

Mindennapi törésmechanika – Mire készítjük fel a szerkezetek felülvizsgálatát végző szakembereket?

Everyday Fracture Mechanics – What is the hot point in preparation of NDT specialists?

Dudra Judit^a, Erdei Réka^b, Tóth László^c

^avezető kutató, Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., judit.dudra@bayzoltan.hu
^btudományos munkatárs, Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., reka.erdei@bayzoltan.hu
^ctudományos tanácsadó, Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., laszlo.toth@bayzoltan.hu

Kulcsszavak

törésmechanika,
biztonság,
roncsolásmentes vizsgálat,
személyi követelmények,
ismétlődő terhelés

Keywords

fracture mechanics,
safety assessment,
NDT methodology,
personnel requirement,
cyclic loading

Absztrakt

Hogyan készítjük fel a roncsolásmentes vizsgálatokat végző szakembereket a mérnöki szerkezetek felülvizsgálatára? Melyek a legfontosabb területek? A felületi vagy a felület alatti repedések a veszélyesebbek? Milyen a terhelés hatása? A húzás vagy a hajlítás a veszélyesebb? Melyik szerkezet veszélyesebb fáradásos repedésterjedés szempontjából; az amelyik lágyacélból, avagy a nagyszilárdságú acélból készült? A kérdések sora a végtelenségig sorolható. Az azonban egyértelmű, hogy már a felsoroltak is döntő módon befolyásolják a felülvizsgálat stratégiáját, az alkalmazandó eljárásokat és a vizsgálatokat végző személyzettel szemben támasztott követelményeket. Jelen közlemény ezen kérdéskörhöz kötődő ismeretek szükségességét illusztrálja.

Abstract

What is/are the hot point/s in preparation of the NDT specialists for performing periodical control of engineering components? The surface or middle cracks are more dangerous? What is the effect of local loading conditions; bending or tension is more dangerous? What is the situation in safety issue at engineering components made of mild or high strength steels especially at the cyclic loading conditions? The question series could be continued infinitely, but it is absolutely true, that by the mentioned examples the inspection strategies, methods, personnel requirements are strongly influenced. Some of these items are illustrated in this paper.

1. Bevezetés

A mindennapi mérnöki gondolkodás alapja a „**Biztonság - Megbízhatóság - Kockázat**” egysége. Aki nem így szemléli az őt körülvevő anyagi világ elemeit, mérnöki tevékenységre alkalmatlan. Miért is hangsúlyozandó a kihangsúlyozott hármasszókapcsolat? Az ok egyszerű és nyilvánvaló, mert nem csupán a biztonságot, hanem annak garantálására fordított anyagi javakat is kifejezi, magában hordozza. A „biztonság” ugyanis csupán azt fejezi ki, hogy az adott szerkezet, mérnöki alkotás milyen valószínűséggel teljesíti megalkotásának célját. Ahhoz, hogy a biztonság szintjét (létrehozásával kitűzött célt) becsülni lehessen, **anyagi befektetésre** van szükség (tervezés, mérések, elemzések, periodikus felülvizsgálat stb.). Ezzel kell mindenkor szembeállítani a **kockázatot**, ami nem más, mint annak valószínűsége, hogy az adott elem nem tölti be rendeltetését és ennek következtében bekövetkező összes kár szorzata. Egy-egy mérnöki alkotás, rendszer megkívánt (előírt) biztonsága természetesen változhat élettartamuk során (technológia elavulása, üzemi paraméterek, vagy üzemeltetési környezet változása stb. miatt). A biztonság mindenkori felméréséhez azonban anyagi befektetéssel járó periodikus felülvizsgálatokra van szükség. Azonban nem mindegy, hogy milyen összegre és milyen gyakorisággal!

Az eddigi cikksorozat [1-4] folytatásaként jelenlegi közleményünk ehhez igyekszik támpontokkal szolgálni.

2. A közlemény célkitűzése

A cikk – amelynek egyes ábrái már „történelmi korokat éltek meg” és számtalan egyetemi, tanfolyami, oktatási anyagból köszönnek vissza – megjelentetését részben didaktikai, részben pedig szakmai okok iniciálták. Vegyük ezeket sorra, kezdve a címben említett szakmai háttérrel, azaz „**Mire készítjük fel a szerkezetek felülvizsgálatát**

végző szakembereket?” Ennek kibontásánál a következő kérdések megválaszolására törekszünk egy ismétlődő terhelésű, repedést tartalmazó lemezszerű szerkezeti elem kapcsán:

