

KISCIKLUSÚ FÁRASZTÁSNÁL MEGHATÁROZOTT MÉRŐSZÁMOK MEGBÍZHATÓSÁGA

RELIABILITY OF THE MATERIAL CHARACTERISTICS EVALUATED ON LOW CYCLE FATIGUE TESTING

Nagy Gyula, Dobosy Ádám**, Lukács János****

ABSTRACT

The publication presents the analysis of the reliability of the measured parameters during the low cycle fatigue test with the elaboration a big amount of results. Establish that the standard deviation of the full and the plastic strain amplitude remain under 1% or 2%. The standard deviation coefficients of the stress amplitude were smaller than the other stress-like parameters determined by material testing. The standard deviation coefficients of the cycles to the failure were relatively large, located between 8% and 15%. The standard deviation coefficients of the invested total plastic deformation work until failure located between 7% and 16%, and the plastic deformation work invested in single cycle located between 2% and 7%.

1. 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 a gyártókat, hogy az ésszerű kockázatvállaláson belül növeljék a terhelhetőséget. Ugyanakkor, a folyáshatárra elvégzett helyes méretezés mellett is számolni kell a szerkezeti elemek, alkatrészek egyes helyeinek túlterhelésével, amelyek a szívós anyagok képlékeny alakváltozását okozzák. Abban az esetben, ha a kedvezőtlen hatások többször ismétlődnek, a képlékeny alakváltozások is ismétlődnek, ami végül is viszonylag kisszámú igénybevétel után repedések kialakulásához, majd töréshez vezethet.

A jelentős technikai fejlődés következménye az is, hogy egyes berendezéseket a gyors erkölcsi elavulás miatt viszonylag rövid élettartamra célszerű tervezni. A méretezés tekintetében ez azt is jelenti, hogy a terhelések során megengedik a folyáshatárt meghaladó

feszültségek fellépését, azok korlátozott számú ismétlődését, számolnak a kisciklusú fáradás bekövetkezésének lehetőségével. Természetesen e méretezési szemlélettel elérhető, hogy a termékek, szerkezetek tömege, ára kisebb lesz.

A gyártás során alkalmazott technológiák esetén is előfordul a képlékeny alakváltozás ismétlődése, amelynek korlátozott volta a termék előállítását akadályozhatja.

A méretezés, az ellenőrzés, illetve a gyártástervezés alapkövetelménye, hogy a tervezők rendelkezésére álljanak olyan, anyagjellemzők, anyagi mérőszámok, amelyek megfelelően kifejezik a felhasznált anyag teherbíró képességét. E mérőszámok meghatározása az anyagvizsgálat feladata. Az anyagjellemzők, anyagi mérőszámok egységes meghatározása megköveteli azt, hogy a vizsgálatok gondosan körülhatárolt feltételek mellett folyjanak. Ezt az anyagvizsgálati módszerek szabványosításával lehet biztosítani [1, 2]. A vizsgálatokból meghatározható és méretezésnél, ellenőrzésnél felhasználható adatok tekintetében a szabványosítás mellett sem egységes a szakirodalom [3, 4]. Még kevesebb információ áll rendelkezésre a különböző mérőszámok meghatározásának pontosságáról, megbízhatóságáról. Mindezeket szem előtt tartva, jelen tanulmány célja az egyes mérési eredményekből meghatározott mérőszámok, méretezési, ellenőrzési adatok bizonytalanságának elemzése.

