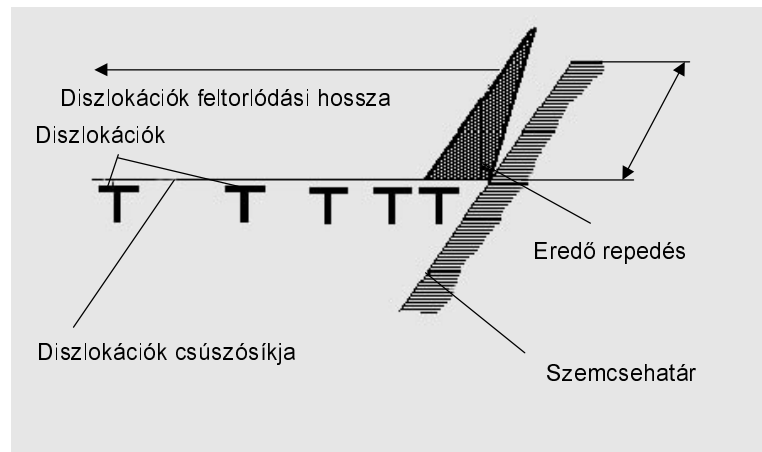
- Hahn és Rosenfeld

$$K_{Ic} = n\sqrt{2\pi E R_e \frac{\varepsilon_f}{3}}$$

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 43

8., A repedés kialakulásának mechanizmusai

- 8.1., Zener - Stroh mechanizmus (1)



Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 44

8.1., Zener - Stroh mechanizmus (2)

- A repedés egy forrásból származó, szemcsehatáron blokkolt diszlokációs oszlop végén alakul ki.
- A diszlokációs oszlop végén kialakuló feszültségkoncentráció

$$\sigma = (\tau - \tau_i) \left(\frac{L_e}{r} \right) f(\theta)$$

τ - a csúszósíkban ható csúsztató feszültség

L_e - oszlop hossza

τ_i - a diszlokációra ható súrlódásifeszültség

r - az oszlop végétől mért távolság

$f(\theta)$ - a repedésterjedés és a diszlokációs csúszás síkjai között mérhető szög dimenziómentes függvénye

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 45

8.1., Zener-Stroh mechanizmus (3)

$\sqrt{\left(\frac{L_e}{r} \right)}$ Feszültségnövekedési tényező

- A repedés kialakulásának feltétele:

$$(\tau - \tau_i) \left(\frac{L_e}{r} \right)^{1/2} \geq \sigma_c^* = \left(\frac{E \gamma_s}{b} \right)^{1/2}$$

E - Young modulus

γ_s - törés felületi energiája

b_0 - atomtávolság

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 46

8.1., Zener-Stroh mechanizmus (4)

- Repedés kialakulásának feltétele: $\tau_g = \tau_c$

$$\tau_g = \tau_c + \left(\frac{rE\gamma_s}{L_e b_0} \right)$$

τ_g - globális csúsztató feszültség

τ_c - kritikus csúsztató feszültség

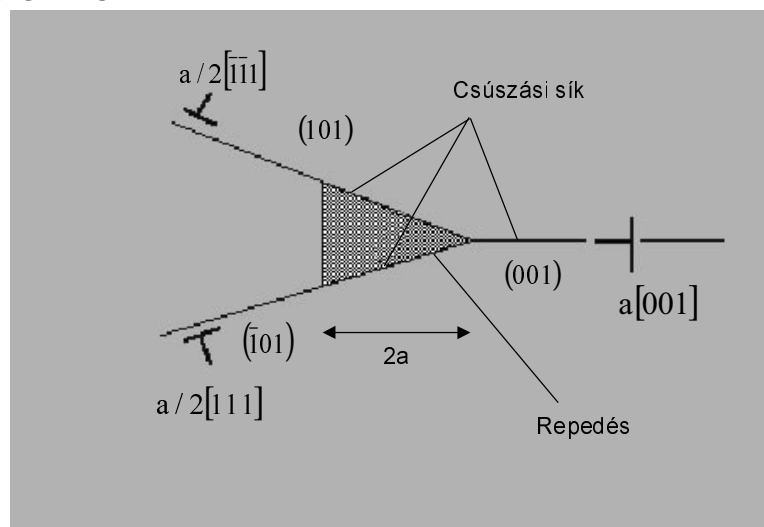
$$r=b_0; E=2\mu \text{ (}\mu \text{ - Coulomb tényező)}$$

$$\tau_g = \tau_{ic} + \left(\frac{2\mu\gamma_s}{L_e} \right)^{1/2}$$

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 47

8.2., Cottrell elmélet (1)

- A Cottrell mechanizmus diszlokációk egyesülését tételezi fel



Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 48

8.2., Cottrell elmélet (2)

$$\frac{a}{2} [\bar{1}\bar{1}\bar{1}]_{(101)} + \frac{a}{2} [111]_{\Gamma 01} \Rightarrow a[001]_{(001)}$$

Burgers - vektor: $\frac{a}{2} [\bar{1}\bar{1}\bar{1}]$

- csúszási sík: (101)
- elmozdulás: nb
- repedéshossz: 2a

A potenciális energia változása egységnyi vastagságváltozás függvényében:

$$\Pi = U_1 + U_2 + U_3 + U_4$$

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 49

8.2., Cottrell elmélet (3)

+ a repedés jelenlétéből adódó rugalmas energia:

$$U_1 = -\frac{\sigma_g^2 (1 - \nu^2)}{E} (a)^2$$

+ a repedés kialakulásához szükséges energia:

$$U_2 = -\frac{1}{2} \sigma_g n b_0 2a$$

+ felületi energia:

$$U_3 = +2\gamma_s 2a$$

+ szuperdiszlokáció kialakulásához szükséges energia:

$$U_4 = +\frac{\mu (n b_0)^2}{4\pi(1 - \nu)} \ln\left(\frac{2R}{a}\right)$$

+ R - az alakváltozási mező határos hossza

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 50

8.2., Cottrell elmélet (4)

+ Teljes energia:

$$\Pi = \frac{\mu n^2 b_0^2}{4\pi(1-\nu)} \ln\left(\frac{2R}{a}\right) + 4\gamma_s a - \frac{\pi(1-\nu^2)}{E} \sigma_g^2 a^2 - \sigma_g n b_0 a$$

+ a repedés kialakulási feltétele: $\frac{\partial \Pi}{\partial a} = 0$

2 valós gyökkel az átmeneti pontban: $\sigma_c^* = \frac{2\gamma_s}{n b_0}$

+ az $n b_0$ elmozdulás számítása:

nyírás: $(\tau_y - \tau_i)$ csavarás: $\frac{(\tau_y - \tau_i)}{\mu}$

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 51

8.2., Cottrell elmélet (5)

