

Nyúlásmérés rejtelvei lágyacéloknál¹Bocz András^a, Kiss Balázs^b, Márkus Dénes^c, Narancsik Zsolt^d, Vainel Viktor^e^aokleveles vegyészmérnök; ^banyagmérnök; ^cmérnök informatikus, gépészmérnök;^dhegesztő szaküzemmérnök, minőségügyi mérnök; ^ekohász technikus;

DUNAFERR LABOR Nonprofit Kft.;

^abocz.andras@dlabor.hu; ^dnarancsik.zsolt@dlabor.hu**Absztrakt**

Az ISO 6892-1 szabványnak megfelelő szakító gép rendelkezik nyúlásmérő készülékkel. A nyúlásmérő kialakításától függően a vizsgálat teljes ideje alatt vagy csak a próbatest néhány százalékos alakváltozásáig méri annak nyúlását és vezérli a vizsgálatot.

A próbatest szakadási megnyúlása kézzel, a felületére rajzolt finom jelek vizsgálat utáni lemérésével is meghatározható [1].

Ebben a cikkben a szakadási megnyúlás meghatározásának technikáit és a nyúlásmérések eltéréseit vizsgáljuk. Az itt publikált eredményeink és észrevételeink különböző gyártótól származó, eltérő típusú szén- és lágyacél próbatestek vizsgálatából származnak [2, 3].

Kulcsszavak

szakítóvizsgálat, nyúlásmérő, megnyúlás, eredeti jeltávolság, számítógéppel vezérelt szakító gép

Bevezetés

A szakítóvizsgálat a legismertebb mechanikai vizsgálat, a fémipari oktatásokban alapismereti témakörnek számít [3].

A vizsgálandó anyagból készült próbatestet húzóerővel terheljük szakadásig, a terhelő erő, szakító gép fejének elmozdulási és a próbatest alakváltozásainak értékeit rögzítjük. A rögzített jelekből kirajzolható a feszültség-nyúlás diagram, ez az anyag állapot tényezőinek (alakítási állapot, vizsgálati sebesség, hőmérséklet) változatlansága mellett az adott mintára jellemző [4].

A feszültség-nyúlás diagram az úgynevezett mérnöki diagram, jellegzetessége a végén látható látszólagos feszültségcsökkenés. Ennek az az oka, hogy a vizsgálat közben mért erőértékeket a próbatest

eredeti keresztmetszeti értékével osztjuk, nem a pilanatnyi keresztmetszet értékével.

Az ISO 6892-1 szabvány a „mérnöki” diagramot tekinti nyúlás-feszültség diagramnak, így a cikk sem tér ki a valós feszültségi diagram témakörre [1, 2].

Az alapanyaggyártás automatizálása a mechanikai vizsgálatok automatizálását is előre vetíti, ezzel a cégek a vizsgálatra fordított összes időt és a humán erőforrás által befolyásolt mérési bizonytalanságot szeretnék csökkenteni. A robotkarral kiszolgált szakító gép hatékony működésű, amíg a szoftver csak vezérlési-adatgyűjtési feladatokat végez. Azonban a mért és rögzített értékekből a vizsgálati eredmények kiértékelése sokkal komplexebb feladat annál, hogy egy vizsgáló szoftver hibamentesen tudja meghatározni a határozott folyáshoz tartozó értéket. A szoftverek a nem középen szakadó próbatestek nyúlás meghatározására sincsenek felkészítve.

Az általános szakemberhiány miatt erősödő tendencia, hogy egyre több vegyes profilú, anyagvizsgálattal is foglalkozó cég vásárol korszerű, számítógéppel támogatott szakító gépet.

A vevők a megvásárolt új berendezéstől azt várják, hogy a szolgáltatott eredmények minden esetben szabványosak és feddhetetlenek legyenek. Ha a szakító gép gyártó brandje ismert, marketingje átfogó és eredményes, nagy a veszélye annak, hogy a felhasználója kritika nélkül elfogadja a szakító szoftver eredményét akkor is, ha az a szabványelőírástól eltér vagy annak nem felel meg.

