

SZAKÍTÓVIZSGÁLAT

A szakítóvizsgálat az egyik legrégebbi, legelőször szabványosított roncsolásos anyagvizsgálat. Az első szakítókísérleteket Leonardo Da Vinci végezte kb. 1495-ben. Vizsgálata során egy a kötéltre erősített kosárba addig engedték a homokot, míg a kötélt el nem szakadt. A kötélt teherbírását a homok tömege jellemezte. Vizsgálatai során felismerte, hogy a kötélt teherbírása annak hosszával csökken. Ez ma már a szilárdságtan – a svéd W. Weibull (1939) nevével fémjelzett – statisztikai elméletének ismeretében kézenfekvő, hisz az ún. „leggyengébb láncszem” – amely a töréshez vezet – a térfogat növekedésével egyre nagyobb valószínűséggel fordul elő.

A szakítóvizsgálat célja a szerkezeti anyagok terhelhetőségét, alakváltozó képességét illetve szívósságát jellemző mérőszámok, valamint anyagjellemzők meghatározása. Ez utóbbiak meghatározása az elsődleges cél, mivel ezek az adatok szolgálnak alapjául egy későbbi méretezésnek. A mérőszámok és az anyagjellemzők között az a lényeges különbség, hogy az anyagjellemzők a vizsgált próbatest geometriájától függetlenek.

A szakítóvizsgálatra, mint anyagvizsgálatra több szabvány is létezik, a vizsgálat körülményeitől (hőmérséklet, próbatest anyaga, stb.) függően.


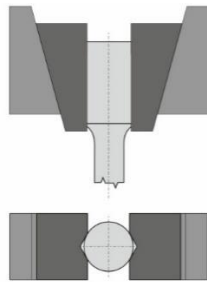

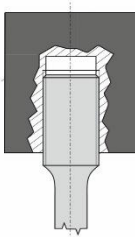

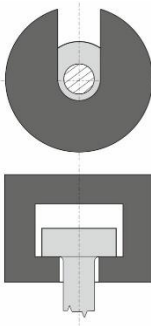

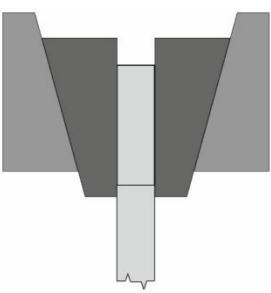

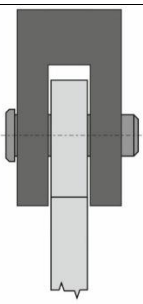
A szakítóvizsgálat elve, hogy egy S_0 kiinduló keresztmetszetű és L_0 kezdeti mérőhosszúságú próbatestet adott sebességgel egytengelyű húzó igénybevétel mellett addig terheljük, ameddig be nem következik a szakadás. A vizsgálat során mérjük a húzás hatására, a próbatest ellenállásaként ébredő erőt a próbatest nyúlásának függvényében.

A próbatestek geometriáját illetően több különböző típus terjedt el, mind a keresztmetszet, mind pedig a kialakítás szempontjából. Keresztmetszet szerint beszélhetünk hengeres, lapos és egyéb keresztmetszetű (pl. hatszöges) próbatestekről. Annak eldöntése, hogy milyen geometriájú próbatestet alkalmazzunk egy-egy vizsgálat során, nagyban függ a vizsgálandó anyag típusától, illetve formájától (tömb, rúd, lemez stb.). A próbatest kialakítása is többféle lehet, amely elsősorban a befogási rész különbözőségében nyilvánul meg. Ennek funkciója a próbatest és az anyagvizsgáló gép összekapcsolása és az egyenletes erőbevezetés biztosítása. A teljesség igénye nélkül az 1. táblázatban néhány szakító próbatest típus látható.

