

ERŐMŰI SZERKEZETI ELEMEK ÉLETTARTAM GAZDÁLKODÁSÁNAK TÁMOGATÁSA A TÖRÉSMECHANIKA ALKALMAZÁSÁVAL

Lukács János

egyetemi tanár

Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék, 3515 Miskolc-Egyetemváros,

janos.lukacs@uni-miskolc.hu

Összefoglalás

A kutató munka célja különböző anyagok fáradásos repedésterjedéssel szembeni ellenállásának meghatározása volt, különböző környezeti feltételek mellett. A fáradásos repedésterjedési sebesség vizsgálatokra ausztenites korrózióálló acél alapanyagból, illetve ötvözetlen acél és ausztenites hegesztő hozaganyag K-varratos hegesztett kötéséből kimunkált próbatesteken került sor. Az első esetben két, a második esetben pedig három névleges vizsgálati hőmérsékletet alkalmaztunk, a korróziós közegek különbözőek voltak. A fáradásos repedésterjedéssel szembeni ellenállás jellemzésére a Paris-Erdogan összefüggést alkalmaztuk.

Kulcsszavak: fáradásos repedésterjedés, korróziós közeg, növelt hőmérséklet, Paris-Erdogan összefüggés

Abstract

The research work aimed to determine the fatigue crack propagation resistance of different materials under different environmental conditions. Fatigue crack growth test specimens were cut from austenitic stainless steel and from K-type welded joints made of unalloyed steel and austenitic filler material. Two and three different temperatures and different agents were applied during the examinations, respectively. Paris-Erdogan equation was used for describing and characterising the fatigue crack propagation resistance.

Keywords: fatigue crack growth, corrosive environment, elevated temperature, Paris-Erdogan law

1. Bevezetés

Az erőműi szerkezetek, szerkezeti elemek élettartam gazdálkodása napjainkban – mind műszaki, mind gazdasági oldalról – racionális igény. Az ilyen szerkezeti elemek összetett igénybevétele (mechanikai, termikus, környezeti) és hosszú üzemeltetési ideje a szerkezeti elem károsodásához vezet; a felvetődő kérdésekre, különösen a „hogyan tovább?” típusú kérdésekre, a törésmechanika segítségével kereshetünk és adhatunk válaszokat.

Az erőműi szerkezeti elemekben lévő anyagfolytonossági hiányok, mindeinek előtt a repedések, keletkezésének és terjedésének leírása, illetve követése az

élettartam gazdálkodás egyik kiemelt feladata. A felvetődő kérdések megválaszolása megbízható anyagi mérőszámokat kíván, amelyek meghatározása ismétlődő igénybevétel, növelt – és esetleg változó – hőmérséklet esetén, korróziós közegben, nem egyszerűen kivitelezhető feladat.

