

# **ANYAGOK KÁROSODÁSA ÉS VIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ ÜZEMI KÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT**

**A REPEDÉSMEGÁLLÁS ÉS VIZSGÁLATA**

**LENKEYNÉ BIRÓ GYÖNYVÉR**  
Miskolci Egyetem, Bay Zoltán Intézet

**THOMAS VARGA**  
Bécsi Műszaki Egyetem

**Készült: a TEMPUS S\_JEP\_11271 projekt támogatásával**

Miskolc - Bécs  
- 1999 -

# **ANYAGOK KÁROSODÁSA ÉS VIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ ÜZEMI KÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT**

**A REPEDÉSMEGÁLLÁS ÉS VIZSGÁLATA**

**LENKEYNÉ BIRÓ GYÖNYVÉR**  
Miskolci Egyetem, Bay Zoltán Intézet

**THOMAS VARGA**  
Bécsi Műszaki Egyetem

**Készült: a TEMPUS S\_JEP\_11271 projekt támogatásával**

Miskolc - Bécs  
- 1999 -

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. Augusztus 5.



## 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 megező 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 előzőekben 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 feltételi.

A szerkezetintegritás tehát egy igen komplex terület. Akik ezt művelik azoknak képesnek kell lenniük arra, hogy az üzemeltethezőséggel 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 alapelve 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:

- Dr. J. Blauel, Fraunhofer Institut für Werkstoffmechanik
- S. Crutzen, Joint Research Centre, Petten
- Prof. G. Pluvinage, Universitz of Metz
- Prof. S. Reale, Università Degli Studi di Firenze
- Prof. H. P. Rossmann, Bécsi Műszaki Egyetem, ill. e füzet társszerzője
- Prof. T. Varga, Bécsi Műszaki Egyetem.

**Miskolc, 1998. június 15.**

**Tóth László**

egyetemi tanár  
a projekt koordinátora

Jelen füzet egyike annak a sorozatnak, amelyik az anyagok károsodási mechanizmusaival, azok leírásával és vizsgálatával foglalkozik.

Ahhoz, hogy üzemelő szerkezeteink, berendezéseink biztonságát értékelni és garantálni tudjuk, tisztában kell lennünk a szerkezet üzemelése közben fellépő lehetséges igénybevételekkel, amelyek nemcsak a szokásos üzemeltetési körülményeket jelentik, hanem adott esetben különleges, rendkívüli esetben jelentkező igénybevételeket jelenthetnek (pl. meghibásodás, törés, üzemi körülmények hirtelen változása). Ilyen rendkívüli esetekben fordulhat elő, hogy egy szerkezeti elem (pl. hegesztési varratban vagy annak hőhatásövezetében) ridegtörés indulhat. A lehetséges, katasztrofális következményekkel járó törés ilyenkor csak akkor kerülhető el, ha a szerkezet anyaga képes megállítani a gyors repedésterjedést.

Ennek a jelenségnek a megértéséhez kívánunk jelen füzetünkkel hozzájárulni, amelyben a repedésmegállás jelenségével és annak vizsgálatával foglalkozunk. Bemutatásra kerülnek azok az anyagi paraméterek, amelyekkel jellemezhető az anyagok repedésmegállító képessége. A vizsgálati és kiértékelési módszerek bemutatása mellett próbálunk képet adni az anyagjellemző mérőszámok lehetséges nagyságrendjéről néhány gyakran alkalmazott acéltípus esetén.

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

*Miskolc, 1999. június 10.*

*Lenkeyné Biró Gyöngyvér<sup>1</sup>*

*Thomas Varga<sup>2</sup>*

---

<sup>1</sup> Honlap: <http://www.bzlogi.hu/> vagy <http://www.uni-miskolc.hu/>

<sup>2</sup> Honlap: <http://www.tuwien.ac.at/tvfa/>





## TARTALOMJEGYZÉK

<b>1. Bevezetés.....</b>	<b>6</b>
<b>2. A repedésmegállás jelensége .....</b>	<b>7</b>
<b>3. Repedésmegállás vizsgálatai .....</b>	<b>8</b>
3.1. Repedés-megállási törési szívósság, $K_{Ia}$ meghatározása.....	8
3.2. Pellini eljárás.....	14
3.3. Robertson eljárás.....	16
<b>4. A törési biztonság ellenőrzése az NDT- és CAT-hőmérsékletek alapján.....</b>	<b>17</b>
<b>5. Irodalomjegyzék .....</b>	<b>19</b>