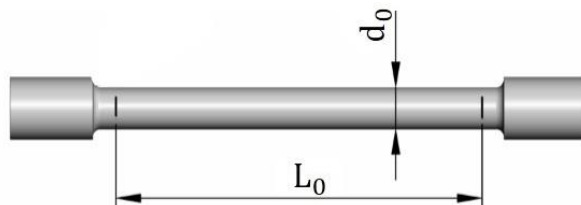
A szakítóvizsgálathoz használt gép is többféle típusú lehet: (elektro)mechanikus, (elektro)hidraulikus, vagy elektrodinamikus. A mechanikus gépek esetében a lineáris mozgást egy vagy több golyós- vagy trapézmenetes orsó forgómozgása és a hozzá kapcsolódó anya hozza létre. A hidraulikus gépek esetében a mozgást egy hidraulikus munkahengerben elmozduló dugattyú – a kapcsolt dugattyúrúddal együtt – biztosítja. Ezeknél a gépeknél az olajnyomásért és az olaj keringetéséért egy hidraulikus tápegység felelős. Az elektrodinamikus gépeknél a mozgást elektromos úton biztosítjuk (ez a gépcsald kevésbé elterjed a mechanikus és a hidraulikushoz képest). Fontos megjegyezni, hogy ezek a gépek nem csak szakításra alkalmasak (holott a köznyelvben „szakító gép”-ként ismertek), hanem zömítésre, hajlításra, fárasztásra, egyes hidraulikus gépek pedig csavarásra is.

A mérés közben az aktuális erő értékét a gépre szerelt erőmérőcella segítségével, az elmozdulást pedig a gépbe beépített elmozdulásmérő, vagy valamilyen finomnyúlásmérő (nyúlásmérő bélyeg, extenzométer) jele alapján mérhetjük. A mért erő-elmozdulás adatpontokat egy adatgyűjtő regisztrálja, amelyekkel így további számítások végezhetőek.

1. táblázat. Jellegzetes hengeres és lapos szakító próbatest geometriák különböző megfogási kialakításokkal.

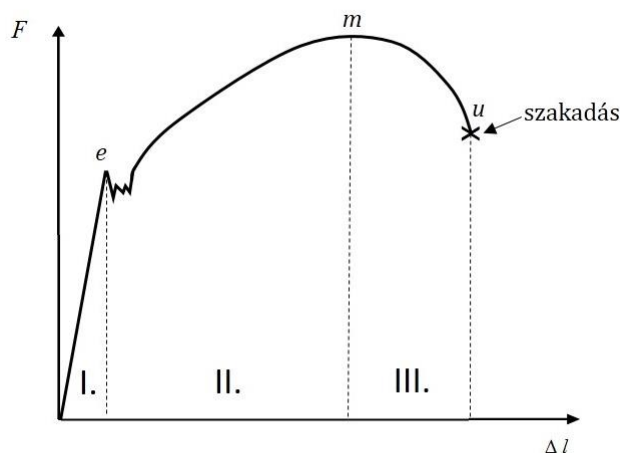
Típus	Geometria	Befogás
Hengeres próbatest mechanikus befogással		
Hengeres próbatest menetes befogással		
Hengeres próbatest „beakasztós” befogással		
Lapos próbatest mechanikus befogással		
Lapos próbatest csapos befogással		

Egy jellegzetes hengeres szakító próbatest képe látható az 1. ábrán. A mérés szempontjából fontos méret a kiinduló átmérő (d_0), valamint a kiindulási jeltáv (L_0), amelyet nekünk kell a próbatesten felvenni. A jeltáv és az átmérő (keresztmetszet) között (szabványos próbatesteknél) meghatározott kapcsolat áll fent: $L_0=5d_0$ ($L_0=5,65\sqrt{S_0}$) rövid és $L_0=10d_0$ ($L_0=11,3\sqrt{S_0}$) hosszú próbatestek esetében. Indokolt esetben tetszőleges jeltáv is felvehető.

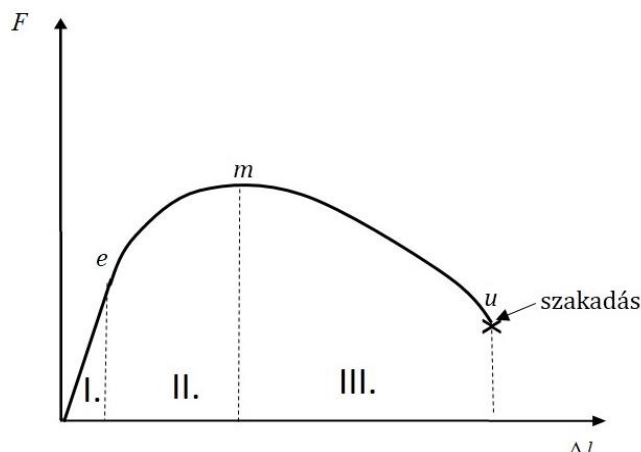


1. ábra. Egy hengeres szakító próbatest kialakítása és a mérés szempontjából fontos d_0 és L_0 méretek értelmezése.