2. A KISCIKLUSÚ FÁRASZTÁS EREDMÉNYEINEK ÉRTÉKELÉSI LEHETŐSÉGEI

A próbatesteken végzett mérésekből, illetve a regisztrált hiszterézis görbékből a következő adatokat, illetve azok egy részét célszerű meghatározni [5]:

- teljes alakváltozás (nyúlás) amplitúdó, (ϵ_a);
- rugalmas alakváltozás (nyúlás) amplitúdó, (ϵ_{ae});
- képlékeny alakváltozás (nyúlás) amplitúdó, (ϵ_{ap});
- tönkremeneteli kritériumhoz tartozó igénybevételi szám (N_f);
- feszültség amplitúdó, (σ_a). A fáradási keményedés/lágyulás miatt ez folyamatosan változik a ciklus-

* ny. egyetemi docens

** PhD hallgató

*** egyetemi tanár

szám függvényében; ezért a $\sigma_a = f(N)$ kapcsolat megadása a feladat;

- feszültség amplitúdó az élettartam 50 %-ánál, (σ_{a50});
- a fárasztás során bevitt képlékeny alakváltozási munka (W_o, W_r),
- a fárasztás során egy ciklusba bevitt képlékeny alakváltozási munka (W_e).

Tekintettel arra, hogy a kisciklusú fárasztás során az anyagban bekövetkező mikroszerkezeti változások, diszlokációs folyamatok, a mikrorepedések keletkezése és azok növekedése rendszerint összetett, bonyolult folyamat [3], általános leírásukra ma még nem áll rendelkezésünkre megfelelő modell. Az egy-egy részterület leíró, biztatonak nevezhető, kezdeti fizikai modellek pedig nem teszik lehetővé az anyagok makroszkópi viselkedésének leírását. Ennek következménye, hogy az anyagok kisciklusú fárasztása alatt mutatott viselkedésének makroszkópi leírására döntően empirikus összefüggések használatosak. Attól függően, hogy a kisciklusú fárasztást milyen körülmények között végezték, mely tényezők hatása meghatározó a vizsgálati eredményekre, nagyszámú összefüggés született. E munkában csak az állandó nyúlás amplitúdójú vizsgálatoknál meghatározható mennyiségek megbízhatóságának kérdéskörével foglalkozunk. E mérőszámok még mindig két csoportba sorolhatók, egyrészt a képlékeny alakváltozás amplitúdóra (tartományra) épülő, másrészt a képlékeny alakváltozási munkára épülő módszerekre.

2.1. KÉPLÉKENY ALAKVÁLTOZÁS AMPLITÚDÓRA ÉPÜLŐ ÉRTÉKELÉSI MÓDSZEREK

A szobahőmérsékleten használható kisciklusú fárasztásnál alkalmazott Manson-Coffin empirikus összefüggés még ma is a legszélesebb körben elterjedt modell annak ellenére, hogy 1954-ben ismertették. Ennek alakváltozás amplitúdóra értelmezett formája:

$$\varepsilon_{ap} = \varepsilon_f' \cdot N_t^c, \quad (1)$$

ahol ε_f' és a c a mérési eredményekből meghatározható jellemzők.

Az összefüggés jó közelítést csak bemetszés nélküli, hengeres próbatestek állandó amplitúdójú és frekvenciájú terhelésénél ad [6]; az eredményeket további számos tényező befolyásolja [1,3].

A mért értékeket rendszeresen kiegészítik a rugalmas alakváltozásra vonatkozó adatokkal is. Mivel a rugalmasan alakváltozásnál érvényes a Hooke-törvény, a feszültség amplitúdó segítségével a rugalmas alakváltozás amplitúdó számítható.

A rugalmas nyúlás amplitúdó a tönkremeneteli ciklusszám függvényében a következő alakban írható fel:

$$\varepsilon_{ae} = \frac{\sigma_f'}{E} \cdot N_t^b, \quad (2)$$

ahol σ_f' és b a mérési eredményekből meghatározható jellemzők.

A teljes alakváltozás amplitúdó (ε_a) a rugalmas és a képlékeny alakváltozás amplitúdók összege:

$$\varepsilon_a = \varepsilon_{ae} + \varepsilon_{ap} = \frac{\sigma_f'}{E} \cdot N_t^b + \varepsilon_f' \cdot N_t^c. \quad (3)$$

Az alakváltozás amplitúdók meghatározásához még azt a kiegészítést kell tenni, hogy a rugalmas alakváltozás amplitúdó értékét, amely viszonylag kicsi és a mérésnél felrajzolt hiszterézis görbékből a meghatározása bizonytalan, a feszültség amplitúdóból számítjuk [5]; a képlékeny alakváltozás amplitúdót pedig az

$$\varepsilon_{ap} = \varepsilon_a - \varepsilon_{ae} \quad (4)$$

képletből.