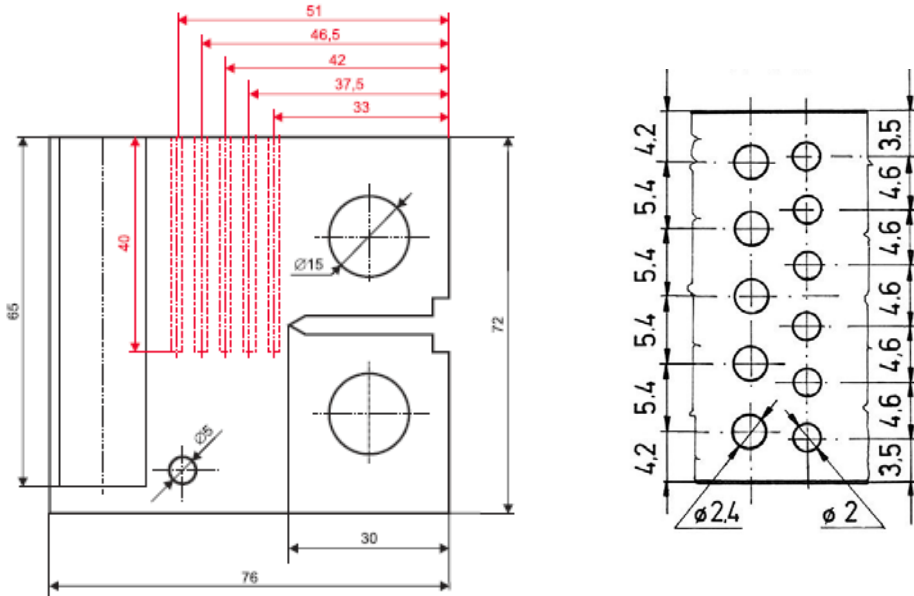
A közlemény célja a különböző anyagminőségekhez rendelt növelt hőmérsékleteken és korróziós közegekben elvégzett fáradásos repedésterjedési sebesség vizsgálatok, továbbá azok eredményeinek bemutatása. A vizsgálatoknak több specialitása volt. Az egyik az, hogy a növelt hőmérsékleteket alapvetően a próbatestekbe integrált fűtőpatronokon keresztül biztosítottuk; a másik pedig az, hogy a korróziós közeg helyileg került injektálásra, amelyet a szokásos, tömör CT próbatestek helyett furatos CT próbatestek alkalmazásával oldottunk meg. Mindkét megoldás szolgálta a vizsgálatok elvégezhetőségét, ugyanakkor azok befolyásoló hatását, a vizsgálati eredmények meghatározása és értékelése során figyelembe kellett vennünk. A harmadik specialitás az volt, hogy az első csoportba tartozó próbatesteken – a stabil repedésterjedés, illetve repedéstompulás tanulmányozására – olyan vizsgálatokat is végeztünk, amelyek során az adott hőmérsékleten, a fárasztás közben, 3 órás, az ismétlődő igénybevétel maximumával egyező nagyságú statikus terhelést iktattunk közbe. Végezetül, a negyedik specialitás az volt, hogy a második csoportba tartozó próbatesteken – a hőmérséklet-változás befolyásoló hatásának tanulmányozására – olyan vizsgálatokat is végeztünk, amelyek során a hőmérsékletet, a két névleges hőmérséklet között, négyzög függvény szerint változtattuk.

2. Anyagminőségek, próbatestek, vizsgálati program

Az első csoportba tartozó próbatestek anyagminősége 08H18N10T ausztenites korrózióálló acél volt, ami megfelel az amerikai 321-es (ASTM), a német X6CrNiTi1810 (DIN), illetve a magyar KO36Ti (MSZ) típusnak, számjele pedig 1.4541. Itt a vizsgálat célja az alapanyag fáradásos repedésterjedéssel szembeni ellenállásának meghatározása volt. A második csoportban fizikailag szimulált hegesztett kötés vizsgálata volt a cél, olyan kötés, amely ötvözetlen acél és ausztenites korrózióálló acél között jön létre. A fáradásos repedés az ötvözetlen acél és az ausztenites párnaréteg között, az összeolvadási vonalon haladt, amelyet K-varratos kialakítással biztosítottunk. A próbadarabokhoz, illetve próbatestekhez használt ötvözetlen acél 22K anyagminőségű, az ausztenites párnaréteg és a K-varrat elkészítéséhez használt hegesztő hozaganyag pedig SzV-10H16N25AM6 anyagminőségű volt.

A vizsgálatokhoz CT típusú próbatesteket [1] használtunk. Az ilyen próbatestek szokásos kialakításától (tömör próbatestek) eltérően, a korróziós közegnek a repedéscsúcs környezetébe való juttatása céljából, olyan próbatesteket alkalmaztunk, amelyek a repedésterjedés várható irányára merőlegesen, több sorban, kis átmérőjű furatokat tartalmaztak (furatos próbatestek). A furatok átmérője 2 mm, illetve 2,4 mm volt és 5 sorban, összesen 28 db furat került – szikraforgácsolással –

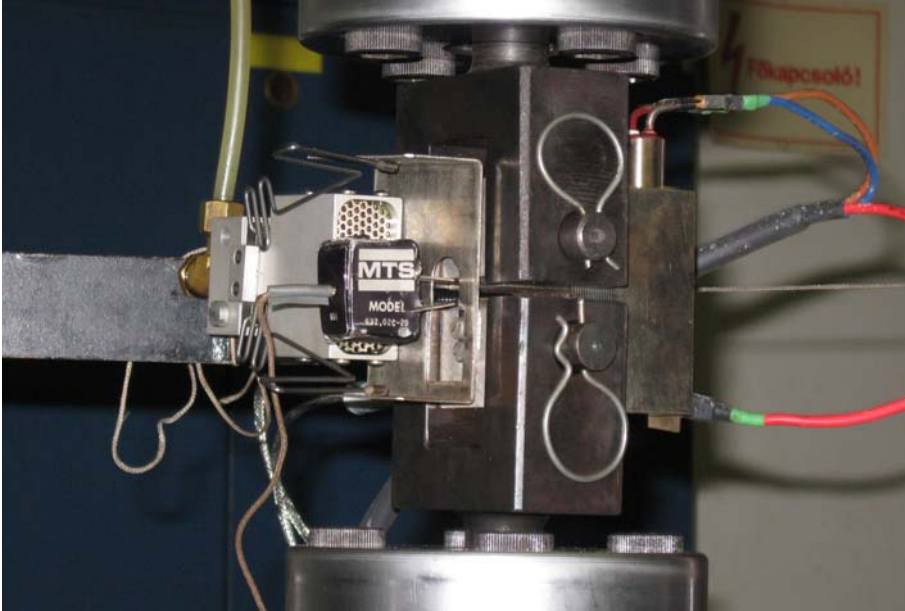
kimunkálásra. A próbatetek geometriáját és a furatok elhelyezkedését az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra. A vizsgálatokhoz használt furatos CT próbatetek geometriája.