A próbatest gépbe való befogását követően megkezdődik az egyenletes sebességgel történő húzás, amely közben nyomon követhetjük az erő változását a megnyúlás függvényében. Egy lágyacélra jellemző szakítódigramot a 2. ábra, egy alumíniumra jellemző szakítódigramot a 3. ábra mutat be a nevezetes szakaszok és a szakadás bejelölésével. A 4-6. ábrákon az egyes szakaszokhoz tartozó próbatest geometriák sematikus rajzai, a 7. ábrasorozaton pedig egy alumínium próbatest szakítóvizsgálatának pillanatképei láthatóak.



2. ábra. Egy lágyacélra jellemző szakítódigram a jellemző szakaszok bejelölésével.

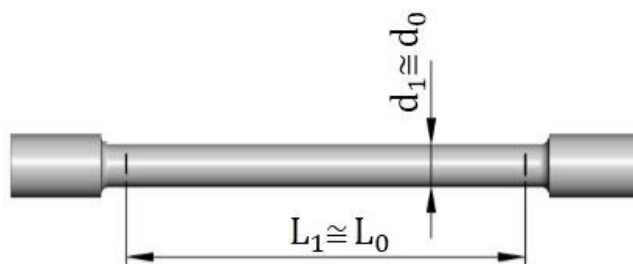


3. ábra. Egy alumíniumra jellemző szakítódigram a jellemző szakaszok bejelölésével.

Fémes anyagok esetében a diagram 3 szakaszra bontható:

I. Rugalmas alakváltozás szakasza (0-e pont)

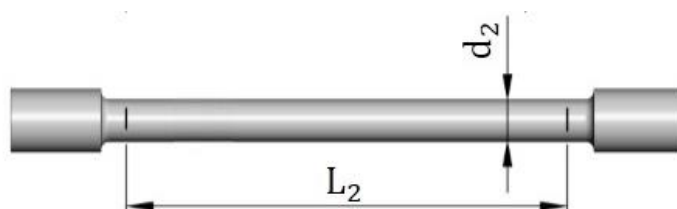
Az alakváltozás teljes mértékben rugalmas, tehát a terhelés megszűnése után a darab visszanyeri eredeti alakját (4. ábra).



4. ábra. A deformálódott próbatest alakja a rugalmas alakváltozás szakaszában.

II. Egyenletes alakváltozás szakasza (e-m pont)

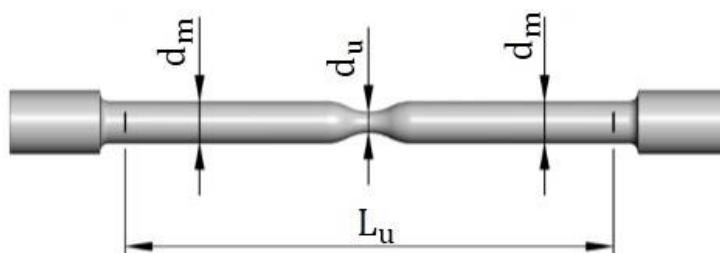
A próbatest már képlékeny deformációt szenved, de ez a mérőhossz minden pontján azonos mértékű (5. ábra).