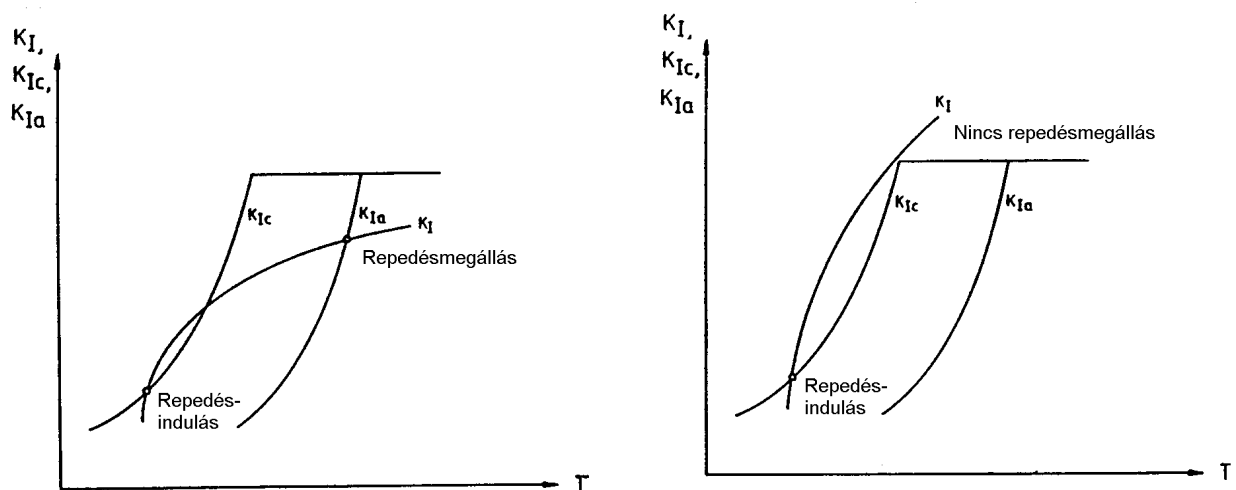
## 1. Bevezetés

Olyan szerkezetekben, amelyekben akár szívóssági tulajdonságbeli eltérés vagy feszültséggradiens van jelen, repedés keletkezhet a kisebb szívósságú és/vagy nagy feszültséggel terhelt helyen. Ez a repedés - ha instabilan terjed - megállhat egy másik helyen, ahol nagyobb szívósságú az anyag illetve kisebb a feszültség. Az anyag repedésmegállító képességét jellemezhetjük a feszültségintenzitási tényező azon értékével, amelynél a gyorsan futó repedés megáll. Ennek a feszültségintenzitási tényezőnek a pontos meghatározása csak dinamikus analízissel lehetséges. Ezt az anyagjellemzőt repedés-megállási törési szívósságnak nevezzük ( $K_A$ ). A gyakorlatban általában statikus módszerekkel határozzák meg a  $K$  értékét 1-2 ms-mal a repedés-megállást követően, s ezt az értéket  $K_a$ -val jelölik. Nem jelentős dinamikus hatások esetén  $K_a$  csak kismértékben különbözik  $K_A$  értékétől. Ha a repedés sík-alakváltozási feltételek mellett terjed, a repedés-megállási szívósságot  $K_{Ia}$ -val jelöljük.

## 2. A repedésmegállás jelensége

Az egyik legfontosabb gyakorlati példa a repedésmegállás jelenségére az atomerőművekben vészhelyzet esetén előforduló hősokk következtében keletkező repedések viselkedése. Ilyenkor a hűtővíz által hűtött felületen ridegtörés indulhat meg, aminek egyik oka a  $K_{Ic}$  hőmérséklet függése (1. ábra), a másik pedig a tartály falában kialakuló hőmérséklet-gradiensből adódó járulékos feszültségek [1]. Ha a repedésindulás feltételei teljesülnek ( $K_I \geq K_{Ic}(T)$ ), akkor ridegtörés indul, ami megállhat egy olyan nagyobb hőmérsékletű zónában, ahol nagyobb az anyag  $K_{Ia}$  értéke illetve teljesül a repedésmegállás feltétele:

$$K_{I\text{ szerkezet}} \leq K_{Ia} \quad (1)$$



1. ábra

Ridegen terjedő repedés megállásának feltétele

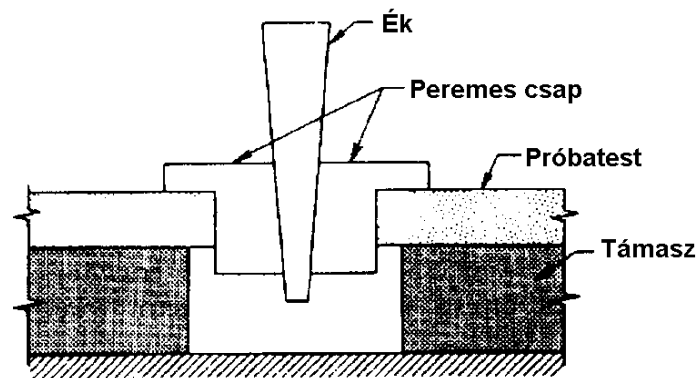
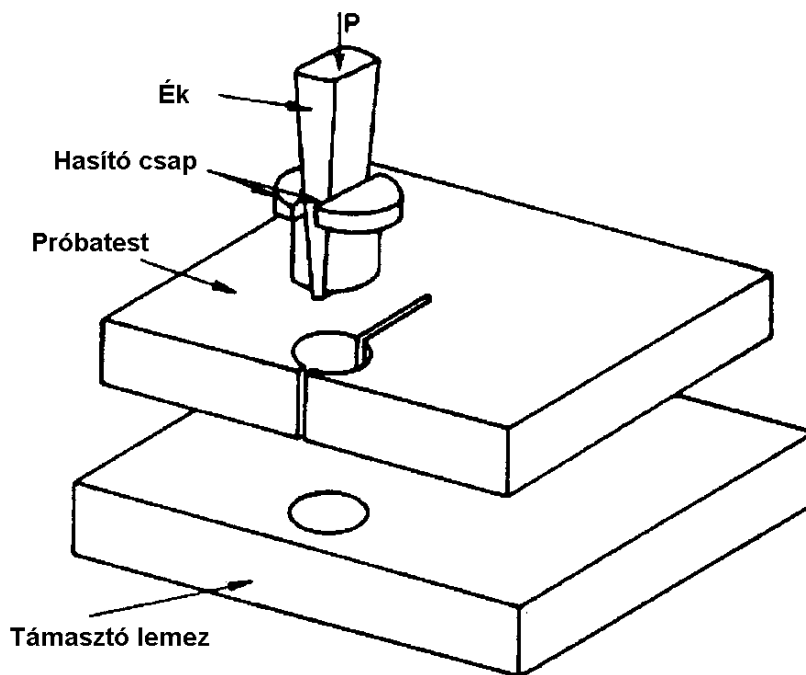
További gyakorlati példák említhetők minden olyan szerkezet esetén, amelyekben hegesztési varratok találhatók (pl. csővezetékek, nyomástartó edények, acélszerkezetek, hajók, erőműi berendezések). A hegesztési varratban vagy annak hőhatásövezetében mindig található olyan tartományok, amelyek ridegebb viselkedésűek (nagyobb szilárdságú varrat vagy szemcsedurvult tartomány a hőhatásövezetben), és ott alacsonyabb hőmérsékleten könnyebben megindulhat a ridegtörés, esetleg valamilyen már meglévő repedésszerű hegesztési hibából vagy az üzemelés közben keletkezett kisebb repedésből. Fontos kérdés ilyenkor, hogy az alapanyag elég szívós-e az instabil repedésterjedés megállításához. Ennek megítélése csak az anyag repedésmegállító képességét jellemző mérőszám ismeretében történhet.