A kisciklusú fárasztás eredményei információt adnak az anyag fáradási keményedéséről és/vagy lágyulásáról is [6]. Állandó teljes alakváltozás amplitúdóval fárasztott próbatesteknél a feszültség amplitúdó változása miatt a ciklikus folyásgöbét az élettartam 50%-ához tartozó feszültség amplitúdók értékéből határozzuk meg.

A képlékeny alakváltozás amplitúdóra (tartományra) épülő modellek sokfélesége jelzi azt, hogy használhatóságuk korlátozott [7]. Ugyanakkor, ezen mennyiségek fél évszázados alkalmazása során rengeteg tapasztalat halmozódott fel egyrészt a szerkezetek méretezése, ellenőrzése, másrészt pedig a mérőszámok, összefüggések megbízhatósága tekintetében. A méretezés, ellenőrzés megbízhatóságát tovább növelné, ha ismert, illetve nagy lenne a meghatározott mérőszámok megbízhatósága. E tekintetben már vannak vizsgálati eredmények a szakirodalomban, de azok szisztematikus elemzése, kiegészítése mindenképpen indokolt.

2.2. KÉPLÉKENY ALAKVÁLTOZÁSI MUNKÁRA ÉPÜLŐ MÓDSZEREK

Az értékelési és az élettartam meghatározási módszerek másik csoportjába a képlékeny alakváltozási munkára épülő módszerek tartoznak. Ezek közül kiemelendő a Feltner és Morrow által javasolt összefüggés, amely a hiszterézis görbe alatti terület leírásával határozza meg az egy ciklusban felhalmozott képlékeny alakváltozási munkát:

$$\Delta W = 4\sigma_a \varepsilon_{ap} / (1 + m). \quad (5)$$

A kifejezésben a ΔW az egy ciklusba bevitt képlékeny alakváltozási munka, a σ_a a feszültség amplitúdó, az ε_{ap} a képlékeny alakváltozás amplitúdó, az m pedig a hiszterézis görbe egy-egy szakaszát leíró hatványfüggvény kitevője [8].

Használatos még az Ostergren alkotta összefüggés [9], az egy ciklusban felhalmozott energia leírására.

E munkát a tönkremeneteli ciklusszámmal szorozva, a tönkremenetelig befektetett képlékeny alakváltozási munka meghatározható.

A számítástechnika fejlődésével és az anyagvizsgálat területén való alkalmazásával lehetőség adódott a hiszterézis görbék digitális formában történő letárolására, amelyek felhasználásával a hurkok alatti terület és ezzel a képlékeny alakváltozási munka közvetlenül meghatározhatóvá vált. Ennek következtében az előző összefüggések jelentősége csökken. A nagy mennyiségű mérési adat gyűjtésének korlátai miatt gyakran nem az összes hiszterézis görbét, hanem csak a reprezentatív ciklusok görbéit tárolják le. Ezeket a görbéket azon megfontolás alapján választják ki, hogy a fárasztás kezdetén és végén intenzíven változnak az adatok, ott minden hurok rögzítése indokolt. A későbbiek során a letárolt hurkok száma csökkenthető, például elegendő minden tizedik, majd minden századik mentése.

Az első csoportba sorolt modellekhez (képlékeny alakváltozás amplitúdóra épülő értékelési módszerekhez) képest előnye a képlékeny alakváltozási munkára épülő összefüggéseknek, hogy mérőszámaik fizikailag megalapozottabbak. Ugyanakkor újabb kérdések is felvetődnek. Például, az hogy az összes és a reprezentatív ciklusok hiszterézis görbéi felhasználásával meghatározott képlékeny alakváltozási munkák azonosnak tekinthetők-e, vagy sem. Ugyancsak kérdéses a képlékeny alakváltozási munka, illetve a kisciklusú fárasztás további mérőszámai meghatározásának megbízhatósága. Jelen közleményben e kérdések megválaszolására helyezük a fő hangsúlyt.

