

Átmérővezérelt kisciklusú fárasztóvizsgálat

Rózsahegy Péter*

Bevezetés

Ágyszerűen alkalmazott berendezéseket, gépipari alkatrészeket folyáshatárra méretezik. A számítási módszerek pontosságának növekedésével a tervezők – gazdasági megfontolások alapján – a biztonsági tényezők csökkentésére törekednek. Ez azonban azt eredményezheti, hogy a szerkezetben néhány kedvezőtlen hatás miatt (pl.: folytonossági hiányok, hegesztési varratokban és azok környezetében a maradó feszültségek, feszültséggyűjtő helyek) a folyáshatárnál nagyobb feszültség is jeleníthat. Az egyszerű túlterhelés még kedvezően is befolyásolhatja az anyag teherbíró képességét, mivel keményedő anyagoknál a folyáshatár növekedését eredményezi és a feszültségeloszlás átrendeződését okozhatja, ami a maradó feszültségek leépülésével járhat [1][2]. A folyáshatár feletti ismétlődő terhelés azonban az anyag idő előtti károsodásához, töréséhez vezet. Ezért az olyan szerkezetek méretezésénél, amelyeknél a fent említett káros hatások nagy valószínűséggel a szerkezetben a folyáshatár feletti terhelést eredményezik, nem elég csak a folyáshatárra történő méretezést elvégezni, hanem szükséges a fáradási élettartam meghatározása. A fárasztóvizsgálatok két típusát különböztetjük meg, úgymint kisciklusú fárasztóvizsgálat, amelynél az élettartam 10^4 ciklus alatti és nagyciklusú fárasztóvizsgálat, amelynél az élettartam 10^4 feletti. Az előzőnél a terhelés a folyáshatárnál nagyobb, míg az utóbbinál folyáshatár alatti. Természetesen a két vizsgálati típus között nincs éles határ [1].

A Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszék laboratóriumában már régóta végzünk kisciklusú fárasztóvizsgálatokat az „Anyagok károsodásának mechanizmusai emelt hőmérsékleten” című, OTKA T4408 számú kutatómunka keretében. A vizsgálatokhoz hengeres kialakítású próbatesteket használtunk, ahol az axiális irányú alakváltozást mértük. A hengeres próbatest használatának azonban van egy nagy hátránya. Minthogy kisciklusú fárasztásnál, erővezérlés esetén a terhelő erőt, nyúlásvezérlés esetén az alakváltozási amplitúdót úgy választjuk meg, hogy a feszültségmaximum a folyáshatár felett legyen, a nagy nyomóoldali terhelés miatt a hengeres próbatest érzékeny lesz a kihajlásra. Ebben az esetben az egytengelyű feszültségállapot már nem áll fenn, ami a próbatest idő előtti töréséhez vezet. Ezért célszerű olyan próbatestet használni, amelynek csökkenthetjük ezt a veszélyt. Ennek a problémának a kiküszöbölésére tóruszos profilú próbatestet használtunk, amelynél a radiális irányú alakváltozást mértük [3]. A tóruszos próbatest használata azonban mérés- és vizsgálattechnikai problémákat vet fel.

a) Nem használható hossznyúlásmérő, mivel az csak hengeres felületre rakható fel.

b) Az MTS által készített vezérlő szoftver csak axiális irányú nyúlásvezérlésre alkalmas.

c) Magyarországon még nincs olyan számítógéppel támogatott berendezés, amely alkalmas lenne átmérővezérelt kisciklusú fárasztóvizsgálatok elvégzésére.

Ebben a tanulmányban ezen problémák megoldásával és az átmérővezérelt kisciklusú fárasztóvizsgálat egy lehetséges megvalósításával foglalkozom, részletesen tárgyalva a hardver és szoftver környezetet és a rajtuk végzett változásokat.

Vizsgálóberendezés

A vizsgálatokhoz 25 tonnás MTS gyártmányú elektro-hidraulikus univerzális anyagvizsgáló berendezést használtunk, melyet egy, szintén az MTS cég által készített szoftver vezérel. A berendezés elvi felépítését a [3] tanulmányban ismertettük.