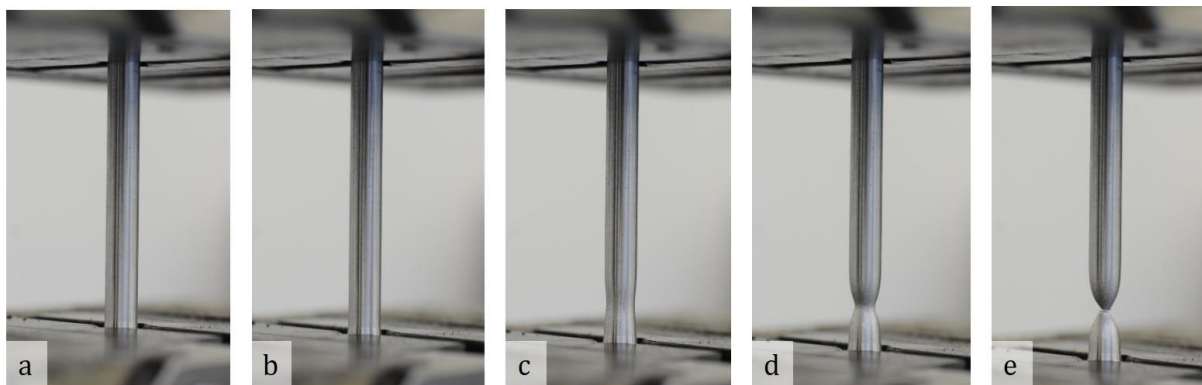
5. ábra. A deformálódott próbatest alakja az egyenletes alakváltozás szakaszában.

III. Kontrakció szakasza (m-u pont)

A képlékeny deformáció egy szűk tartományra korlátozódik, míg a próbatest többi része már nem alakul tovább. A szakadás a kontrakció legkisebb keresztmetszetében fog bekövetkezni (6. ábra).

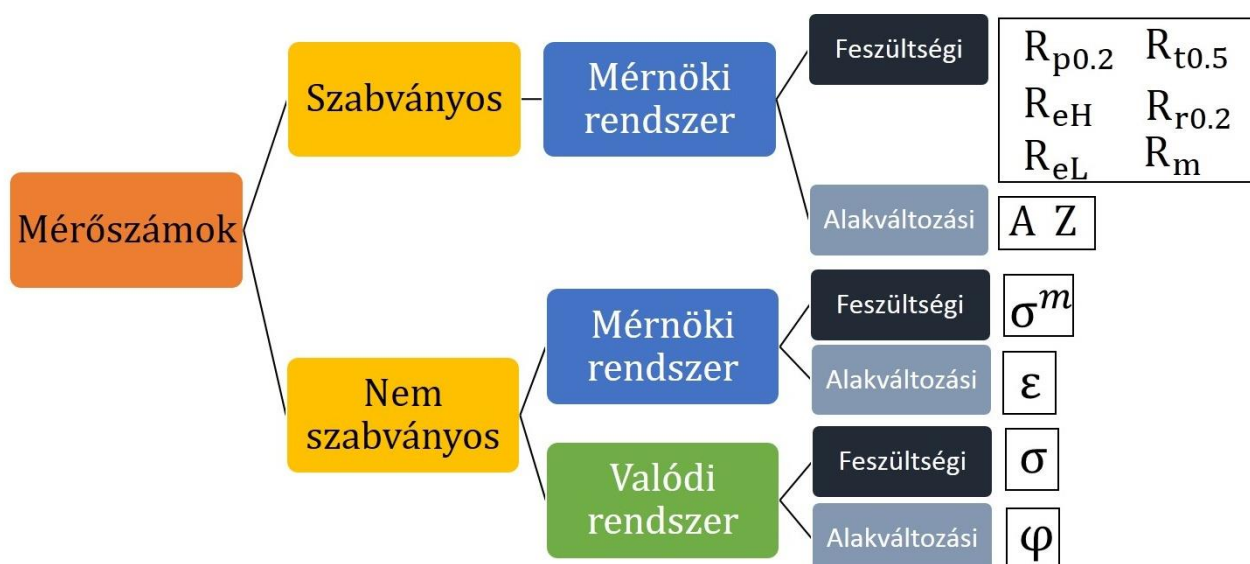


6. ábra. A deformálódott próbatest alakja a kontrakció szakaszában a szakadás pillanatában.



7. ábra. Egy alumínium próbatest szakítóvizsgálatának pillanatképei: e pontban (a), m pontban (b), m pont után, ahol már megfigyelhető a kontrahálódott keresztmetszet (c), u pont előtt (d), u pontban, ahol már elszakadt a próbatest (e).