- A **felületi** vagy a **felület alatti** repedések veszélyesebbek azonos geometriai, terhelési és anyagi paraméter esetén? E kérdés fontossága kézenfekvő, hiszen megválaszolása alapvetően meghatározza a vizsgálati módszert, az eszközt és a vizsgáló személyzettel szemben támasztandó követelményeket!
- Melyik terhelési mód, a **húzás** vagy a **hajlítás** veszélyesebb azonos geometriai és anyagi paraméter esetén? A kérdés mögött meghúzódó gondolat lényege, hogy „a húzott vagy a hajlított elemek vizsgálatára koncentráljunk-e jobban?”
- Van-e hatása a **repedések veszélyességére** az anyag szilárdságának abban az esetben, ha a terhelés a mindenkori folyási határ adott százaléka, azaz a kvázistatikus terhelésre vonatkozó **biztonsági tényező azonos?**
- Miképpen válaszolhatók meg a fenti kérdések annak feltételezésével, hogy a „**hányszor veszélyesebb**” kritériumot is megköveteljük? A „veszélyesség” számszerű jellemzésével ugyanis egyértelmű háttérrel kapnak az olyan kifejezések, mint „kissé, kevésbé, kb. azonos, nagyon, kiugróan, ...” jelzők, helyettük konkrét számok húzódnak meg, pl. „kétszeres, háromszoros, fele, negyede stb.”

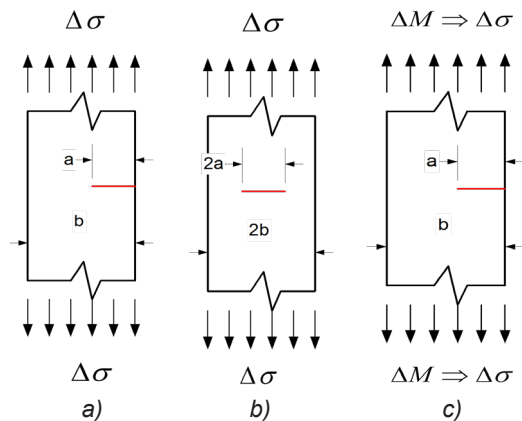
A cikk publikálásának didaktikai háttérét pedig az a tény diktálta, hogy a fenti kérdések már mintegy 35 éve megválaszolásra kerültek, de a hasonló, a gyakorlati életben is kiválóan alkalmazható iskolapéldák száma nem gyarapodott. Az ok – feltehetően – pofonegyszerű: a „**törésmechanika**” kifejezést amolyan „elméleti tárgyként kezelte” mind az „oktató”, mind pedig a „diák”, nem pedig „mindennapi törésmechanikának”! A jelenlegi „mindennapi számítástechnikai” eszköztárat tekintve az előzőekben említett a. -d.

kérdések még számos új – és a gyakorlati életben nagyon hasznos, időnként nagy gazdasági kihatású kérdésekkel bővíthetők. Néhány ezek közül:

- e. Milyen hatással van következtetéseinkre az anyagvizsgálat megbízhatósága?
f. A számításaink során felhasznált paraméterek (geometriai, anyagi, terhelési) közül melyik befolyásolja leginkább következtetéseink megalapozottságát? Másképpen megfogalmazva: „mi van akkor, ha” kérdéssorozat megválaszolásának lehetősége igen rövid időbe telik? Vonatkozhat ez pl. a terheléscsökkentés lehetőségétől a hiba veszélyességi szintjének elemzéséig.

3. Az „iskolapéllda” – a mindennapi törésmechanika

Az a.-f. pontban megfogalmazott kérdések megválaszolásához tekintünk az 1. ábrán felvázolt szerkezeti elemeket.



1. ábra: A hibák veszélyességének mérlegelésénél használt modellek: a) húzott lemez felületi repedéssel, b) húzott lemez belső repedéssel, c) hajlított lemez felületi repedéssel

E modellek sajátosságai:

- geometriai méretei azonosak,
- a felületen húzásból vagy hajlításból ébredő feszültségek azonosak,
- a repedések „a” hossza azonos mindhárom elemben.

A fáradásos repedés terjedésével szembeni ellenállást az (1) kifejezés írja le [5-7]:

$$\frac{da}{dN} = \left\{ -\frac{1}{c} \ln \left[1 - \left(\frac{\Delta K - \Delta K_{th}}{\Delta K_{fc} - \Delta K_{th}} \right)^n \right] \right\}^{\frac{1}{b}} \quad (1)$$

A fenti összefüggés anyagjellemzői:

- ΔK_{th} – a repedéscsúcsban az a ΔK érték, amelynél még éppen nem indul meg a repedés terjedése,
- ΔK_{fc} – a repedéscsúcsban az a ΔK érték, amelynél a repedés terjedése instabillá válik, azaz a darab eltörik,
- b, c, n kísérletileg meghatározandó paraméterek.