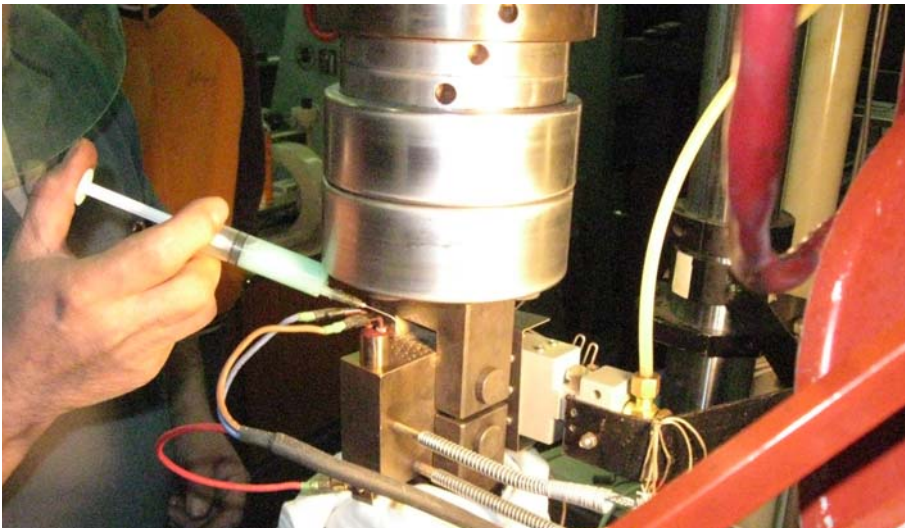
A vizsgálatokra különböző névleges hőmérsékleteken és különböző korróziós közegek injektálásával került sor. Az első csoport esetében a névleges hőmérsékletek 100 °C, illetve 300 °C voltak, a korróziós közeg összetétele pedig 30 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ + 10 g NaCl + 3 g NaOH 1 liter vízben volt. A második csoport esetében a névleges hőmérsékletek 23 °C (szobahőmérséklet) és 296 °C, illetve 325 °C voltak, a korróziós közeg pedig 10 % bórsavat és 2 % NaCl-ot tartalmazott.

A Mechanikai Technológiai Tanszéken több anyagvizsgáló rendszer áll rendelkezésre törésmechanikai vizsgálatok elvégzéséhez. Tekintettel a prognosztizált terhelésekre és pontossági igényekre, a vizsgálatokhoz az MTS gyártmányú elektro-hidraulikus anyagvizsgáló rendszer alkalmaztuk. A vizsgálatvezérlési lehetőségek közül [2], [3] mindig az adott feladat szempontjából legrelevánsabbat választottuk, esetenként kombinálva is azokat, amelyet a rendelkezésünkre álló eszközök (szétnyílásmérők) méréshatárai is determináltak. A szétnyílásmérők védelme érdekében sűrített levegős hűtést alkalmaztunk, továbbá a próbatetek homloklapfelülete elé egy hővédő elemet is felszereltünk, míg a fűtőpatronok védelme érdekében – kiegészítésül – fűjt meleg levegős hevítésre is sor került. A fűtőpatron hőmérsékletének szabályozására és a névleges vizsgálati hőmérséklet mérésére külön-külön termoelemeket használtunk. Az 2. ábra bal oldalán megfigyelhető a szétnyílásmérő, valamint a védelmére alkalmazott sűrített levegős hűtés és az eszköz próbatestttől való „elszigetelése”, jobb oldalán pedig a fűtőpatron elhelyezkedése.