3. A KISCIKLUSÚ FÁRASZTÁS MÉRÉSI EREDMÉNYEINEK MEGBÍZHATÓSÁGA

Az előző két pontban felvetett kérdések megválaszolása érdekében több vizsgálatorozatot is végeztünk, amelyek eredményeiről a következőkben számolunk be, bemutatva a mért jellemzők meghatározásának megbízhatóságát, mérési bizonytalanságát.

3.1. VIZSGÁLT ÖTVÖZETEK ÉS JELLEMZŐI

A vizsgált ötvözetek kémiai összetételét, illetve a szabvány által előírt összetétel tartományait három táblázatban foglaltuk össze. Az 1. táblázatban két acél műbizonylat szerinti összetétele látható. A 2. táblázat további két acélminőségénél a szabványban előírt kémiai összetétel határértékei találhatóak. A 3. táblázat az AlMg3 jelű alumíniumötvözet műbizonylatban szereplő vegyi összetételét szemlélteti.

Valamennyi vizsgált ötvözetből szakító próbatestet munkáltunk ki és elvégeztük azok szabványos szakítóvizsgálatait. A vizsgált ötvözetek szakítóvizsgálattal meghatározott jellemzőit a 4. táblázat mutatja.

A bemutatott táblázatok alapján megállapítható, hogy a különböző felhasználási célú acélokon kívül egy nem nemesíthető alumínium ötvözet is található a vizsgált anyagok között. A vizsgálatokba bevont ötvözetek ilyen spektruma lehetővé teszi a mérésekből levont következtetések általánosíthatóságát.

Az acélminőség jele	C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	V	Cr	Mo
KL7D ⁽¹⁾	0,17	0,24	1,31	0,020	0,036	0,049	–	0,01	0,11	0,02
DX52 ⁽²⁾	≤0,18	0,15-0,20	≤1,50	≤0,030	≤0,035	–	–	≤0,06	≤0,25	–

⁽¹⁾ Ni = 0,08%, Ti = 0,0017%, Cu = 0,26%.

⁽²⁾ Cu ≤ 0,30%.

1. táblázat. A vizsgált acélok kémiai összetétele (tömeg%).

Az acélminőség jele	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo
42 CrMo 4	0,38-0,45	0,6-0,9	max. 0,4	max. 0,035	max. 0,035	0,9-1,2	0,15-0,3
16 MnCr 5	0,14-0,19	1,00-1,30	max 0,40	max. 0,035	max. 0,035	0,80-1,10	

2. táblázat. A vizsgált acélok szabvány szerinti kémiai összetétele (tömeg%).

Anyagminőség jele	Si	Cu	Fe	Mn	Mg	Ti	Cr	Zr	Zn
AlMg3 ⁽¹⁾	0,179	0,022	0,310	0,2770	2,950	0,040	0,0430	0,0012	0,044

⁽¹⁾ Pb = 0,009%, Bi = 0,0150%, Be = 0,0018%, Al = 96,1170%.

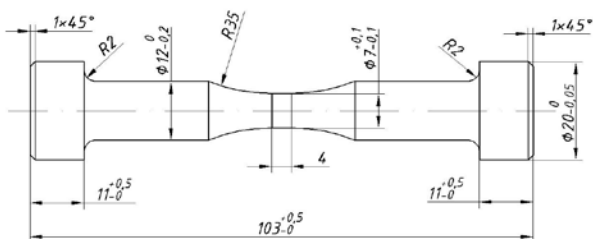
3. táblázat. Az alumíniumötvözet kémiai összetétele (tömeg%).