Az (1) összefüggésben szereplő anyagi jellemzők értékét a közlemény 1. melléklete tartalmazza.

Az 1. ábrán szereplő szerkezeti elemek repedéseinek csúcsában az ismétlődő terhelés közben ébredő feszültségintenzitási tényezők értékei az alábbi összefüggésekkel számíthatók [8].

Húzott lemez felületi repedéssel:

$$K = Y\sigma\sqrt{a}, \quad (2)$$

$$Y = 1,99 - 0,41\left(\frac{a}{t}\right) + 18,7\left(\frac{a}{t}\right)^2 - 38,48\left(\frac{a}{t}\right)^3 + 53,85\left(\frac{a}{t}\right)^4, \quad \text{ha } \frac{a}{t} \leq 0,6; \quad (3)$$

$$Y = \left[\frac{1}{2} \left(\frac{a}{t}\right)^{\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{a}{t}\right)^{\frac{3}{2}} \left(1 + 3\left(\frac{a}{t}\right)\right) \right], \quad \text{ha } \frac{a}{t} > 0,6. \quad (4)$$

Húzott lemez belső repedéssel:

$$K = \frac{1 - 0,025\left(\frac{a}{t}\right)^2 + 0,06\left(\frac{a}{t}\right)}{\sqrt{\cos\left(\frac{\pi a}{2t}\right)}} \sigma\sqrt{\pi a}. \quad (5)$$

Hajlított lemez felületi repedéssel

$$K = \frac{6M}{tW^2} \sqrt{\pi a} \cdot F_1(\alpha), \quad \alpha = \frac{a}{W}, \quad (6)$$

$$F_1(\alpha) = 1,122 - 1,40\alpha + 7,33\alpha^2 - 13,08\alpha^3 + 14,0\alpha^4. \quad (7)$$

Általánosan mondható, hogy a képletek 3 fő tagból épülnek fel:

$$K = Y\sigma\sqrt{a}, \quad (8)$$

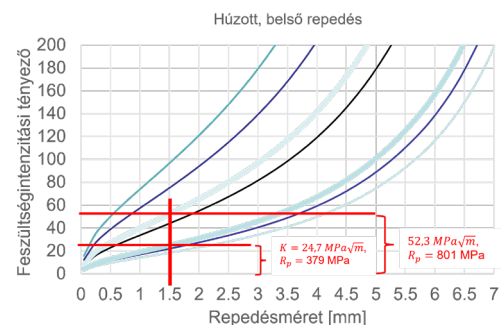
melyben Y a geometriai-, σ a terhelési tényező és \sqrt{a} a repedésméretet tartalmazó tag.

A 2. ábra az (5) képlet alapján számolt K-a függvényeket mutatja különböző folyáshatárú anyagok esetén, mely során a σ terhelés minden esetben a folyáshatár 75%-át tette ki.

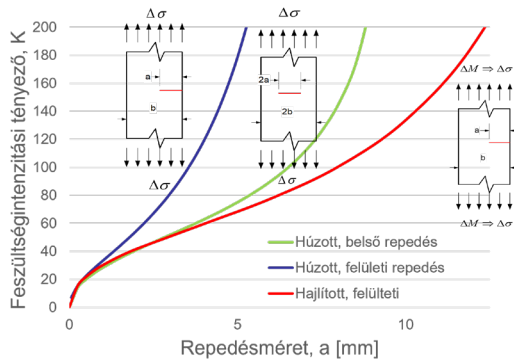
Látható az ábrából, valamint a (8) képlet alapján, hogy a feszültségintenzitási tényező egyenesen arányos a terheléssel, hiszen egy 378 MPa folyáshatárú anyag esetén $\sim 25 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$, míg egy közel kétszer akkora, 801 MPa folyáshatárú anyag esetén $\sim 52 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ a feszültségintenzitási tényező értéke azonos geometriai- és repedésméreteknél.

A (2)-(7) összefüggések használatával meghatározható mindhárom esetre a feszültségintenzitás adott terheléssel, mely segítségével megállapíthatóak a modellek veszélyessége. Ezt a 3. ábra szemlélteti, mely alapján megállapítható, hogy a húzott lemez, felületi repedése a legveszélyesebb azonos körülmények között.

