

Műanyagok vizsgálata és anyagtulajdonságai a felhasználó szemszögéből

Dr. Thamm Frigyes*

Bevezetés

Napjainkban a műanyagok felhasználása egyre jobban terjed az erősen igénybevett szerkezetekben is (tartályok, fogaskerekek, járművek). A megnövekedett igényeknek megfelelően a műanyagipar már jó ideje kialakította saját anyagvizsgálási módszereit és az ezekhez szükséges berendezéseket. A nagy műanyaggyártó cégek műszaki célú műanyagok tulajdonságait különböző szintű ismeretőkben részletesen tárgyalják. Ennek ellenére – ha egyre ritkábban is – előfordulnak alkalmazási hibák, melyek az egyes műanyagfajták (főleg mechanikai) tulajdonságainak félreértelmezéséből adódnak. Az ilyen félreértelmezéseknek két oka lehet:

a.) A műanyagok anyagvizsgálata, különösen kezdetben, a fémek testére szabott hagyományos anyagvizsgálási módszereket követte. Az alapvető vizsgálati módok (húzó- és hajlítókísérlet, ütőhajlító vizsgálat) mind a mai napig használatosak műanyagok minősítésére is. A vizsgálat eredményeit is hasonlóképpen adják meg mint a fémeknél. Ugyanakkor a rugalmas és szilárdsági alapadatok (folyáshatár, szakítószilárdság, rugalmassági modulus stb.) jelentősége műanyagoknál messze nem olyan egyértelmű, érvényességi körük lényegesen szűkebb mint a fémeknél.

b.) A műanyagok sajátos tulajdonságaira (kúszás, a molekularendeződés hatása, a tulajdonságok igen erős hőfokfüggése) alapozva megjelentek és elterjedtek a fémeknél nem szokásos – részben fizikai-kémiai jellegű – vizsgálati módok, melyekkel a fémekhez szokott tervező nemigen tud mit kezdeni.

A következőkben a fenti két csoport néhány jellemző módszerét kívánjuk tárgyalni a teherviselő szerkezeti elemként szóba jöhető műanyagcsoportokat figyelembe véve. Jelenleg teherviselő szerkezeti anyagként két műanyagcsoport használatos:

1. A hőre lágyuló műanyagok csoportja (pl. polietilén, polipropilén, poliamid, acetálglyanta).
2. Szálvázal erősített, hőre keményedő műanyagok (teltetlen poliészter, epoxigyanta).

A hőre keményedő, töltött vagy töltetlen gyanták (fenolgyanta, melamingyanta) jelentősége erősen csökkent.

*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

A hagyományos anyagvizsgálási módok műanyagipari alkalmazásai

Szakítókísérlet

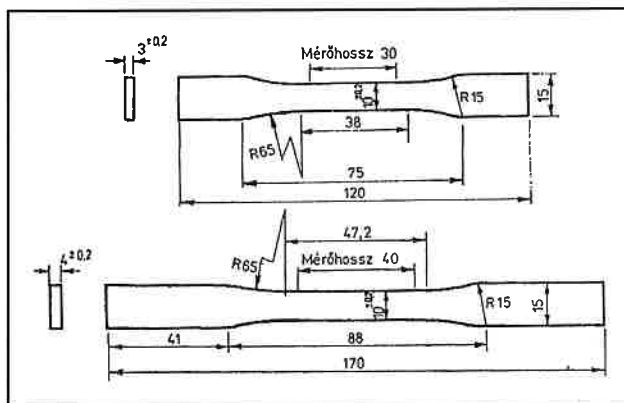
Ennek végrehajtása nagyban hasonló a fémek vizsgálatakor alkalmazott eljáráshoz. Két, régebbi DIN és MSZ szabvány szerinti próbatest-alakot az 1. ábra mutat. A szakítóvizsgálat alapján műanyagoknál is a folyási határt, a szakítószilárdságot és a rugalmassági moduluszt szokás meghatározni, de ezek értékei erősen függnek a vizsgált műanyag típusától és a kísérlet lefolytatásának körülményeitől. Az egyes műanyagcsoportok szakítódiaagramjai a 2. ábrán bemutatott jellegzetes alakot mutatják.

A homogén vagy töltött, hőre keményedő műanyagok gyakorlatilag teljesen ridegen viselkednek (2a. ábra), szilárdságukat a vizsgálat hőfoka és az alkalmazott vázanyag milyensége befolyásolja. Mint már említettük, jelentőségük erősen lecsökkent, főleg villamos szigetelő anyagként alkalmazták őket.

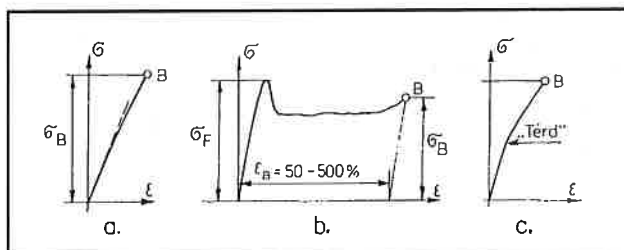
A szivós, hőre lágyuló műanyagok szakítódiaagramjának görbéje a folyási határ elérése után erősen lesik (2b. ábra). Ez a *nyújtási feszültségnek* is nevezett lecsökkent feszültségérték esetenként nagy, (100–300%-ig terjedő) nyúlásértékig fennmarad, többekévé állandó értéken, majd a próbatest lassan növekvő feszültségértéken szakad el. A szakítódiaagram alakját és jellemző értékeit a szakítás sebessége (3. ábra), hőmérséklete (4. ábra) és a próbatestnek a kísérletet megelőző kondicionálása (poliamidok esetén a nedvességfelvétele: 5. ábra) befolyásolja. A szakítási sebesség hatását a különböző anyagvizsgálási szabványok különböző módon igyekeznek figyelembe venni. Vagy előírják a szakítógépj húzópofáinak a sebességét (pl. $v = 5$ cm/min), vagy megadják a terhelés kezdetétől

a próbatest elszakadásáig tartó időtartamot (pl. 1 min).

Ezeknek a műanyagoknak az anyag-szerkezetét a meleg alakítás (fröccsöntés, extrudálás) károsítja. Ez a szakítószilárdságot nem nagyon, de a szivósságra jellemző szakadási nyúlást annál jobban befolyásolja. Ezt a hatást a 6. ábra mutatja be.

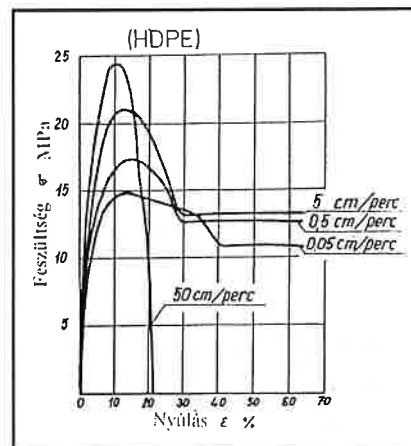


1. ábra. Két gyakrabban alkalmazott alakú szakítópróbatest műanyagok számára

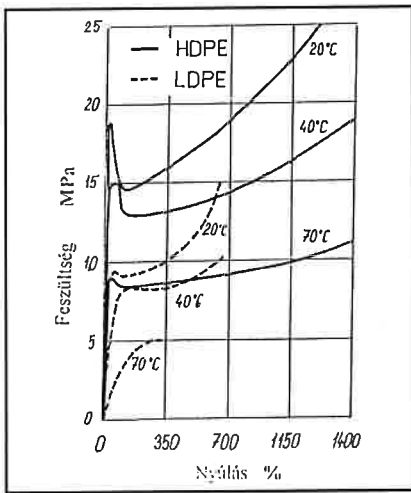


2. ábra. Műanyagokra jellemző szakítódiaagramok

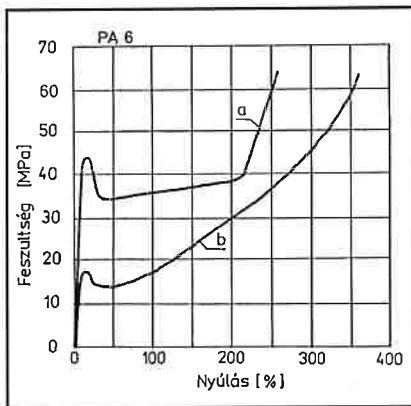
- a. Hőre keményedő műanyagok (fenolgyanta, melamingyanta, epoxigyanta)
- b. Szivós, hőre lágyuló műanyagok (polietilén, PVC stb.)
- c. Laminátok (szálvázal műanyagok)



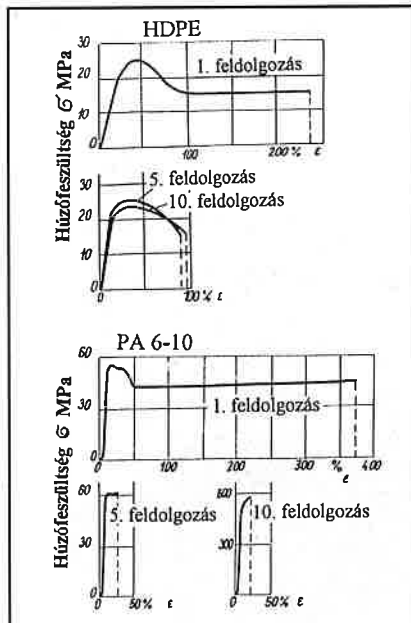
3. ábra. A szakítási sebesség hatása a szakítódiaagram alakjára szivós, hőre lágyuló műanyag esetén (nagy sűrűségű polietilén, HDPE példáján bemutatva)



4. ábra. A hőmérséklet hatása nagy sűrűségű (HDPE) és kis sűrűségű, lágy (LDPE) polietilén szakítódigramjára

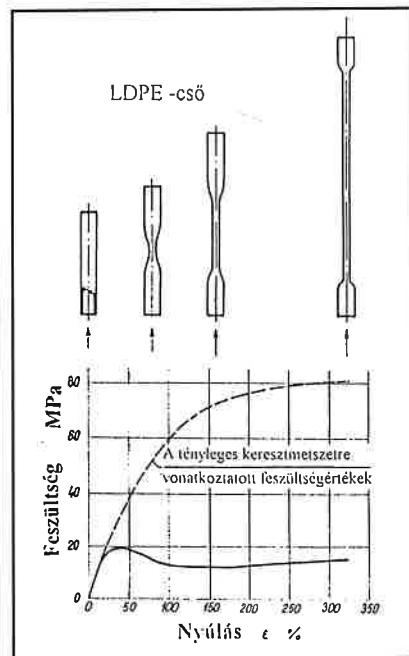


5. ábra. A feldolgozás utáni tárolás körülményeinek (a nedvességfelvételnek) hatása a technikai poliamid (PA 6) szakítódigramjára.
a. 24 órán át 90°C-on levegőben tárolva
b. 24 órán át 20°C-on 70% relatív nedvesség-tartalmú levegőben tárolva



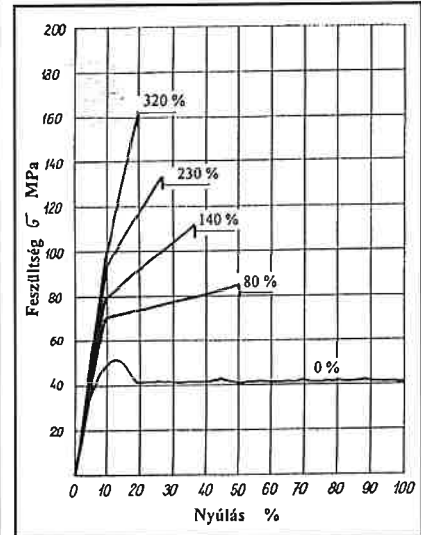
6. ábra. A többszöri feldolgozás káros hatása a hőre lágyuló műanyagok szakítódigramjára: az anyag elveszti szívósságát. HDPE: nagy sűrűségű polietilén, PA 6-10: ipari poliamid.

A feszültség értékének a folyási határ lépése utáni erős lecsökkenése a valóságban csak látszólagos, mert az anyagvizsgálati gyakorlat a feszültséget mindig mint a próbatestre ható erőnek a próbatest eredeti keresztmetszetére vonatkozó hányadosaként értelmezi. (A mindenkor keresztmetszetre vonatkoztatott, ún. valódi feszültség viszont folyamatosan nő, csakúgy, mint a fémeknél – a szerkesztő.) A hőre lágyuló műanyagok próbatestjei a folyási határ elérésekor kontrahálnak, de a próbatest a kontraháció bekövetkezésekor nem szakad el, hanem a kontraháció tovább terjed a próbatest egyre hosszabb szakaszán. Ezt a 7. ábrán mutatjuk be műanyag cső húzókísérletén.