+ $n b_0$ elmozdulás: $d_g \frac{(\tau_y - \tau_i)}{\mu} = n b_0$

d_g átlagos szemcseméret:

$$n b_0 = (\tau_y - \tau_i) \frac{d_g}{\mu} = K d_g^{-1/2}$$

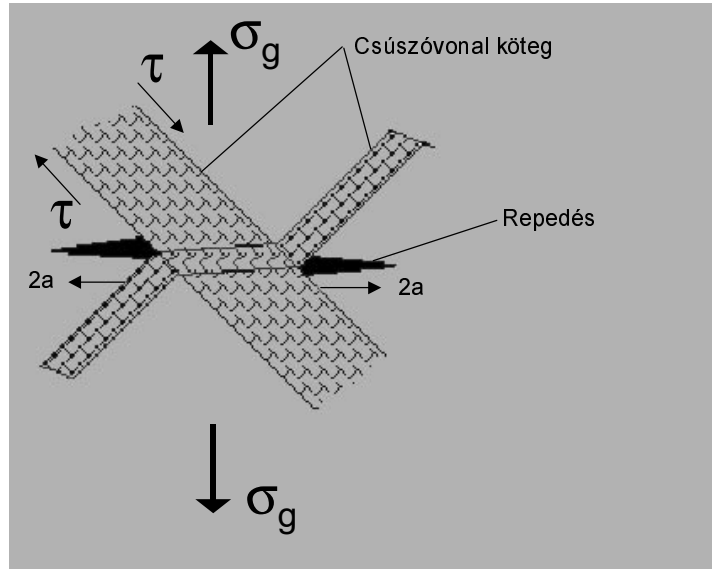
$$\text{car}(\tau_y - \tau_i) = K d_g^{1/2}$$

+ kritikus határ (Cottrell - Petch összefüggés)

$$\sigma_g \geq \frac{2\mu\gamma_s}{K} d_g^{-1/2}$$

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 52

8.3., Friedel - Gilman mechanizmus



Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 53

8.4., A szemcsehatáron átjutás feltétele

$$\tau_n - \tau_i = B(\mu\gamma_s)^{1/2} d_g^{-1/2}$$

$$\tau_g = C \left(\frac{\mu\gamma_m}{K_y} \right) d_g^{-1/2}$$

$$\sigma_B = D(\mu\gamma_B)^{1/2} d_g^{-1/2}$$

$$\text{ahol } \sigma_c^* = \sigma_{c,0}^* + K_y d^{-1/2}$$

$$\tau_g > \tau_n \text{ és } \sigma_B \Rightarrow \sigma_G = \sigma_c^*$$

τ_n - repedés kialakulásához szükséges feszültség

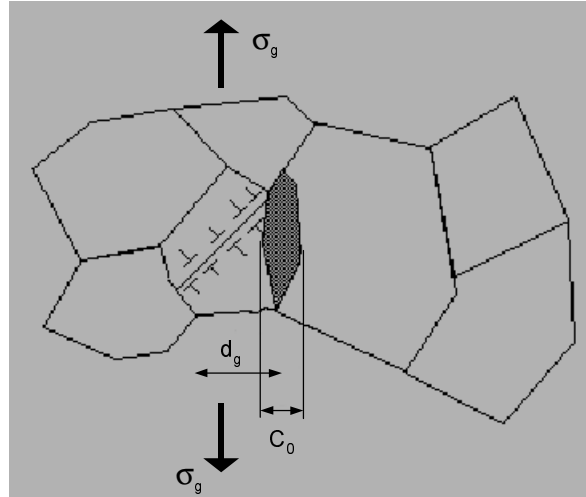
τ_g - repedés növekedéséhez szükséges feszültség

σ_B - szemcsehatáron való áthaladásához való szükséges feszültség

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 54

8.5., Almond - Smith mechanizmus (1)

- Repedés kialakulása karbid szemcsén létrejövő diszlokációs oszlopon



Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 55

8.5., Almond - Smith mechanizmus (2)

- 8.5.1., Energetikai feltétel (Smith)

$$\Pi = \frac{\mu n^2 a^2}{4\pi(1-\nu)} \ln\left(\frac{4R}{r}\right) + 2\gamma_s r - \frac{\sigma_g n a r}{2} + \frac{\pi(1-\nu)\sigma_g^2 C_0^2}{8} - \frac{\pi(1-\nu)\sigma_g^2 (r C_0^2)}{8\mu}$$

$$\sigma_c^* \geq \frac{\tau_{\text{eff}}^2 d_g^2}{C_0^2} + \left(\frac{8\mu\gamma_c}{\pi(1-\nu)C_0} \right)^{1/2} - \frac{\tau_{\text{eff}} R}{C_0}$$

$$\tau_{\text{eff}} = (\tau_y - \tau_i)$$

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 56

8.5., Almond - Smith mechanizmus (3)

C_0 - karbid szemcse mérete

R - az alakváltozási mező hatásos hossza

γ_C - ferritszemcse felületi energiája

d_g - ferritszemcse mérete

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 57

8.5., Almond - Smith mechanizmus (4)

- 8.5.2., Lokális feszültség feltétel (Smith)

$$\tau_{\text{eff}} = (\tau_y - \tau_i) \geq \left[\frac{4E\gamma_p}{\pi(1-\nu^2)d_g} \right]^{1/2}$$

$$\left(\frac{C_0}{d_g} \right) \sigma_c^* + \tau_{\text{eff}}^2 \left[\frac{4E\gamma_p}{\pi(1-\nu^2)d_g} \right] \geq \frac{4E\gamma_p}{\pi(1-\nu^2)d_g}$$

C_0 - karbid szemcse mérete

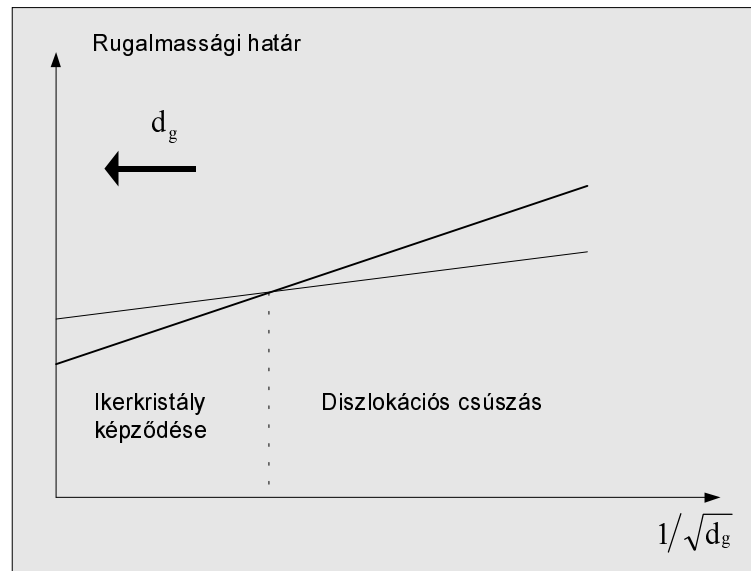
γ_C - ferritszemcse felületi energiája

d_g - ferritszemcse mérete

$$\sigma_c^* \geq + \left(\frac{4E\gamma_c}{\pi(1-\nu^2)d_g} \right)^{1/2}$$

Repedést tartalmazó anyag ridegtörése - 58

8.6., Repedés kialakulása és a képlékeny alakváltozás kialakulása ikerkristály képződésével