A fáradásos repedésterjedéssel szembeni ellenállás küszöbértékeit – azaz ahol még nem indul meg a repedés, valamint amelynél a terjedés instabillá válik – a számolt K-a görbék alsó (4,5-6 MPa $\sqrt{\text{m}}$) és középső (40-100 MPa $\sqrt{\text{m}}$) tartományában kell keresni, melyeket a



2. ábra: K-a függvény húzott lemez esetén belső repedéssel, különböző terhelések esetén (a terhelés az anyag folyáshatárának 75% minden esetben)



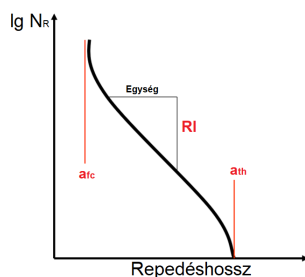
3. ábra: K-a függvény a három modellre

4. ábra is szemléltet. A kapott a_{th} és a_{fc} értékek a folyáshatár függvényében az 5. és 6. ábrán láthatóak, melyből levonható, hogy a folyáshatár növekedésével mindkét érték csökken, tehát egyre kisebb repedés már megindulhat és egyre kisebb repedés már töréshez vezethet.

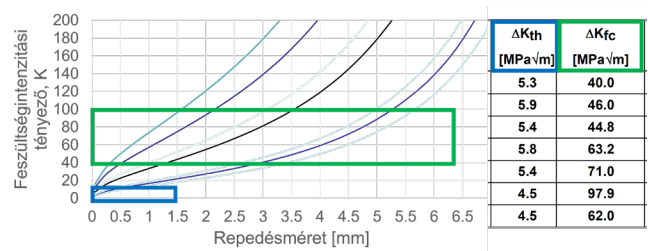
Az ismert ΔK_{th} és ΔK_{fc} és az a , b , n anyagparaméterek ismeretében az (1) egyenlet segítségével számolható a maradék élettartam. Ezt logaritmikus skálán ábrázolva a repedéshossz függvényében a 7. ábrán látható jellegű görbét kapunk. Az a_{th} értékhez közel az élettartam tart a végtelenbe, míg a_{fc} -nél 0-ra csökken (eltörik). A görbén kijelölhető egy egyenes szakasz, melynek meredeksége adja a repedésérzékenységi indexet (RI). Az RI értékeket a folyáshatár függvényében a 8. ábrán szemléltettük mind a három modell esetén, melyeket összehasonlítottuk – a szintén az ábrán látható – 30 évvel ezelőtti számítások eredményeivel.

4. Korábbi számítások

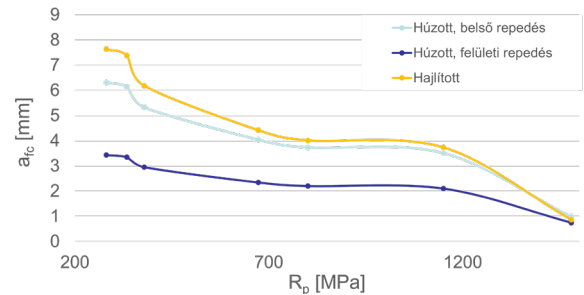
Az 1990-es évek elején a bemetszést tartalmazó **anyagok** és a repedéssel rendelkező szerkezetek **„bemetszés-érzékenysége”** valamint a **szerkezetek „repedésérzékenysége”** – ismereteink szerint – a világ szakirodalmában első alkalommal került definiálásra rendszerszerűen, a terhelés jellegének (kvázistatikuss, dinamikus, ismétlődő) függvényében [9-11]. Az anyagok bemetszésérzékenysége meghatározása csupán a mechanikai anyagvizsgálat elvégzésének metodikai kérdése. Más a helyzet a szerkezetek repedésérzékenységeivel. Ebben az esetben a repedéscsúcs közvetlen környezetének viselkedését leíró, a modelltől függő függvény repedéshossz szerinti deriváltját kell számítani. Ezek általában bonyolultabb függvények, amelyeknél a hibalehetőség meglehetősen nagy. Még nagyobb a gyakorlati probléma, ha az ismétlődő



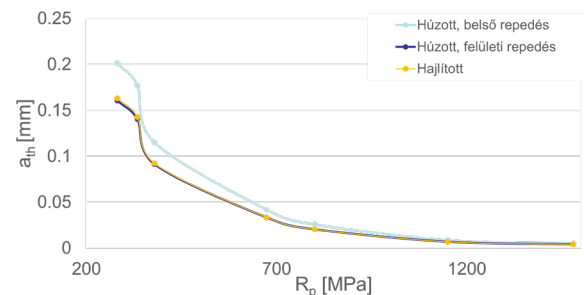
7. ábra: Maradék élettartam görbe, repedésérzékenységi index értelmezése