A számítógéppel vezérelt rendszer fő egységei a hidraulikus tápegység, a vezérlőszekrény, a nagy merevségű terhelőkeret és a számítógép, amely a vizsgálat vezérlését végzi, valamint egy 16 bites, 4 csatornás adatgyűjtő kártyán keresztül az adatgyűjtést. Ezenkívül az RS 232-es soros vonalon keresztül programozza a MicroProfiler-t.

A rendszer egy zárt szabályozókört alkot, ahol a vezérelt változó lehet a hidraulikus dugattyú elmozdulása, az erő, amivel a próbatestet terheljük, vagy a nyúlás, ami a próbatest valamilyen terhelés hatására létrejövő alakváltozása (esetünkben ez lehet a próbatest axiális vagy radiális irányú alakváltozása). A szabályozókör egyszerűsített vázlatát az 1. ábra mutatja.

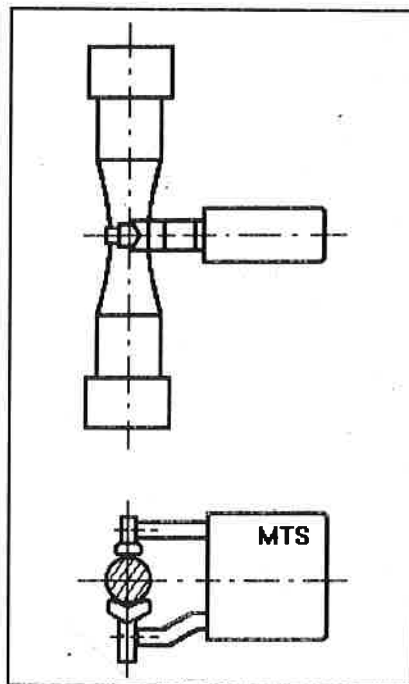
A szabályozókörnek, függetlenül attól, hogy melyik a vezérelt változó, a következő a működése.

A szoftver, a felhasználó által megadott paraméterek alapján programoz egy elektronikus függvénygenerátort, a MicroProfiler-t, amely előállítja a terhelés jellegét meghatározó alapjelet (x_a). A vezérlőjel (x_v) az alapjel és az ellenőrző jel (x_e) különbsége. Az ellenőrző jel egy mért paraméter (x_m) megfelelően felerősített jele, amely lehet az erőmérőcella (erővezérlés esetén), az útdadó (elmozdulásvezérlés esetén), vagy egy nyúlásmérő jele (nyúlásvezérlés esetén), attól függően, hogy milyen típusú vezérléssel végezzük a vizsgálatot. Egy PID szabályozó

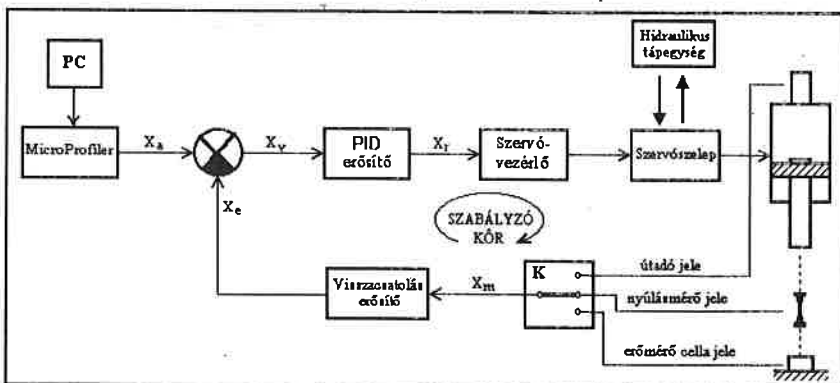
állítja elő a rendelkező jelet (x_r), amely egy szerelőszelvép vezérel. A szelep a hidraulikus dugattyúba ki- és beáramló olaj mennyiségét határozza meg.