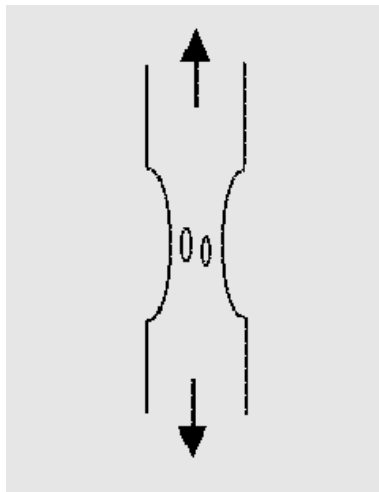


Ropedést tartalmazó anyag ridegtörése - 59

Szívós törés

Szívós törés - 1

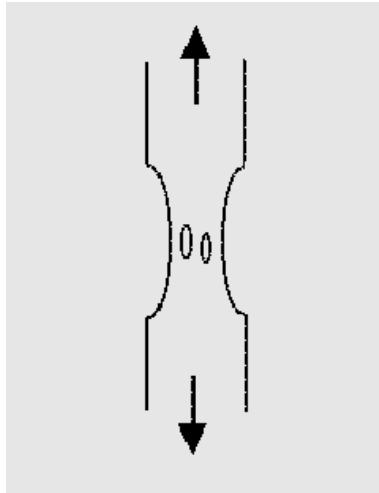
1., A szívós törés mechanizmusa (1)



Szívós törés - 2

1., A szívós törés mechanizmusa (2)

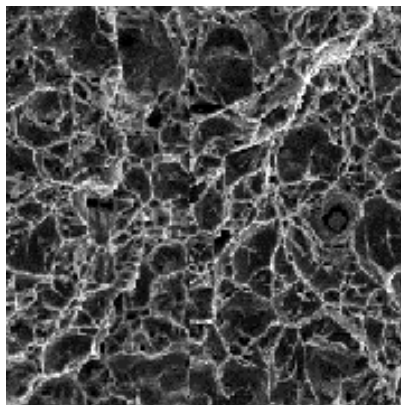
- A gödrök keletkezési mechanizmusa



Szívós törés - 3

1., A szívós törés mechanizmusa (3)

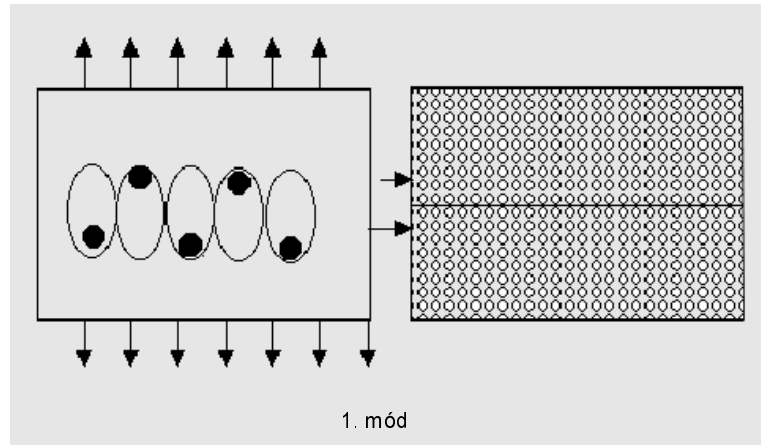
- Szívós töret felülete



Szívós törés - 4

1., A szívós törés mechanizmusa (4)

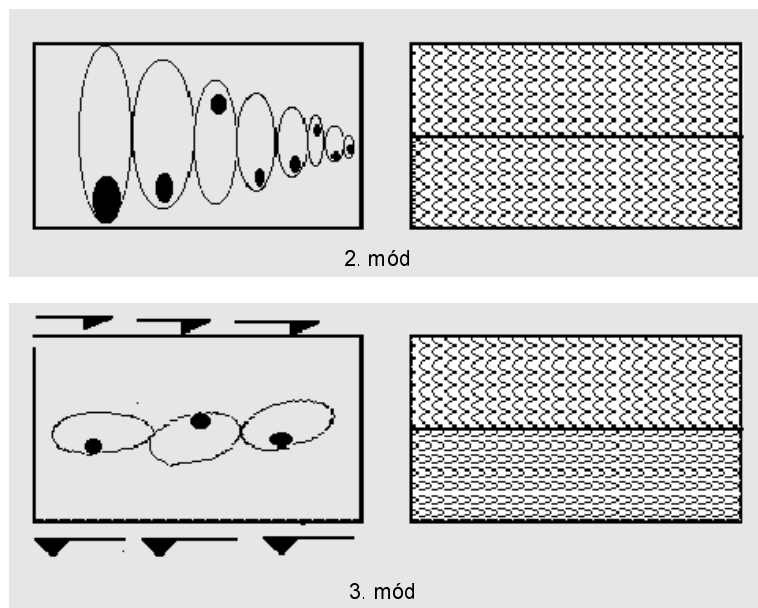
- Üregek kialakulása az 1. módban



Szívós törés - 5

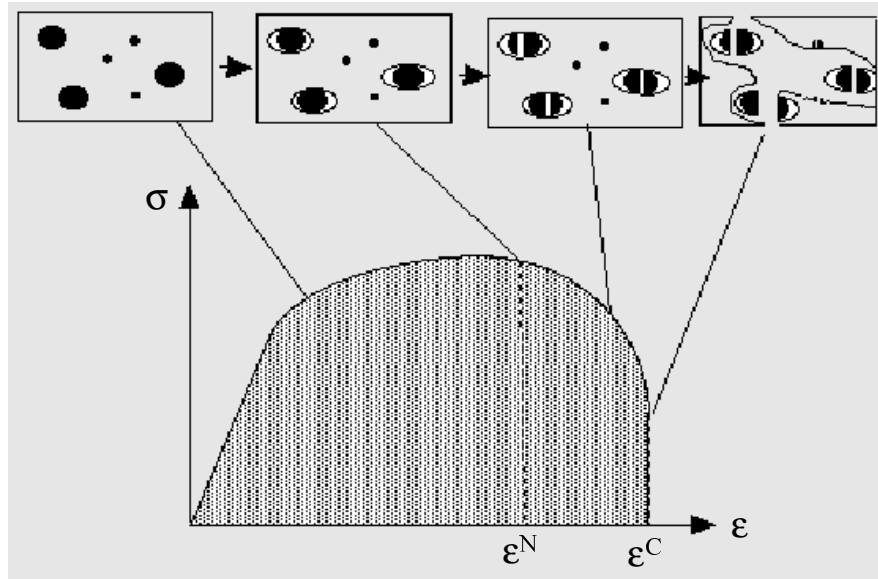
1., A szívós törés mechanizmusa (5)