A repedésmegállás jelenségének tanulmányozására többféle vizsgálati módszer létezik. Az egyik esetben a cél a  $K_{Ia}$  értéknek, mint anyagjellemző mérőszámnak a meghatározása. Ilyen vizsgálati és kiértékelési módszert tartalmaz a vonatkozó ASTM szabvány [2]. A vizsgálatok egy másik csoportjánál a cél egy olyan határhőmérséklet meghatározása, amelyen az anyag az instabilan terjedő repedést még képes megállítani. Ilyen vizsgálati módszerek a Pellini eljárás [3] és a Robertson eljárás [3].

### 3. Repedésmegállás vizsgálatai

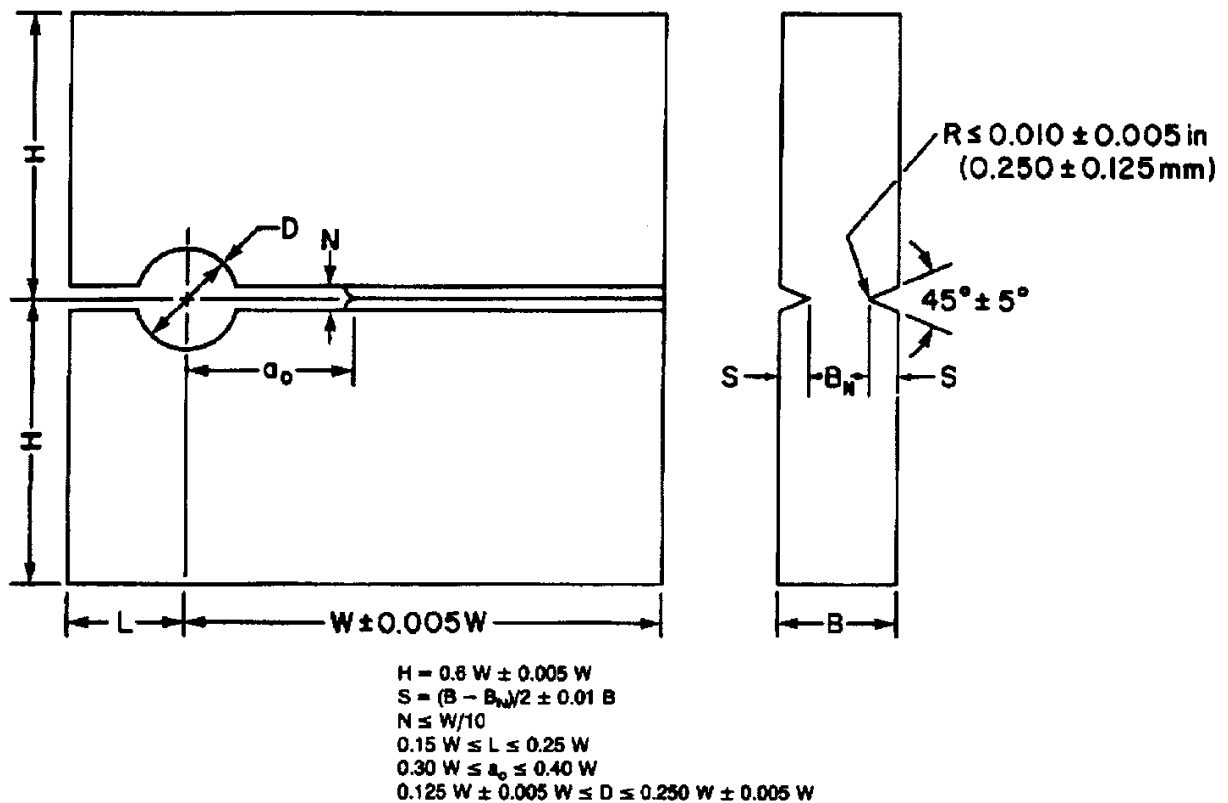
#### 3.1. Repedés-megállási törési szívósság, $K_{Ia}$ meghatározása

A  $K_{Ia}$  meghatározása az ASTM E 1221-88 szabvány szerint történhet. A  $K_{Ia}$  meghatározásához módosított CT próbatestet alkalmaznak (Compact-Crack-Arrest – CCA próbatest), amelynek terhelését egy éknek a próbatest furatába történő nyomásával végzik. A próbatest és a vizsgálati elrendezést a 2. ábra mutatja. A próbatest alakja és jellemző méretei a 3. ábrán láthatók.



2. ábra

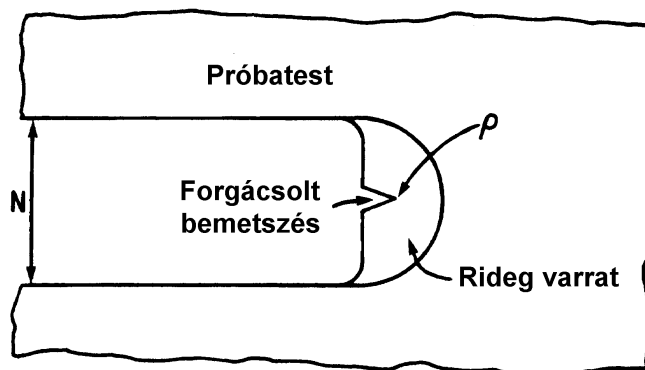
A próbatest és a vizsgálati elrendezés sematikus vázlatja



3. ábra

A  $K_{Ia}$  vizsgálatnál alkalmazott próbatest és jellemző méretei

Annak érdekében, hogy az instabil repedésindulás feltételei biztosítva legyenek, egy speciális repedés-indító bemetszést kell kialakítani. Gyengén illetve közepesen ötvözött acéloknál általában bemetszett, rideg hegesztési varratot alkalmaznak repedés-indítóként (2. ábra). A varratot egy lekerekített, forgácsolással kialakított bemetszés tövében kell létrehozni, amihez Murex-Hardex-N vagy Foxdur-500 típusú elektródák alkalmazása ajánlott.