Anyagminőség jele	Folyáshatár, N/mm ²	Szakítószilárdság, N/mm ²	Szakadási nyúlás, %	Keresztmetszet csökkenés, %
KL7D	392	535	≥19,0	–
DX52	396	543	25,0	71,0
42 CrMo 4	396	633	–	56
16 MnCr 5	372	629	27,3	67
AlMg3	127,7	217,9	27,0	–

4. táblázat. A szakítóvizsgálatok eredményei

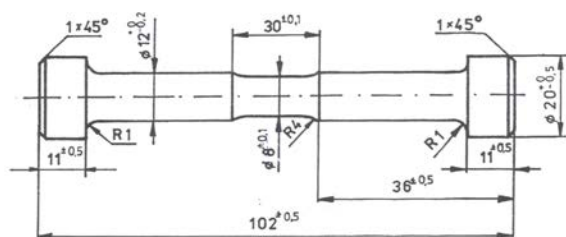
3.2. VIZSGÁLATNÁL ALKALMAZOTT KISCIKLUSÚ FÁRASZTÓ PRÓBATESTEK

A próbatesteket melegen hengerelt féltermékekből munkáltuk ki. A vizsgálatokhoz különböző típusú és méretű próbatesteket használtunk. Az 1. ábrán rövid hengeres szakasszal rendelkező próbatest rajza látható.



1. ábra. Rövid, hengeres szakaszú próbatest.

A 2. ábra az alkalmazott hengeres vizsgálati szakasszal rendelkező próbatestet szemlélteti, amelynél rövid mérőhosszúságú axiális extenzométert lehet alkalmazni.



2. ábra. Hengeres vizsgálati szakaszú próbatest.

3.3. A VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI

Az összes és a reprezentatív hiszterézis görbék területéből számított képlékeny alakváltozási munkák azonosságának elemzésére KL 7 D és DX 52 acélból készült próbatesteken végeztünk vizsgálatokat, $\varepsilon_{a1} = 0,01$ és $\varepsilon_{a2} = 0,005$ teljes alakváltozás amplitúdóval, szobahőmérsékleten.

A mérések során regisztráltuk az összes hiszterézis görbét és azok területéből meghatároztuk a tönkremenet-

telig befektetett képlékeny alakváltozási munkát, minden próbatesten.

Ugyanezen próbatestek reprezentatív hiszterézis görbéinek (1, 2, ..., 10, 20, ..., 100, 200, ..., 1000, 2000, ..., N_f-2000 , N_f-1000 , ..., N_f-200 , N_f-100 , ..., N_f-20 , N_f-10 , ..., N_f-2 , N_f-1 , N_f) felhasználásával is kiszámoltuk a tönkremenetelig befektetett képlékeny alakváltozási munkát. Számítottuk továbbá az egyes mért munkák átlagát, szórását és szórási együtthatóját is. Az eredményekből – terjedelmi korlátok miatt – csak a KL 7 D acélminőség $\varepsilon_{a1} = 0,01$ teljes alakváltozás amplitúdóhoz tartozó adatait mutatjuk be az 5. táblázatban.

A hat-hat próbatesten, kétféle módon meghatározott munkák azonosságát Wilcoxon próbával ellenőriztük. Megállapítottuk, hogy az összes hiszterézis görbe és a reprezentatív hiszterézis görbék felhasználásával meghatározott képlékeny alakváltozási munkák értéke mindkét teljes alakváltozás amplitúdó esetén azonos 95%-os szignifikancia szinten. Arra is fel kellett figyel-nünk, hogy a tönkremeneteli ciklusszámok és a kétféle módon meghatározott munkák adatai nagy szórást mutatnak és a szórási együtthatók is nagyok. Ezért meghatároztuk az egy ciklusba bevitt átlagos munkákat, azok szórását, szórási együtthatóját is (6. táblázat). Az egy ciklusban bevitt átlagos képlékeny alakváltozási munkák szórása és szórási együtthatója lényegesen kisebb, mint az összes ciklusban felhalmozott képlékeny alakváltozási munkáké.

A DX 52 acélminőség esetén a meghatározott jellemzőkre, azok szórására hasonló megállapításokat tehetünk.