- A gödrös töreth felület kialakulása a 2. és a 3. módban



Szívós törés - 6

2., Mikroszkópikus törési feltételek



Szívós törés - 7

2.1., Freudenthal modell

$$\int_0^{\epsilon_{eq}^c} \sigma_{eq} d\epsilon_{eq} = k_F$$

ϵ_{eq} - összehasonlító alakváltozás

σ_{eq} - összehasonlító feszültség

k_F - karakterisztikus állandó

Szívós törés - 8

2.2., Cockroft - Latham modell

$$\int_0^{\epsilon_{pl}^c} \sigma_{\max} d\epsilon_{pl} = k_{CL}$$

K_{CL} - Karakterisztikus állandó

Szívós törés - 9

2.3., Brozzo modell

$$\int_0^{\epsilon_{eq}^c} \frac{2\sigma_1}{3(\sigma_1 - \sigma_m)} d\epsilon_{eq} = K_B$$

σ_1 - maximális főfeszültség
 σ_m - hidrosztatikus feszültség
 K_B - karakterisztikus állandó

Szívós törés - 10

2.4., Makroszkópikus alakváltozási feltétel (Oudin modell)

$$\varepsilon_1^c = \frac{\varepsilon_g^c - \sqrt{\frac{3}{2} \frac{n+2}{n+1}}}{\left[\left(1 + \frac{\alpha}{2} \right) (1 + \alpha + \alpha^2)^{n/2} \right]^{1/(1+n)}}$$

n - keményedési kitevő

ε_g^c - kritikus globális alakváltozás

Szívós törés - 11

2.5., Oyane modell (1)

$$d\varepsilon_i - d\varepsilon_m = \frac{d\varepsilon_{eq}}{\gamma \sigma_{eq}} \frac{3}{2} (\sigma_i - \sigma_m)$$

$$d\varepsilon_m = \frac{1}{3} \frac{d\varepsilon_{eq}}{\gamma f^2} \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_{eq}} - k_0 \right)$$

$$f = \frac{1}{3} \left(1 + \sqrt{\frac{\gamma}{1-\gamma}} \right) \quad \gamma = \frac{\rho}{\rho_0}$$

$$\sigma_m = \frac{1}{3} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$$

$$\sigma_{eq} = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_1 + \sigma_2)^2 + (\sigma_2 + \sigma_3)^2 + (\sigma_3 + \sigma_1)^2}$$

Szívós törés - 12

2.5., Oyane modell (2)

$$\varepsilon_m = \frac{1}{3}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3)$$

$$d\varepsilon_{eq} = \frac{2}{3} \sqrt{(d\varepsilon_1 - d\varepsilon_2)^2 + (d\varepsilon_2 - d\varepsilon_3)^2 + (d\varepsilon_3 - d\varepsilon_1)^2}$$

$d\varepsilon_i, i = 1, 2, 3$; elemi főnyúlások

ε_m - közepes alakváltozás

σ_m - közép feszültség

ε_{eq} - összehasonlító alakváltozás

σ_i - összehasonlító feszültség

γ - relatív sűrűség

ρ - üregeket tartalmazó anyag sűrűsége

ρ_0 - az anyag kezdeti sűrűsége

k_0 - állandó

Szívós törés - 13

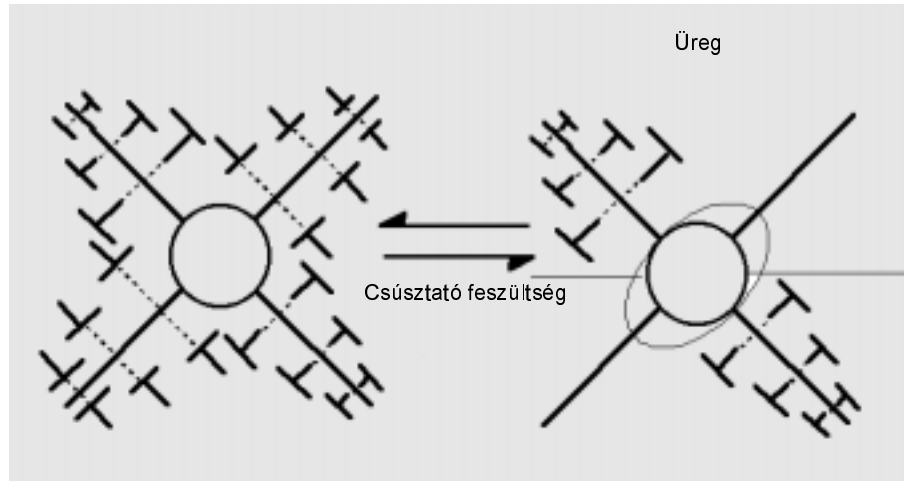
3., Üregképződési feltételek

- Lokális feszültség kritériumok
- Lokális alakváltozási kritériumok
- Energetikai kritériumok

Szívós törés - 14

3.1., Lokális feszültségi kritériumok

- 3.1.1 Brown és Stobbs feltétel (1)



Szívós törés - 15

3.1., Lokális feszültségi kritériumok

- 3.1.1.1 Brown és Stobbs feltétel (2)

ρ_d a diszlokációsűrűség idegen fázis körül

$$\rho_d = \frac{1,7\varepsilon_l}{b_u r_0}$$

b_u - Burgers vektor

r_0 - gömb alakúnak feltételezett kiválás sugara

ε_l - lokális alakváltozás

Lokális feszültség

$$\sigma_p = \alpha \mu b_u \sqrt{\rho_d} = 1,3 \alpha \mu \sqrt{\left(\frac{\varepsilon_l b_u}{r_0} \right)}$$

μ - Coulomb-féle súrlódási tényező

α - állandó $1,3 < \alpha < 1,7$

Szívós törés - 16

3.1., Lokális feszültségi kritériumok

- 3.1.1.1 Brown és Stobbs feltétel (3)

Képlékeny tényező

$$L = \frac{\sigma_l^{\max}}{\sigma_l} = 4,2$$

Maximális lokális feszültség

$$\sigma_l^{\max} = 5,4\alpha\mu\sqrt{\frac{(\epsilon_l b_u)}{r_0}}$$

Maximális feszültség a határfelületen

$$\sigma_l^{\max} = \sigma_l^{\max} = \overline{\sigma_g} = +S$$

$\overline{\sigma_g}$ - makroszkópikus átlagfeszültség
S - deviátor feszültség

Szívós törés - 17

3.1., Lokális feszültségi kritériumok

- 3.1.1.1 Brown és Stobbs feltétel (4)