4. ábra

A repedés-indító, bemetszéssel ellátott rideg varrat

A CCA próbatestet ezt követően egy a furatába lassan benyomott ékkel terheljük (2. ábra). A terhelés ciklikusan történik, egyre növekvő maximális terheléssel mindaddig, amíg ridegtörés nem történik. A vizsgálat közben a benyomó erőn kívül méri a próbatesten a repedés-kinyílás értékét ( $\delta$  vagy CMOD – Crack-Mouth Opening Displacement). A vizsgálóberendezést útvezérléssel kell működtetni, nagyon lassú, 2÷12 mm/min terhelési sebességgel.

Az első ciklusban elérendő maximális  $\delta$  értéke a következőképpen határozható meg:

$$[(\delta_0)_1]_{\max} = \frac{0.69 \cdot \sigma_{Ys} \cdot W \sqrt{B_N / B}}{E \cdot f(a_0 / W)} \quad (2)$$

ahol  $\sigma_{Ys}$  - statikus folyáshatár, MPa  
 $E$  - rugalmassági modulus, MPa  
 $W, B, B_N$  - próbatest méretei, m  
 $a_0$  - bemetszés kiinduló mérete, m,  
 $f(a/W)$  - geometriai faktor:

$$f(x) = \frac{2.24(1.72 - 0.9x + x^2)\sqrt{1-x}}{(9.85 - 0.17x + 11x^2)} \quad (3)$$

és  $x=a/w$ .

Általában ilyen  $\delta$  értéknél nem következik be ridegtörés rögtön az első ciklusban. Ha mégis, akkor a következő próbatestnél csökkenteni kell a  $\delta_0$  értékét, egyébként a vizsgálat kiértékelhető. Ezt követően egy megnövelt  $\delta$  értékig kell a következő terhelési ciklust végezni, amely az  $n$ -ik terhelési ciklusban a következőképpen számítható:

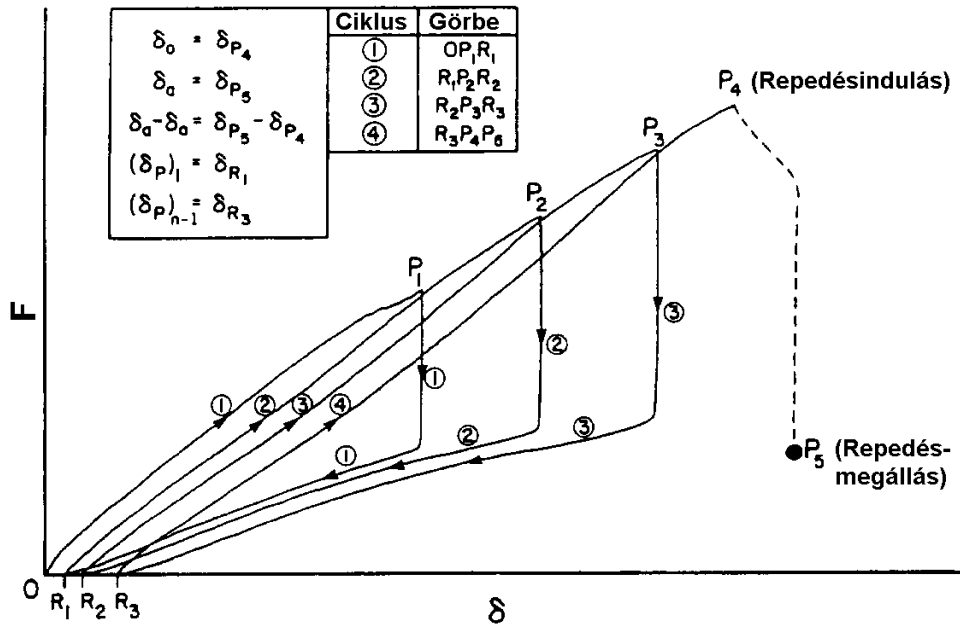
$$[(\delta_0)_n]_{\max} = [1.0 + 0.25(n - 1)] \cdot [(\delta_0)_1]_{\max} \quad (4)$$

A megfelelő mértékű instabil repedésterjedés bekövetkezését általában a terhelőerő 50-60 %-os csökkenése jelzi. A ridegtörés bekövetkezése után a terhelő éket rögtön el kell távolítani, nehogy további repedésterjedés történhessen. Ha a vizsgálat közben a mért terhelőerő folyamatos csökkenése tapasztalható az ék benyomása közben, az stabil repedésterjedésre utal. Ilyenkor az adott hőmérsékleten nem valószínű, hogy ridegtörés történhet. Ekkor a vizsgálati hőmérséklet csökkentésével lehet a rideg repedésindulás feltételeit megteremteni.

A repedésmegállás vizsgálat egy tipikus regisztrált erő-szétnyílás diagramját mutatja be az 5. ábra.

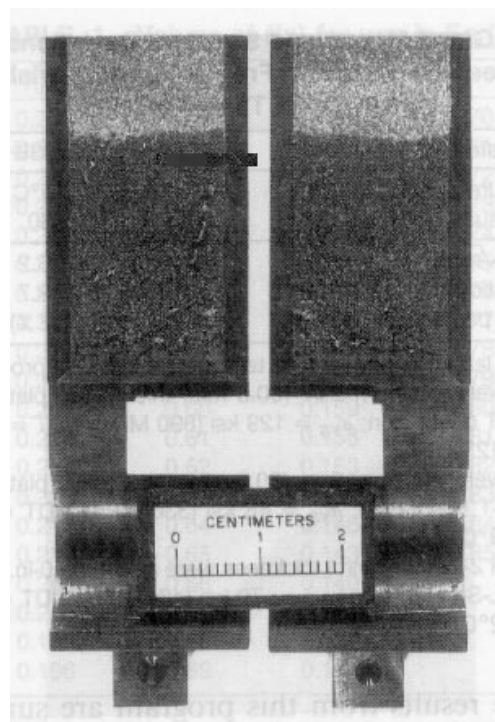
Ezt követően, a próbatest teljes széttröése előtt, meg kell jelölni a repedésfrontot (pl. hőfestéssel), hogy a repedésmegállásig bekövetkezett repedésterjedés mértékét meg lehessen mérni. A próbatest teljes széttröését célszerű alacsony hőmérsékleten (száraz jég vagy folyékony nitrogén hőmérsékletén) végezni, így elkerülhető minden további képlékeny alakváltozás, ami a repedés-hossz-mérés pontatlanságát eredményezhetné.