4. ábra: ΔK_{th} és ΔK_{fc} határértékek meghatározási tartománya



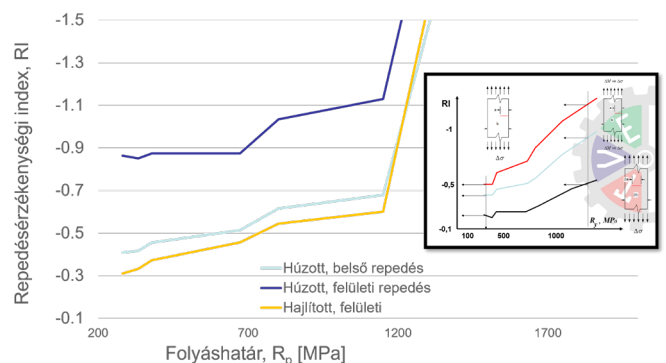
5. ábra: a_{fc} ésrtekek a folyáshatár függvényében



6. ábra: a_{th} ésrtekek a folyáshatár függvényében

igénybevételre jellemző repedésérzékenységet kívánjuk meghatározni, azaz a maradék élettartam változását egy-egy repedésnövekedés során. Ebben az esetben adott tartományban kell határozott integrál értékét kiszámítani kiválasztott repedéssterjedési törvény figyelembevételével. A gondolkör anno – 30 évvel ezelőtt – nem terjedt el széles körben a könnyen alkalmazható általános matematikai szoftverek hiánya miatt.

Természetesnek tűnt azonban, hogy a repedésérzékenység gyakorlati alkalmazhatóságát bizonyítandó példák kidolgozását elindítottuk annak érdekében, hogy a gondolkör jelentőségét hangsúlyozzuk. Ez lehetővé tette



8. ábra: Repedésérzékenységi index a folyáshatár függvényében a három modellnél és a 30 évvel ezelőtti számítások eredménye

1. táblázat: A MathCAD és a HP-65 által számított értékek

Húzott lemez belső repedéssel		Húzott lemez felületi repedéssel		Hajlított lemez felületi repedéssel	
MathCAD	HP-65	MathCAD	HP-65	MathCAD	HP-65
0,41	0,23	0,86	0,50	0,31	0,41
0,42	0,21	0,85	0,50	0,33	0,41
0,46	0,26	0,87	0,61	0,37	0,46
0,51	0,26	0,87	0,71	0,46	0,51
0,62	0,32	1,03	0,87	0,54	0,60
0,68	0,48	1,13	1,20	0,60	0,85
2,40	0,58	3,12	1,40	2,72	1,05

a „roncsolásmentes vizsgálat – szerkezetek biztonsága” közötti összefüggés SZÁMSZERŰ összekötését. Egyik legkézenfekvőbb példa volt a jelen közleményben ismertetett eset. A széleskörű „asztali számítástechnika” akkori eszköze a COMMODORE-64 volt, általános matematikai szoftvercsomagok nélkül. A tudományos zseb-számológépek piacán a konkurens HP és a TI termékek mindegyikével rendelkezett tanszékünk (NME Mechanikai Technológiai Tanszék) már az 1980-as években. Az első számítások a HP-65 típusú zseb-számológéppel lettek elvégezve. E típusú gép nagy előnye abban állt, hogy a legkülönbözőbb szakmai területekre mágneskártyán rögzített szoftverek lettek kidolgozva az elektrotechnikai, gépészeti területektől az alapvető matematikai csomagokig.

Természetesen a TI zseb-számológépek is követték némi lemaradással a HP-65 fejlődését, azaz megjelentek a legkülönbözőbb műszaki területeken használható programkártyák.

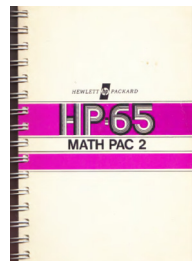
A mintegy 30 évvel korábbi, a HP-65 zseb-számológéppel elvégzett és a MathCad szoftvercsomaggal elvégzett számítási eredmények értékeit az 1. táblázat tartalmazza. Mindenképpen kihangsúlyozandó, hogy a korábbi számítások „eredményei” a publikált közlemény ábráiról lettek leolvasva.

