

Műanyagok kiválasztásának szempontjai

A műanyagok típusválasztéka ma már olyan széles, hogy az adott alkalmazás követelményeit gazdaságosan teljesítő alapanyag kiválasztása komoly szaktudást és tervezőmunkát igényel. A különböző műanyagfajták legfontosabb tulajdonságai jellemzően eltérnek egymástól, amelyek ismerete jó kiindulópontot ad az anyagkiválasztás optimalizálásához.

Tárgyszavak: szerkezet; tulajdonságok; hőállóság; műszaki műanyagok; anyagkiválasztás; vizsgálati módszerek.

A műanyagokról általában

A műanyagokat, mint szerkezeti anyagokat az utóbbi évszázadban gyakorlatilag minden területen sikerrel alkalmazták. A világtermelés 2004-ben 225 millió tonnát tett ki, a növekedési ütem ma is 5% évente. A kilencvenes évek óta a műanyagok világtermelése térfogatra számítva már nagyobb, mint az acélé. Ennek az imponáló növekedésnek két fő oka van: egyrészt a különböző műanyagok változatos tulajdonságeggyüttesének köszönhetően rendkívül széles alkalmazástechnikai területek igényeit tudják kielégíteni, másrészt segítségükkel a feldolgozás során a költségeket lényegesen csökkentő integráltság érhető el.

Ismert, hogy a műanyagokat három csoportba sorolják a feldolgozás, az alakadás során lejátszódó folyamatok szerint. A legnagyobb mennyiséget a hőre lágyulók (termoplasztok) képviselik, amelyeknél a feldolgozás során csak fizikai folyamat – halmazállapot-változás – játszódik le. A gumyszerű elasztikus tulajdonságokkal rendelkező elasztomerek és a hőre keményedő duroplasztok feldolgozása során kémiai reakció – térhálósodás – megy végbe.

A termoplasztok szerkezetük szerint vagy részben kristályosak, vagy teljesen amorfak. A legismertebb kristályos polimerek a polietilén (PE), a polipropilén (PP), a poli(oxi-metilén) vagy poliacetál (POM), a poliamid (PA) és a poliészter (PET). Ezeknél a polimereknél párhuzamos molekulaláncokból felépülő rendezett kristályos és rendezetlen amorf tartományok alkotják a szerkezetet. A nem kristályosodó, amorf polimereknél oldalcsoportok akadályozzák a kristályos szerkezet kialakulását. Ilyenek a sztiroltartalmú polimerek (PS, ABS, SMA), a PVC és a polikarbonát (PC). A kristályos tartományok határozzák meg a szilárdsági, a merevségi tulajdonságokat, ezért a részben kristályos polimerek ezen tulajdonságai jobbak. Az amorf tartományok biztosítják a műanyagok szívósságát és nyúlását.

A műanyagok tulajdonságai sokkal inkább függenek a hőmérséklettől, mint a fémeké, mivel az előbbiek olvadási hőmérséklete sokkal alacsonyabb. A polimer szerkezete meghatározza a hőmérséklet hatására bekövetkező fázisátalakulás menetét is. Kristályos szerkezetnél a szilárd halmazállapotból az olvadékba történő átmenet (ill. a fordított folyamat) egy nagyon szűk intervallumban, jól meghatározható olvadási hőmérsékleten megy végbe, míg az amorf polimereknél 20–40 °C-os üvegesedési hőmérséklet-tartományban alakul ki a „megmerevedett folyadék” szerkezet, amely az üvegre is jellemző. Üvegesedési átmenet van a kristályos polimereknél is: a szilárd halmazállapoton belül az ún. üvegesedési hőmérséklet, a T_g alatt a műanyag rideggé válik. Ennek megfelelően a részben kristályos műanyagok felhasználási hőmérséklet-tartománya a T_g felett van.

Az eltérő szerkezetű polimerek optikai és a felületi tulajdonságai is különböznek. Az amorf polimerek általában átlátszóbbak, felületük keményebb, mint a számos mikrokristályból álló és ezért mikroméretű határfelületekkel rendelkező kristályos polimerek. Ez utóbbiak általában fehérek és felületük matt.