Az átmérőmérés

Hengeres próbatestet használva a képlékeny alakváltozás a próbatest teljes hosszára kiterjed. Nyúlásmérőt felszerelve a vizsgálati hossz nyúlásváltozását mérjük (ΔL). Tóruszos próbatest esetében a képlékeny alakváltozás a legkisebb átmérőre korlátozódik. Az erre szerelt hossznyúlásmérő átlagos alakváltozást mérne. Az axiális irányú alakváltozás mérése helyett valamilyen más módot kellett találnunk. Erre legalkalmasabbnak a próbatest legkisebb átmérőjén mért átmérőváltozás (Δd) mutatkozott. A mérésre egy MTS gyártmányú átmérőmérőt használtunk, amelynek mérési tartománya $\Delta d = \pm 2$ mm. Az átmérőmérő felszerelt állapotban a



2. ábra. Átmérőmérő felrakása tóruszos próbatestre



1. ábra. Zárt szabályozókör vázlatja

* Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék

2. ábrán látható. Gondosan ügyelni kell arra, hogy az átmérőmérő tapintói pontosan a törzsos próbatest legkisebb átmérőjére kerüljenek. Ellenkező esetben nem a legnagyobb alakváltozást fogjuk mérni.

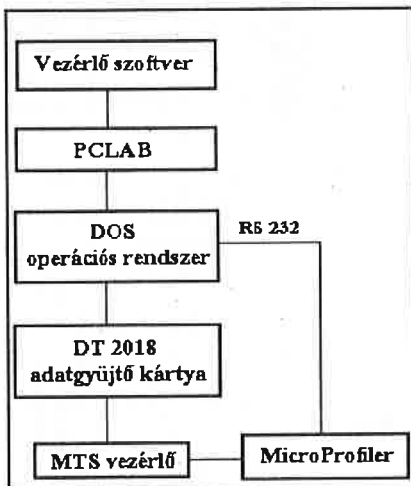
Az átmérőmérő jelét a visszacsatoló ágba lévő arányos erősítő a ± 10 V-os tartományba transzformálja. Acél anyagok kicsiklusú fázastövízsgálatánál azonban nem történik ekkora alakváltozás, így a mérési tartomány alsó részét használjuk, ami a pontosságot csökkenti. A berendezés lehetőséget biztosít a mérési tartomány leosztásra. Rendelkezésünkre áll 100%-os, 50%-os, 20%-os, 10%-os és 5%-os mérés-határ-határoló. A vizsgálatokhoz a mérési tartomány legjobb kihasználása érdekében az 5%-osat használjuk. Ebben az esetben a maximálisan mérhető átmérőváltozás ± 0.1 mm. Ekkor az ellenőrző jel (x_e) ± 10 V-os értéke a ± 0.1 mm átmérőváltozásnak felel meg. Ezt a tartományt meghaladó alakváltozásra képes anyagok vizsgálatánál természetesen lehet nagyobb értékű mérés-határ-határolót használni.

A vezérlő szoftver leírása és használata átmérővezérléshez

A TESTLINK rendszer

A vezérlési és adatgyűjtési folyamatot az MTS cég TESTLINK rendszere végzi. Ennek felépítése a 3. ábrán látható. Az alakváltozási és terhelési mennyiségek mérésére egy a Data Translation által gyártott DT 2018-as számú, 4 csatornás, 16 bites adatgyűjtő kártyát használunk. Van egy saját programozási nyelve, amely gyakorlatilag gépkód szintű és elég nehezen használható. A programozás megkönnyítésére rendelkezésünkre áll egy függvény-könyvtár (PCLAB), amelyben előre megírták azokat a szubrutinokat, amelyekkel egy-egy műveletet (A/D, D/A, I/O) végre lehet hajtani. Meghívásuk egyszerű QuickBASIC utasításokkal történik.