A töretfelület vizsgálata alapján el kell dönteni, hogy látható-e bármilyen rendellenesség, ami miatt a vizsgálat érvénytelen lehet. Ilyen rendellenesség pl. a túl nagy méretű el nem tört keresztmetszet vagy az „alagútszerű” (tunnelling) repedésterjedés, amikor a ridegtörés csak a próbatest közepő részére terjed ki. Egy ideálisnak tekinthető töretfelületre mutat példát a 6. ábra.



5. ábra

K<sub>Ia</sub> vizsgálat közben regisztrált erő - repedés-szétnyílás diagram



6. ábra

CCA próbatest ideálisnak tekinthető töretfelülete

A  $K_{Ia}$  értéke ezek után a mért repedésterjedés és szétnyílás alapján számítható:

$$K_{Ia} = \frac{E \cdot d_a \cdot f(a_a / W) \sqrt{B / B_N}}{\sqrt{W}} \quad (5)$$

- ahol  $E$  - rugalmassági modulus, MPa  
 $f(a_a/W)$  - geometriai faktor (ld. (3) egyenlet)  
 $a_a$  - átlagos repedéshossz a repedésmegállásnál, m  
 $B, B_N, W$  - próbatest méretei, m  
 $d_a$  - repedésmegálláshoz tartozó, korrigált repedéskinyílás, m:

$$d_a = \delta_0 - (\delta_p)_1 - 0.5[(\delta_p)_{n-1} - (\delta_p)_1] + 0.5[\delta_a - \delta_0] \quad (6)$$

- ahol  $(\delta_p)_1$  - maradó szétnyílás érték az első ciklus végén ( $R_1$  pont az 5. ábrán), m  
 $(\delta_p)_{n-1}$  - teljes maradó szétnyílás érték az (n-1)-ik ciklus végén ( $R_3$  pont az 5. ábrán), m  
 $\delta_a$  - szétnyílás érték kb. 0.1 s-mal a repedésmegállás után ( $P_5$  pont az 5. ábrán), m  
 $\delta_0$  - szétnyílás érték az instabil repedésterjedés kezdetekor ( $P_4$  pont az 5. ábrán), m

Az így módon számított repedés-megállási szívósság érték akkor tekinthető érvényes  $K_{Ia}$ -nak, ha az 1. táblázatban összefoglalt feltételek teljesülnek. A  $\sigma_{Yd}$  dinamikus folyáshatár érték általában nem ismert, ezért közelítő értéként ferrites acélokra a  $\sigma_{Yd} = \sigma_{Ys} + 205$  MPa alkalmazható. Az első három kritérium a síkalakváltozási állapot feltételének teljesülését jelenti. Az utolsó kritérium pedig azt fejezi ki, hogy a rideg repedésterjedés mértékének meg kell haladnia a repedésinduláshoz tartozó  $K_0$ -nak megfelelő képlékeny zóna sugarát.

1. táblázat

A  $K_{Ia}$  vizsgálat érvényességi feltételei

Jellemző paraméter	Érvényességi kritérium
El nem tört keresztmetszet	$W - a_a \geq 0.15W$
El nem tört keresztmetszet	$W - a_a \geq 1.25(K_a / \sigma_{Yd})^2$
Vastagság	$B \geq 1.0(K_a / \sigma_{Yd})^2$
Rideg repedésterjedés mértéke	$a_a - a_0 \geq 2N$
Rideg repedésterjedés mértéke	$a_a - a_0 \geq (K_0 / \sigma_{Ys})^2 / 2\pi$

A 2. táblázatban néhány acél  $K_{Ia}$  értékeit foglaltuk össze [1, 2, 4-6, 10].