7. ábra. Nyakképződés a szívós, hőre lágyuló műanyag (LDPE) húzókísérletekor. A meginduló kontraháció nem vezet azonnali tönkremenetelhez, hanem a kontrahált szakasz tovább terjed és ott a nyújtás irányában a molekulaszervezet rendeződik, megnövelve a tényleges (kontrahált) keresztmetszetre vonatkoztatott szilárdságot.

A – nagyjából állandó térfogaton lefolyó – képlékeny nyúlás a tényleges keresztmetszetre vonatkoztatott szilárdságot megnöveli, ami az anyagnak melegen való előnyújtásával szimulálható. Erre egy példát a 8. ábra mutat. Ezt a szilárdságnövekedést a műanyag molekulaszervezetének a terhelő erő irányába rendeződése okozza, ami a meleg alakítás során is hasonló módon végbe megy. A szakítódigram alakja és jellemző értékei a próbatest előállításának is függvényei. Teljesen rendezetlen molekulaszervezetű anyag csak úgy állítható elő, hogy a granulátum formájában rendelkezésre álló alapanyagot melegített lapok között lemezekké préselik. Az ezekből a lemezekből kivágott próbatesteken végzett szakítóvizsgálat eredményei szolgáltatják az anyag ún. *alapszilárdságát*, ami azonban az említettek alapján nem jellemzi hiven a fröccstárgyak

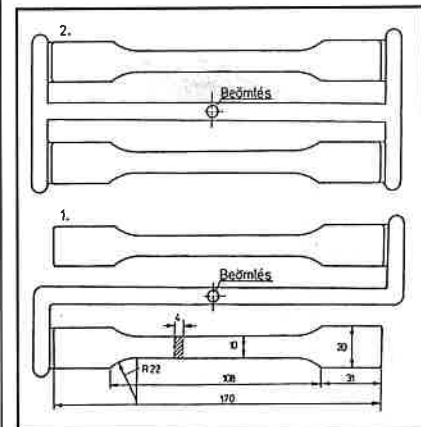


8. ábra. Különböző mértékben melegen nyújtott kemény PVC szakítódigramjai (az egyes görbék mellé írt számok: a nyújtás mértéke)

valódi szilárdsági viselkedését. A próbatest kimunkálása a préselt lemezből – különösen sorozatvizsgálatok alkalmával – munkaigényes. A gyakorlat ezért – kényszerűségből – fröccsöntött próbatesteken végzi vizsgálatait, és az eredmények összehasonlíthatósága érdekében a fröccs-szerszám beömlő nyílása egységesen a próbatest egyik végére van helyezve. Egy ilyen próbatest-kettőt, a fröccs-szerszám beömlő csatornáit is feltüntetve, a 9. ábra 1. része mutat.

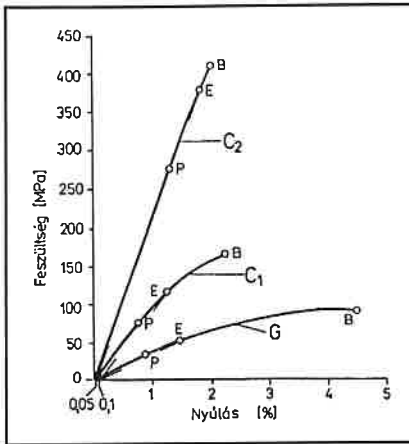
Fröccstárgyak gyenge keresztmetszetei az ún. *hegedési* vagy *összecsapási helyei*, ahol (pl. a nyílások körülfolyása után) a különállóan áramló fröccsanyag frontjai összetalálkoznak. Az ilyen helyek viselkedésének szimulálására szolgálnak az olyan fröccsöntött próbatestek, melyeknek mindkét végén egy-egy beömlési nyílás (garat) van (9. ábra 2. része).

Szálvázás műanyagok (laminátok) szilárdsági viselkedését a bennük levő szálváz anyaga, irányítottasága és mennyisége határozza



9. ábra. Szakítópróbatest-kettős hőre lágyuló műanyagból fröccsöntve az egyik végükről (1), ill. mindkét végükről (2). Ez utóbbinál a kétoldali beömlés hatására a próbatestek közepén „hegedési (összecsapási) hely” keletkezik

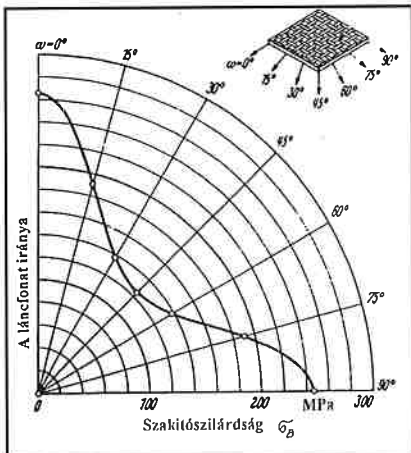
meg. Nincs képlékeny viselkedésük és folyási határjuk, a lineárishoz közel álló feszültség-nyúlás görbe végén ridegen törnek. Viselkedésük jellemzésére szükséges megadni a szálváz típusán kívül a vizsgálatkor uralkodó hőfokot és a fajlagos (tömegre, vagy térfogatra vonatkoztatott) szálváz tartalmát (10. ábra).



10. ábra. A szálerősítés hatása hőre keményedő, telítetlen poliészter gyanta (UP) szakítódiagramjára. G: tiszta (erősítetlen) gyanta. C₁: ua. 40 súly-% üveggaplannal töltve. C₂: 60 súly-% rovingszövetrel töltve. P: arányossági határ. E: rugalmassági határ. B: szakítószilárdság

Szövet, vagy keresztezett rovingszál-erősítésű laminátok viselkedésére jellemző lehet a 2c. ábrán bemutatott térd: a feszültség-nyúlás görbe irányváltozása. Ez azt a feszültségszintet jelzi, amelynél a húzás irányára merőleges szálak már leválnak az őket körülvevő ún. mátrixról, de a húzófeszültség irányában elhelyezkedő szálak továbbra is viselik a terhelést.

A szakítódiagram alakja függ a próbatestnek a szálírányhoz képest elfoglalt helyzetétől is. Ezt régebben polárdiagramban ábrázolták (11. ábra). A diagram szögkoordinátája adja meg a próbatest hosszirányának helyzetét az erősítő szövet lánc- vagy vetülékirányához, illetőleg rovingerősítés esetén annak valamelyik



11. ábra. Mindkét irányban egyforma mennyiségű üvegszövetrel erősített laminát szakítószilárdsága a szövetnek a szálírányával bezárt szöge függvényében

szimmetriatengelyéhez képest. A sugárkoordináta pedig megadja a szakítószilárdság értékét. Ma már ilyen vizsgálatot ritkán végeznek, mert az általános laminálási elmélet alapján megbízhatóan számítható a szilárdság a szálváz szálírányához képest ferde irányban is – amennyiben a szálelrendezés és a mátrix mennyisége megbízhatóan betartható a laminálás során. Szakítókéísérletet ezért csak a szálváz főirányiba kivágott próbatesteken szokás végezni.

Paplanerősítésű laminátoknál is előfordul a húzóerőre merőleges szálak idő előtti elválása, de ez a jelenség ott a terhelés növekedésével fokozatosan növekszik és térd helyett a feszültség-nyúlás görbének a lineáristól való eltéréseben jelentkeznek. Az ilyen laminátok szilárdsága nagyjából független a próbatestnek a helyzetétől, de értéke általában jóval kisebb a szövet- vagy rovingszövet erősítésű laminátokénál.

A rugalmassági modulus értelmezése. Tekintve, hogy többé-kevésbé mindegyik műanyagfajta szakítódigramjának már a kezdeti szakasza is eltér a lineáristól, a rugalmassági modulus megszűnik olyan mértékben anyagállandó lenni, mint a fémeknél. Emiatt műanyagoknál eleve kétféle rugalmassági modulus használatos. A 12. ábra Q pontjához rendelhető értékek:

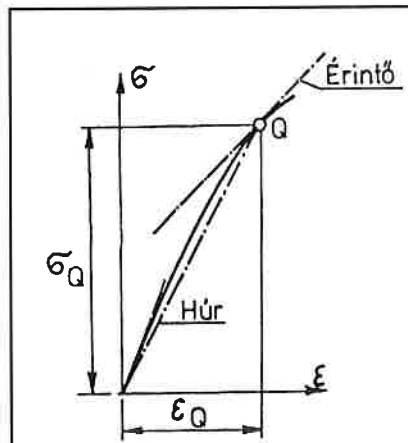
a.) az ún. *húrmodulus* (E_s). Ez a Q pontot a koordináta-rendszer kezdőpontjával összekötő húr meredeksége

$$E_s = \frac{\sigma_Q}{\varepsilon_Q}$$

b.) az ún. *érintőmodulus* (E_t). Ez a s = f(ε) görbéhez a Q pontban húzható érintő meredeksége:

$$E_t = \left. \frac{d\sigma}{d\varepsilon} \right|_Q$$

Természetesen mindkét rugalmassági modulus értéke függ a Q pontnak a feszültség-nyúlás görbén felvett helyétől. Műanyag alkat-



12. ábra. A rugalmassági modulus különböző értelmezése a lineáristól eltérő feszültség-nyúlás görbe Q pontjában

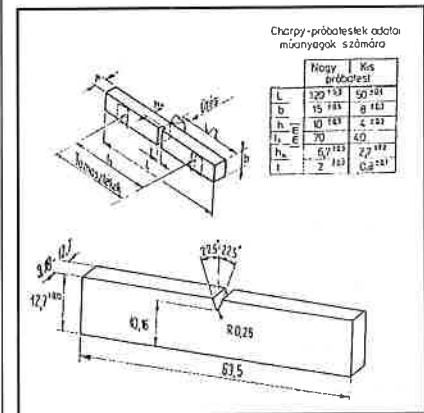
részek alakváltozásának számításakor célszerű a *húrmodulust*, horpadási problémák vizsgálatok a várható feszültségszinthez tartozó *érintőmodulust* alapul venni.

A műanyagok vizsgálatánál alkalmazott viszonylag kisméretű próbatestek és a – különösen a hőre lágyuló műanyagok – kis szilárdsága miatt az ilyen anyagok vizsgálatára általában kis mérés határú (kb. 1000 N) szakítógépek terjedtek el.

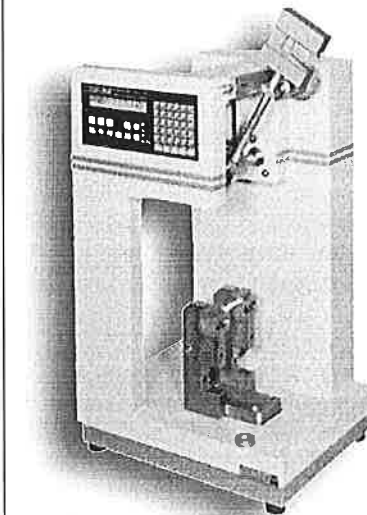
Az elmondottak alapján a szokásos szakítóvizsgálatok eredményei csak a különböző típusú és eredetű műanyagok összehasonlítására alkalmasak és csak *igen korlátozott mértékben* képezhetik a szilárdsági méretezés alapját, különösen tartós terhelés esetén.