Vannak olyan tulajdonságok, amelyek döntően a kémiai szerkezettől függenek. *A vegyszerekkel szembeni ellenállásnál a „hasonló a hasonlót támadja” elv érvényesül, vagyis a poláros makromolekulák ellenállóbbak az apoláros oldószerekkel (benzin, olaj) szemben, míg az apoláros polimerek vegyszerállósága az apoláros anyagokat kivéve kiváló. A termoplasztok általában jól ellenállnak a különböző savaknak és lúgoknak, de ebből a szempontból az erősebben poláros műanyagok, pl. a PA, érzékenyebbek. A makromolekula polárosságával függenek össze a dielektromos tulajdonságok is. Az elektromos szigetelőképességben nincsenek jelentős különbségek: valamennyi műanyag elektromosan szigetelő: az átmeneti ellenállásuk 10^{13} , felületi ellenállásuk 10^{10} ohm cm.*

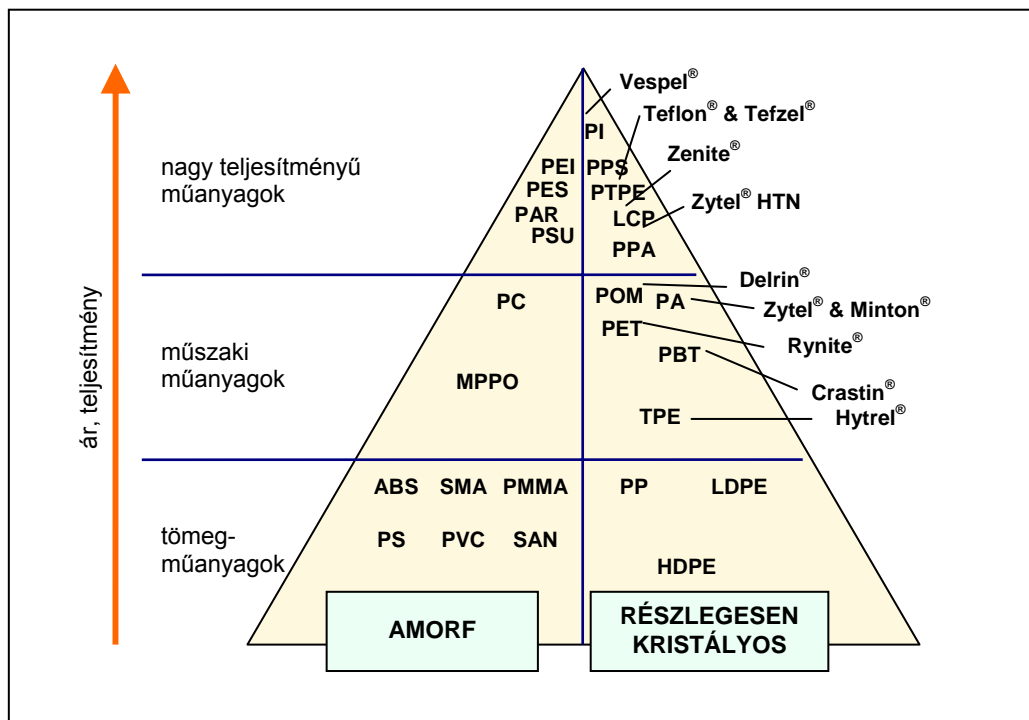
Az egyéb anyagcsoportokhoz hasonlóan a műanyagoknál is felállítható a piramisszerkezet a teljesítmény és az ár szerint. A piramis alapját a tömegműanyagok adják, a középső tartományt a műszaki műanyagok jelentik, a csúcson a ma még kisebb mennyiségben használt különböző speciális vagy a magas hőmérsékleten is kiemelkedő tulajdonságokkal rendelkező nagy teljesítményű műanyagok találhatók (1. ábra).