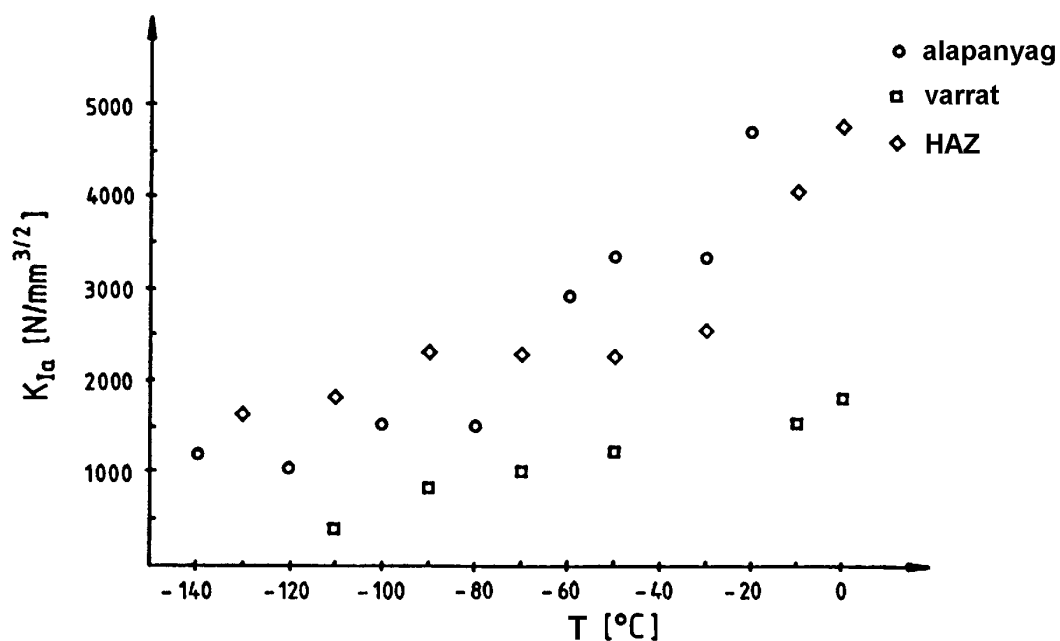


## 2. táblázat

Különböző szerkezeti acélok  $K_{Ia}$  értékei

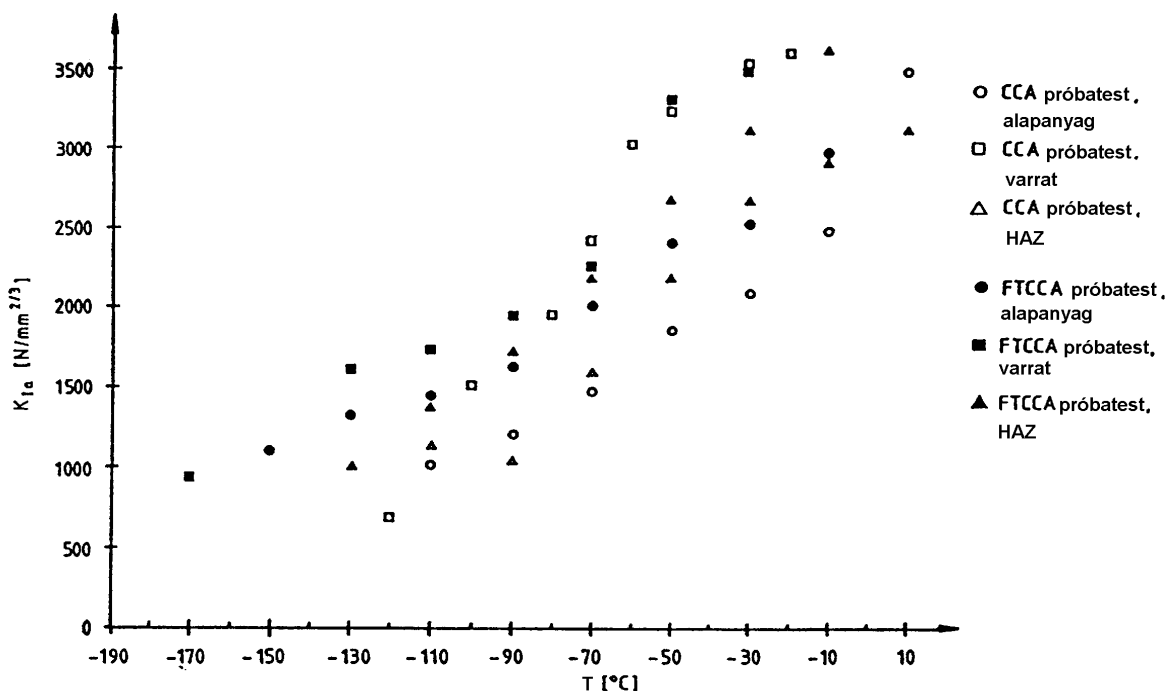
Anyagminőség jele	$R_{eH}$ , MPa	Vizsgálati hőmérséklet, °C	$K_{Ia}$ , MPa $\sqrt{m}$	Szórás, %
A514	890	-30	88	12
A 588	330	-30	62	10
A 533B	480	10 és 25	65-90	12-13
StE 480.7 TM (X70)	480	0	85	16
		-70	75	-
Aldur 58 D	400	-70	47-63	-
15 H2MFA	580	-178	62-68	-

Aldur 58 D típusú, nyomástartó edényeknél alkalmazott szerkezeti acél különböző hőmérsékleteken mért  $K_{Ia}$  értékeit mutatja a 7. ábra alapanyagra, hegesztési varratra és hőhatásövezetre (HAZ) [7]. A 8. ábra hasonló adatokat mutat be St E 480.7 (X70) típusú acélra [8], amelyet csővezetékek gyártásához használnak.



7. ábra

Aldur 58 D típusú acél és hegesztési varratának  $K_{Ia}$  értékei

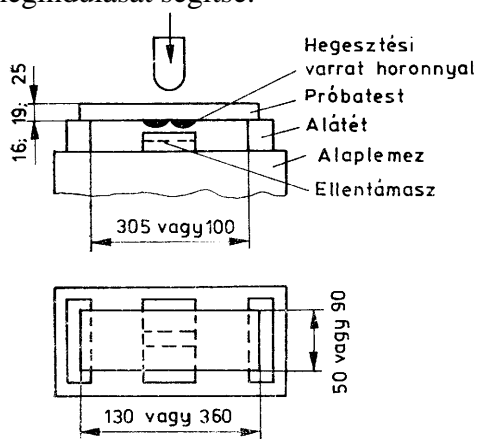


8. ábra  
St E 480.7 (X70) típusú acél és hegesztési varratának K<sub>Ia</sub> értékei

### 3.2. Pellini eljárás

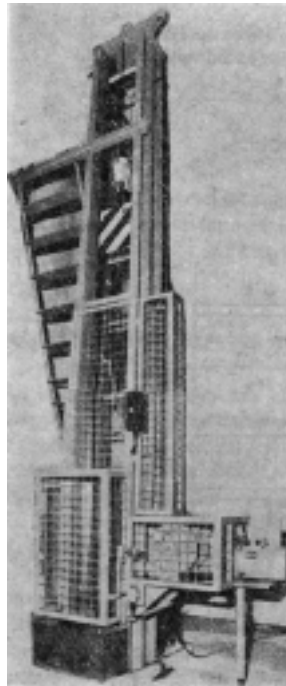
A Pellini-féle vizsgálatot [3] Pellini-féle ejtősúlyos vizsgálatnak is szokták nevezni (Drop Weight Test - DWT), amelyet később az ASTM szabványosított [9]. A vizsgálat célja az NDT (Nil-Ductility Transition) hőmérséklet meghatározása, amely hőmérsékleten az anyag már éppen nem képes megállítani a ridegen elinduló törést.