Ütőhajlító vizsgálat

Ennek a vizsgálati módnak a végrehajtása is a fémeknél szokásoshoz hasonló. Mind a Charpy-, mind az Izod-módszer használatos. A műanyag szerkezetek szokásos kis méreteire való tekintettel a fémeknél általában szokásosnál kisebb méretű próbatestek használatosak (13. ábra), amelyekhez kisebb méretű ütőművek készültek (14. ábra). A vizsgálatok gyenge



13. ábra. Műanyagok ütőhajlító vizsgálatához használt Charpy- és Izod-próbatestek szokásos méretei (DIN 53453 szerint)



14. ábra. Korszerű, kisméretű asztali ütőmű műanyagok ütőhajlító vizsgálatához (CEAST)

pontja a próbatetek bemetszésének pontos elkészítése. A bemetszést a próbatest fröccsöntésekor a fröccs-szerszám megfelelő kialakítása útján előre elkészíteni nem célszerű, mert a fröccsöntéskor lefolyó anyagáramlás eleve megváltoztatja az anyag szerkezetét éppen a várható törés helyén. A bemetszés utólagos elkészítése fémfűrészsel nem ajánlatos, mert a horonyalak erősen függ az azt készítő szakmunkás ügyességétől. Megbízhatóbb, jobban összehasonlítható mérési eredmények csak akkor érhetőek el, ha a próbatest bemetszését marással állítják elő, amihez precíziós készülékek állnak rendelkezésre. Ezek a húzóüske elvén működnek, ezért a bemetszés méretpontos, és alkalmazásukkal elkerülhető a próbatestnek a megmunkálás közbeni felmelegedése is, ami már viszonylag alacsony hőfokon az anyag helyi megolvadását és ezzel a bemetszés felszíne tulajdonságainak a megváltozását eredményezheti. Egy ilyen készüléket mutat a 15. ábra.

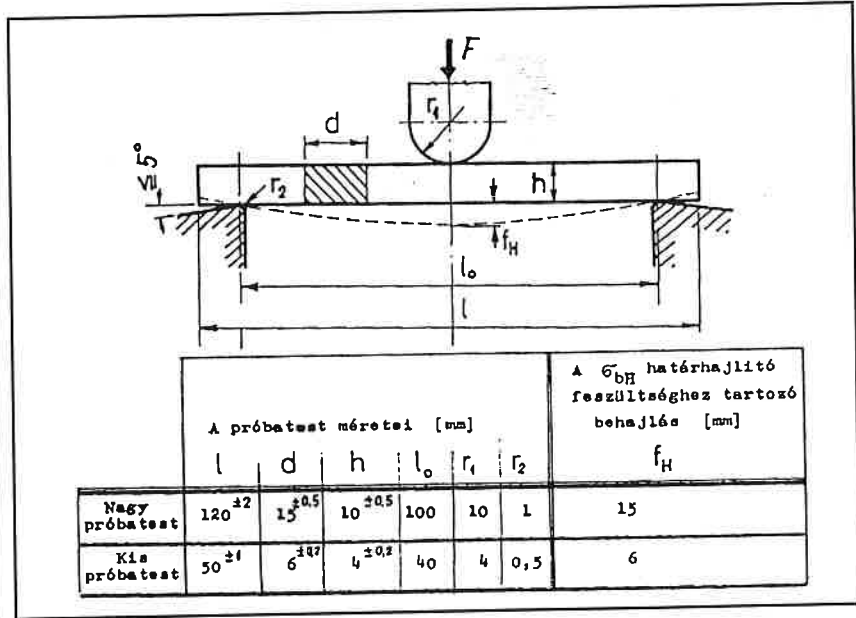


15. ábra. Készülék ütőhajlító próbatetek bemetszésének szabatos elkészítésére

Ejtőművek is kaphatók, ezek azonban kevésbé a tulajdonképpeni anyagvizsgálat céljait szolgálják, inkább egyes, gyakrabban előforduló termékek (csövek, membránok) minősítésére szolgálnak. Alkalmazásuk mindenestre a hagyományos vizsgálati módok iránti bizalmatlanságra mutat.

Szálvázaz műanyagok vizsgálatok a bemetszés átvágná a szálbetétek egy részét, ezáltal a tényleges szerkezetben ritkán előforduló gyengítést eredményezne. Ezért az ütőhajlító vizsgálat helyett különleges nyíróvizsgálatok terjedtek el az egyes szálbetét-rétegek közötti elválás vizsgálatára.

Az utóbbi időben kezd elterjedni a műszerezett ütőhajlító vizsgálat, ami lehetővé teszi az ütés folyamán fellépő erő-idő vagy erő-út függvény felrajzolását. Műanyagok esetén ennek a vizsgálatnak az alkalmazásakor az a nehézség jelentkezik, hogy a kalapács sebessége közel esik a hangnak a műanyagban való terjedési sebességéhez, így a próbatestben lökéshullámok keletkeznek, melyek megzavarják a tulajdonképpeni erő-görbét. Ennek elkerülésére a kalapácsba rugalmas műanyag-

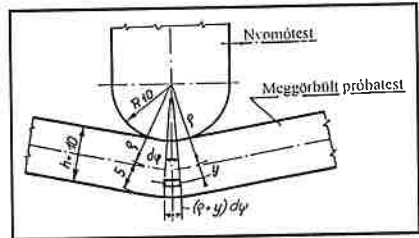


16. ábra. Műanyagok hajlítóvizsgálatához használatos próbatetek méretei

testet helyeznek, ami szintén bonyolítja a mérési eredmények értelmezését.

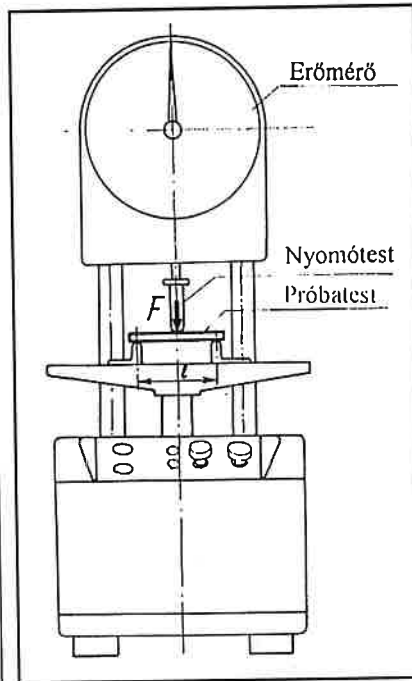
Hajlítóvizsgálat

Az eddigieknél megbízhatóbbnak tartja a gyakorlat a hajlítóvizsgálat eredményeit. Ezt a próbatestnek a kísérlet során elszervedett alakváltozásának jellege indokolja. A vizsgálatokhoz előírt próbatest-alakokat a 16. ábrán foglaltuk össze, a berendezés egy kiviteli formáját vázlatosan a 17. ábra, míg a nagyobbik próbatestnek a nyomótest alatti szakaszát – már deformált állapotban – a 18. ábra mutatja. A próbatest mintegy ráfekszik a nyomótest hengeres felszínére, miáltal a semleges szálról y távolságra levő szál nyúlása $\epsilon = y/\rho$ értéknel

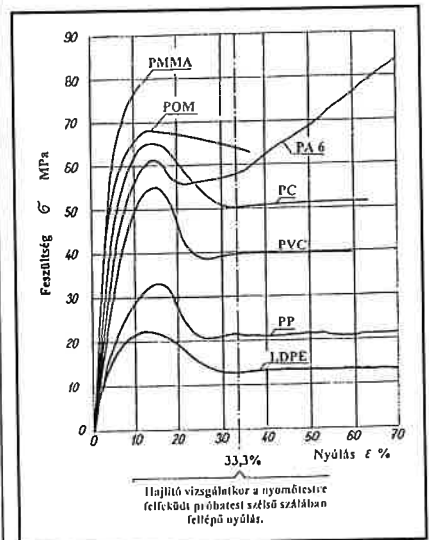


18. ábra. A hajlítóvizsgálat alkalmával a próbatest „ráfekszik” a nyomótestre, amelynek sugara behatárolja a próbatestben fellépő legnagyobb nyúlást, függetlenül a próbatest besüllyedésének mértékétől

nem lehet nagyobb. Az ábra adatai alapján a próbatest semleges szálának görbületi sugara $\rho = 15$ mm, a szélső szál távolsága $y = 5$ mm. Ezzel a nyúlás ott $\epsilon = 5/15 = 1/3 = 33,3\%$. Ugyanez adódik a kis próbatest esetén is. Ezt a nyúlásértéket berajzoltuk több műanyagfajta szakítódiagramjába a 19. ábrán. A hajlítóvizs-



17. ábra. Hajlító gép műanyagok vizsgálatához



19. ábra. A hajlítóvizsgálat során lehetséges legnagyobb nyúlás a különböző hőre lágyuló műanyagok szakítódiagramjába berajzolva

gálat tehát kiküszöböli a legtöbb hőre lágyuló műanyag bizonytalan kúszási szakaszát és, minthogy a hajlítókísérlet alkalmazásával nem tud kialakulni a húzókísérletkor jelentkező nyakképződés, amint azt a 7. ábra mutatta, a kísérlet jobban közelíti az anyag valódi szilárdságát (pontosabban folyási határát), mint a húzókísérlet, annak ellenére, hogy a kísérlet kiértékelésekor csak a rugalmas alakváltozást feltételezve a hajlítószilárdságot a 16. ábra jelöléseivel az alábbi összefüggéssel számítjuk:

$$\sigma = \frac{M_h}{K} = \frac{F \cdot l}{4} \cdot \frac{6}{dh^2}$$

Hogy a próbatestnek a nyomótestre való felfekvése ne torzítsa el (nagyon) a feltételezett feszültegeloszlást és egyben „beletaláljanak” a mért legnagyobb feszültségértékbe, a hajlítószilárdságot a 16. ábra táblázatában megadott f besüllyedés elérésekor mért nyomaték-ból számítják. Ezt *határhajlító feszültségnek* nevezik.

A hajlítókísérletet mintegy a szakítóvizsgálat ellenőrzésére is felhasználják, azzal párhuzamosan végezve. Lehetőleg azonos

próbatestben ekkor fellépő legnagyobb nyúlás nem haladhatja meg az $\epsilon_{max} = 0,005 = 0,5\%$ értéket. Ehhez a nagy próbatest esetén $f_{max} = 0,833$ mm, a kis próbatest esetén pedig $f_{max} = 0,75$ mm besüllyedés tartozik a nyomótest alatti próbatest-keresztmetszetben, ami a besüllyedés igen pontos mérését teszi szükségessé.

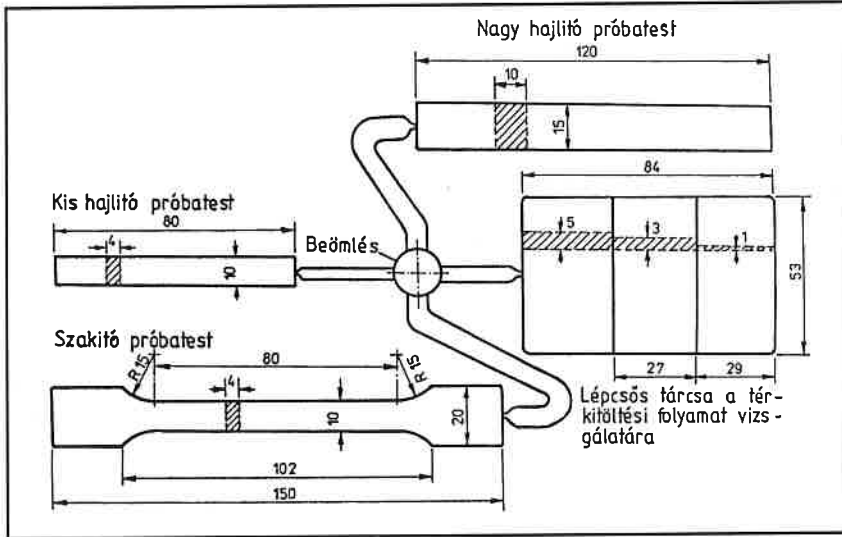
Teherbíró szerkezetek számára alkalmas műanyagok esetén a gyártók általában megadják a hajlítókísérlet alapján kiadódó rugalmassági modult (németül Biege-E-modul), de megadják azt is, hogy milyen szabvány előírásainak alapján határozták meg azt, ezzel mintegy figyelmeztelve a felhasználót, hogy a vizsgálat körülményeitől erősen eltérő körülmények között a mért adat félreértelmezhető lehet.

Fárasztóvizsgálat

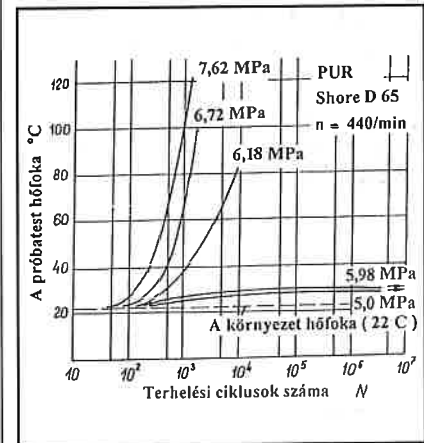
Ennek a vizsgálati módnak a lefolytatása szintén a fémeknél szokásos módszert követi és az eredmények megadása is hasonló azokéhoz. A vizsgálati eredményeket műanyagoknál két szempontból kell kritikával fogadni:

- a.) A műanyagok a fémeknél sokkal nagyobb hiszterézist mutatnak.
- b.) A műanyagok a fémeknél rosszabb hővezetők, tehát a hiszterézis miatt a próbatestben keletkezett hő nem tudván elfolyni, a próbatest felmelegszik, miáltal rugalmas tulajdonságai is megváltoznak.