σ_c^n - üregképződés kritikus határfeszültsége $\sigma_l^{\max} = \sigma_c^n$

$$S + \overline{\sigma_g} + \sigma_l^{\max} = \sigma_c^n$$

$$1000\text{MPa} < \sigma_c^n < 3000 \text{ MPa}$$

Szívós törés - 18

3.1., Lokális feszültségi kritériumok

- 3.1.2 Argon feltétel (1)
Mikroszkópikus feltétel nagy kiválások esetén
Von Mises összehasonlító feszültség

$$\sigma_{eq} = \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$$

Hidrosztatikus feszültség $\sigma_m = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$

$\sigma_m=0$ tiszta nyírás esetén $\sigma_c^n = \sigma_{eq} + \sigma_m$

$$0,67R_e + \sigma_m + K_a + E_p + E_i = \sigma_g^c u R_m$$

Szívós törés - 19

3.1., Lokális feszültségi kritériumok

- 3.1.2 Argon feltétel (2)
ekvivalens képlékeny modulusz: E_p

E_m - mátrix képlékeny modulusza

E_i - a kiválás képlékeny modulusza

A feltétel független a kiválás méretétől

$$E_p \Rightarrow \frac{1}{E_p} = \frac{1}{E_m} = \frac{1}{E_i}$$

Szívós törés - 20

3.1., Lokális feszültségi kritériumok

- 3.1.3 Brown és Goods feltétel

$$K_{GB,2} \sigma_{eq} + \sigma_m = \ln F(\sigma_g^c, R_m)$$

$K_{GB,2}$ - állandó

σ_{eq} - összehasonlító feszültség

σ_m - közepfeszültség

σ_g^c - kritikus globális feszültség

Szívós törés - 21

3.1., Lokális feszültségi kritériumok

- 3.1.4 Montheillet feltétel

$$K_m R_e + \sigma_m = \ln F(\sigma_g^c, R_m)$$

K_m = állandó

Szívós törés - 22

3.2., Lokális alakváltozási kritériumok

- 3.2.1 Brown és Goods (alakváltozási) feltétel

$$\varepsilon_1^c = \frac{\gamma_s}{b_u E_i}$$

γ_s - A mátrix - kiválás felületi energiája

b_u - Burgers vektor

E_i - A kiválás Young modulusza

$$\varepsilon_{HT}^F = K_{* \%} \left(\frac{1}{r} \frac{K_{* \%}}{E_L} \right)$$

$K_{GB,1}, K_{GB,2}$ - állandók

r_0 - a kiválás eredeti mérete

Szívós törés - 23

3.2., Lokális alakváltozási kritériumok

- 3.2.2 Argon (alakváltozási) feltétel

$$\varepsilon = K r (\sigma^* - \bar{\sigma})^2; \quad 0,2 < \varepsilon < 0,7$$

ε_g^n - üregképződéshez szükséges globális alakváltozás

K_A - állandó

r - távolság

Szívós törés - 24

3.2., Lokális alakváltozási kritériumok

- 3.2.3 Gurland és Plateau feltétel

$$\varepsilon_{eq}^c = \frac{1}{k_{\sigma}} \sqrt{\frac{1}{r_0} \frac{W_c^*}{E_i}}$$

W_c^* - rugalmas alakváltozás energiasűrűsége
 K_{σ} - állandó

Szívós törés - 25

3.3., Energetikai feltételek

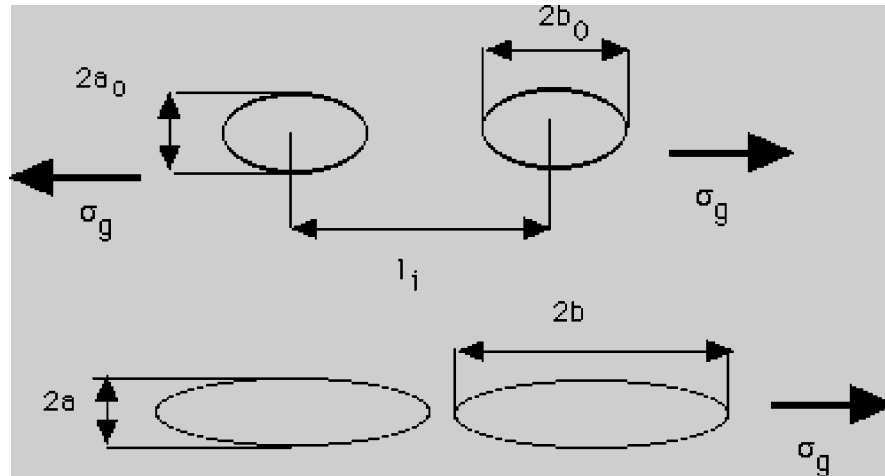
$$\sigma_c^N = A \sqrt{\frac{2E\gamma_s}{\pi a}}$$

E - Young modulusz ($170 < E < 510 \text{ GPa}$)
 γ_s - felületi energia ($0,01 < \gamma_s < 0,05 \text{ KJ/m}^2$)
 a - belső repedés hossza ($0,3 < a < 8 \mu\text{m}$)
 A - alaktényező ($A \sim 1$)

Szívós törés - 26

4., Üregnövekedési modellek

- 4.1 Ashby modell (1)



Szívós törés - 27

4., Üregnövekedési modellek

- 4.1 Ashby modell (2)

$$k_\varepsilon = \frac{d\varepsilon_1}{d\varepsilon} = 1 + k_1 \frac{b}{a_0}$$

$$b = a_0 \left[(1 + k_1) e^{\varepsilon_g} - k_1 \right]$$

A kontrakció akkor jelenik meg, amikor $\frac{a_0}{l_i} = k_2$

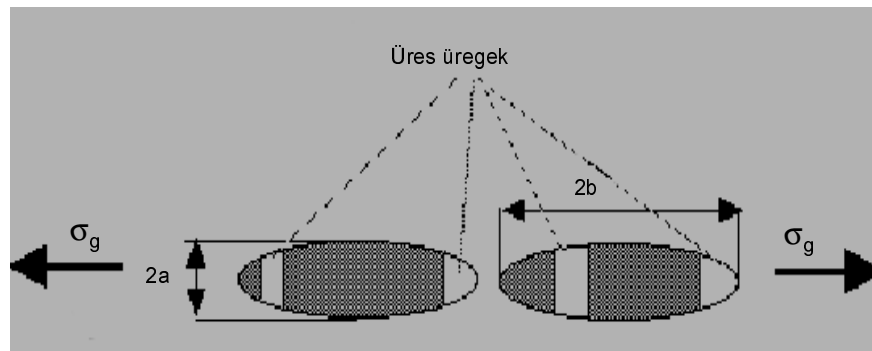
$$(1 + k_1) e^{3/2 \varepsilon_g} = \frac{4 k_2}{3 f_v}$$

f_v - üregek térfogataránya

Szívós törés - 28

4., Üregnövekedési modellek

- 4.2., Gladman modell (1)