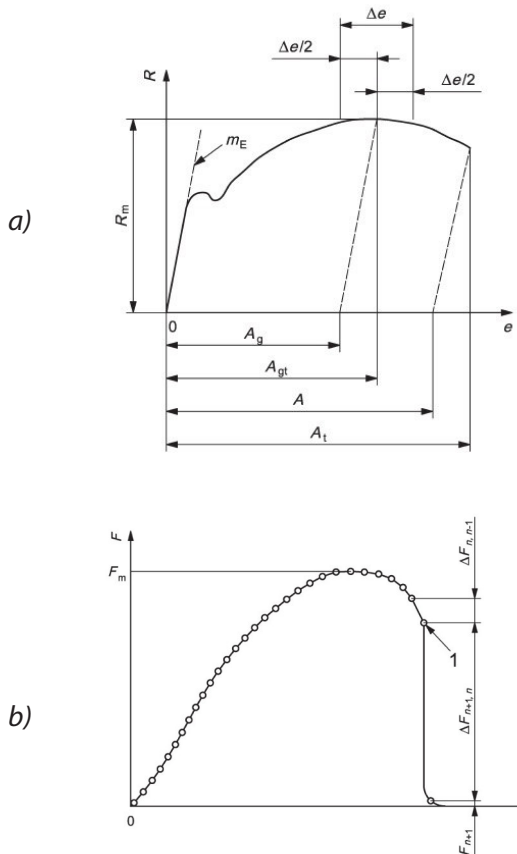
A fenti két ok miatt kezdtük átvizsgálni a nyúlásmérés elméleti és gyakorlati hibalehetőségeit.

1. Szakadási megnyúlás a szakirodalom szerint

Az ISO 6892-1 szabvány az alábbi modellt veszi alapul a szakadási nyúlás meghatározásához.

Az 1.a diagramból meghatározható a próbatest „A” szakadási megnyúlása és az „A_t” teljes nyúlás értéke [1].

¹A cikk a Magyar Acél 2021 tavaszi számában megjelent.



1. ábra: a) ISO 6892-1:2016, b) ISO 6892-1:2016

A szakirodalmakban található ábrának a diagram csökkenő ágán, valahol a maximális terhelés negyedénél-harmadánál vége van, itt jelzik a próbatest elszakadását. Ez a „dinamikus szakadás” azonban nem minden próbatestnél történik meg ebben a tartományban, az általunk vizsgált acél próbatestek esetén előfordul, hogy az erő csökkenése egészen a nulla értékig mérhető [1, 2, 4]. A szoftverrel vezérelt szakítógépeknél a „vizsgálat vége pont” programozható, megadható hogy milyen feszültségcsökkenési vagy egyéb más értéket vegyen leállítási pontnak a vezérlés. A szabvány 1.b ábrája útmutatást ad ilyen helyzetekre is. A 2. ábra a szoftveres „vizsgálat vége” megadási lehetőségeket mutatja két gyártó szakító programjában. A „vizsgálat vége pont” programozhatósága miatt előfordul, hogy a jól alakítható acél-lemezből készült próbatest nem szakad el az adott leállítási pontban. A vizsgálat vége feltételt 100% feszültségcsökkenésre állítva esetenként rögzíthető a 3.b ábra szerinti diagram, ilyen esetben a próbatest a vizsgálat végéig egyben marad. A fenti példákblól látható, hogy a

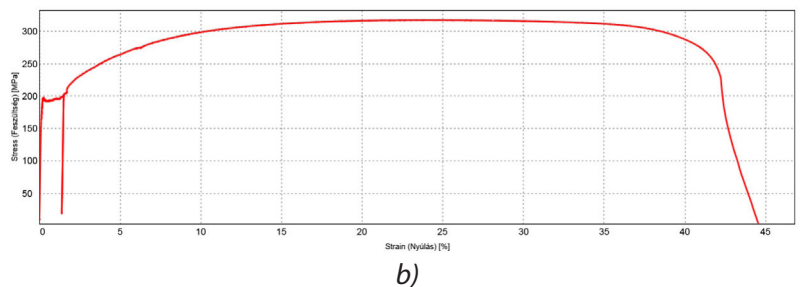
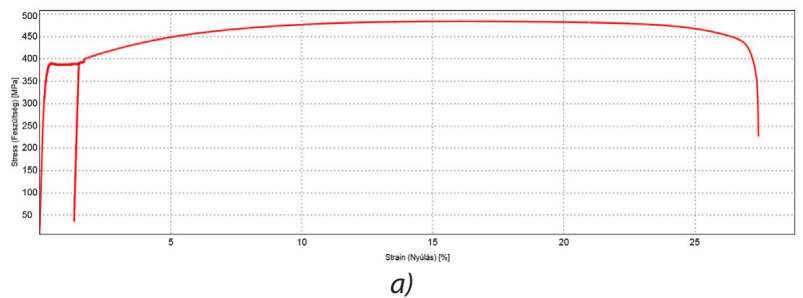
Test End Mode

In this step is important to Select the Test End mode.