A szakítóvizsgálatból szabványos és nem szabványos mérőszámok határozhatók meg, amelyek csoportosítását a 8. ábra mutatja.



8. ábra. A szakítóvizsgálatból számolható szabványos és nem szabványos mérőszámok csoportosítása.

A mérőszámok jellegüket tekintve lehetnek feszültségi vagy alakváltozási mérőszámok. Az előbbiek az anyagban ébredő mechanikai feszültségről, míg utóbbiak az anyag alakváltozásáról adnak információt általános pontokban vagy előre definiált helyeken (pl. e vagy m pontban).

A szabványos mérőszámokat minden esetben mérnöki rendszerben számoljuk, míg a nem szabványos mérőszámok esetében mérnöki és valódi rendszerben is dolgozhatunk.

A következőkben a különböző szabványos és nem szabványos mérőszámok értelmezését és kiszámítását mutatjuk be.

Szabványos mérőszámok

Szabványos feszültségi mérőszámokat mindig mérnöki rendszerben határozzuk meg, így a feszültséget az eredeti keresztmetszettel (S_0) számítjuk. A mechanikai feszültség mértékegysége N/mm^2 , de gyakran használjuk a MPa-t is.

Az egyik legfontosabb feszültségi mérőszám a folyáshatár, ami megmutatja, hogy mekkora feszültség hatására indul meg az anyagban a képlékeny alakváltozás. Több fajta folyáshatáról beszélhetünk, a gyakorlatban leggyakrabban azonban a terhelt állapotban mért egyezményes folyáshatárt ($R_{p0.2}$) számoljuk. Ez a 0,2%-os képlékeny mérnöki alakváltozáshoz tartozó mechanikai feszültség érték (9. ábra).

Terhelt állapotban mért egyezményes folyáshatár (9.ábra):

$$R_{p0.2} = \frac{F_{p0.2}}{S_0} \text{ (MPa)}$$

Névleges folyáshatár (10.ábra):

$$R_{t0.5} = \frac{F_{t0.5}}{S_0} \text{ (MPa)}$$

Terheletlen állapotban mért egyezményes folyáshatár (11.ábra):

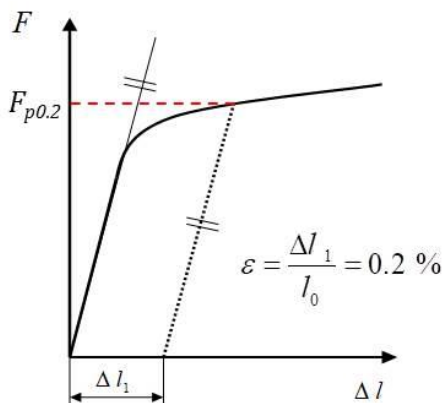
$$R_{r0.2} = \frac{F_{r0.2}}{S_0} \text{ (MPa)}$$

Felső folyáshatár (nem értelmezhető minden anyagnál) (12.ábra):

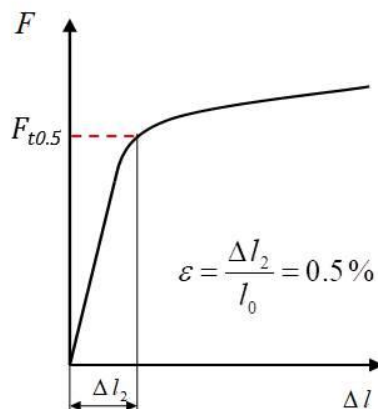
$$R_{eH} = \frac{F_{eH}}{S_0} \text{ (MPa)}$$

Alsó folyáshatár (nem értelmezhető minden anyagnál) (12.ábra):

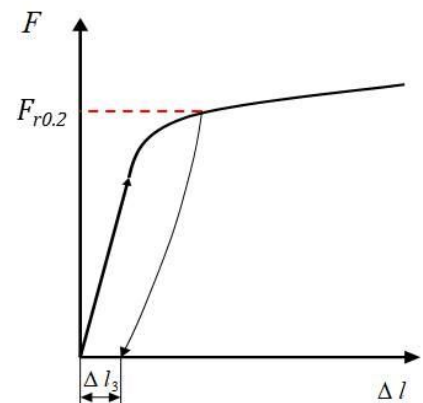
$$R_{eL} = \frac{F_{eL}}{S_0} \text{ (MPa)}$$



9. ábra. Az $F_{p0.2}$ erő értelmezése.