Ennél a vizsgálatnál lemez alakú próbatestre (9. ábra) egy rétegben rideg hegesztési varratot hegesztnek, amelynek középebe bemetszést munkálnak. A bemetszésnek az a szerepe, hogy az instabil repedésterjedés megindulását segítse.



9. ábra  
A Pellini-féle ejtősúlyos vizsgálatnál alkalmazott próbatest kialakítása

A 9. ábrán látható módon előkészített próbatesteket aztán ejtősúlyos berendezéssel (10. ábra) ütésszerűen terhelik különböző hőmérsékleteken.



10. ábra  
Ejtősúlyos berendezés

A próbatest lehajlása korlátozott a próbatest alatt elhelyezett ellentámasz által. Ez a korlátozás csak olyan mértékű, hogy a húzott oldalon a próbatestben ébredő névleges feszültség elérje az anyag folyáshatárát, így kismértékű képlékeny alakváltozás következhet be. Ha a repedésindulás és instabil repedésterjedés bekövetkezik, a repedés akkor tud megállni az alapanyagban, ha az anyag szívóssága a vizsgálati hőmérsékleten elég nagy. A 11. ábra egy DWT-próbatestről készült felvételt mutat az ütést követő állapotban.



11. ábra  
DWT-próbáról készült felvétel az ütést követően

A vizsgálat értékelésekor azt a határhőmérsékletet határozzák meg, amelyen a bemetszett varratból kiinduló repedést az anyag megállítani már nem képes. Ezt a hőmérsékletet NDT-hőmérsékletnek nevezik (NDT Temperature - Nil-Ductility Transition Temperature).

Néhány közönséges, növelt szilárdságú és nemesített szerkezeti acél NDT-hőmérsékleteit mutatja a 3. táblázat [3].

3. táblázat

Különböző szerkezeti acélok NDT-hőmérsékletei

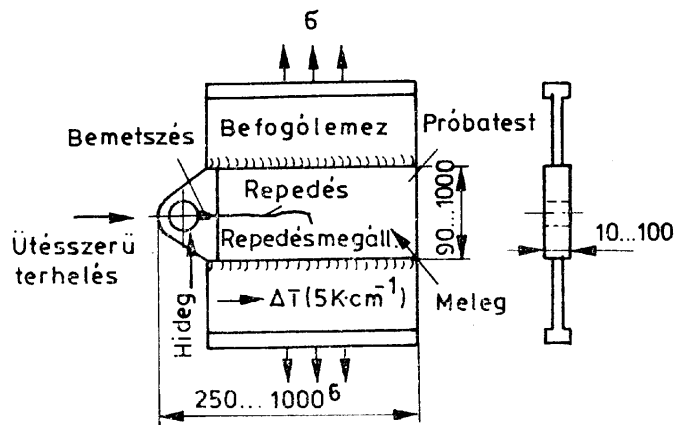
Acél	$R_{eH}$ , MPa	Szemcsenagyság, $\mu\text{m}$	NDT, $^{\circ}\text{C}$
St 38-3 normalizált hengerlési állapot	240	10...12	- 30 -15
KT 45-3 normalizált	350	10...13	-35
H 52-3 normalizált  hengerlési állapot	350	6...7 9...10 13...15	- 50 - 40 - 25 -20
H 60-3 normalizált	430	9...10 6...7	- 30 -40
St E51V (CrMoTi)	510	-	- 45...- 60
St E70 (CrMoZr)	700	-	- 50...- 80
St E90 (NiCrMoV)	900	-	-70

### 3.3. Robertson eljárás

A Robertson-vizsgálatnál különböző méretű lemez próbatesteket használnak (12. ábra) [3]. A próbatest egyik végén egy orrot képeznek ki, amelyiken furat, a furatban pedig bemetszés található.

A próbatestet két lemezhez hegesztik hozzá, és statikusan előfeszítik (pl. szakítógépen) általában az anyag folyáshatárának 60 %-ára. Majd kalapáccsal vagy csapbelövő pisztollyal ütést mérnek az orr-részre. Az ütés hatására a bemetszésből repedés indulhat és instabilan terjedhet. A vizsgálatot kétféle módon lehet elvégezni:

Az egyik módszernél hőmérséklet-gradienst hoznak létre a próbatestben úgy, hogy az orrot folyékony nitrogénben hűtik és a próbatest szemben lévő oldalát hevítik olyan mértékben, hogy a hőmérséklet-gradiens értéke a próbatest teljes hosszában 4-5 K/cm legyen. A próbatesten hosszirányban egyenletesen elosztva termoelemeket helyeznek el. Így meghatározható a repedésmegállási hőmérséklet azon a helyen, ahol a terjedő repedés nyugalomba jut.



12. ábra

A Robertson-vizsgálatnál alkalmazott próbatest kialakítása

A másik változat az ún. izotermikus vizsgálat, amikor több különböző hőmérsékleten végeznek vizsgálatot. Ekkor a próbatestet termosztátba helyezve állandó hőmérsékleten tartják és az orr-részt folyékony nitrogénnel hűtik. A határhőmérséklet (CAT - Crack Arrest Temperature) az a hőmérséklet, amelyen a repedésmegállás még éppen bekövetkezik.

Néhány acél CAT-hőmérsékletét mutatja a 4. táblázat [3].