Mivel a hiszterézis keltette felmelegedés a fárasztás frekvenciájától is függ, a vizsgálat eredményei is függenek a terhelési frekvenciától. A próbatest hőfoknövekedését poliuretán elasztomer forgóhajtogatása esetén a 21. ábra mutatja. A felmelegedés mértéke „kemény” műanyagok esetén kisebb mértékű ugyan, de a kapott eredmények csak a környezet hőfokát és a terhelés frekvenciáját megadva tekinthetők irányadónak. A különböző műanyag típusokra vonatkozó Wöhler-görbékét a 22. ábrába, Smith-diagramokat a 23. ábrába gyűjtöttük össze. Ezek azért is óvatosan kezelendők, mert a műanyagok módifikálása („ütésállóvá tétele”) még azonos típusú műanyagok esetén is erősen befolyásolja kifáradási tulajdonságukat.



20. ábra. Hajlító- és szakítópróbatestek előállítására közös fröccs-szerszámban



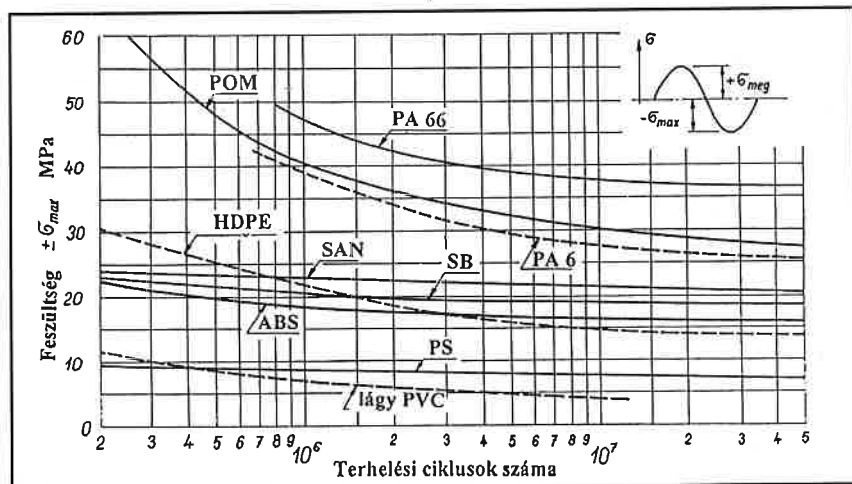
21. ábra. A próbatest felmelegedése forgóhajtogatás hatására

anyagtulajdonság biztosítására a hajlító- és a húzópróbatestet közös fröccs-szerszámban is készítik, amire egy példát a 20. ábra mutat.

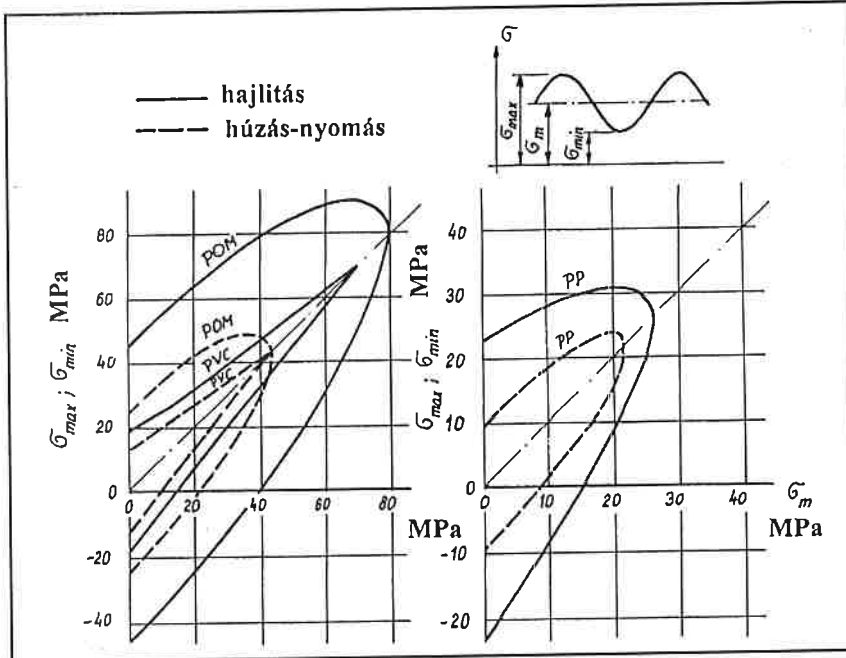
A próbatest „ráfekvése” a teherátadó testre ugyanakkor nehézséget jelent a rugalmassági modulus meghatározásakor. Ezért, ha a rugalmassági modult az ismert járulékképletre alapozott

$$f = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot I \cdot E}$$

képletből akarjuk meghatározni (ahol a 16. ábra jelöléseivel $l = d \cdot h^3 / 12$), a próbatestnek csak olyan kis besüllyedésénél szabad az F erőt mérni, amikor a „ráfekvés” még nem torzíja el a próbatest nyomótest alatti keresztmetszetének feszültegeloszlását. Ezért írja elő a DIN 53452 és az MSZ 1422 szabvány azt, hogy a



22. ábra. Különböző hőre lágyuló műanyagok Wöhler-görbéje 20 °C-on, 10 Hz frekvenciával terhelve (forgóhajtogatás)



23. ábra. Különböző hőre lágyuló műanyagok Smith-diagramja 20 °C-on, 10 Hz frekvenciával terhelve (forgóhajtogatás)

Műanyagok különleges anyagvizsgálati módszerei

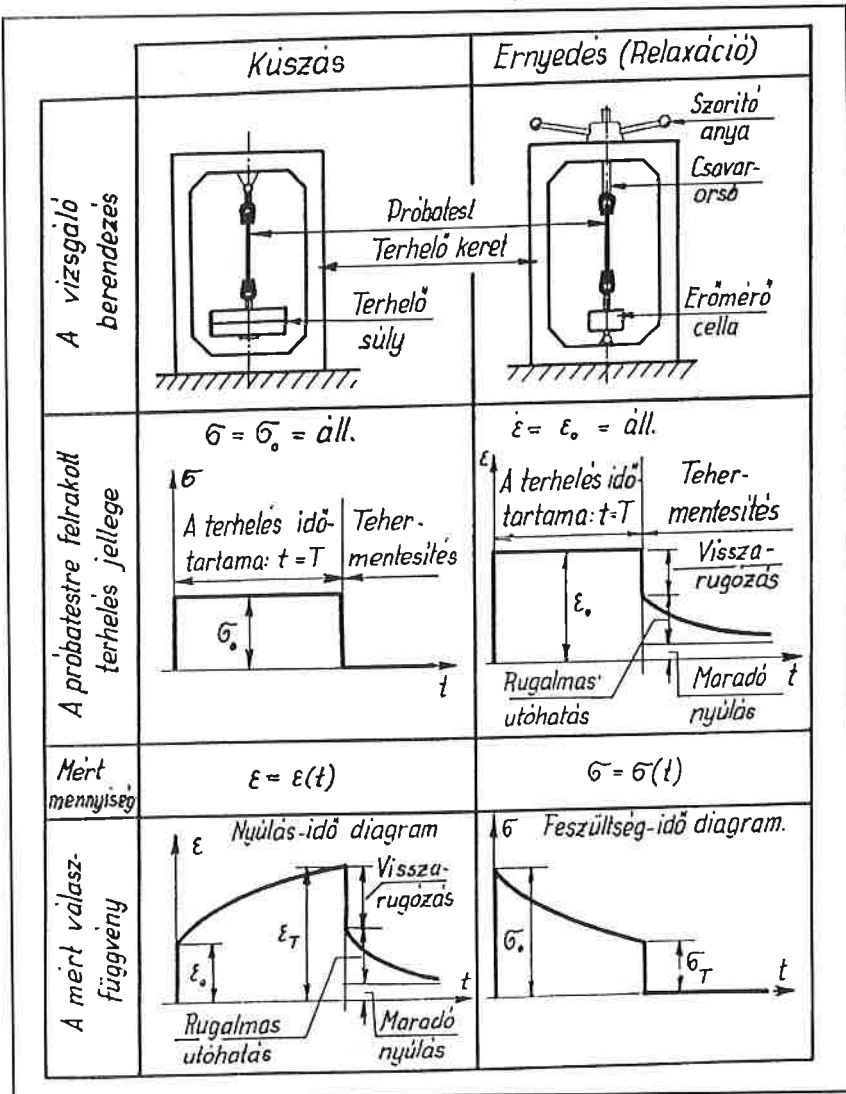
Amint azt az eddigiekben bemutattuk, a hagyományos anyagvizsgálati módszerek egyike sem írja le a műanyagok tulajdonságait olyan megbízhatóan, mint a fémekét. Ez a műanyagok tulajdonságaira vezethető vissza, nevezetesen:

- a.) A műanyagok viselkedése – a legtöbb fémtől eltérően – már szobahőmérsékleten is függ a statikus terhelés időtartamától. Hosszantartó állandó terhelés hatására alakváltozásuk növekszik (kúszás), illetve a tartósan állandó mértékű összenyomott vagy nyújtott állapotok fenntartásához szükséges kényszerítő erő nagysága idővel csökken (ernyedés). Mindkét esetben a terhelés időtartamával csökken az anyag rugalmassági modulusa.
- b.) A műanyagok anyagszerkezete rendeződésre hajlamos, amit hőre lágyuló anyagok esetén a molekulaláncoknak a meleg alakításra (fröccsöntés, extrudálás) jellemző anyagáramlás irányába való beállása („kifésülődése”) okoz. Ennek a rendeződésnek a hatására rugalmassági modulusuk és szilárdságuk a rendeződés irányában megnövekszik, arra merőlegesen lecsökken. Anizotróppá válik hőtágulási együtthatójuk is. A rendeződés mértéke egyazon alkatrészben helyről helyre változhat, esetenként igen nagy mértékben. Emiatt külső terhelés hatására egészen váratlan tönkremeneteli formák léphetnek fel. A tulajdonságok helyről helyre való változása egészen kis próbatesten végzendő vizsgálatokat igényel, a tulajdonságok elemzése szükségessé tesz a fémeknél ismeretlen fizikai-kémiai vizsgálati módszereket is.

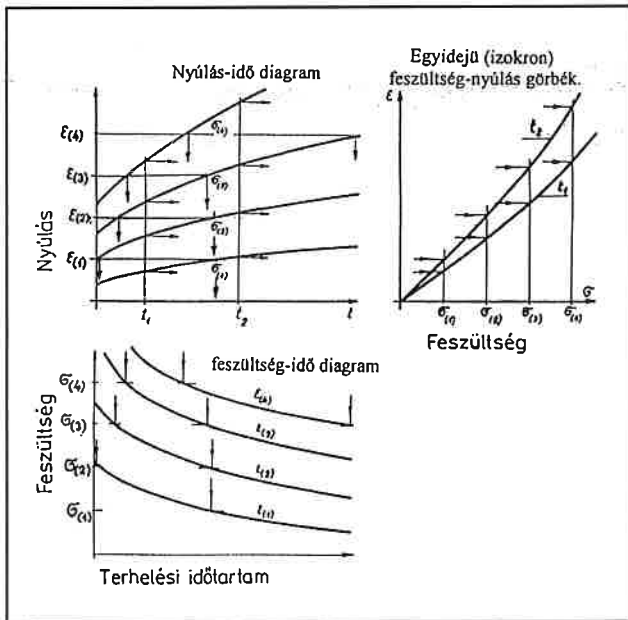
Kúszás- és ernyedésvizsgálata

Mindkét vizsgálati mód nagyon időigényes, sok próbatesten párhuzamosan végzendő, hosszan tartó kísérleteket tesz szükségessé. A vizsgálóberendezések elvét és egy-egy próbatesten észlelt feszültség-idő illetve nyúlás-idő diagram jellegét a 24. ábrán állítottuk össze. A vizsgálat nagy hely- és időigénye miatt üzemi laboratóriumok ilyen vizsgálatokra általában nem tudnak berendezkedni, így a felhasználók a műanyaggyártók adataira, illetve kutatóintézetek eredményeire vannak ráutalva.