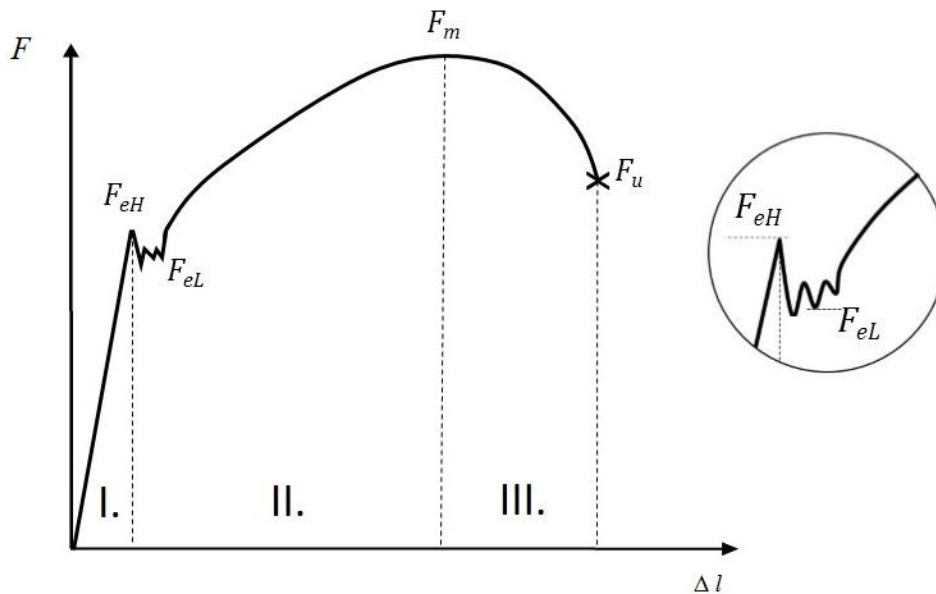
10. ábra. Az $F_{t0.5}$ erő értelmezése.



11. ábra. Az $F_{r0.2}$ erő értelmezése.

Szakítószilárdság (12.ábra):

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \text{ (MPa)}$$



12. ábra. Az alsó és felső folyáshatárhoz tartozó erők értelmezése.

Az anyag alakváltozási képességének számszerűsítésére két mérőszámot alkalmazhatunk: a kontrakciót, illetve a szakadási nyúlást.

Százalékos keresztmetszet-csökkenés, kontrakció:

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100 \text{ (\%)}$$

ahol S_0 a próbatest eredeti, S_u a próbatest törésnél lévő legkisebb keresztmetszete.

Százalékos szakadási nyúlás:

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 \text{ (\%)} , \text{ ha } L_0 = 5d_0 \text{ (} L_0 = 5,65\sqrt{S_0} \text{)}$$

$$A_{11,3} = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 \text{ (\%)} , \text{ ha } L_0 = 10d_0 \text{ (} L_0 = 11,3\sqrt{S_0} \text{)}$$

$$A_x = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 \text{ (\%)} , \text{ ha } L_0 = x$$

ahol L_0 a próbatest eredeti, L_u a próbatest törés utáni jeltávolsága.

Nem szabványos mérőszámok

A nem szabványos feszültségi mérőszámokat mérnöki és valódi rendszerben is meghatározhatunk. Mérnöki rendszerben az eredeti keresztmetszettel, míg valódi rendszerben az aktuális keresztmetszettel számítjuk a feszültségeket.