2. ábra. A próbatetest elülső oldala vizsgálat közben.

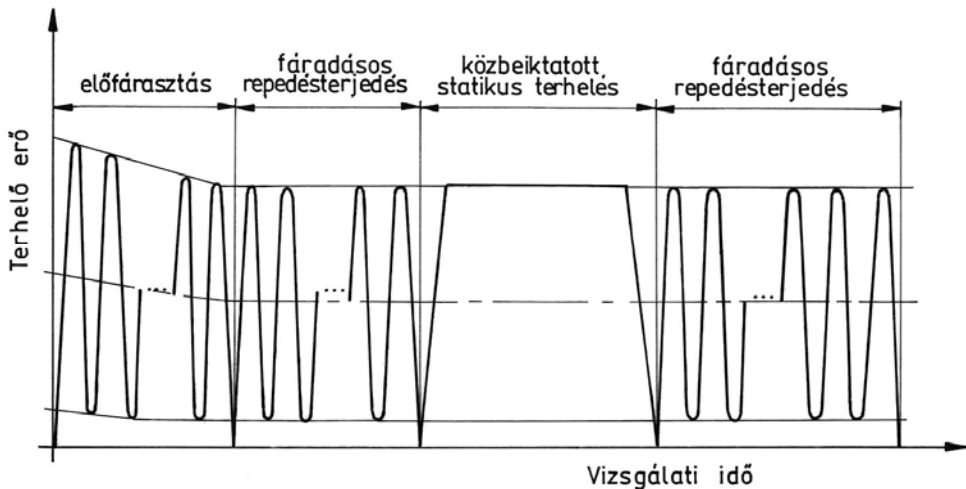
A 3. ábrán a vizsgálati közeg próbatesten kialakított furatokon át történő injektálását mutatjuk be, amelyet folyamatosan végeztünk. Tekintettel a törésmechanikai vizsgálatok azon sajátosságára, hogy azokra előfárasztott próbatesteken kerül sor, és az előfárasztás a vizsgálati szakasztól időben és hőmérsékletben egyaránt elválasztható, közeg injektálására csak a vizsgálati szakaszban került sor.



3. ábra. A vizsgálati közeg injektálása a próbatesten kialakított furatokon keresztül.

Az első csoportba tartozó próbatetek közül

- az FCG1_100 és az FCG6_100 jelű próbatetek vizsgálatára 100 °C-os névleges hőmérsékleten,
- az FCG4_300 jelű próbatest vizsgálatára 300 °C-os, az FCG5_290 és az FCG3_290 jelű próbatetek vizsgálatára 290 °C-os névleges hőmérsékleteken került sor;
- az FCG2_300_100 jelű próbatest vizsgálatát pedig 300 °C-os névlegesen hőmérsékleten kezdtük, majd – a fűtőpatron tönkremenetele miatt –100 °C-os névleges hőmérsékleten folytattuk, illetve fejeztük be.
- A stabil repedésterjedés, illetve repedéstompulás tanulmányozására az FCG7_100_3h és az FCG8_290_3h jelű próbatetekre került sor. A statikus terhelés közbeiktatásával fárasztott próbatetek „Terhelő erő” – „Vizsgálati idő” függvényét a 4. (elvi) ábra mutatja be. Az ábra érzékelteti, hogy az előfárasztás tartományában a vizsgálatvezérlő szoftver folyamatosan csökkenti a terhelő erő maximális és minimális értékét ($R =$ állandó). A paramétereket úgy hangoltuk össze, hogy a repedésterjedés szakaszában alkalmazott terhelés amplitúdó legyen azonos az előfárasztás végéhez tartozó terhelés amplitúdóval, továbbá a közbeiktatott statikus terhelés nagysága egyezzen meg a repedésterjedés szakaszában alkalmazott maximális erővel.



4. ábra. A statikus terhelés közbeiktatásával fárasztott próbatetek terhelési függvénye (elvi ábra).

A második csoportba tartozó próbatetek közül

- az FCG1_23 jelű próbatest vizsgálatára szobahőmérsékleten,
- az FCG2_296 és az FCG7_296 jelű próbatetek vizsgálatára 296 °C-os névleges hőmérsékleten,

- az FCG3_325 és az FCG4_325 jelű próbatestek vizsgálatára 325 °C-os névleges hőmérsékleten került sor;
- a hőmérséklet-változás befolyásoló hatásának tanulmányozására pedig az FCG5_296_325 és az FCG6_296_325 jelű próbatesteket használtuk.