Enabled	Mode	Parameter
<input type="checkbox"/>	Specimen Rupture	Pure
<input checked="" type="checkbox"/>	Stress < of max stress %, than ...	90.00 %

2. ábra: „Vizsgálat vége” pont megadása két különböző szakító gép gyártó szoftverében

szakirodalmakban meghatározott „A” szakadási megnyúlás nem mindig határozható meg a szakítódigramról. Több száz acél próbatest vizsgálata alapján megállapítottuk, hogy az általunk vizsgált anyagoknál az „A” és az „At” értéke közötti eltérés kissé mértékű, a 0,5% nyúlásértéket nem haladja meg. Ez az érték az ISO 6892-1 szabvány kerekítési értékénél kisebb, ezért tovább nem vizsgáljuk a befolyását.



3. ábra: a) 50% feszültségcsökkenésre állított „vizsgálat vége”, b) 100% feszültségcsökkenésre állított „vizsgálat vége”

2. Clip-on nyúlásmérők

Az ISO 6892-1 szabvány „A method” vezérlés és az egyezményes folyáshatár meghatározása miatt elterjedt a „csíptetős” vagy clip-on nyúlásmérők használata. Ezeket a nyúlásmérőket nagy mérési pontosság és kis elmozdulási képesség jellemzi. Az 4.a ábrán egy 50 mm eredeti jeltávolságú nyúlásmérő ($L_e = 50$ mm) látható, ami 55 mm távolságra tud kinyílni. Mivel a próbatest alakváltozása lényegesen nagyobb, mint amit a nyúlásmérő el tud mozdulni, a szakítógép szoftverében beállítható az a pont, ahol a vizsgálat megállítható és a nyúlásmérő sérülésmentesen eltávolítható a próbatestről. A nyúlásmérő eltávolítása után a szoftver folytatja a vizsgálatot, így a szakító diagram rajzolását is, de a diagram többi részén már nem nyúlási, hanem



a)

a szakítógép fejének elmozdulási jeléből képzett értékeket jelenítenek meg. Az 4.b ábrán látható egy ilyen hibrid diagram, kék vonallal jelöltük a tényleges nyúlásmérés határát.

A hibrid diagram esetében értelemszerűen próbatest nyúlásról csak addig beszélhetünk, amíg a nyúlásmérő szolgáltatja a mérési jelet, az utána következő diagram szakasz nem alkalmas az „A” szakadási megnyúlás meghatározására, kivéve ha a nyúlásmérő levétele előtt már elértük az F_m maximális terhelést [1, 2].