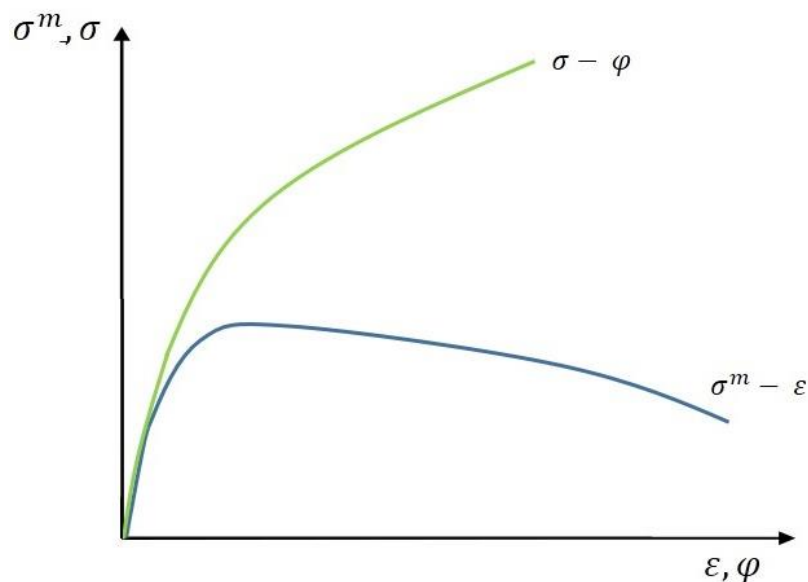
Rendszer	Mérnöki	Valódi
Feszültség	$\sigma^m = \frac{F}{S_0}$ (MPa)	σ vagy $\sigma^v = \frac{F}{S}$ (MPa)
Alakváltozás ^{1,2,3}	$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{S_0}{S} - 1$	$\varphi = \ln \frac{l}{l_0} = \ln \frac{S_0}{S}$

¹ A hosszváltozásból meghatározott alakváltozások csak a kontrakcióig használhatóak!

² $d\varepsilon = dL/L_0$ és $d\varphi = dL/L$ integrálásából

³ Az alakváltozások SI dimenziója: 1

A képletekben l egy tetszőlegesen rövidre választott mérőhossz pillanatnyi, míg l_0 ugyanannak eredeti hossza, S a próbatest pillanatnyi keresztmetszete, S_0 pedig a kiinduló keresztmetszete. A szakító diagramból létrehozhatjuk az anyag feszültség-alakváltozás diagramját mind mérnöki mind pedig valódi rendszerben (13. ábra).



13. ábra. Alumíniumra jellemző feszültség alakváltozás görbék valódi (σ - φ) és mérnöki (σ^m - ε) rendszerben.

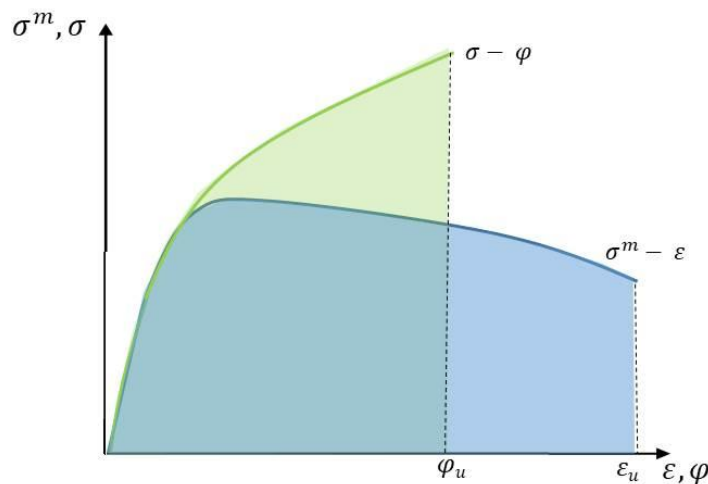
A valódi rendszerben ábrázolt feszültség-alakváltozás görbéből látható, hogy a feszültség az egész folyamat alatt alakváltozó keresztmetszetben egészen a szakadás pillanatáig nő.

A szakítóvizsgálatból meghatározható egyéb mérőszámok és jellemzők

A szakítóvizsgálat során az anyagot egészen a törésig (szakadásig) terheljük, így a teljes folyamatot nyomon követhetjük. Az eddig bemutatott mérőszámokon túl a folyamatból meghatározható az anyag töréséhez szükséges munka nagysága, a töretfelület vizsgálata pedig további információt ad az anyag viselkedéséről.