A rendkívül széles tulajdonságspektrum tovább szélesíthető a műanyagok keverésével, blendék és ötvözetek előállításával, valamint számos adalékanyaggal, köztük a leggyakrabban használt üvegszállal, elasztomerekkel és égésgátlókkal. A különböző felhasználási területeken az optimális alapanyag meghatározásához számos követelményt kell figyelembe venni. *Az anyag kiválasztásánál rendszerint megcélzott szilárdsági és merevségi értékből indulnak ki, majd a többi követelményt (beleértve az árat) is figyelembe véve lehet a kívánt megoldáshoz eljutni.*

Nagy szilárdság- és modulusértékek – műszaki műanyagok

Az erősítetlen műanyagok szilárdsági értékei 15 MPa-tól (pl. PE-LD) a 100 MPa-ig [pl. poli(éter-imid) – PEI] terjedhetnek. A rugalmassági modulus értékhatárai: 300 MPa (PE-LD) és 3600 MPa (PEEK). Üvegszál-erősítéssel a modulus 20 000 MPa-

ra is növelhető. A fenti értékeknek megfelelően széles skálán mozognak a szakadási nyúlás értékei is. Az amorf polisztirolnál ez 3%, a részben kristályos polietilénél az 1000%-ot is elérheti.



1. ábra A DuPont választékának bemutatása a műanyagok piramisán

Ha a készterméknek nagy szilárdságúnak és merevnek kell lennie, a tömegműanyagok rendszerint nem felelnek meg a követelményeknek, és ekkor a megoldást a műszaki műanyagok között kell keresni.

A műszaki műanyagok közül legnagyobb mennyiségben a poliamidokat használják, mivel a szálgyártásban is használt hatalmas mennyiségnek köszönhetően az alappolimerek, a PA 6 és a PA 66 is könnyen hozzáférhetők és viszonylag olcsók. Hasonló okok miatt nőhet a jövőben a hőre lágyuló poliészterek felhasználása is.

A *poliamidoknak* több fajtája és ezeken belül számos típusa áll rendelkezésre. Poláros kémiai szerkezetük révén jól adalékolhatók mind ásványi, mind szerves anyagokkal. Széles körű alkalmazásuk alapja a tulajdonságaik között meglévő kiegyensúlyozottság: az egyidejűleg tapasztalható jó szilárdság és szívósság, jó csillapító képesség, kopásállóság, kedvező súrlódási tulajdonságok. Agresszív környezeti hatásoknak ellenállnak. Jó folyóképességüknek köszönhetően gazdaságos és problémamentes a feldolgozásuk.

A *hőre lágyuló poliészterek* [poli(etilén-tereftalát) – PTFE] és [poli(butilén-tereftalát) – PBT] – a poliamidokhoz hasonlóan – jó mechanikai tulajdonságai jó kopási és elektromos tulajdonságokkal (szigetelőképeség, ívállóság) párosulnak.

A *poliacetál* [poli(oxi-metilén) – POM] mutat leginkább a fémekéhez hasonló tulajdonságokat nagy kristályosságából következően. A nagy szilárdság és a merevség mellett nagy a felületi keménysége, és ebből adódóan jók a súrlódási és kopási tulajdonságai is. Nem vesz fel nedvességet a környezetből, ezért a belőle gyártott termékeknek jó a méretállandósága.

Míg a fenti három műszaki műanyag részlegesen kristályos, a *polikarbonát* teljesen amorf, ennek megfelelően víztiszta, átlátszó. Az amorf szerkezetnek megfelelően jó a szívóssága, de jó a keménysége is, mivel az üveges állapot egészen 130 °C-ig megmarad. Ennek köszönhetően a polikarbonát jól alkalmazható mind extrém alacsony (–150 °C), mind magas (+135 °C-ig) hőmérsékleteken. A polikarbonát mechanikailag jól megmunkálható, felülete polírozható.

Az 1. táblázatban néhány tömegműanyag és műszaki műanyag szakítószilárdságának, húzó E-modulusának és max. rövid idejű alkalmazási hőmérsékletének jellemző értékei vannak feltüntetve.

1. táblázat

Néhány műszaki műanyag és tömegműanyag mechanikai tulajdonságainak és rövid idejű hőállóságának összehasonlítása

Műanyagfajta	Szakítószilárdság N/mm ²	Szakító E-modulus N/mm ²	Max. alkalmazási hőmérséklet ^x , °C
PE-HD	18–37	600–1300	90–120
PP	20–39	110–1400	140
POM	61–70	2000–3200	110–140
PBT	40	2000	160–165
PET	45–48	3100–3300	200
PA	70–87	2900–3300	130–200
PC	58–68	2100–2500	160

^x: Rövid idejű.