4. táblázat

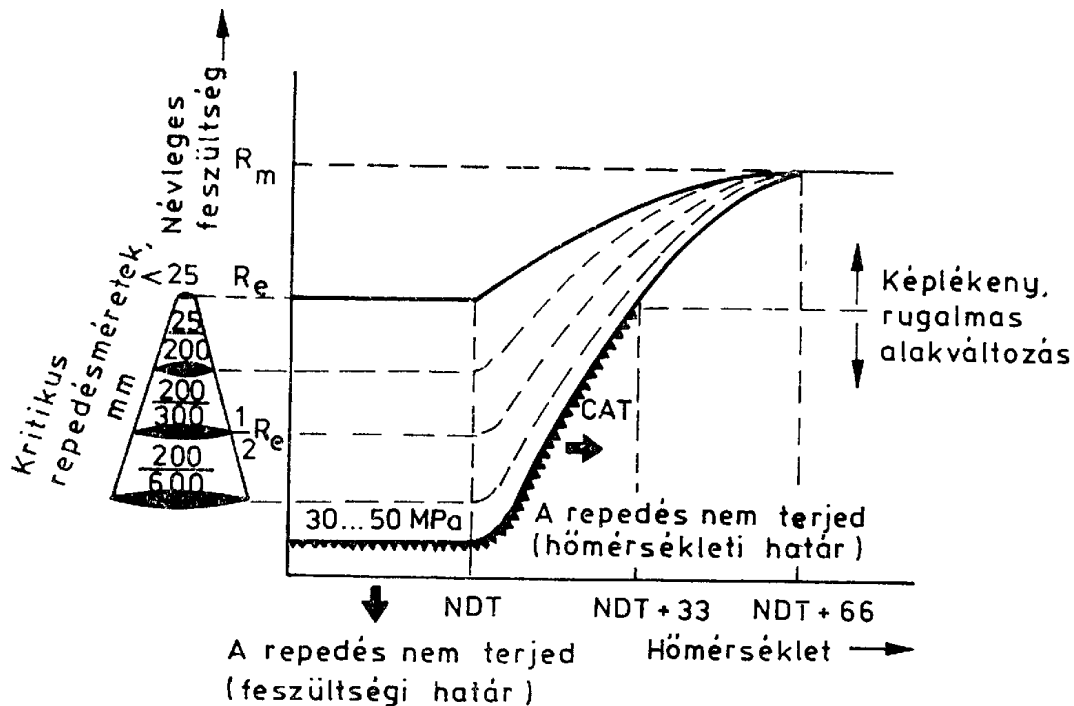
Különböző szerkezeti acélok CAT-hőmérsékletei

Acél	$R_{eH}$ , MPa	CAT, °C
St E51V (CrMoTi)	510	- 56
St E70 (CrMoZr)	700	- 50...- 60
St E90 (NiCrMoV)	900	- 35...- 55

#### 4. A törési biztonság ellenőrzése az NDT- és CAT-hőmérsékletek alapján

Az NDT- és CAT-hőmérsékletek alapján lehetőség van a törési biztonság ellenőrzésére a Pellini és munkatársai által kidolgozott biztonsági diagram segítségével [3, 9]. A nagyszámú kísérleti eredményeken alapuló biztonsági diagram összefüggést ad a névleges feszültség, a repedésnagyság és a hőmérséklet között (13. ábra). Ebből az ábrából megérthető az NDT hőmérséklet meghatározásának jelentősége: a kisméretű hibához tartozó repedésindulási feszültség folyamatosan csökken a hőmérséklet csökkenésével és a görbe éppen az NDT hőmérsékleten éri el a folyáshatárt. Vagyis ezen a hőmérsékleten a folyáshatárnak megfelelő feszültség már kisméretű

hiba esetén is olyan ridegtörést okozhat, amelyet az alapanyag már nem képes megállítani. Természetesen a hiba méretének növekedésével a repedésinduláshoz tartozó kritikus feszültség értéke csökken.



13. ábra  
Pellini-féle biztonsági diagram

A diagramból kiolvasható a törési biztonság kritériuma: a  $T_{NDT+33}$  K hőmérséklet felett még akkor sem következnek be ridegtörések, ha a feszültség eléri a folyáshatárt és már nagyobb repedések is találhatók az anyagban. A  $T_{NDT+33}$  és a  $T_{NDT+66}$  K hőmérsékletek között csak akkor lehetséges törés, ha már az egész szerkezeti elembe nagymértékű képlékeny alakváltozás következett be.

## 5. Irodalomjegyzék

- [1] T. Varga: Crack Initiation, Propagation and Arrest Testing, International Scientific Conference, Technical University of Kosice, 1992. Szeptember 2-5., pp. 173-180.
- [2] ASTM E 1221-88: Standard Test Method for Determining Plane-Strain Crack-Arrest Fracture Toughness,  $K_{Ia}$ , of Ferritic Steels, Annual Book of ASTM Standards, 1996.
- [3] H. Blumenauer, G. Pusch: Műszaki törésmechanika, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1987.
- [4] G. Schneeweiss, T. Varga: Erfahrungen mit Dreipunkt-Biegeproben zur Ermittlung der Rissauffangfähigkeit  $K_{Ia}$  an niedriglegiertem Stahl, Swiss Materials, 1/1989. Nr. 6., pp. 29-37.
- [5] T. Varga: Crack Initiation, Propagation and Arrest Criteria for Steel Structure Safety Assessment, Structural Safety, 12 (1993), pp. 93-98.
- [6] S. Felber, W. Alber, M. Oberndorfer, G. Schneeweiss, T. Varga: Crack-Arrest Measurements in Pipeline Steels, Second International Conference on Joining Technology, 1994. Május 14-18, Firenze
- [7] S. Felber, T. Varga, G. Schneeweiss: Crack-Arrest Measurements in a Pressure Vessel Steel, SMIRT 13, Porto Alegre, Brazilia, 1995. Augusztus 13-18.
- [8] S. Felber, G. Schneeweiss, T. Varga: Crack-Arrest in a Pipeline Steel, Second International Conference on Pipeline Technology, 1995. Szeptember 11-14, Ostend
- [9] ASTM E-208-95a: Test Method for Conducting Drop-Weight Test to Determine Nil—Ductility Transition Temperature of Ferritic Steels, Annual Book of ASTM Standards, 1996.
- [10] E. Czoboly, F. Gillemot, F. Oszvald: Small Specimen Testing Applied at Surveillance Extension, Small Specimen Testing Techniques, ASTM STP 1329, W. R. Corwin, S. T. Rosinski, E. van Walle, Eds., American Society for Testing and Materials, 1998.