A fáradásos repedésterjedési sebesség vizsgálatokat a [4] előírás alapján végeztük el, az alkalmazott vizsgálatvezérlési módnak (TestLink/TestWare [5], MicroProfiler [6]) mindig a feladat szempontjából optimális módot választottuk.

A terhelés aszimmetria tényező a teljes vizsgálati programban $R = 0,1$ értékű volt. Minden próbatest előfárasztására szobahőmérsékleten (23 °C) került sor, az alkalmazott vizsgálati frekvencia a próbatestek első csoportjában és az FCG1_23 jelű próbatest esetében $f = 20$ Hz, az összes többi próbatestnél pedig $f = 15$ Hz volt. A fáradásos repedésterjedés szakaszában – minden próbatest esetében – ugyanazt a vizsgálati frekvenciát alkalmaztuk, mint amit az előfárasztás során.

3. A vizsgálati eredmények és értékelésük

Az első csoportba tartozó próbatesteken elvégzett fáradásos repedésterjedési sebesség vizsgálatok legfontosabb adatait és eredményeit az 1. táblázat foglalja össze. Az FCG7_100_3h és az FCG8_290_3h jelű próbatestek adatainak első sora a statikus terhelés közbeiktatása előtti, második sora pedig az az utáni adatokat és eredményeket tartalmazza.

1. táblázat. Adatok és eredmények a próbatestek első csoportjában.

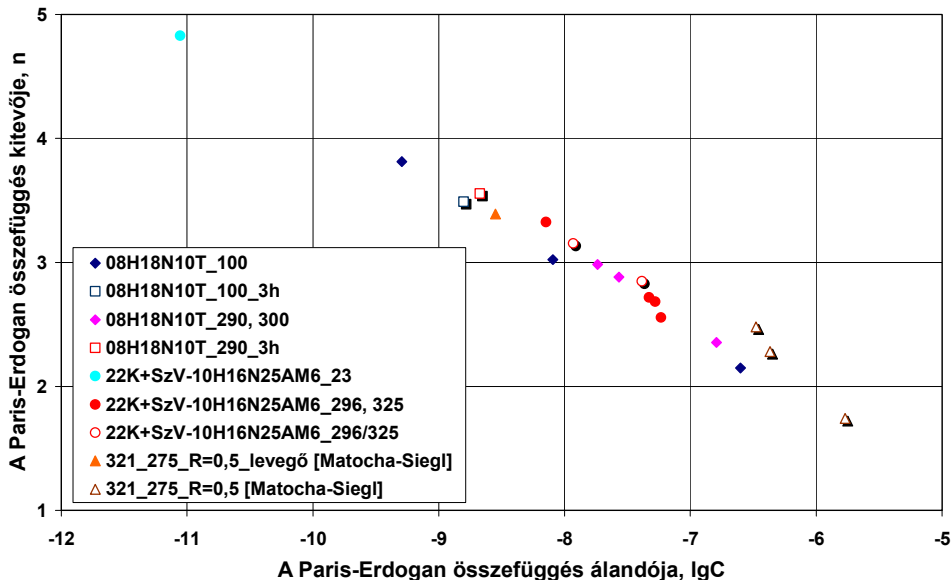
A próbatest jele	$T_{\text{vizsgálati}}$ [°C]	$N_{\text{vizsgálati}}$ [ciklus]	$a_{\text{befejező}}$ [mm]	$a_{\text{befejező}}/W$ [mm/mm]	$\Delta K_{\text{befejező}}$ [MPam ^{1/2}]
FCG1_100	98-103	168889	35,00	0,586	44,28
FCG2_300_100	98-105	48807	38,01	0,633	52,32
FCG6_100	98-101	199394	38,01	0,634	53,63
FCG7_100_3h	98-101	107436	23,01	0,383	23,90
		72864	38,01	0,633	53,37
FCG4_300	297-302	58714	38,04	0,634	51,52
FCG2_300_100	297-302	34051	23,00	0,383	23,72
FCG5_290	288-291	56521	37,75	0,629	48,57
FCG3_290	288-291	60997	37,94	0,631	51,40
FCG8_290_3h	288-291	36678	23,00	0,383	23,91
		40826	38,02	0,634	53,18

A második csoportba tartozó próbatesteken végrehajtott mérések legfontosabb adatait és eredményeit a 2. táblázat foglalja össze. Az FCG5_296_325 és az FCG6_296_325 jelű próbatestek adatainak egyes sorai a névleges hőmérsékleti lépcsőknek megfelelő adatokat és eredményeket tartalmaznak.