Szívósság, ütésállóság

A szívósság fogalomköre a műanyagoknál sokkal komplexebb, mint a szilárdság. *Szívós az a műanyag, amely erő hatására irreverzibilis deformációt szenved el, mielőtt eltörik.* Ezzel szemben rideg az az anyag, amely deformáció nélkül törik. A fogalomkörön belül a gyakorlat szempontjából legfontosabb mutató az ütésállóság, amellyel a műanyagoknak az ütésszerű mechanikai igénybevétel hatására bekövetkező viselkedését jellemzik. A deformációsebesség ezeknél a vizsgálatoknál nagyobb, mint 500 mm/s.

Mivel az ütésállóságra a vizsgált test geometriája is nagy hatással van, az ütésállóságra megadott értékek csak a vizsgálati módszer ismeretében értékelhetők. Az alapanyag kiválasztásánál ezért az anyagokat azonos módszerrel kell összehasonlítani. Az

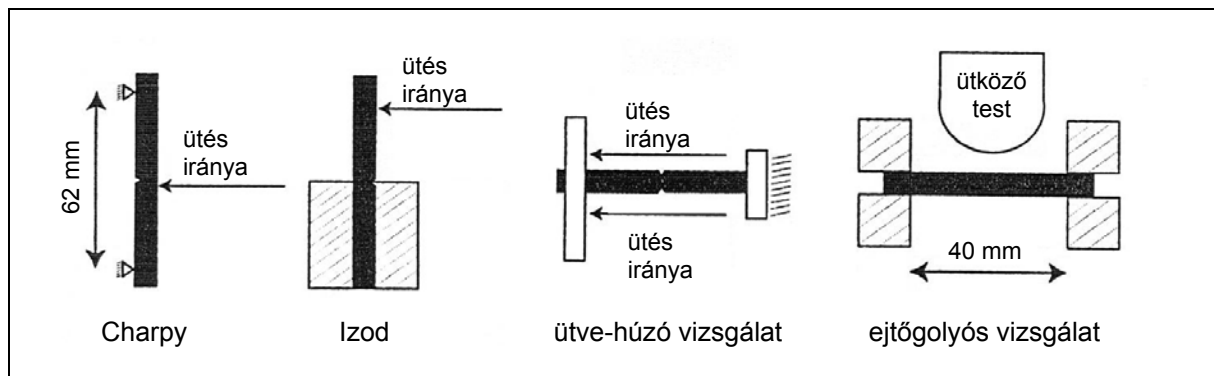
ütésállóság vizsgálatára elfogadott két különböző módszert két nemzetközi szabvány írja le: az ISO 179 és az ISO 180.

Az ISO 179 az ún. *Charpy vizsgálatot* tartalmazza, amely szerint 80 mm hosszú, 4x10 mm keresztmetszetű próbatestet vizsgálnak 62 mm befogással. A próbatestet lengő kalapáccsal ütik meg, és a test által felvett energiát a becsapódási energia és az átütés utáni energia különbségéből számítják ki. Az ütésállóság jellemzésére a vizsgálati felületre vonatkoztatott ütőmunkát használják (kJ/m^2). A hornyolt próbatesten végzett ütésállóság-vizsgálatkor 2 mm mély, 0,25 mm-es hornyot vágnak a próbatestbe. Az ütést a nem hornyolt oldalra mérik. Az ún. Izod vizsgálatnál (ISO 180) a próbatestet csak egyik végén rögzítik. A horony a befogástól indul az ütés oldalán. Ennél a vizsgálatnál is a törést előidéző munka adja az ütésállóságot.

A gyakorlathoz közeli vizsgálat az ún. *ejtőgolyós ütésállósági vizsgálat*, amelyet az ISO 6603-2 ír le. Az erőt itt egy félgömb formájú polírozott ütközőtest fejtí ki, amely nagy sebességgel ütközik a 2 mm vastag 60 mm átmérőjű próbalemezre. Ezt a próbatestet 40 mm átmérőjű kör alakú befogóval rögzítik. A legegyszerűbb vizsgálati eljárás szerint több próbatest vizsgálatával megállapítják azt az ütőmunkát, amelynél a próbatestek 50%-a törik vagy reped az ütközés következtében. A vizsgálatokból számítással további jellemzők, a károsodás nélkül elviselt legnagyobb erő, az ehhez tartozó deformáció és az átlukasztási energia is meghatározhatók.