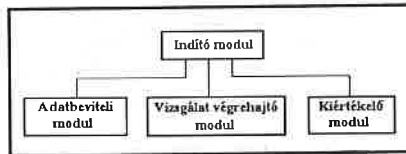
Az elektronikus függvénygenerátor (MicroProfiler) programozása az RS 232 soros vonalon keresztül valósul meg.



3. ábra. A TESTLINK rendszer felépítése

A vezérlő szoftver

A program három főmodulból áll. Ezt szemlélteti a 4. ábra.



4. ábra. A vezérlő szoftver felépítése

Adatbeviteli modul

A vizsgálatához szükséges adatok, paraméterek megadása e részben valósul meg. Ezen adatok a következők:

A vezérlés módja: A vizsgálatot erővezérlésben (LOAD) vagy nyúlásvezérlésben (STRAIN) lehet elvégezni.

A terhelési függvény: A vizsgálatához szükséges alapjel lehet szinusz- (SINE) vagy háromszögjel (RAMP). Mindkét esetben a függvény maximumát és minimumát kell megadni.

LOAD esetén az erőt (F_{max} , F_{min}) kN-ban, STRAIN esetén a fajlagos nyúlást (ϵ_{max} , ϵ_{min}) mm/mm-ben. Zárójelben jegyzem meg, hogy magas hőmérsékleten üzemelő erőtűri anyagok fázastövízsgálatánál a hold-time szerepének vizsgálatához trapéz alakú terhelőjel előállítására lenne szükség. Ezt a rendszer jelenleg még nem tudja. Ennek megoldása a közeljövő feladata, amelyre egy későbbi közleményben visszatérek.

Ciklusszám megadása: A vizsgálatot egy adott ciklusszámig, vagy a próbatest töréséig lehet végezni.

Törési kritérium megadása: Ha a próbatest eltörik, akkor a vizsgálatot azonnal le kell állítani, hogy a próbatest törési felülete ne károsodjon. Hogy mikor tekintjük a próbatestet eltörtnek, erre sokféle elmélet van [1][2]. A program a következőt alkalmazza. Nyúlásvezérlés esetén, ha a próbatestben megjelenik a repedés és az terjedni kezd, akkor, mivel a nyúlásamplitúdó állandó, a húzóoldalon a terhelés csökkenni fog. Erővezérlésnél, állandó erőamplitúdó esetén, az alakváltozás fog változni, mégpedig növekedni. Ennek a csökkenésnek vagy növekedésnek a mértékét kell megadni a programnak, mint törési kritériumot. A vizsgálatokat 25%-os értékkel végeztük.

Referencia ciklus: Az előzőekben leírt törési kritériumot valamihez viszonyítani kell. A viszonyítási alap az első néhány ciklus, amelyet szintén nekünk kell megadni a programnak. Természetesen a program a referencia ciklusok átlagával számol. Esetünkben az első 10 ciklust tekintettük referenciának.

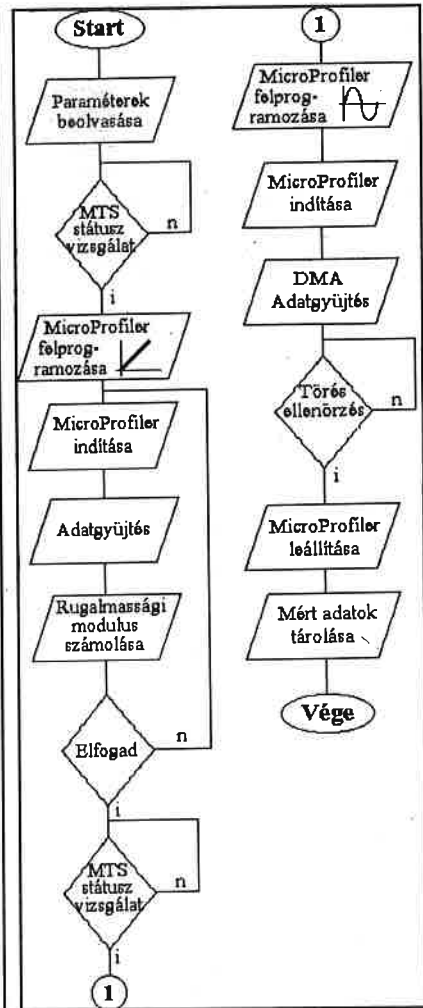
Ezek voltak azok a legfontosabb adatok, amit meg kell adni a programnak a vizsgálat végrehajtásához. Természetesen ezeken kívül még vannak bemenő adatok, de azok nem meghatározók a vizsgálat szempontjából.