Szívós törés - 29

4., Üregnövekedési modellek

- 4.2 Gladman modell (2)

$$b = b_0 (e^{\varepsilon_g} - 1)$$

$$k_3 = \frac{b - b_0}{l_i}$$

$$\frac{1}{f_w} = e \varepsilon_g^c + \frac{3}{2} \frac{F}{k_3} (e^{2\varepsilon_g^c} - e^{\varepsilon_g^c})$$

F üregek alaktényezője $F = a_0/b$

$$\frac{1}{f_v} = A (e^{2\varepsilon_g^c} - e^{\varepsilon_g^c}) \quad \text{ahol} \quad A = \frac{3F}{2k_3}$$

Szívós törés - 30

4., Üregnövekedési modellek

- 4.3 Mac-Kenzie modell

$$f_v = \left[2A' \exp\left(\frac{3}{2} \frac{\sigma_m}{\sigma_{eq}}\right) \right]^{-1}$$

A' - állandó

σ_m - hidrosztatikus feszültség

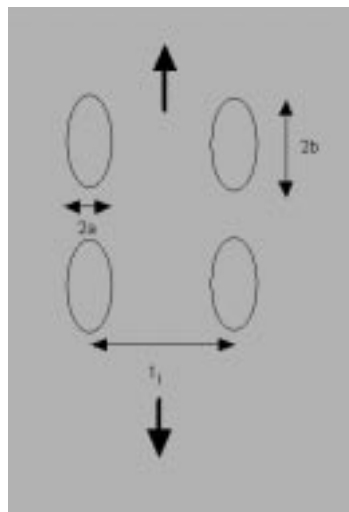
σ_{eq} - összehasonlító feszültség

f_v - üregek térfogataránya

Szívós törés - 31

4., Üregnövekedési modellek

- 4.4 Mac - Clintoch modell (1)



Szívós törés - 32

4., Üregnövekedési modellek

- 4.4 Mac - Clintoch modell (2)

$$\varepsilon_{eq}^c = \frac{(1-n) \ln \left(\frac{1_i}{2b_0} \right)}{\sinh \left[1 - n \frac{(\sigma_1 + \sigma_2)}{2\sigma_{eq}} \right]}$$

$$\sigma_{eq} = k^* \varepsilon_{eq}^n$$

σ_{eq} - összehasonlító feszültség

ε_{eq} - összehasonlító alakváltozás

n - keményedési kitevő

k - anyagállandó

σ_1, σ_2 - főfeszültségek

Szívós törés - 33

4., Üregnövekedési modellek

- 4.5 Rice és Tracey modell (1)

$$dr_v = A r_v^0 d\varepsilon_{eq,pl} \left(\frac{3\sigma_m}{2\sigma_{eq}} \right)$$

A - állandó

r_v^0 - hidrosztatikus feszültség

σ_{eq} - összehasonlító feszültség

σ_m - hidrosztatikus feszültség

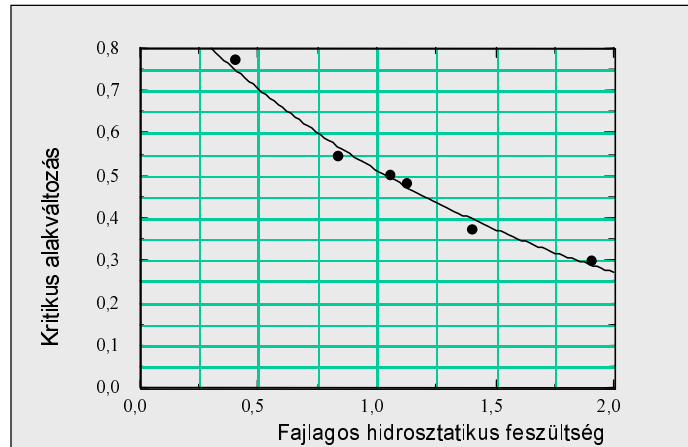
$$\varepsilon_{eq,pl} = B e \left(- \frac{3}{2} \frac{\sigma_m}{\sigma_{eq}} \right)$$

B - állandó

Szívós törés - 34

4., Üregnövekedési modellek

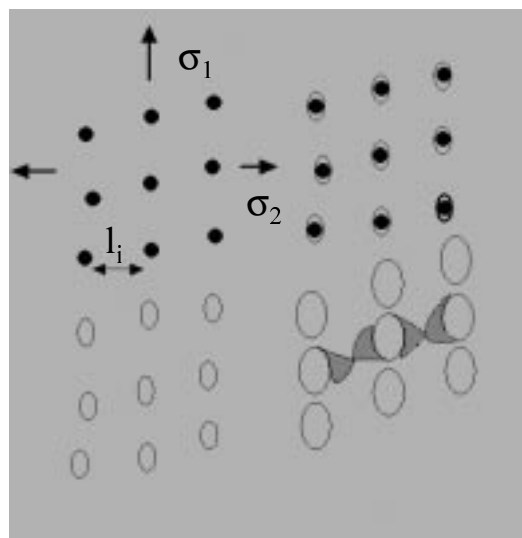
- 4.5 Rice és Tracey modell (2)



Szívós törés - 35

5., Üregek egyesülése és az instabilitás kialakulása

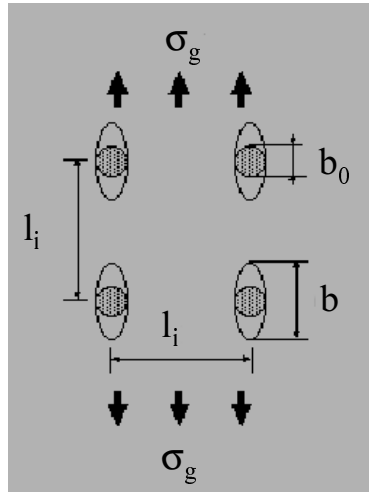
- 5.1 Thomason modell (1)



Szívós törés - 36

5., Üregek egyesülése és az instabilitás kialakulása

- 5.2 Thomason modell (2)



A kiinduló feltétel szerint a b_0 átmérőjű kiválások szabályosan, egy l_i élhosszúságú kocka csúcsain helyezkednek el.