Kúszásvizsgálatokat a legtöbb műszaki célú műanyagon végeztek, ezek a szakirodalomban illetve a gyártók termékismertetőiben rendelkezésre állnak. Ernyedésvizsgálata ezzel szemben kevés adat található, amit valószínűleg az okoz, hogy a vizsgálat igen merev terhelő berendezést és merev erőmérő cellákat igényel. Különböző feszültség-szinten elvégzett kúszásvizsgálatok kiértékelése és összefoglalása a 25. ábrán bemu-



24. ábra. A kúszás és az ernyedés vizsgálatához használt berendezések elvi vázlata, a próbatestre ható terhelés időbeli változása és a terhelés hatására jelentkező válaszfüggvény



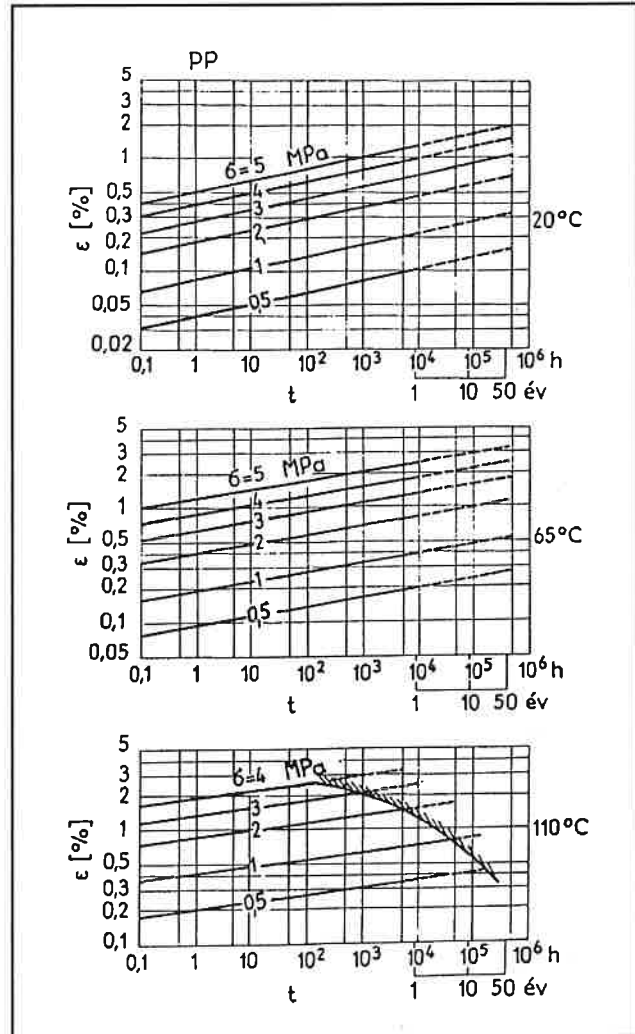
25. ábra. A különböző feszültszinteken elvégzett kúszásvizsgálat kiértékelése alapján kiadódó nyúlás-ido diagram és az ebből átszerkeszthető egyidejű (izokron) feszültség-nyúlás görbék, valamint a feszültség-ido diagram

tatott nyúlás-ido diagramot eredményezi. A vizsgálat lefolytatásának körülményeit szabványok rögzítik (pl. DIN 53444, ISO DR 748). Logaritmikus nyúlás- és időskálát alkalmazva az egyes feszültszintekhez tartozó nyúlás-ido görbék közel egyenesek, amint azt a 26. ábra mutatja. A három különböző hőfokon felvett kúszásgörbe közül a 110 °C-on felvett diagramon vonalkázott sávval a tönkremenetel megindulásának határgörbéje is fel van tüntetve.

A nyúlás-ido diagramból két másik görbesereg szerkeszthető meg, és ezek látszanak a felhasználó és különösen a tervező számára a leghasznosabbaknak. Az egyidejű (izokron) feszültség-nyúlás görbék (a 24. ábra jobb felső diagramja) lineáris feszültség- és nyúlástengelyekkel valódi szakítódiagramok kezdeti szakaszaihoz hasonlítanak, de a görbesereg min-

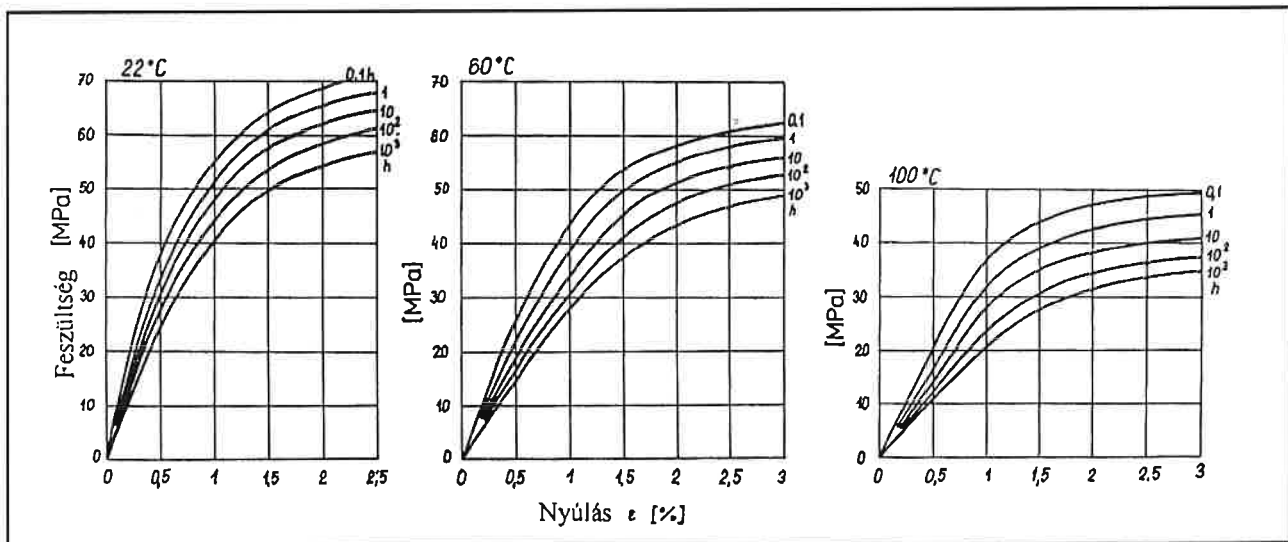
den görbéje különböző próbatesteken egy-egy adott terhelési időtartamhoz tartozó mért pontokból lett összerakva. Egy ilyen ábrásort – ezúttal is három különböző hőfokon felvéve – a 27. ábra mutat.

Az egyidejű feszültség-nyúlás diagramba is be lehet rajzolni a tönkremenetel határgörbéjét (28. ábra). Ezt itt úgy értelmezik, hogy ez az a határ, amelynek elérésekor az anyag tönkremeneteléhez vezető folyamat elkezdődik. A 28. ábra

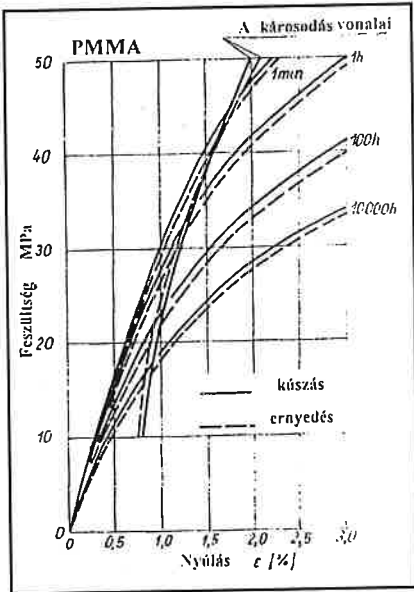


26. ábra. Polipropilén nyúlás-ido diagramja három különböző hőmérsékleten felvéve. A 110 °C-on felvett diagramban vonalkázott határgörbe jelzi a tönkremenetel megindulásának határát

akrilgyanta (PMMA) viselkedését jellemzi és a húzókísérlet eredményein kívül az ernyedési kísérletből kiadódó egyidejű feszültség-nyúlás görbéket is tartalmazza. Az ábra alapján arra



27. ábra. 30% üvegszál-vagdálékkal erősített polikarbonát (PC) egyidejű feszültség-nyúlás görbéi három különböző hőfokon felvéve



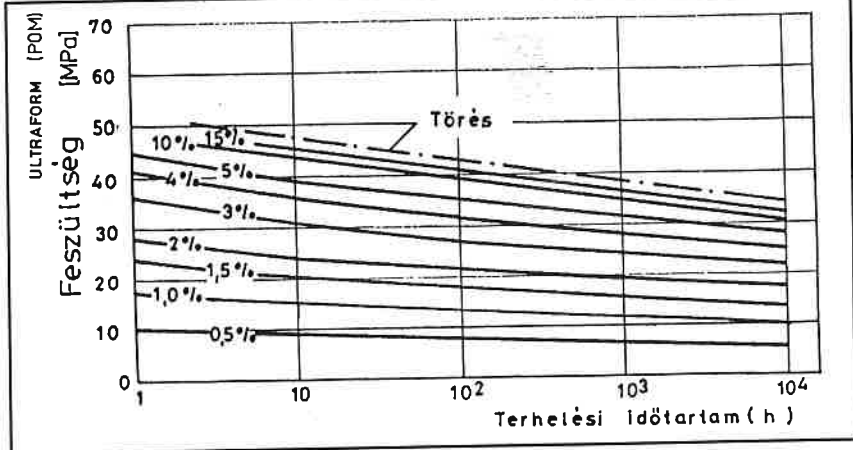
28. ábra. Akrilgyanta (PMMA) egyidejű feszültség-nyúlás görbéi kúszási és ernyedési kísérletekkel felvéve

lehet következtetni, hogy a két igénybevételi mód (kúszás és ernyedés) hatása nem nagyon különbözik egymástól.

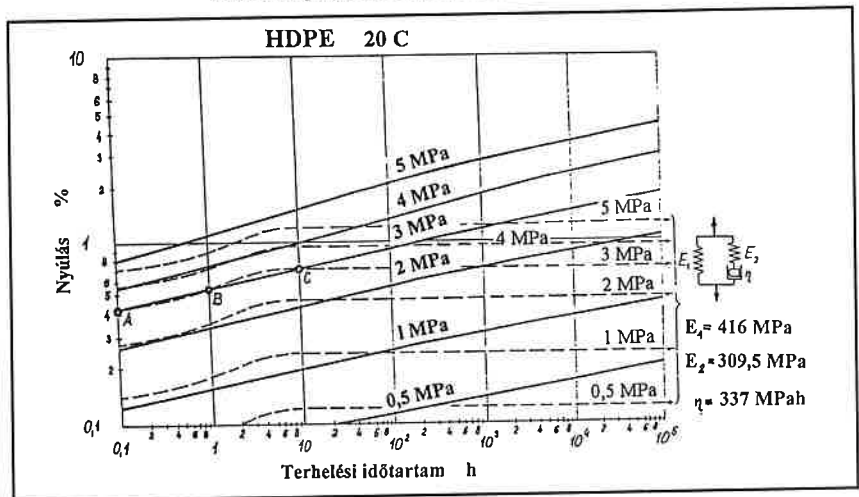
A másik átszerkeszthető görbesereg a feszültség-*idő* diagram. A szabványoknak megfelelően ezt is logaritmikus feszültség- ill. időskálával kell felrajzolni. A diagram egyes görbéi adott nyúlásértékekhez tartoznak (29. ábra.). Fel szokás tüntetni a tönkremenetel határgörbéjét is. Figyelemre méltó, hogy utóbbi gyakorlatilag párhuzamos a nagy alakváltozáshoz tartozó nyúlás-*idő* görbékkel. Ebből azt a következtetést lehet levonni, hogy műanyag szerkezetek tönkremenetelét tartós terhelés esetén elsődlegesen nem a rá ható feszültség, hanem az elszennvedett alakváltozás okozza. Egy erre felépített szilárdsági méretezési módszert dolgozott ki az Institut für Kunststoffverarbeitung (Aachen, Németország) és ehhez csatlakozott az Építészeti Szabványozási Központ MI-04.55-78 jelű irányelve is.