A vizsgálati paramétereket a program egy adatfile-ba tárolja, ahonnan a vizsgálatvégző és a kiértékelő modul be tudja olvasni.

Vizsgálat végrehajtó modul

Mint hogy az átmérővezérlés megvalósításához ebben a modulban kellett a lényeges változásokat végrehajtani, ezért ezzel részletesebben foglalkozom. A program működésének folyamatábrája a 5. ábrán látható.

Először a tárolt vizsgálati paraméterek beolvasása történik meg. Ezt követi az MTS berendezés állapotának lekérdezése elektronikus



5. ábra. A vezérlő modul működésének folyamatábrája

úton. Ha nem áll készen a vizsgálat végrehajtására, akkor a program nem engedi tovább a vizsgálatot.

Mielőtt elindulna a fázastövízsgálat a program elvégző egy rugalmassági modulusz mérést, amihez előbb a MicroProfiler-nek elküldi a terhelő függvény adatait, amely ekkor egy egyenes. A maximális érték nem haladhatja meg a folyáshatárt. A függvénygenerátor indítása a mérés indítását jelenti. Szinte ezzel egyidőben elindul az adatgyűjtés is, ami addig tart, ameddig a terhelő függvény eléri a maximumot. A mért adatokból (terhelés, alakváltozás) kiszámolja a rugalmassági moduluszt, amely, ha nem megfelelő (acél anyagoknál kb. 210.000 MPa), akkor a mérést más beállításokkal újra el kell végezni. Ebből következik, hogy a rugalmassági modulusz mérése egyben a mérési körülmények pontos beállításának ellenőrzésére is szolgál.

A rugalmassági modulusz mérése erővezérlésben, míg a fázastövízsgálat erő- vagy nyúlásvezérlésben történik. Ha a vizsgálatot nyúlásvezérléssel kívánjuk végezni, akkor a vezérlési típust át kell kapcsolni az MTS kapszolóabláján.

A vizsgálathoz először el kell küldeni a MicroProfiler-nek a vezérlő függvény paramétereit (típus, amplitúdó, frekvencia), amely egy időben ismétlődő jel. Szinuszjel és háromszögjel közül választhatunk. A vizsgálat indítása a függvény-

generátor indításával történik, amivel egyidőben elindul az adatgyűjtés is. A számítógép nem lenne képes a mérendő nagy mennyiségű adatot feldolgozni, ezért a program DMA-s mérést valósít meg. Ekkor az adatgyűjtő kártya a mért értékeket (erő és az alakváltozás) közvetlenül a számítógép memóriájába rakja. A feszültségből és az alakváltozásból a program megállapítja a próbatest törését és a MicroProfiler-t megállítja. Ezután a mérési eredményeket egy adatfile-ba tárolja.

Az eredeti vezérlő programban, nyúlásvezérlés esetén a maximális nyúlást kellett megadni ($\epsilon_{i(max)}$). Az átmérővezérlésre alkalmassá tett szoftvernek az átmérőirányú alakváltozást ($\epsilon_{d(max)}$). Ennek megfelelően radiális nyúlást fogunk mérni (ϵ_{d1}). Ahhoz, hogy a vizsgálati eredményeket össze tudjuk hasonlítani az axiális irányú nyúlásvezérléssel végzett vizsgálatokéval az ϵ_{d1} -t átalakítottuk ϵ_{d1} értékke, a szabványban található összefüggéssel, amely a hosszirányú és keresztirányú alakváltozás között teremt meg a kapcsolatot a képlékeny alakváltozás tartományában:

$$\epsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E} \cdot (1 - 2 \cdot \nu_e) - 2 \cdot \epsilon_d \quad (1)$$

ahol: ϵ_1 – axiális irányú nyúlás,
 ϵ_d – radiális irányú nyúlás,
 σ_1 – feszültség,
 E – a mért rugalmassági modulusz,
 ν_e – Poisson-tényező, amelynek értéke acél anyagoknál 0.31.