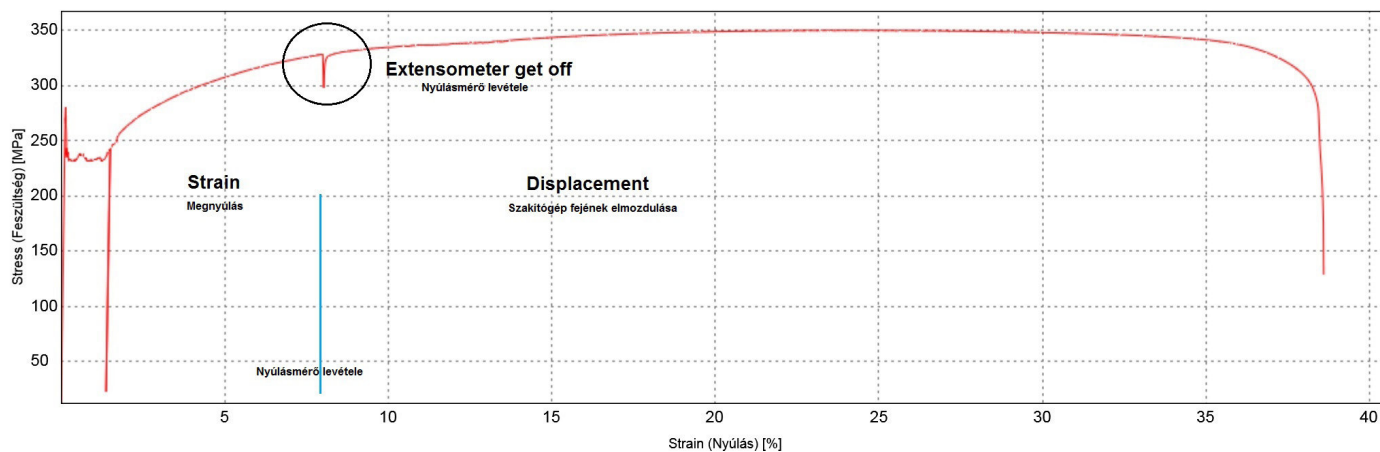
A hibrid diagramok nem megfelelő kiértékelése valótlán szakadási nyúlási értékeket eredményezhet, ezért a szakítógép gyártók felelőssége lenne, hogy a vizsgáló szoftver figyelmeztessen ilyen esetekben.

3. Folyamatos nyúlásmérés vizsgálat alatt

Azok a nyúlásmérő eszközök és készülékek, amelyek az egész vizsgálat alatt mérik a próbatest megnyúlását, lehetnek optikai és mechanikus rendszerűek. A laboratóriumok egy része a szakadási megnyúlást a diagramból származtatja és a próbatestet nem jelöli meg a kézi nyúlásméréshez.

Amennyiben a próbatest közepén szakad és a szakadási terület a nyúlásmérő jelei/érzékelői közé, középre esik, akkor megfelelő a gépi mérés. Ha a próbatest nem közepén szakad vagy a szakadás nem a nyúlásmérő munkaterületének közepére esik, akkor az anyag tényleges nyúlási képességétől kisebb értéket mér a nyúlásmérő.

Az ISO 6892-1 szabvány maximálja a szakadási hely eltérését a jeltávolság közepétől. Az előírás szerint a szakadási helynek a nyúlásmérő jelétől legalább az eredeti jeltávolság (L_e) harmadával ($L_e/3$) messzebbre kell esnie [1].



b)

4. ábra: a) Clip-on nyúlásmérő, b) hibrid diagram

Ha a szakadás helye nem a próbatest közepére és nem a nyúlásmérő két jele között közepre esik, akkor a nyúlásmérő jeléből rögzített diagram és az arról meghatározható szakadási nyúlás értéke el fog térni a kézi nyúlásmérésből számolt nyúlásértéktől. A szabvány lehetőséget ad az „A százalékos szakadási megnyúlás mérése az eredeti jeltávolság felosztásának módszerével” nevű eljárás alkalmazására, ezzel a nem középen szakadt próbatestek megnyúlása átszámítható „középen szakadt” nyúlásértékekre [1].

A próbatestek nem középen szakadásának okait és elkerülési lehetőségeit ebben a cikkben nem tárgyaljuk.

4. Összehasonlító vizsgálatok

Különböző gyártótól származó, eltérő minőségű acél próbatesteken meghatároztuk a szakadási nyúlások nagyságának eltérését szakadásuk helyének függvényében. Azt vizsgáltuk, mekkora eltérést okoz az anyag tényleges nyúlási képességétől a csak nyúlásmérővel meghatározott szakadási megnyúlás. A vizsgálatoknál a gépi nyúlásméréshez fehér pontpárt, a kézi méréshez nagy pontossággal felrajzolt skálát használtunk. A fehér pontok távolsága 80 mm, a fekete jelek osztásköze 5 mm, a mért szakadási megnyúlás A80 volt.

A 5. ábrán a próbatest közepéhez közel szakadt próbatest képe és diagramja látható. Az anyag tényleges nyúlási képességét jobban közelítő kézi méréstől 0,6 százalékkal tér el a gépi mérés által szolgáltatott szakadási nyúlás. A szakítódiagram arányos.