Az 1. táblázatban feltüntetett számszerű adatok alapján a következő lényeges megállapítások tehetők:

- A mintegy 30 évvel korábban HP-65 típusú zseb-számológéppel elvégzett számítások eredményei jelleg-helyesek voltak, azaz:
 - ugyanolyan geometriai és terhelési feltételek mellett a húzott lemez felületi hibája a legveszélyesebb, míg legkevésbé veszélyes a középen levő



a)



b)



c)

9. ábra: a) Mágneskártyás HP-65 típusú zseb-számológép, b) a matematikai programcsomagok második csomagja, c) a TI programkártyája

pl. összeolvadási hiba;

- ugyanolyan kvázistatikus terhelésre jellemző biztonsági tényező (az ismétlődő terhelés az aktulás folyási határ 75%-a) esetén az anyag folyási határának növekedésével mindhárom elemzett szerkezeti elem egyre érzékenyebb a repedésre;
- a repedésérzékenység növekedése megnyilvánul a terjedőképes (a_{th}) és a kritikus (a_{krit}) repedéshosszak csökkenésében, mind pedig a repedésérzékenységi index (RI) abszolút értékének növekedésében;
- mivel az a_{th} értékénél – elvileg – a maradék élettartam végtelen, így célszerű az a_{fc} -ből kiindulva, visszafelé integrálni.
- A korábbi számítások eredményei nem csupán jelleg-helyesek voltak, hanem nagyságrendileg is megegyeztek. Ez különösen igaz a kisebb szilárdságú acélokra. A nagyszilárdságú szerszámacéloknál minden számított jellemzőben eltérés tapasztalható. Ennek lehetséges okai részletesebb elemzést igényelnek.
- Az előzőekben említettek alapján a roncsolásmentes vizsgálatokra mintegy 30 évvel korábban **először megfogalmazott** elvárások megerősítést nyertek.

5. Összefoglalás

A közlemény célkitűzését és a kidolgozott számpéldák eredményeit tekintve az alábbi megállapítások tehetők:

1. Azonos anyagból készült azonos terhelésű és geometriájú szerkezeti elemek közül a húzott elem felületi repedése a legveszélyesebb.
2. Az acélok folyási határának növekedésével a repedések veszélyessége növekszik, ami megnyilvánul mind a terjedőképes (a_{th}) és a kritikus (a_{krit}) repedéshosszak csökkenésében, mind pedig a repedésérzékenységi index (RI) abszolút értékének növekedésében.
3. A szerkezetek periodikus felülvizsgálata során a felületi repedések detektálására kell összpontosítani.
4. A HP-65 típusú programozható számológéppel mintegy 30 évvel korábban elvégzett számítások eredményei jó egyezést mutattak a MathCad programcsomag szolgáltatja eredményekkel. Javasolt az integrálással kapcsolatos számításoknál visszafelé számolni az a_{th} irányába, mivel az a_{th} értékénél a függvény a végtelenbe tart.
5. Az előzőekben említettek alapján a roncsolásmentes vizsgálatokra mintegy 30 évvel korábban először megfogalmazott elvárások megerősítést nyertek.
6. Az acélszerkezetek, nyomástartó edények TERVEZÉSI DOKUMENTUMAIT célszerű kiegészíteni a legkonzervatívabb törésmechanikai modell alapján számított kritikus repedéshosszakkal (ill. ismétlődő terhelés esetén a terjedőképes és kritikus repedésméretetekkel), az üzemelő szerkezeteknél, nyomástartó rendszereknél pedig a GÉPKÖNYVET indokolt ugyanezen adatokat pótlólagosan szakértői nyilatkozattal megadni.
7. A 6. pontban említettek megvalósítása a költségghatékony periodikus felülvizsgálat biztosító és a „mindennapi törésmechanika” bevezetésének záloga.

Irodalomjegyzék

- [1] Dudra J., Erdei R., Tóth L.: Mindennapi törésmechanika a szerkezetek biztonságos üzemeltetésének alapja. Anyagvizsgálók Lapja, 2019/IV. lapszám, p. 30-41., ISSN: 1215-8410
- [2] Dudra J., Erdei R., Tóth L.: Mindennapi törésmechanika – Belső nyomással terhelt csővezetékek biztonsága. Anyagvizsgálók Lapja, 2020/I. lapszám, p. 5-10., ISSN: 1215-8410
- [3] Dudra J., Erdei R., Tóth L.: Mindennapi törésmechanika – Húzott csővezetékek biztonságának megítélése. Anyagvizsgálók Lapja, 2020/II-III. lapszám, p. 5-13., ISSN: 1250-8410
- [4] Dudra J., Erdei R., Tóth L.: Mindennapi törésmechanika – Méret és repedésterjedéssel szembeni ellenállás hatásának elemzése. Anyagvizsgálók Lapja, 2021/III. lapszám, p. 42-45.
- [5] Tóth, L.: A fáradt repedés terjedési sebességének leírása a károsodási folyamat jellemzésével. Gép, (33), 1981/7. p. 257-262.
- [6] Romvári, P. – Tóth, L. – Kocsisné, Baán M.: Az anyag károsodását jellemző paraméterek a fáradt repedés terjedése során. Gép, (33), 1981/9. p. 337-340.
- [7] Tóth L.: Repedést tartalmazó szerkezeti elemek megbízhatósága ismétlődő terhelés esetén. DSc disszertáció (1995), MTA-hoz benyújtva.
- [8] I. M. Dmytrakh, L. Tóth, O. L. Bilyy, A. M. Syrotyuk: Workability of materials and structural elements with sharp-tipped stress concentrators, Vol. 13., ISBN 978-966-665-493-2, Lviv, Publishing House (Spolom),
- [9] Tóth L.: Bemetszésérzékenység - repedésérzékenység. IV. Országos Törésmechanikai Szeminárium. Miskolc-Lillafüred, 1991. Április 10-12.
- [10] L. Tóth: Notch Sensitivity-Crack Sensitivity. International Conference on Fracture, ICF 8. Kiev 1993. Júne 8-13. Part II. p. 640.
- [11] L. Tóth: Reliability assesment of cracked structuta elements under cyclic loading. InHandbook of fatigue Crack Propagation in Metallic Structures. Ed. A. Carpinteri. Elsevier 1994. Vol. 2. p. 1643 – 1673.