A kisciklusú fárasztás szabályozási és további mérési eredményeinek megbízhatóságát külön kísérlet sorozattal kívántuk meghatározni. Ennek érdekében 16 MnCr 5 acélminőségéből készült hengeres próbatesteket fárasztottunk, $\varepsilon_{a1} = 0,005$ névleges nyúlás amplitúdóval. Az öt próbatesten mért jellemzők nagyságát, azok átlagát, szórását és szórási együtthatóját a 7. táblázatban foglaltuk össze.

Próbatest	Teljes alakváltozás amplitúdó	Tönkrementeli ciklusszám	Reprezentatív ciklusokból számolt munka MJ/m ³	Összes ciklusból számolt munka, MJ/m ³
1	0,01	790	9829	8830
2	0,01	915	11775	10457
3	0,01	775	10443	10054
4	0,01	871	11222	10787
5	0,01	1003	13029	12510
6	0,01	735	9530	9145
Átlag		848	10971	10297
Szórás		100,5	1312	1319
Szórási együttható		11,85	11,96	12,81

5. táblázat. A KL 7 D acél képlékeny alakváltozási munkái.

Próbatest	Teljes alakváltozás amplitúdó	Tönkrementeli ciklusszám	Reprezentatív ciklusokból számolt egy ciklus munkája, MJ/m ³	Összes ciklusból számolt egy ciklus munkája, MJ/m ³
1	0,01	790	12,44	11,18
2	0,01	915	12,87	11,43
3	0,01	775	13,47	12,97
4	0,01	871	12,88	12,38
5	0,01	1003	12,99	12,47
6	0,01	735	12,97	12,42
Átlag		848	12,94	12,14
Szórás		100,5	0,33	0,6869
Szórási együttható		11,85	2,55	5,66

6. táblázat. A KL 7 D acélminőség egy ciklusba bevitt képlékeny alakváltozási munkái.

Próbatest	Teljes alakváltozás amplitúdó	Képlékeny alakváltozás amplitúdó,	Tönkrementeli ciklusszám	Feszültség amplitúdó, N/mm ²	Reprezentatív ciklusokból számolt munka, MJ/m ³	Egy ciklusba bevitt munka, MJ/m ³
1	0,005001	0,002887	2151	435,6	8474	3,940
2	0,005064	0,002946	2252	436,2	8492	3,771
3	0,005075	0,003016	2450	424,2	9041	3,690
4	0,005130	0,003039	2920	430,8	11177	3,828
5	0,005089	0,002990	2978	432,4	11407	3,830
Átlag	0,005072	0,002976	2550	431,8	9718	3,812
Szórás	0,000042	0,000054	340	4,31	1303	0,082
Szórási együttható, %	0,823440	1,813504	13	0,998	13	2,148

7. táblázat. A 16 MnCr 5 acélminőségen mért fáradási jellemzők.

A képlékeny alakváltozási munkák azonosságának vizsgálatára korábban már bemutatott KL 7 D acélminőségen végzett kisciklusú fáradtévizsgálatok adataiból kigyűjtöttük a tönkrementeli ciklusszámokat és a feszültség amplitúdók nagyságát is. Meghatároztuk azok szórását és szórási együtthatóját (8. táblázat). A vizsgálatokat két különböző terhelési függvénnyel (szinusz, háromszög), két teljes alakváltozás amplitúdóra vezérelve végeztük.

Az utolsó két mérési sorozat bemutatott eredményei alapján megállapítható, hogy a nyúlás amplitúdók és a feszültség amplitúdók relatív szórása kicsi, a tönkrementeli ciklusszámoké pedig viszonylag nagy érték.

A közlemény megállapításait a további, terjedelmi korlátok miatt be nem mutatott, eredményekre is figyelemmel fogalmazzuk meg.