Szívós törés - 37

5., Üregek egyesülése és az instabilitás kialakulása

- 5.1 Thomson modell (3)

$$\frac{a}{b} = e^{2\epsilon_z} \frac{\sqrt{f_v}}{1 - \sqrt{f_v}}$$

f - üregek térfogataránya

$$\frac{\sigma_n}{2k} (1 - \sqrt{f_v}) + \frac{P}{2k} < \frac{\sigma_{yy}}{2k} + 1$$

K - csúsztató folyási határ

$$\sigma_{zz} - \sigma_{xx} = 2k$$

$$P = 2k + \sigma_{xx} \quad \text{hidrosztatikus feszültség}$$

Szívós törés - 38

5., Üregek egyesülése és az instabilitás kialakulása

- 5.2 Cioclov modell (1)
Egytengelyű húzófeszültség hatására a kezdetben gömb alakú üregek a terhelés tengelyének irányában megnyúlt ellipszis alakot vesznek fel.
Mikrofraktográfiai elemzés alapján az üregek mérete exponenciális függvénye a kontrakció alakváltozásnak:

$$b = b_0 \exp \left[\alpha \tilde{\varepsilon} \right]$$

~

$\tilde{\varepsilon}$ A kontrakció helyén mérhető valódi nyúlás

Szívós törés - 39

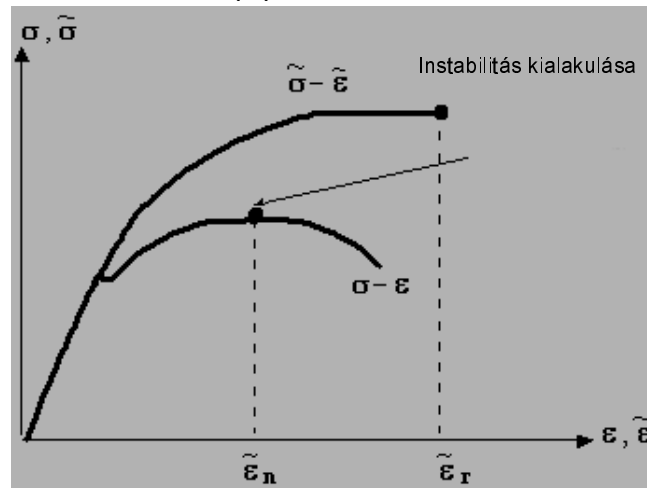
5., Üregek egyesülése és az instabilitás kialakulása

- 5.2 Cioclov modell (2)
Töréskor az $\tilde{\varepsilon}$ alakváltozás kritikus értéke $\tilde{\varepsilon}_r$.
Amikor az $\tilde{\varepsilon}$ lokális alakváltozás $\tilde{\varepsilon}_r$ -el lesz egyenlő a mátrixzárvány határfelületen, az anyag felszakadása a zárványok közötti hídon terjed tovább.
A kontrakció $\tilde{\varepsilon}_n$ -nél jelenik meg, míg a felszakadás $\tilde{\varepsilon}_r$ -nél, miképpen azt az anyag valós szakítódiagramjáról is leolvashatjuk.

Szívós törés - 40

5., Üregek egyesülése és az instabilitás kialakulása

- 5.2 Cioclov modell (3)



Szívós törés - 41

5., Üregek egyesülése és az instabilitás kialakulása

- 5.2 Cioclov modell (4)

A zárvány jelenlétében az alakváltozás mértéke a zárványtól távolodva csökken. A zárványtól X távolságra az alakváltozás a következő összefüggéssel jellemezhető.

$$\tilde{\epsilon} = \frac{\epsilon_{\max}}{1 + Ax}$$

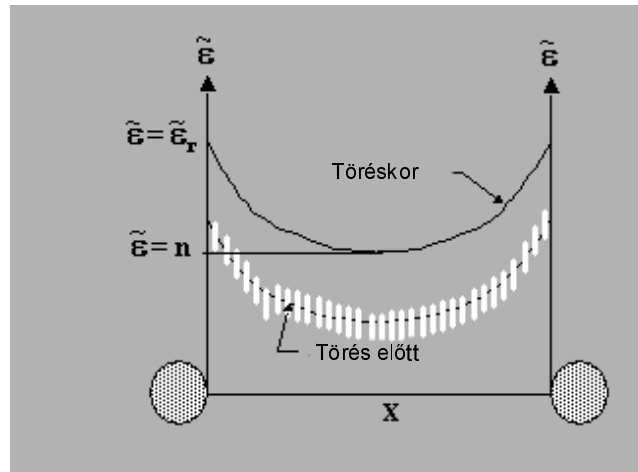
ahol A anyagra jellemző állandó. A törési feltétel tehát:

$$\tilde{\epsilon} = \frac{\epsilon_r}{1 + Ax}$$

Szívós törés - 42

5., Üregek egyesülése és az instabilitás kialakulása

- 5.2 Cioclov modell (5)



Szívós törés - 43

5., Üregek egyesülése és az instabilitás kialakulása

- 5.2 Cioclov modell (6)

A törésig elviselt ε_r képlékeny alakváltozást Bridgman szerint a kontrakció megjelenésével jellemezhetjük, a következő egyenlettel

$$\varepsilon_r = 2 \ln \left(\frac{\Phi_0}{\Phi_r} \right)$$

Φ_0 és Φ_r - a szakítópróbatest kiinduló és végső átmérője a próbatest hasznos keresztmetszetében.

Szívós törés - 44

5., Üregek egyesülése és az instabilitás kialakulása

- 5.2 Cioclov modell (7)

A törés meghatározásához a következő feltételeket tehetjük:

- az egyes zárványok átlagos távolsága $x=L_i/2$
- a törésig elviselt kélékeny alakváltozás értéke a kontrakciós szakasz kezdetét jellemző határértékhez tart, vagyis βn , ahol β a fajlagos hidrosztatikus feszültség értékét figyelembe vevő korrekciós tényező és n az anyag keményedési kitevője
- az anyag a Nádai-féle keményedési törvénynek megfelelően viselkedik

$$\tilde{\sigma} = K \tilde{\varepsilon}^n$$

Szívós törés - 45

5., Üregek egyesülése és az instabilitás kialakulása

- 5.2 Ciocov modell (8)

$$\beta n = \frac{\tilde{\varepsilon}_r}{1 + A \frac{l_i}{2}}$$

$$A = \frac{2}{l_i} \left(\frac{\tilde{\varepsilon}_r}{\beta n} - 1 \right)$$

A törésig elviselt alakváltozás a fenti feltételek meglétekor:

$$\tilde{\varepsilon} = \frac{\tilde{\varepsilon}_r}{1 + \frac{2}{l_i} \left(\frac{\tilde{\varepsilon}_r}{\beta n} - 1 \right) x}$$