1. Melléklet: Az (1) kifejezésben szereplő anyagi paraméterek 100 különböző anyagra

Ssz.	c	b	ΔK_{th} [MPa√m]	ΔK_{fc} [MPa√m]	n	Anyagminőség
1	101,77	0,459	5,30	40,0	0,575	St38
2	202,43	0,523	5,40	44,8	0,608	H 60
3	316,84	0,568	5,85	63,2	0,486	H 75/3
4	129,00	0,506	5,15	71,0	0,566	HSLA
5	144,63	0,506	5,40	71,0	0,523	NAXTRA 70
6	56,94	0,429	3,08	62,0	0,457	300 M
7	46,74	0,396	2,95	33,5	0,457	300 M
8	30,13	0,379	5,05	70,1	0,485	300 M
9	535,23	0,548	2,28	9,8	0,636	300 M
10	393,30	0,552	2,30	18,6	0,610	300 M
11	327,47	0,527	2,40	22,0	0,536	300 M
12	59,98	0,427	3,68	56,0	0,514	300 M
13	355,66	0,540	2,30	18,3	0,581	300 M
14	162,57	0,470	2,38	24,8	0,488	300 M
15	40,06	0,398	3,03	64,0	0,438	300 M
16	24,05	0,357	3,00	73,0	0,491	300 M
17	55,03	0,430	3,58	55,5	0,554	300 M
18	854,00	0,616	2,32	18,4	0,661	300 M
19	665,16	0,592	2,46	21,0	0,546	300 M
20	217,36	0,504	2,45	25,0	0,534	300 M
21	57,19	0,448	3,01	63,0	0,533	300 M
22	27,68	0,384	5,10	75,0	0,505	300 M
23	106,98	0,455	1,04	23,0	0,522	Al-ötvözet
24	16,98	0,353	2,85	27,1	0,580	Al-ötvözet
25	114,84	0,498	2,32	20,0	0,611	Al-ötvözet
26	76,19	0,449	1,38	18,0	0,669	Al-ötvözet
27	109,50	0,443	1,2	7,8	0,713	Al-ötvözet