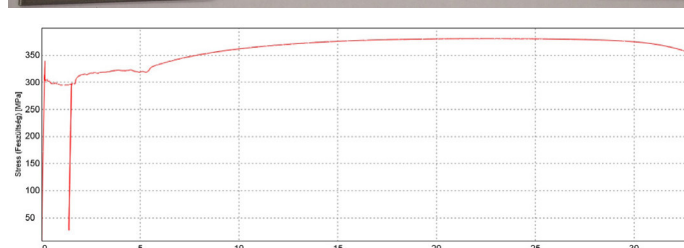
A 6. ábrán a szakadás helye a fehér pontok egyharmad-kétharmad arányánál található, a kétféle szakadási megnyúlás értéke közötti különbség 0,9 %. A diagram még itt is arányos.

A 7. ábrán a fehér ponthoz közeli szakadás a nyúlásmérő által mért nyúlásértéket kedvezőtlenül befolyásolja. A két módszer eredmény eltérése már jelentős, 2,5 %, a diagram torz.

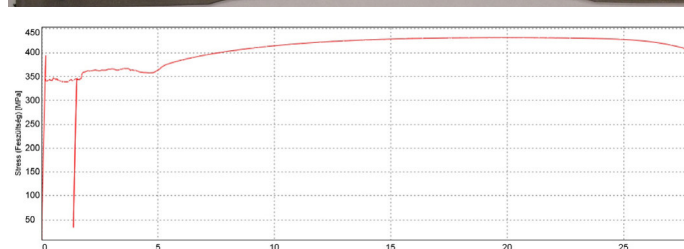
A 8. ábrán látható, hogy a fehér ponton történő szakadás következménye a torzult diagram és a 6,6% nyúlás eltérés.

A 9. ábrán a nyúlásmérő jeltávolságán kívüli szakadást és a hozzá tartozó diagramot lehet látni. A kézi és a gépi nyúlásértékek eltérése nagy.

A 8. és 9. ábrákon látható, hogy a fehér pontokon kívül vagy a pont közelében szakadt próbatestnél is van olyan fekete osztás, ahol kézi méréssel a szakadási megnyúlás még meghatározható [4].



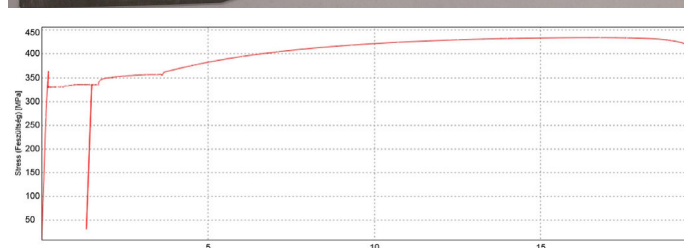
5. ábra: A80 extensometer=34,3%; A80 manual=34,9%



6. ábra: A80 extensometer=29,1%; A80 manual=30,0%



7. ábra: A80 extensometer=24,3%; A80 manual=26,8%



8. ábra: A80 extensometer=20,5%; A80 manual=27,1%



9. ábra: A80 extensometer=16,7%; A80 manual=23,9%

Szabvány szerint, ha a jeltávolságon kívül szakadt a próbatest, a mérés még lehet érvényes, ha az így mért nyúlás értéke nagyobb a termékszabványban vagy a szerződésben az anyagra előírt értéknél [1].

Mérési eredmények

Szakítóvizsgálati fájlok feldolgozásával elemeztük a kézzel és optikai nyúlásmérővel mért A80 szakadási nyúlási értékek eltérését. A 10. ábra függőleges tengelyén a próbatesten mért nyúláskülönbségeket, a vízszintes tengelyén a különbségek – az összes méréshez viszonyított – megoszlását ábrázoltuk.

A szakadási megnyúlás értékét az ISO 6892-1 szabvány szerint 0,5 százalékra kell kerekíteni, így vizsgálatunk első csoportját a fél százalék vagy annál kisebb eredménykülönbségű próbatestek képezték, ez az összes mérés 41,7% [1].

A második csoportot a 0,5-1% eltérésű próbatestek alkotják, ez az összes mérés 14,4%-a, a harmadikba az 1-2% különbségűek kerültek, ami az összes mérés 16,2%-a. A negyedik csoport 2-5% határa nagyobb intervallumot ölel fel, ez a csoport az összes mérés 12,7%-át adja. Az öt százaléknál nagyobb eltérésű eredmények az összes mérés 15%-át érték el.