Azokra az anyagokra, amelyek nem törnek a vizsgálat során, az *ütve-húzó szilárdság vizsgálata* ad felvilágosítást. Ennek szabványa az ISO 8256. Ennél a vizsgálatnál a mindkét oldalán hornyolt próbatestet egy oldalon fogják be. A másik végén egy keresztfej van. Erre üt egy osztott lengő kalapács, előidézve ezzel egy nagy sebességű húzást. Itt is a keresztmetszetre vonatkoztatott ütőmunka adja az ütésállóságot.

Az ütésállósági vizsgálati módszerek sematikusán a 2. ábrán láthatók.



2. ábra Különböző igénybevételek az ütésállósági vizsgálatoknál

A fenti szabványok közül három magyar szabványként is funkcionál:
MSz-EN-ISO 179 – 1: 2000/ Módosítva: A1:2005
MSz-EN-ISO 6603 -2: 2001
MSz-EN-ISO 8256:2004

A szívósság jellemzésére leggyakrabban használt hornyolt próbatesten mért ütésállósági érték a műanyagoknál 1–130 kJ/m² között lehet. Az értéket általában megadják normál szobahőmérsékletre és alacsony hőmérsékletre (–30 °C) is. Amennyiben a műanyag szerkezetében az amorf tartományok nem képesek elegendő energiát átvenni a merevebb kristallitoktól, adalékokkal lehet és gyakran kell is az energiaelnyelést növelni, hogy ne következzen be a rideg törés. Erre a célra leggyakrabban elasztomereket használnak. A módosítás hatására az ütésállóság a műanyag típusától és az egyéb adalékoktól függően többszörösére nő. Néhány műszaki műanyag Charpy ütésállósági értékei – bemetszett próbatesteken – a 2. táblázatban láthatók.

2. táblázat

Műszaki műanyagok ütésállósága (Charpy szerint bemetszett próbatesteken mérve)

Műanyagfajta	Ütésállóság, kJ/m ²	
	+23 °C	–30 °C
Crastin PBT	4	4
Crastin PBT ütésálló	85	13
Delrin POM	8–15	6–10
Delrin POM ütésálló	max. 100	max. 20
Rynite PET	9–12	8–12
Rynite PET ütésálló	11	8
Zytel PA 6 száraz	4–5	2–3,5
Zytel PA 6 ütésálló száraz	14	9
Zytel PA 66 száraz	4–5	3–4
Zytel PA 66 ütésálló száraz	12–65	8–20
ABS	20	2
ASA	18	7
PC	30	–
Ütésálló PC	35–45	25–35

Hőalaktartóság

A hő hatására fellépő tulajdonságváltozások ismerete különösen akkor fontos, amikor a műanyagterméket egyidejűleg mechanikai igénybevétel is éri. A műanyagok hőállóságának meghatározására kétféle vizsgálati módszer áll rendelkezésre: a *Vicat-féle lágyuláspont és a terhelés alatti lehajlás hőmérsékletének (HDT)* meghatározása. Mivel a két eljárásban az igénybevétel eltérő – a Vicat-nál nyomó, a HDT-nél hajlító – a kétféle vizsgálattal kapott eredmények közvetlenül nem vethetők össze. Általában a magasabb olvadáspontú műanyagok egyben hőállóbbak is, de például a *Delrin* márkájú POM viszonylag alacsony olvadáspontja (178 °C) ellenére 160 °C-os Vicat- és 100 °C-os HDT-értékkel rendelkezik. Az anyag nagy keménysége és merevsége nagyobb hőállóságot eredményez. A hőállóság növelésének ismert módja az üvegszállal

vagy krétával, talkummal való erősítés. Pl. a Rynite PET (hőre lágyuló poliészter) HDT-értéke (1,8 MPa, 120 °C/min) erősítés nélkül 60 °C, 55% üvegszál-erősítéssel pedig 225 °C. Néhány tömegműanyag és műszaki műanyag hőállósági értékeit a 3. táblázat foglalja össze.