A töréshez szükséges munka, az ún. fajlagos törésmunka (W_c), a feszültség-alakváltozás görbe alatti területtel egyenlő (14. ábra), így kiszámítása egy egyszerű integrálással megtehető mérnöki és valódi rendszerben egyaránt (az alakváltozásokat a keresztmetszet változásból kell meghatározni m pont után).

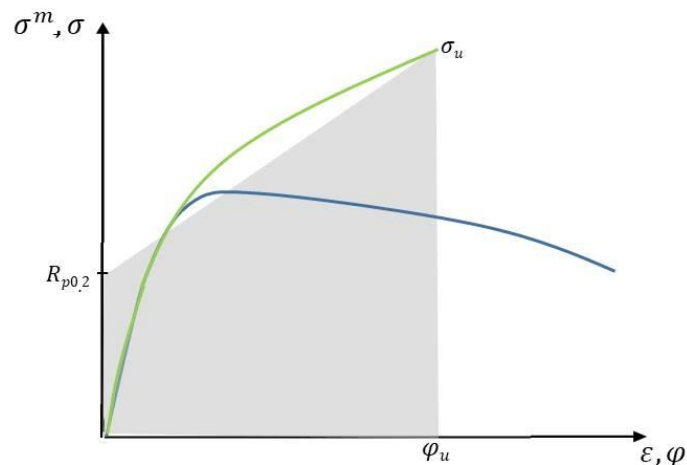
$$W_c = \int_0^{\varepsilon_u} \sigma^m(\varepsilon) d\varepsilon = \int_0^{\varphi_u} \sigma(\varphi) d\varphi \quad (\text{J/cm}^3)$$



14. ábra. A fajlagos törésmunka grafikus értelmezése mérnöki és valódi rendszerben.

A fajlagos törésmunka meghatározására szolgál az alábbi közelítő összefüggés is, amelyet trapéz formulának neveznek (15. ábra):

$$W_c \cong \frac{R_{p0.2} + \sigma_u^v}{2} \cdot \varphi_u \quad (\text{J/cm}^3)$$



15. ábra. A fajlagos törésmunka trapézformulával való számításának grafikus értelmezése.

Felkészülést segítő kérdések:

- Ismertesse a szakítóvizsgálatot!
- Ismertesse a szakító próbatestek típusait a keresztmetszet és befogás szempontjából!
- Ismertesse a szakítódiagram szakaszait!
- Ismertesse a szakítóvizsgálatból származtatható mérőszámok csoportosítását!
- Mi a fő különbség a mérnöki és valódi rendszerben számítható feszültségi mérőszámok között?
- Definiálja a terhelt állapotban mért egyezményes folyáshatár fogalmát, és dimenzióját!
- Definiálja a névleges folyáshatár fogalmát, és dimenzióját!
- Definiálja a terheletlen állapotban mért egyezményes folyáshatár fogalmát, és dimenzióját!
- Definiálja az alsó folyáshatár fogalmát, és dimenzióját!
- Definiálja a felső folyáshatár fogalmát, és dimenzióját!
- Definiálja a szakítószilárdság fogalmát, és dimenzióját!
- Definiálja a kontrakció fogalmát és dimenzióját!
- Definiálja százalékos szakadási nyúlás fogalmát és dimenzióját!
- Definiálja a fajlagos törésmunka fogalmát, és adja meg dimenzióját!
- Definiálja általános esetre a mérnöki rendszerben a feszültségi és alakváltozási mérőszámok fogalmát és dimenzióját!
- Definiálja általános esetre a valódi rendszerben a feszültségi és alakváltozási mérőszámok fogalmát és dimenzióját!
- Ismertesse a fajlagos törésmunka definíció szerinti kiszámítását!
- Definiálja a fajlagos törésmunka kiszámítására használatos trapéz formulát!

Felhasznált és ajánlott irodalom:

- W.D Calister: Materials Science and Engineering – An Introduction. 7th edition John Wiley & Sons, 2006, 2007
- Tisza Miklós: Anyagvizsgálat. Miskolci Egyetemi Kiadó, 2001
- Prohászka János: Bevezetés az anyagtudományba. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1997
- Dr. Gillemot László: Anyagszerkezettan és anyagvizsgálat. Tankönyvkiadó, 1972