Ha az 1%-os szakadási nyúlás eltérést is a szabványos értékű csoporthoz vesszük (mérési bizonytalanság, kerekítések és egyéb szempontok miatt), akkor is a mérések közel 44%-ánál jelentkezett 1 százaléknál nagyobb szakadási megnyúlás különbség.

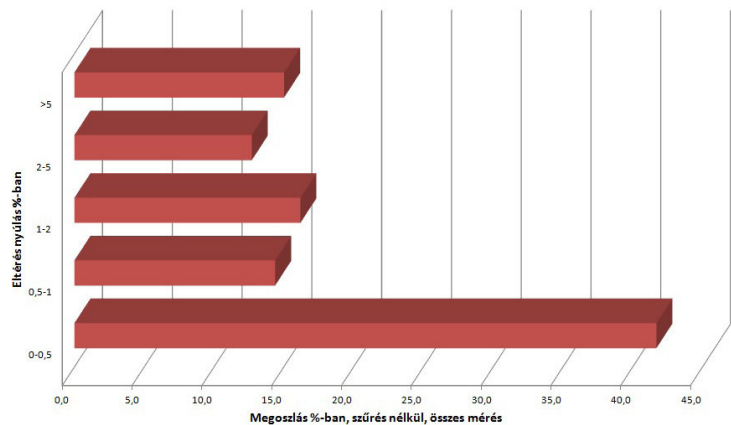
Vizsgálatainkat többféle szén- és lágyacél lemezekből kimunkált próbatesten végeztük kézi jel-távozás és megnyúlás mérése mellett nyúlásmérő eszközök használatával.

A fentiek alapján megfogalmazható: minden száz darab próbatestből negyvennégy darabnál legalább 1%-kal kisebb szakadási nyúlás mérhető, ha csak nyúlásmérő használatával történik a mérés.

A fenti témákat összefoglalva az alábbi megállapításokat tettük:

- A clip-on nyúlásmérő hibrid diagramjai, ahol a nyúlásmérő levétele az F_m előtt történik, nem szabványosak, a szakítógép szoftverek erre nem figyelmeztetnek minden egyes mérésnél.
- A nem közepesen szakadó próbatestek jelentősen befolyásolhatják a szakadási megnyúlás meghatározási pontosságát. A 43,9 százalékos „találati arány” miatt a cikkünket figyelem felhívásnak szánjuk a gépkezelőknek, szakítógép gyártóknak és szabványok készítőinek.

Kézi és extenzométeres szakadási megnyúlások eltérése



10. ábra: Szakadási megnyúlások eltérése

5. Összefoglalás

Eredményeink alapján javasoljuk, hogy

- írja elő a szabvány, hogy kötelező legyen megadni a vizsgálati jegyzőkönyvekben a szakadáshoz közelebbi jel és a szakadási hely távolságát, ha a laboratórium csak nyúlásmérő eszközzel méri a próbatest szakadási megnyúlását,
- a szoftver automatikusan jelezze, hogy nem érvényes a vizsgálat, ha a szakadáshoz közelebbi jel és a szakadási hely távolsága kisebb a nyúlásmérő eredeti jeltávolságának harmadától ($L_e/3$),
- a clip-on nyúlásmérőt használó, számítógéppel vezérelt szakítógépek esetén legyen kötelező a programnak feltüntetnie, hogy a diagram nem használható a szakadási megnyúlás meghatározására, ha az F_m érték elérése előtt távolítják el az extenzométert a próbatestről.

A cikkben szereplő képeket a savas pácolással felületkezelt lemezekből készült próbatestek fotóiból válogattuk össze.

Irodalomjegyzék

- [1] MSZ EN ISO 6892-1:2016 Fémek. Szakítóvizsgálat. 1. rész: Vizsgálat szobahőmérsékleten (ISO 6892-1:2016)
- [2] ASM International: Tensile Testing. ISBN:0-87170-440-4
- [3] Dr. Gillemot Ferenc: Anyagszerkezetten és anyagvizsgálat. ISBN:963 18 1512 9
- [4] ASM International: Atlas of Stress-Strain Curves. ISBN:0-87170-240-1