Szívós törés - 46

5., Üregek egyesülése és az instabilitás kialakulása

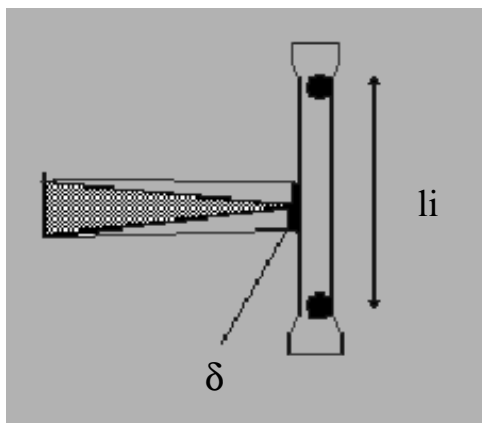
- 5.2 Cioclov modell (9)
A zárványok közötti anyaghídban ébredő közepes alakváltozást integrálással határozzuk meg

$$\tilde{\epsilon}_{köz} = \frac{2}{l_i} \int_0^{\frac{l_0}{2}} \tilde{\epsilon} dx = \frac{\tilde{\beta n} \tilde{\epsilon}_r}{\tilde{\epsilon}_r \tilde{\beta n}} \ln \left[\frac{\tilde{\epsilon}_r}{\tilde{\beta n}} \right]$$

Szívós törés - 47

6., A törési szívósság meghatározása szívós anyagokra

- 6.1 Chipperfield - Knott modell



$$\delta_c = l_i \epsilon_f (DP) = \frac{l_i \epsilon_f}{3}$$

$$K_{IC} = \sqrt{\frac{2}{3} R_e E l_i}$$

Szívós törés - 48

6., A törési szívósság meghatározása szívós anyagokra

- 6.2 Hahn Rosenfield modell (1)
A repedésszétnyílás és a törési szívósság közti kapcsolat:

$$\delta = 0,5 \frac{K_I^2}{E R_e}$$

Határfeltétel

$$\delta = \delta_c = l_i; \quad K_I = K_{IC}$$

$$K_{IC} = \sqrt{2 R_e E l_i}$$

l_i - két zárvány távolsága

Szívós törés - 49

6., A törési szívósság meghatározása szívós anyagokra

- 6.2 Hahn Rosenfield modell (2)
- egy zárvány térfogata (v):

$$v = \frac{\pi}{6} d_p^3; \quad V = l_i^3$$

- térfogatarány (f_v):

$$f_v = \frac{\pi d_p^3}{6 V}$$

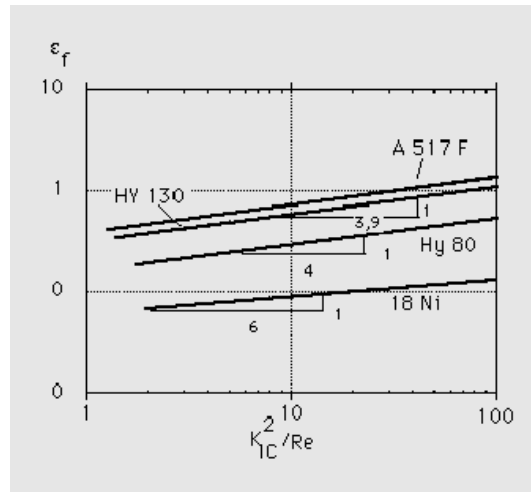
$$K_{IC} = f_v^{-1/6} \sqrt{2 \left(\frac{\pi}{6} \right)^{1/3} R_e E d_p}$$

- zárványok átmérője (d_p):

Szívós törés - 50

6., A törési szívósság meghatározása szívós anyagokra

- 6.2 Hahn - Rosenfield modell (3)



Szívós törés - 51

6., A törési szívósság meghatározása szívós anyagokra

- 6.3 Broek modell

- feltételezés:

$$\epsilon_l^c = \frac{c}{R_e \Phi(f_v)}; \quad c = \text{állandó}$$

$$\epsilon_{yy} = \frac{K_I}{E \sqrt{2\pi r(1+\nu)}}$$

$$\epsilon_{yy} = \epsilon_l^c; \quad r = l_i$$

$$K_{IC} = \frac{cE}{R_e \Phi(f_v)} \sqrt{l_i}$$

Szívós törés - 52

6., A törési szívósság meghatározása szívós anyagokra

- 6.4 Schwalbe modell
 - a keményedés hatása

$$\varepsilon_{yy} = \varepsilon_y \left(\frac{R_p}{x} \right)^{1/(1+n)}$$

R_p - a képlékeny tartomány mérete
 n - keményedési kitevő

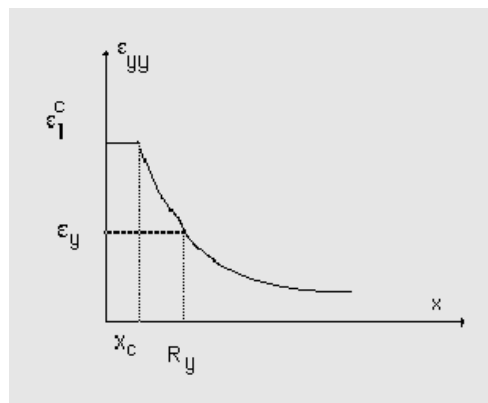
$$K_{IC} = \frac{R_e}{(1-2\nu)} \sqrt{\ln \pi (1+n) \left(\frac{\varepsilon_l^c E}{R_e} \right)^{1+n}}$$

l_i - két zárvány közti távolság

Szívós törés - 53

6., A törési szívósság meghatározása szívós anyagokra

- 6.5 Osborne Embury modell (1)
 - a kritikus globális alakváltozás hatása



Szívós törés - 54

6., A törési szívósság meghatározása szívós anyagokra

- 6.5 Osborne Embury modell (1)
 - a kritikus globális alakváltozás hatása
 A repedéscsúcsban az alakváltozások eloszlása $1/x$ szerinti

$$\varepsilon_1^c = \frac{2}{3} \varepsilon_F$$

Az alakváltozás állandó és az x_c hosszon ε_1^c -al egyenlő
 A kritikus lokális alakváltozásról feltételezzük, hogy az egytengelyű szakítóvizsgálatkor mért törésig elviselt alakváltozás $2/3$ -a.

$$\varepsilon_1^c = \frac{2}{3} \varepsilon_F$$

Szívós törés - 55

6., A törési szívósság meghatározása szívós anyagokra

- 6.5 Osborne Embury modell (1)
 - a kritikus globális alakváltozás hatása

A G_{IC} törési szívósság definíciója

$$G_{IC} = R_m \int_0^\infty \bar{X}_c \varepsilon_{yy}(x) dx$$

$$G_{IC} = R_m \varepsilon_1^c \ln \left[\frac{2}{3} \frac{\varepsilon_1^c}{\varepsilon_y} \right]$$

Szívós törés - 56