Nem árt figyelmeztetni arra, hogy az egyszerűbb viskoelasztikus modellek műanyagok kúszását csak nagyon korlátozott idő- és feszültségtartományban írják le többé-kevésbé pontosan. Ennek hatását a 30. ábrában mutatjuk be, ahol egy műszaki célú műanyag (nagy sűrűségű polietilén HDPE) kísérletileg meghatározott nyúlás-*idő* görbéit teljes vonallal ábrázoltuk, majd ezt összehasonlítottuk az egyik görbe A, B és C pontjaira illesztett, és az ábra jobb szélén feltüntetett adatokkal rendelkező viskoelasztikus modellből számított nyúlás-*idő* görbékkel; ezeket szaggatott vonallal jelölve. Amint azt a két görbesereg összehasonlítása mutatja, valamennyire használható közelítés csak az A és C pontok közötti időtartományban várható.

Csövek kúszásvizsgálatára különleges vizsgálati és leírási mód alakult ki. A csövet víztöltéssel terhelik állandó hőfokon és nyomá-



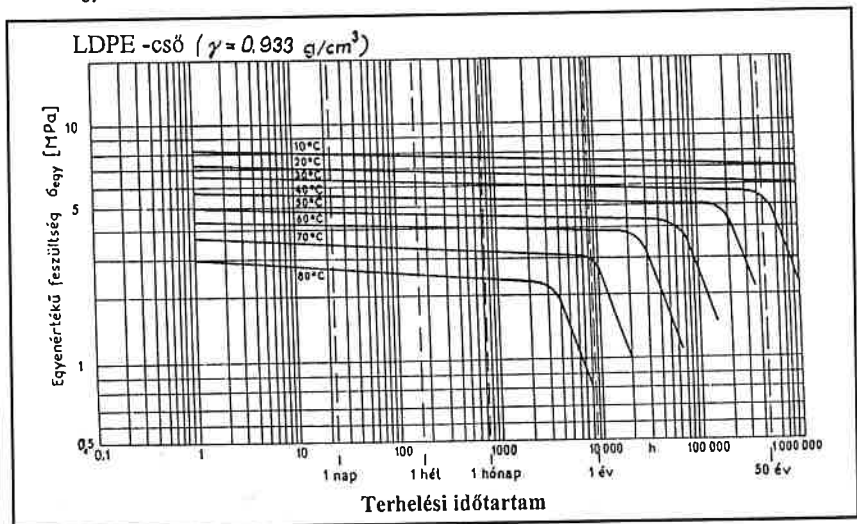
29. ábra. Acetátgyanta (POM) feszültség-*idő* diagramjai. Figyelemre méltó, hogy a tönkremenetel határgörbéje nagyjából párhuzamos az állandó nyúlás görbéivel. Ebből több kutató arra következtet, hogy műanyag alkatrészeket nem megengedhető feszültségre, hanem megengedhető nyúlásra kellene méretezni.



30. ábra. Nagy sűrűségű polietilén (HDPE) nyúlás-*idő* diagramja szobahőmérsékleten felvéve (teljes vonallal kihúzva). Az ábrába szaggatott vonallal berajzoltuk azokat a nyúlás-*idő* görbéket, amelyek az ábrán bemutatott viskoelasztikus modell állandóival a kísérletileg felvett görbesereg 3 MPa-hoz tartozó görbéjének A, B és C pontjaira illesztve adódtak.

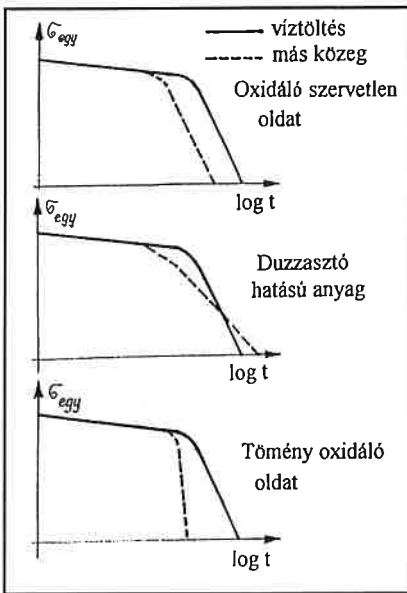
A számított görbék a mértéktől az A-C szakaszon kívül még jellegben is eltérnek.

son és méri a tönkremenetelig (felrepedés) tartó időtartamot. A mérés során a csőfalban ébredő gyűrű- és tengelyirányú feszültség-összetevőkből a Huber-Mises-Hencky-elmélet szerinti egyenértékű feszültséget számítják ki és ennek függvényében méri fel a tönkre-

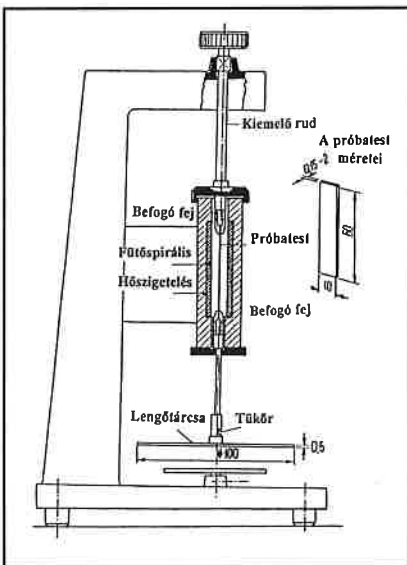


31. ábra. Kis sűrűségű polietilén (LDPE) cső tönkremeneteli határgörbéi belső víznyomás hatására különböző hőmérsékleten

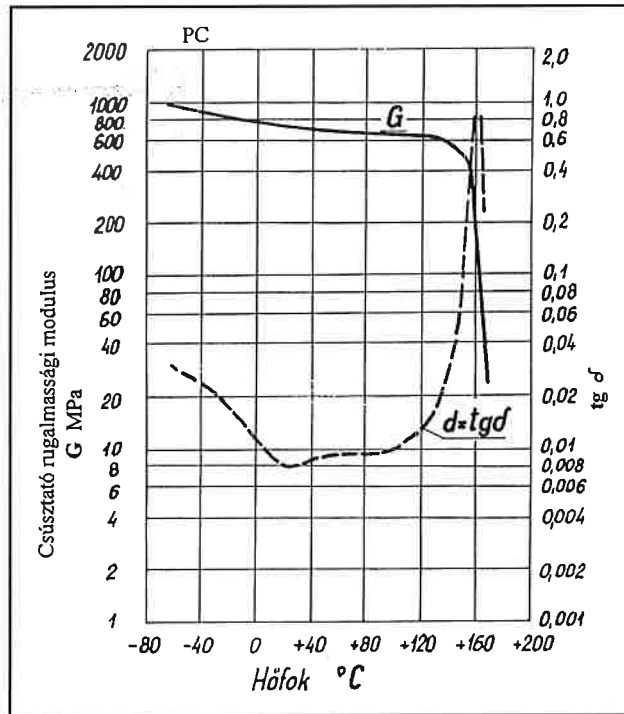
menetel időtartamát. A vizsgálatot különböző nyomáson és hőfokon elvégezve a 31. ábrán bemutatott görbesereg adódik. Figyelemre méltó a görbék iránytangenseinek hirtelen iránytörése egy meghatározott terhelési időtartam után. Az első, laposabb szakasz mentén a tönkremenetel képlékeny alakváltozás után következnek be. Az ezt követő meredek szakaszban a csőfal ridegen törik. A cső élettartamát alapvetően a meredek szakasz határozza meg, ezért a műanyag csöveket élettartamra méretezik oly módon, hogy adott terhelés (belső nyomás és hőfok) esetén a megengedhető üzemidőt az illető körülmények között a görbe meredek szakaszához tartozó tönkremeneteli időtartam előírt részarányaként (pl.



32. ábra. A csőben szállított közeg befolyása a műanyag cső tönkremeneteli határgörbéjének meredek szakaszára



33. ábra. Mérőkészülék (elvi vázlat) műanyagok G csúsztató rugalmassági modulusának és tgδ veszteségi szögének a szabad forgó lengés frekvenciájából ill. csillapodásából való meghatározására.



34. ábra. A 33. ábrának megfelelő készülékkel felvett G és tgδ értékek a hőmérséklet függvényében, polikarbonát (PC) típusú műanyagra a 0,2 – 1 Hz frekvenciatartományban

80%) határozzák meg. A meredek szakasz lefutását a csőben szállított közeg erősen befolyásolja. A befolyás jellegét a 32. ábrán mutatjuk be.

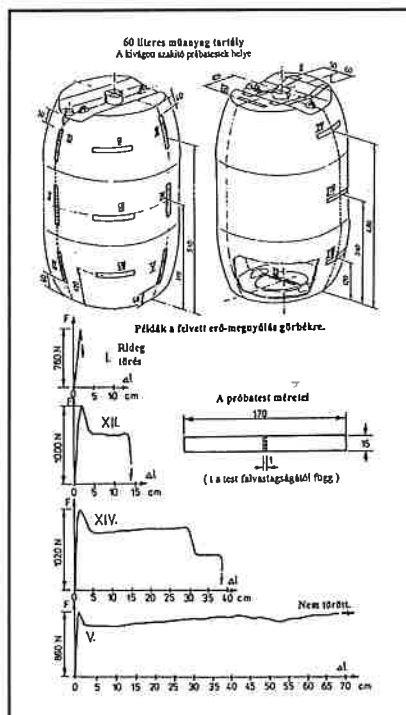
A kúszási és ernyedési tulajdonságok azt eredményezik, hogy ha egy lengésképes (rugóból és tömegből álló) rendszer rugója mű-

gedve a rendszer csavaró lengéseket végez. A tárcsához kötött tükröt párhuzamos fénynyalábbal (újabb kiviteleknl lézersugárral) megvilágítva és a tükrörről visszavert fény sugarat időarányosan mozgó fényérzékeny szalagra vetítve, azon kirajzolódik a lengés időbeli lefolyása. A lengés frekvenciájából meghatározható a műanyag-próbatest anyagának G csúsztató rugalmassági modulusa, a lengés csillapításából adódó logaritmus dekrementumból pedig a tgδ értéke. A rugó-próbatestet fűthető kamrába helyezve meghatározható G és tgδ hőfokfüggése, amire egy példát a 34. ábra mutat. Az ábrán jól megfigyelhető, hogy a csillapítás (tehát tgδ) ott nagy, ahol a csúsztató rugalmassági modulus a hőfokkal meredeken csökken.

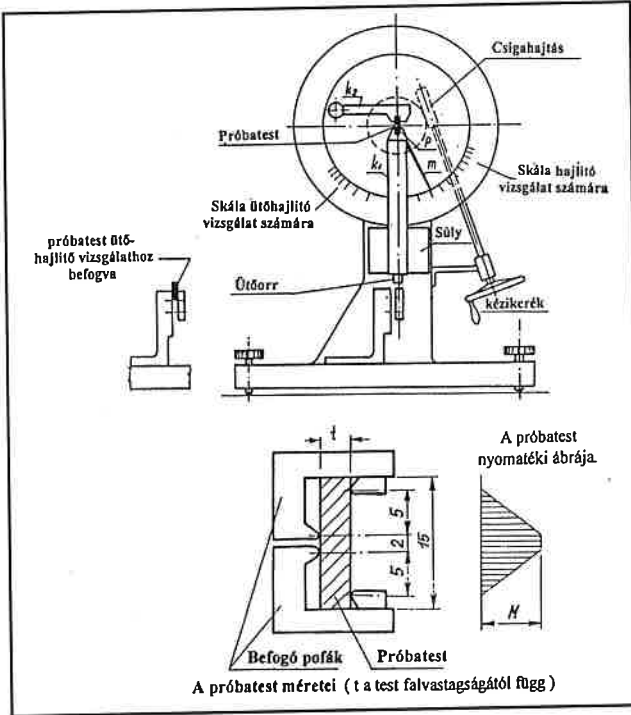
A vizsgálatnak az alkalmazott igen kis próbatestek miatt inkább fizikai-kémiai jelentősége van. Mivel a vizsgált próbatestek méretviszonyai miatt a fellépő lengések frekvenciája 0,1 és 10 Hz közé esik, ez a módszer a kúszásvizsgálatokat nem helyettesítheti, legfeljebb kiegészítheti.