Ssz.	c	b	ΔK_{th} [MPa√m]	ΔK_{fc} [MPa√m]	n	Anyagminőség
28	32,38	0,351	7,60	53,0	0,434	Sínacél
29	34,61	0,353	7,55	57,0	0,441	Sínacél
30	27,65	0,357	7,80	66,0	0,438	Sínacél
31	28,33	0,363	7,80	67,0	0,434	Sínacél
32	17,97	0,335	9,50	76,0	0,524	Hegesztett kötés
33	18,29	0,332	10,40	80,0	0,495	Hegesztett kötés
34	43,84	0,419	4,30	72,0	0,589	Hegesztett kötés
35	36,46	0,458	7,30	77,0	0,623	Hegesztett kötés
36	122,88	0,485	5,90	46,0	0,524	St 52
37	90,87	0,457	4,80	52,0	0,535	Hegesztési ömledék
38	123,30	0,507	9,10	51,0	0,623	Hőhatásövezet
39	185,21	0,508	6,90	43,0	0,596	Hőhatásövezet
40	71,18	0,414	7,55	41,0	0,559	Hőhatásövezet
41	110,22	0,477	5,30	42,0	0,578	Hőhatásövezet
42	14,36	0,304	3,80	33,2	0,476	Al-ötvözet
43	11,56	0,291	3,80	47,1	0,445	Al-ötvözet
44	50,70	0,473	3,70	26,0	0,877	40 CrSi
45	19,60	0,409	4,30	55,8	0,880	40 CrSi
46	19,60	0,409	4,30	68,2	0,707	40 CrSi
47	19,60	0,409	5,60	87,0	0,664	40 CrSi
48	21,97	0,516	6,80	51,0	0,614	Ti-6Al-4V
49	7,44	0,396	9,30	112,0	0,600	Ti-6Al-4V
50	7,31	0,379	0,11	10,0	0,350	Ti-6Al-4V *
51	6,60	0,351	0,11	8,6	0,426	Ti-6Al-4V **
52	100,56	0,622	0,07	3,0	0,463	300 M *
53	831,08	0,790	0,11	2,3	0,469	300 M *
54	113,95	0,635	0,07	3,1	0,468	300 M *
55	43,82	0,578	0,11	6,9	0,422	HP 9-4-0,3 *
56	250,92	0,734	0,11	6,5	0,387	HP 9-4-0,3 *
57	89,49	0,562	0,08	6,4	0,389	HP 9-4-0,3 *
58	50,09	0,574	0,11	5,9	0,393	HP 9-4-0,3 **
59	283,26	0,721	0,09	6,1	0,356	HP 9-4-0,3 **
60	151,41	0,612	0,05	3,4	0,392	HP 9-4-0,3 **
61	11,92	0,445	0,05	4,4	0,440	Al-7075-T73 *
62	26,54	0,495	0,07	4,5	0,392	Al-7075-T73 *
63	13,34	0,429	0,04	4,0	0,402	Al-7075-T73 **
64	11,60	0,399	0,05	2,8	0,421	Al-7075-T73 **
65	15,41	0,437	0,05	4,8	0,389	Al-7075-T73 **
66	161,06	0,702	0,03	0,5	0,693	Al-2219-T85**
67	42,95	0,405	4,69	69,1	0,483	HSLA
68	922,86	0,614	2,96	26,0	0,567	HSLA
69	50,06	0,411	3,96	67,7	0,480	HSLA
70	56,72	0,441	4,28	69,1	0,521	HSLA
71	36,62	0,388	3,96	75,0	0,471	HSLA
72	60,51	0,444	5,42	69,1	0,549	HSLA
73	44,93	0,434	6,03	75,8	0,563	HSLA
74	46,46	0,432	4,80	74,1	0,549	HSLA
75	43,81	0,419	5,05	72,4	0,512	HSLA
76	10,42	0,336	1,70	13,2	0,635	Mg-ötvözet
77	10,42	0,336	1,80	16,2	0,656	Mg-ötvözet
78	10,42	0,336	2,05	19,0	0,654	Mg-ötvözet
79	12,25	0,337	2,25	19,5	0,567	Mg-ötvözet
80	12,25	0,337	2,05	21,7	0,434	Mg-ötvözet
81	73,4	0,502	4,50	97,9	0,612	NK
82	110,9	0,521	4,50	62,0	0,611	Cr 13
84	267,08	0,363	9,50	31,0	0,709	Al-ötvözet
85	277,75	0,366	8,00	53,0	0,547	Al-ötvözet
86	515,15	0,365	2,40	61,0	0,382	HT 80
87	313,37	0,338	2,49	85,0	0,835	HT 80
88	780,08	0,396	7,79	88,0	0,354	HT 80
89	265,80	0,326	2,30	98,0	0,302	HT 80
90	702,78	0,560	17,00	92,8	1,056	Ti-ötvözet (BT3-1)
91	702,78	0,560	13,0	57,0	1,010	Ti-ötvözet (BT-25)
92	250,85	0,603	7,50	88,0	0,709	18/8
93	250,31	0,600	5,10	75,0	0,660	18/8
94	792,43	0,595	2,70	12,5	1,227	Öntöttvas
95	364,59	0,556	5,30	24,5	0,749	Öntöttvas
96	144,20	0,508	9,50	36,0	0,700	Öntöttvas
97	701,81	0,828	14,90	54,6	0,545	Öntöttvas (GGG)
98	693,50	0,802	16,20	40,3	0,659	Öntöttvas (GGG)
99	196,11	0,674	13,30	42,5	0,811	Öntöttvas
100	1385,4	0,885	13,00	33,1	1,054	Öntöttvas (GGG)

Megjegyzés: a ΔK helyett a ΔS - kN/m (alakváltozási energiasűrűség); $\alpha\Delta S$ - kN/m, ahol az α a terhelés körülményeit kifejező állandó