Terhelési függvény alakja	Teljes nyúlás amplitúdó	Képlékeny nyúlás amplitúdó	Tönkremeneteli ciklusszám,			Feszültség amplitúdó, N/mm ²		
			átlag	szórás	szórási együttható, %	átlag	szórás	szórási együttható, %
szinusz	0,01	0,00790	716	54,75	7,65	440	2,05	0,47
háromszög	0,01	0,00789	813	89,65	11,03	444	1,00	0,23
szinusz	0,05	0,00323	3592	84	2,34	371	2,55	0,69
háromszög	0,05	0,00323	3898	367	9,42	372	1,30	0,35

8. táblázat. A KL 7 D acélminőségen mért fáradási jellemzők.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A kisciklusú fárasztóvizsgálatok mérőszámainak megbízhatóságára végzett célirányos mérések eredményei alapján a következő főbb megállapítások fogalmazhatók meg.

1. Az összes hiszterézis görbe és a reprezentatív hiszterézis görbék felhasználásával meghatározott képlékeny alakváltozási munkák értéke 95%-os szignifikancia szinten azonos.
2. A különböző minőségű acélokon mért, tönkremenetelig befektetett összes képlékeny alakváltozási munkák relatív szórása 7% és 16% között változott, ami megfelel más, az anyagvizsgálatban alkalmazott munka jellegű mérőszámok hasonló értékeinek.
3. Az egy ciklusban felhalmozott átlagos képlékeny alakváltozási munkák relatív szórása 2% és 7% közötti, tehát lényegesen kisebb, mint az összes munkára jellemző érték.
4. Az összes képlékeny alakváltozási munkák meghatározási bizonytalansága nagy valószínűséggel azért nagyobb, mint az egy ciklusba bevitt képlékeny alakváltozási munkáké, mert a tönkremeneteli ciklusszámok jelentős szórást mutatnak.
5. A tönkremeneteli ciklusszámok szórási együtthatója viszonylag nagy, 8-15% között változik, de elmarad a nagyciklusú fárasztásnál tapasztalt értékektől.
6. A vezérelt teljes alakváltozás amplitúdó nagyságát a vizsgálatok alkalmával a szabvány által előírt 1%-nál pontosabban tartotta a berendezés. A képlékeny nyúlás amplitúdó szórása kismértékben meghaladta a teljes alakváltozás amplitúdóét, ami érthető is, ha figyelembe vesszük, hogy ez egy számított mennyiség és tartalmazza a feszültség amplitúdó mérésének bizonytalanságát is.
7. A feszültség amplitúdók szórási együtthatója kisebb, mint az anyagvizsgálat által meghatározott más feszültség jellegű mérőszámoké (folyáshatár, szakítószilárdság).

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A közleményben ismertett kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt eredményeire alapozva a TÁMOP-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0029 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

IRODALOM

- [1] Ispytanija pri malociklovom nagruzenii. Tekhnicheskije materialy po standarizacii, Moskva, 1980.
- [2] ASTM E606 / E606-12: Standard Test Method for Strin-Contrilled Fatigue Testing.
- [3] Szemelvények a mérnöki szerkezetek integritása témaköréből. Szerk.: Lukács, J. Miskolci Egyetem, Miskolc, 2012.
- [4] Dobosy, Á.: Hegesztett kötések kisciklusú fárasztóvizsgálata. BSc szakdolgozat, témavezető: Nagy, Gy., 2011.
- [5] Czoboly, E.; Ginsztler, J.; Havas, I.: Ismeretek a kisciklusú és a termikus fáradásról. Gép, 1984/7. p.241-253.
- [6] Nagy, Gy.: A próbatest alakjának hatása a törés helyére kisciklusú fárasztáskor. Kandidátusi értekezés, Miskolc, 1988.
- [7] Bakos, T., Nagy, Gy.: The characteristics of low cycle fatigue and their possible development. microCAD 2004. International Scientific Conference, 18-19 March 2004. Section C.: Material Science, Miskolci Egyetem Innovációs és Technológiai Transzfer Centrum, Miskolc, 2004. p. 1-5.
- [8] Radhakrishnan, V. M.: Damage Accumulation and Fracture Life in High-Temperature Low-Cycle Fatigue. ASTM STP 770, ASTM 135-152.
- [9] Klesnil, M., Lukas, P.: Fatigue of Metallic Materials. Academia, Prague, 1980.