A helyi szilárdság- és szívósság-ingadozás vizsgálata hőre lágyuló műanyag alkatrészekben

A meleg megmunkálás (fröccsöntés, extrudálás, vákuumformázás, palackfúvás) során végbe menő anyagszerkezet-rendeződés erősen befolyásolja az alkatrész szilárdsági viselkedését helyről helyre változó mértékben. Erre példaképpen egy 60 l-es fúvott palack különböző helyeiről kivágott – a szabványoshoz hasonló alakú – próbatestek helyét és azok



35. ábra. Műanyag tartály falán kijelölt szakítópróbatestek és néhány próbatest szakítókérséreltel felvett erő-megnyúlás görbéi. A diagramok jól mutatják a tartályfal egyes részeinek eltérően szívós viselkedését



36. ábra. A Dynstat készülék elvi felépítése

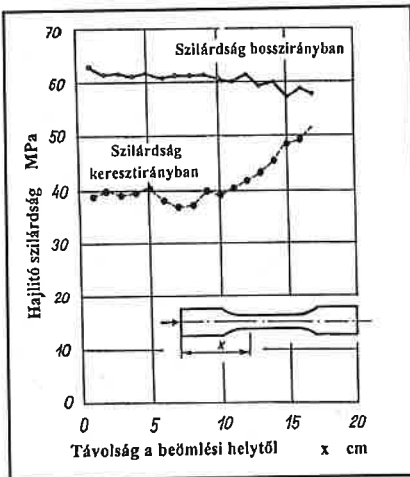
egy részén elvégzett szakítókérslet eredményeit foglaltuk össze a 35. ábrán. Nyilvánvaló, hogy ilyen jellegű vizsgálatokat csak nagyméretű alkatrészekre lehet elvégezni, hiszen a szilárdsági értékek a nagy próbatestek hossza mentén átlagolódnak. A szilárdsági és szívóssági adatok részletesebb feltérképezésére olyan vizsgálati módszerre van szükség, amelyik sokkal kisebb próbatesteken mér. Erre a célra fejlesztették ki a *Dynstat* készüléket, melynek elvi felépítését a 36. ábra mutatja. A készülék hajlító- és ütőhajlító vizsgálatok elvégzésére egyaránt alkalmas. Próbatestje 10×15 mm alapterületű, vastagsága nincs megkötve, függ a vizsgált alkatrész falvastagságától. Lehetőség van bemetszett próbatestek vizsgálatára is, de a bemetszés elké-

sztése a próbatest kis méretei miatt igen gondos munkát kíván. Valamennyire megbízható horonyalakot csak a 15. ábrán bemutatott metszőgéppel lehet elérni.

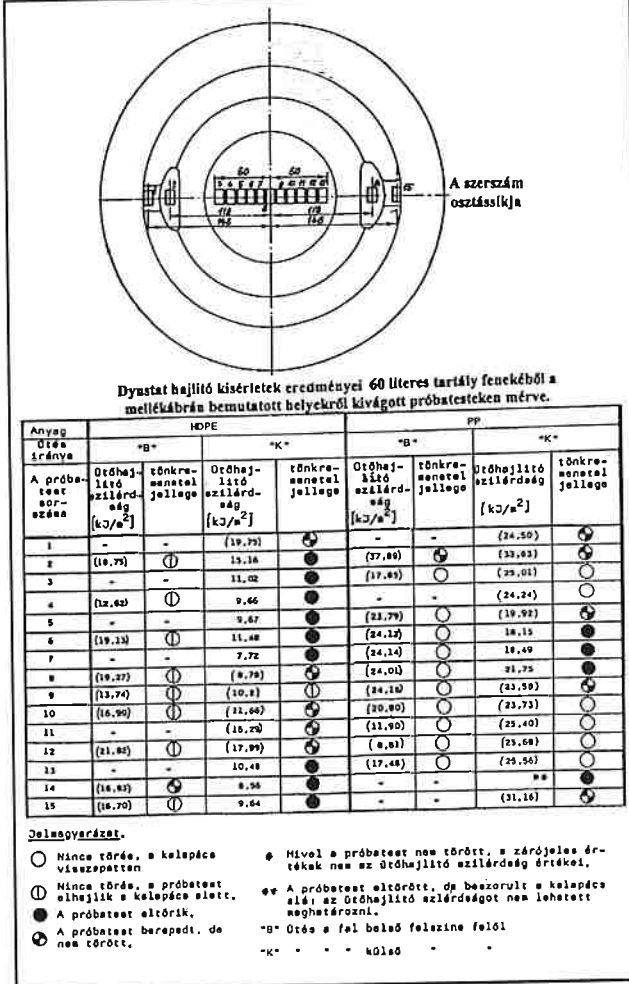
A végéről fröccsöntött, 170 mm hosszú, szabványos próbatestből hossz- és keresztirányban kivágott *dynstat*-próbatestek mért hajlítószilárdságnak a próbatest hossza menti eloszlását a 37. ábra mutatja, jól érzékeltetve a próbatestnek a mérőhossz mentén inhomogén viselkedését. A *dynstat* ütőhajlító vizsgálat eredményei a nagyobb alkatrészek mentén erősen szórnak, olyannyira, hogy belőlük átlagértéket számítani értelmetlen. Helyette szilárdsági fokozatokba kell sorolni a mérési eredményeket és azokat táblázatos formában lehet feltérképezni. Erre egy példát a 38. ábra mutat. Ez példa arra is, hogy az ütőhajlító szilárdság a tartályfal külső felszínén lényegesen kisebb, mint a belsőn. Ez azzal magyarázható, hogy a fúvással készült tartály falának külső felszíne fúvaskor a viszonylag hidegebb formával érintkezve gyorsabban hül le.

A szilárdsági tulajdonságok kapcsolata más fizikai-kémiai vizsgálatokkal

A műanyagok szilárdsági tulajdonságait az őket alkotó szerves makromolekulák mérete és elrendeződése határozza meg. Ezért az



37. ábra. Végéről fröccsöntött, szabványos szakítópróbatestből kivágott *dynstat*-próbatesteken mért hajlítószilárdság a próbatest hossz- és keresztirányában



Dynstat hajlító kísérletek eredményei 60 literes tartály feüekéből a mellékábrán bemutatott helyekről kivágott próbatesteken mérve.

Anyag Ötös iránva	HDPE				PP			
	"B"		"K"		"B"		"K"	
A próbatest sor-száma	Ütőhajlító szilárdság [kJ/m ²]	tönkremenetel jellege	Ütőhajlító szilárdság [kJ/m ²]	tönkremenetel jellege	Ütőhajlító szilárdság [kJ/m ²]	tönkremenetel jellege	Ütőhajlító szilárdság [kJ/m ²]	tönkremenetel jellege
1	-	(19,75)	●	-	-	(24,50)	●	
2	(19,75)	⊙	15,16	●	(37,80)	⊙	(33,63)	●
3	-	-	11,02	●	(17,45)	○	(25,01)	○
4	(12,62)	⊙	9,66	●	-	-	(24,24)	○
5	-	-	9,87	●	(23,79)	○	(19,92)	●
6	(19,12)	⊙	11,48	●	(24,12)	○	18,15	●
7	-	-	7,72	●	(24,14)	○	16,49	○
8	(19,37)	⊙	(8,78)	●	(24,01)	○	21,75	●
9	(13,74)	⊙	(10,81)	⊙	(24,10)	○	(23,50)	○
10	(16,90)	⊙	(11,80)	●	(20,80)	○	(23,73)	○
11	-	-	(18,70)	●	(11,90)	○	(25,40)	○
12	(21,85)	⊙	(17,99)	●	(8,81)	○	(25,68)	○
13	-	-	10,48	●	(17,48)	○	(25,50)	○
14	(16,82)	●	8,56	●	-	-	**	●
15	(16,70)	⊙	9,64	●	-	-	(31,16)	●

Jelölgyűjtemény:

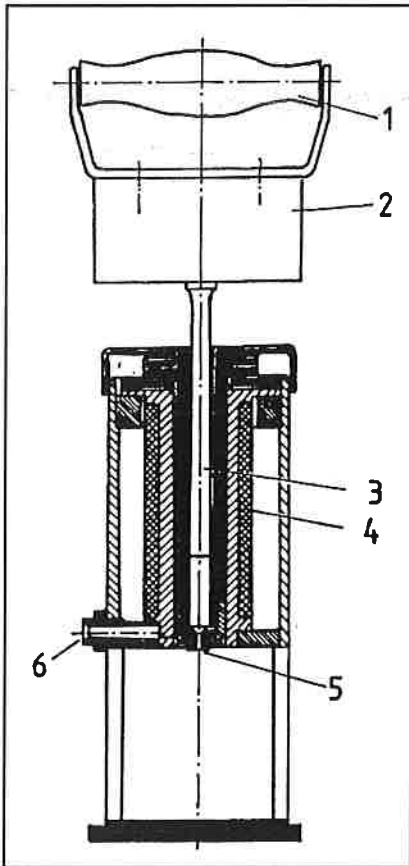
- Nincs törés, a kalespécse visszazott.
- ⊙ Nincs törés, a próbatest elhajlik a kalespécse előtt.
- A próbatest eltörik.
- ⊗ A próbatest berepedt, de nem tört.
- ⊕ Mivel a próbatest nem tört, a zárójelben értékek nem az ütőhajlító szilárdság értékei.
- ⊕* A próbatest eltört, de bezorult a kalespécse alá, az ütőhajlító szilárdságát nem lehet meghatározni.
- *Ötös a fal belső felzíné felöl
- "K" - - - külső - - -

38. ábra. Tartályfenékből kivágott *dynstat*-próbatestek helyei és a próbatesteken végzett ütőhajlító vizsgálatok eredményei a tönkremenetel jellege szerinti jelekkel ellátva. HDPE: nagy sűrűségű polietilén, PP: polipropilén.

anyagvizsgálónak és a tervezőnek is érdemes figyelemmel kísérni azokat a főbb vizsgálati módokat, melyekből ezekre a jellemzőkre következtetni lehet. A következőkben három ilyen módszert ismertetünk.

Hőre lágyuló műanyagok folyóképességének (melt flow index) meghatározása

Hőre lágyuló műanyagok meleg alakításakor (fröccsöntés, extrudálás) a viszkozus folyadék állapotra felmelegített anyagot nagy nyomáson préselik formába. Minél „hígfolyósabb” az anyag, annál tökéletesebben tölti ki az adott esetben bonyolult alakú fröccs-szerszám üregét. A viszkozitás a műanyag hőmérsékletének növelésével csökkenthető ugyan, de a növekvő hőfokkal nő az anyag károsodása is. A feldolgozás-technika ezért előnyben részesítené a már alacsonyabb hőfokon is kisebb viszkozitású, tehát „hígfolyósabb” anyagokat, és ezért módszereket dolgoztak ki a viszkozitás értékének a meghatározására a meleg megmunkálás hőfokán. Ez a viszkozitás-hőfok kapcsolat szorosan függ a műanyag molekuláinak és ezzel molekulá súlyának



39. ábra. Hőre lágyuló műanyag folyóképességének vizsgálatára szolgáló berendezés elvi vázlatja: 1. fogantyú, 2. terhelő súly, 3. dugattyú, 4. fűtőspirál, 5. kiömlő fúvóka, 6. hőérzékelő

nagyságától, ez utóbbi pedig nagyban befolyásolja a műanyag üzemi hőfokon jelentkező szilárdságát. A folyóképesség meghatározására legelterjedtebb módszer az ún. *dugattyús plazstométer*. Ebben adott mennyiségű műanyagot egy hengerben a feldolgozás hőfokára melegítenek fel. A megolvadt műanyagot súly-

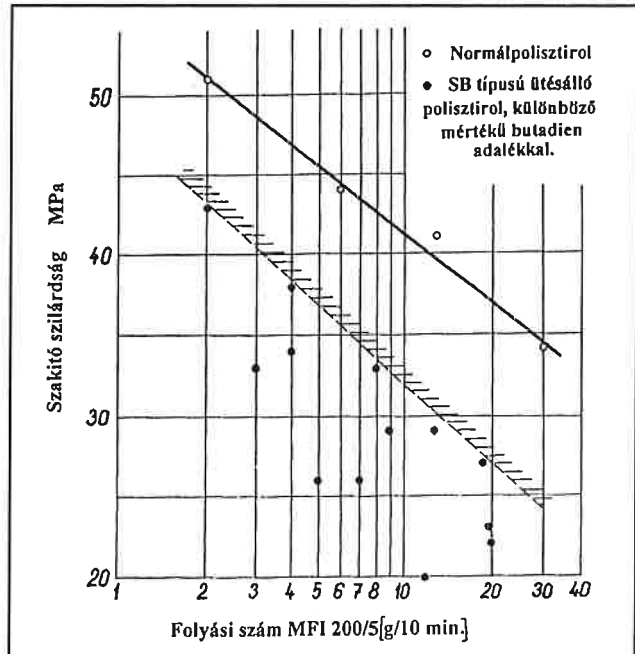
terhelésű dugattyú a henger alján levő szabványos méretű fúvókán keresztül kinyomja. Az adott idő (általában 10 perc) alatt kifolyt műanyag mennyiségét mérik. A hőfokot műanyagtípus szerint rögzítik (pl. polietilén esetén 190 °C). Az eredmények megadása a következőképpen szokásos: pl. ha 2,16 kg terhelő tömeg hatására 10 perc alatt 0,2 g műanyag folyik ki 190 °C-on, akkor a folyási szám (index) jelölése: MFI 190/2,16 - 0,2 g/10 min.