Az átszámolást teljes biztonsággal csak a maximális alakváltozásnál és annak környezetében lehet egzakt módon elvégezni ennek a képletnek a segítségével. A rugalmas alakváltozás és a képlékeny alakváltozás közötti átmenetnél nem. A teljes alakváltozási tartományban történő átalakítás már egy komplexebb feladat, amelynek megvalósítása a jövő feladata.

Kiértékelő modul

Ez a programmodul a vizsgálati eredmények grafikus és számszerű megjelenítésére alkalmas. Ezek a következők:

- Feszültség-nyúlás diagram (hiszterézis görbe)
- Feszültség-idő diagram
- Nyúlás-idő diagram
- Feszültség-ciklusszám diagram
- Nyúlás-ciklusszám diagram

Az átalakított rendszer tesztelése

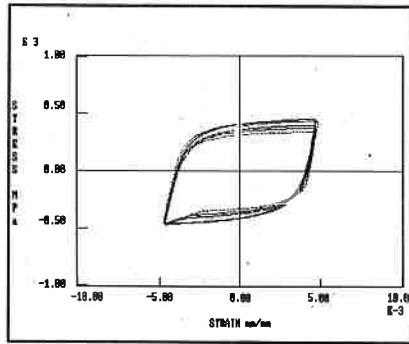
A következőkben egy átmérővezérléssel előfárasztott tóruszos próbatest vizsgálati eredményeit mutatom be.

Vizsgálati körülmények:

- Próbatest típus: tóruszos
- Próbatest átmérő: 7 mm
- Próbatest anyaga: 13 CrMo 44
- Vezérlési mód: átmérőirányú nyúlásvezérlés
- Terhelő függvény: szinusz
- Nyúlásamplitúdó: 0.47%
- Vizsgálati frekvencia: 0.5 Hz
- Hőmérséklet: szobahőmérséklet
- Törési kritérium: a húzóoldali terhelés 25%-os esése

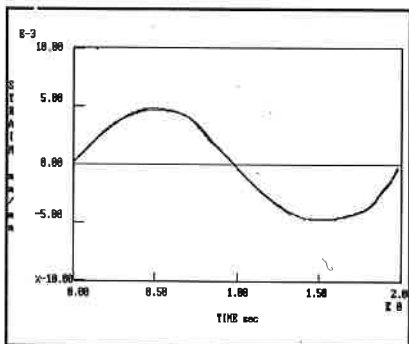
A próbatest a 819. ciklusban eltört. A szoftver a számszerű megjelenítésen kívül lehetőséget

nyújt a következő grafikus megjelenítésekre. Minden ciklus feszültség-nyúlás diagramja (hiszterézis görbe) megjeleníthető, de egyszerre csak 5 darab. a 6. ábrán, a 2., 600., 800., 810. és 819. ciklus látható, ahol jól végigkövethető a törési folyamat.



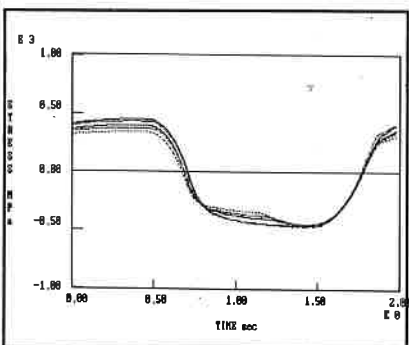
6. ábra. Feszültség-nyúlás diagram (hiszterézis görbe)

A 7. ábrán a nyúlás-idő görbe, szintén a 2., 600., 800., 810. és 819. ciklusban. A görbék szinusz alakúak és fedik egymást, a nyúlásvezérlésnek megfelelően.