2. táblázat. Adatok és eredmények a próbatestek második csoportjában.

A próbatest jele	T _{vizsgálati} [°C]	N _{vizsgálati} [ciklus]	a _{befejező} [mm]	a _{befejező} /W [mm/mm]	ΔK _{befejező} [MPam ^{1/2}]
FCG1_23	23	251286	39,50	0,659	56,22
FCG2_296	296	63233	39,91	0,664	64,61
FCG7_296	296	54542	38,22	0,637	57,29
FCG3_325	325	46668	38,50	0,640	58,16
FCG4_325	325	46214	38,68	0,643	58,67
FCG5_296_325	296	26353	23,01	0,382	25,08
	325	11303	28,01	0,465	31,34
	296	8075	33,01	0,548	40,80
	325	2010	38,23	0,635	56,72
FCG6_296_325	296	17346	23,01	0,382	25,00
	325	8537	28,01	0,465	31,37
	296	6536	33,01	0,548	40,83
	325	1798	37,12	0,617	52,46

A fáradásos repedésterjedés kinetikai diagramjának meghatározására a „Repedésméret” – „Igénybevételi ciklusszám” görbékből, a hét ponton átmenő polinomos módszerrel [4] került sor. A kinetikai diagramokból, az összes adat felhasználásával („átlagolás”) és a legkisebb négyzetek módszerével, kiszámoltuk a Paris-Erdogan összefüggés [7] két paraméterét (C és n), amelyeket az 5. ábra foglal össze.



5. ábra. A vizsgálatok eredményei: Paris-Erdogan összefüggés paraméterei.

4. Összefoglalás

A próbatestbe integrált fűtőpatronnal kialakított, furatos CT próbatestek alkalmaznak fáradásos repedésterjedési sebesség vizsgálatok elvégzésére, növelt hőmérsékleten és korróziós közegben. A furatok befolyásoló hatásának teljesebb feltérképezése, az „átlagolás” alkalmazhatóságának igazolása, további elemzéseket (például VEM) és vizsgálatokat igényel.

A 08H18N10T ausztenites korrózióálló acél alapanyag fáradásos repedésterjedéssel szembeni ellenállása a két vizsgálati hőmérsékleten eltérő. A fáradásos repedésterjedés folyamatába közbeiktatott statikus terhelés ideje alatt az alacsonyabb névleges hőmérsékleten nem következett be sem stabil repedésterjedés, sem repedéscsúcs tompulás, a magasabb névleges hőmérsékleten azonban igen.

A fizikailag szimulált K-varratos hegesztett kötés (22K ötvözetlen acél SzV-10H16N25AM6 hegesztő hozaganyag), amelyben a repedés az ötvözetlen acél és az ausztenites párnaréteg között haladt, fáradásos repedésterjedéssel szembeni ellenállása a két vizsgálati hőmérsékleten nem eltérő. A hőmérséklet változása a repedésterjedéssel szembeni ellenállást érdemben nem befolyásolja.

Köszönetnyilvánítás

A kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával kezdődött meg, illetve folytatódik.

Irodalomjegyzék

- [1] ASTM E 616: *Standard Terminology Relating to Fracture Testing*.
- [2] Lukács, J., Lovas, J.: *Az MTS TestLink rendszerével vezérelt anyagvizsgálati mérések és azok kiértékelési módszerei*, Anyagvizsgálók Lapja, 1. évfolyam, 1. szám, 1991. p. 3-5.
- [3] Major, Z.: *Az MTS TestStar rendszerével szerzett tapasztalatok*, Anyagvizsgálók Lapja, 3. évfolyam, 1. szám, 1993. p. 16-17.
- [4] ASTM E 647: *Standard Test Method for Measurement of Fatigue Crack Growth Rates*.
- [5] *759 TestWare, 759.40 Crack growth test*. Software Version 1.02A. MTS Document Number: 115725-02A, MTS Systems Corporation, Minneapolis, Minnesota, 1988.
- [6] *MicroProfiler Modell 458.91*. MTS Systems GmbH, Berlin, 115689-01CD, Ferbruary 1989.
- [7] Paris, P., Erdogan, F.: *A critical analysis of crack propagation laws*. *Journal of Basic Engineering*, Trans. of the ASME, December 1963. p. 528-534.