Egy régebbi típusú vizsgálóberendezés elvi vázlatát a 39. ábra mutatja. Egy korszerű berendezés képe pedig a 40. ábrán látható, amellyel a teljes mérési ciklus automatikusan végrehajtható a 100 - 400 °C tartományban. A folyási szám és a műanyag szilárdsága közötti kapcsolat (5 000 g terhelő tömeg és normál polisztirol, valamint különböző SB típusú ütészálló polisztirol esetén) a 41. ábrán látható. A hőmérséklet és az MFI-érték közös hatását a szilárdságra a 42. ábra mutatja.

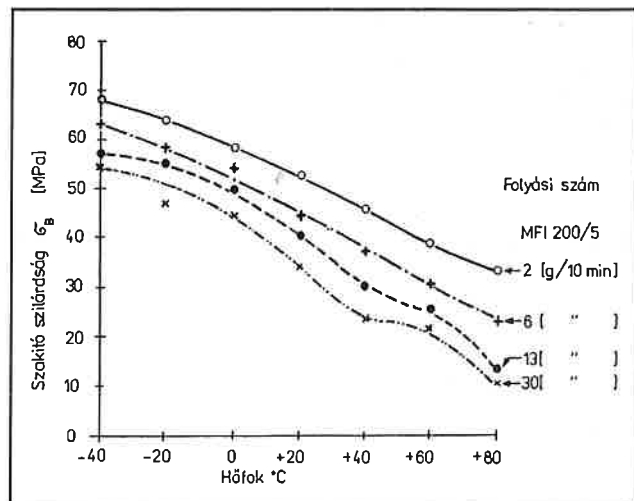
Mind a 41. mind a 42. ábra hasonló szerkezeti felépítésű, de különböző származású termékekre vonatkozik. Az azonos szerkezet ellenére a két diagram egymástól eltérő szilárdság-MFI kapcsolatot mutat. Ezt az eltérést a műanyag gyártója által alkalmazott és többnyire nem közölt adalékanyagok okozzák. Erre a felhasználónak mindenképpen oda kell figyelni, mert a nagy MFI érték könnyebben feldolgozható, de kisebb szilárdságú anyagot jelent.

A kristályos molekulaszervezet hatása a hőre lágyuló műanyag szilárdsági viselkedésére

Kristályosnak nevezik egyes műanyagok (polietilén, polipropilén, poliamid) azon tulajdonságát, hogy az őket alkotó molekulaláncok



41. ábra. A folyási szám és a szakítószilárdság közötti kapcsolat normál-polisztirol (PS) és ütészálló polisztirol (SB) esetén

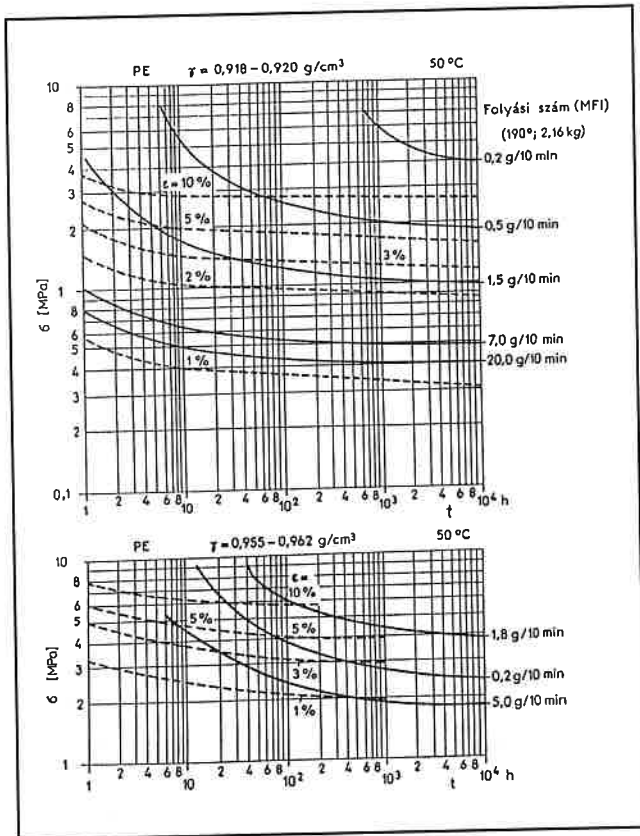


42. ábra. A hőmérséklet és a folyási szám együttes hatása a műanyag szilárdságára normálpolisztirol (PS: Hostyren) esetén. A vizsgálat körülményei: MFI 200/5.

hajlamosak szakaszonként egymás mellé rendeződni. Ez a fajta rendeződés független a műanyagra ható esetleges külső terheléstől, tehát nem tévesztendő össze a 8. ábra kapcsán tárgyalt és a külső igénybevétel, illetve az anyagáramlás hatására létrejövő rendeződéssel. A „kristályos” anyagszerkezet nyilván növeli a műanyag szilárdságát és szívósságát. Mivel az ily módon rendeződött molekulaláncok „jobban elférnek” egymás mellett, a kristályos szerkezetű műanyag sűrűsége nagyobb, mint a rendezetlen, „amorfi” szerkezetűé. Erre egy példát a 43. ábra mutat, amelyben egy kis sűrűségű ($\rho = 0,918 - 0,920 \text{ g/cm}^3$) és egy nagy sűrűségű ($\rho = 0,955 - 0,962 \text{ g/cm}^3$) polietilén 50 °C-on felvett feszültség-idő diagramját mutatja egymás alatt. A szaggatott vonalak az állandó nyúlás vonalait, a teljes vo-



40. ábra. Korszerű folyásindex-mérő berendezés (CEAST)



43. ábra. Kis sűrűségű (LDPE) és nagy sűrűségű (HDPE) polietilén feszültség-idő diagramjának összehasonlítása

nalak a tönkremenetel határgörbéi. A két diagram összehasonlításakor figyelemre méltó, hogy az állandó nyúlás vonalai többé-kevésbé függetlenek a folyási számtól, és csak a sűrűségtől függenek. Ugyanakkor a tönkremeneteli határgörbéket a folyási szám erősen befolyásolja. Ez ismét arra mutat, hogy a névlegesen azonos (ugyanolyan típusú) műanyagok közül való választáskor is figyelemmel kell lenni a sűrűsége.

Az utánsugorodás hatása

A meleg megmunkálás hatását az alkatrészek helyi tulajdonság-ingadozásainál már tárgyaltuk. Az ott említett anyagszerkezet-rendeződésnek egy eddig nem említett hatása az *utánsugorodás*. Ugyanis a műanyag molekuláinak a meleg alakítás hatására „kifésülődött” szerkezete természetellenes állapot, amiből az anyag szeretne statisztikailag rendezetlen (összegabalyodott) állapotba visszaalakulni. Ez a visszaalakulás szobahőmérsékleten csak kis mértékű, de mérhető (a meleg alakítás körülményeitől függően 0,02 – 0,1%) és különösen szoros illesztés esetén okozhat gondokat. Ugyanakkor az utánsugorodás mértéke a meleg alakításra jellemző anyagáramlás irányában nagyobb, mint arra merőlegesen. Ez okozza például középpontjukban fröccsöntött tálcák elhúzóását is.

Ennek a jelenségnek a vizsgálatára hozták létre az angol BS 3094/2 szabványt. Ennek

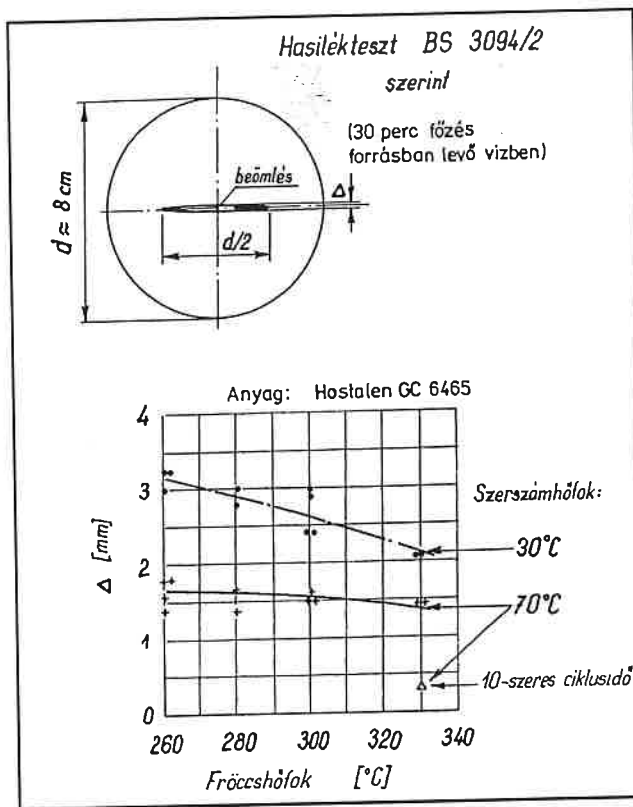
próbatestjét a 44. ábra mutatja. A közepéről fröccsöntött körtárcsának egyik átmérője mentén éles késsel mesterséges repedést vágnak és vizsgálják ennek a repedésnek a feltágulását. A szabvány 30 perces vízfürdőben való főzést ír elő. A 44. ábra a feltágulás mértékének a fröccsöntés körülményeitől való függésre is mutat példát.

Szakirodalom

A tárgykörnek igen nagy külföldi, de hazai szakirodalmi is van. A következőkben csak néhány, különösen a felhasznált ábrák származási helyét tartalmazó írásműre hivatkozunk.


1. Thamm, F.: Műanyagok szilárdságtana. 1. Mérnöki Továbbképző Intézet, Budapest, 1983.
2. Desselwily, O-Kappel, L.: Gumik és műanyagok vizsgálata. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1966.

3. Menges, G.: Abschätzen der Tragfähigkeit massig beanspruchter Kunststoff-Formteile, Kunststoffe 57 (1967) 6.sz.
4. Racké, H.H.: Welche mechanischen Prüfungen liefern geeignete Grundlagen für das Konstruieren mit Kunststoffen, Kunststoffe 55 (1965) 346-350 o.
5. Gaube, E.: Kriechverhalten von Hartpolyäthylen und Polypropylen, Kunststoffe 57 (1967) 270-275.o.
6. Irányelvek műanyag szerkezetek erőtani tervezéséhez. Építésügyi Szabványosítási Központ, Műszaki irányelv. Budapest, 1978
7. Bezerédi, Á.: Instrumented Impact Testing of Polymers. Doktori disszertáció. BME Műanyag- és Gumiipari Tanszék, 1999.
8. Jacoby, N.: Maschinenelemente aus thermoplastischen Kunststoffen. VDI-Z. 98 (1956) 524-525.o.



44. ábra. Hőre lágyuló műanyag utánsugorodásának vizsgálatára szolgáló próbatest (felül) és a próbatest hasítékának feltágulása 30 percig vízben való főzés után, a fröccsöntés körülményeinek függvényében (alul)

A műanyagok mechanikai és fizikai jellemzőinek meghatározásához

a  vizsgáloberendezések teljes körű választékát hazánkban

a **TESTOR** forgalmazza.

Tájékoztatást ad: Tóth Péter, tel.: (1) 319-1-319, fax: (1) 319-2-284, e-mail: info@testor.hu; vagy keresse fel honlapunkat: www.testor.hu