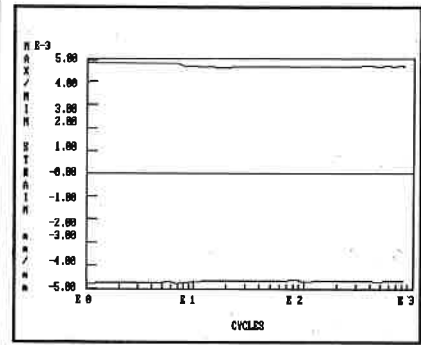
7. ábra. Nyúlás-idő diagram

A feszültség-idő diagramon már más a helyzet (8. ábra). A görbék alakja nem szinusz, hiszen a feszültség-alakváltozás kapcsolat nem lineáris a képlékeny tartományban. Jól látható a diagramon a húzó oldali terhelés csökkenése a repedés megjelenésével. A nyomó oldalon lévő ugrásszerű feszültségnövekedés oka pedig a megjelent és növekvő repedés záródása.



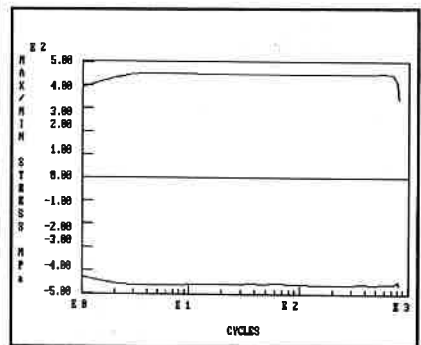
8. ábra. Feszültség-idő diagram

A nyúlás-ciklusszám diagram (9. ábra) arra ad információt, hogy a rendszer mennyire megbízhatóan tartja az előre beállított nyúlásértéket a teljes vizsgálat alatt.



9. ábra. Nyúlás-ciklusszám diagram

A feszültség-ciklusszám diagramból (10. ábra) már az anyagra jellemző tulajdonságot állapíthatunk meg, mégpedig, hogy keményedő, lágyuló, esetleg semleges viselkedő. A diagramon jól látható, hogy ez az anyag keményedett, és a keményedési folyamat az első 10 cikluson belül lezáródott.



10. ábra. Feszültség-ciklusszám diagram

Az elvégzett, nagyszámú vizsgálat és tesztelés eredményeképpen megállapítható, hogy a rendszer minden tekintetben eleget tesz az átmérővezérelt kisciklusú fárasztóvizsgálat feltételeinek, megbízhatósága jobb a szabványbeli értékénél, de rosszabb a nyúlásvezérlésnél [3][5].

Köszönetnyilvánítás

A vizsgálati metodika terveinek előkészítésében és kidolgozásában hasznos segítséget nyújtottak: dr. Nagy Gyula, dr. Tóth László és Major Zoltán, amelyért ezúton is szeretnék köszönetet mondani.

Irodalom

- [1] Nagy Gy.: A próbatest alakjának hatása a törés helyére kisciklusú fárasztáskor. Kandidátusi értekezés, 1988.
- [2] Dr. Czoboly E., dr. Ginszetter J., dr. Havas I.: Ismeretek a kisciklusú és a termikus fáradásról. Gép XXXVI. évfolyam. 1984. 7. szám. Július
- [3] Rózsahegy P.: Az átmérővezérelt kisciklusú fárasztóvizsgálat megbízhatósága, Anyagvizsgálók Lapja, 1994. 4. évfolyam, 2. szám. 41-44. old.
- [4] Gy. Nagy, L. Tóth, R. Rózsahegy: LCP Properties of 1Cr0.5Mo Type Steel at Different Temperature, XIth International Colloquium on Mechanical Fatigue of Metals, Miskolc-Tapolca, 1994. III. 10-12.
- [5] MSZ 4363: Kisciklusú fárasztóvizsgálat