3. táblázat

Néhány műanyagfajta hőállósági értékei

Műanyagfajta	HDT, °C (1,8 MPa, 120 °C)	Vicat hőmérséklet, °C (50 N, 50 °C/h)	Olvasási hőmérséklet, °C
PE-HD	50	75	130
POM	100	165	180
PBT	60	175	235
PBT+30% üvegszál	205	210	230
PET	80	180	250
PET+30% üvegszál	230	245	250
PA 6	60	200	230
PA 6+30% üvegszál	210	215	230
PA 66	75	235	255
PA 66+30% üvegszál	250	250	255
PC	130	130	240

Az autóipar egyre jobban igényli a hőálló műanyagokat. Napjainkban a műanyagfejlesztők számára a legnagyobb kihívást a motortérben való alkalmazás jelenti. Erre a célra az egyik legbiztosabb választás a DuPont Zytel HTN51G35 nagy teljesítményű poliamid típusa, amely 35%-os üvegszáltöltéssel 288 °C-os HDT-t eredményez. Az anyag külön előnye, hogy kis falvastagságokkal is képes biztosítani az alkatrész szükséges nagy merevségét. A Daimler-Chrysler új 3 literes dieselmotorjánál a turbófeltöltő magas hőmérséklete miatt hővédő pajzsot építettek be, amely ebből a típusból készült.

Példák az optimális anyagkiválasztásra

Szállítólánc és fogaskerekes hajtómű kenés nélkül

Egy szállítólánc vagy hajtómű egyes elemeinek mindenekelőtt szilárdnak és ütésállóknak kell lenniük alacsony súrlódás és jó kopásállóság mellett. További követelmény a jó rugalmasság kis nyúlás mellett. Fontos a méretstabilitás változó hőmérséklet és nedvesség mellett is. Mindezen követelményeket a POM elégíti ki leginkább, amelynek a nagy felületi keménysége biztosítja az alacsony súrlódást, ráadásul ellenáll a kenőanyagoknak és a vegyszereknek is. Ezenfelül a fémekhez képest kevésbé zajos és kisebb tömegű. A szállítóláncához hasonló követelményeket támaszt egy fogaskerék-hajtómű is. A POM (pl. a **DuPont Delrin** márkájú anyaga) alkalmazásával kis tömegű, csendes, kenést nem igénylő fogaskerekes hajtásokat lehet készíteni.

Csőbilincs a motortérben

A funkciók integrációjának jó példája a motortérben található csövek rögzítésére szolgáló bilincs. Ehhez olyan alapanyagra van szükség, amely egyszerre szilárd és ugyanakkor rugalmas, hogy a többszöri nyitást is bírja. Erre a funkcióra a *poliamidot* találták optimálisnak, amely a fenti követelmények kielégítése mellett még formatartó a kívánt 120 °C-ig, és ellenáll az üzemanyagoknak, valamint a kenő- és tisztítószernek is.

Arc- és légzésvédő hegesztősisak

A szükség szerint arc- és légzésvédő funkciót is ellátó védősisaknak nemcsak a mechanikai hatások ellen kell védelmet nyújtani, hanem a forróság és a fröccsenő fém ellen is. Az arcvédő egység zavartalan mozgatásához alacsony súrlódás szükséges. Mindezeket a követelményeket egyszerre elégíti ki *egy üvegszál-erősítésű, elasztomerrel ütésállóvá tett poliamid*, pl. a DuPont *Zytel SST* típusa (SST: stiff and super tough = merev és szuper szívós). Ez az anyag viszkoelasztikuságát alacsony hőmérsékleten, – 30 °C-ig is megőrzi, és merevsége elegendően nagy a fej ütés elleni védelméhez.

Síkötés

A modern síkötésnek szélsőséges körülmények között is védeni kell a sérülések ellen. Ezt két nagy ütésálló polimer kombinációjával érik el. A cipőorr rögzítésére szolgáló egység *üvegszálal poliamidból*, a síkötés alaplapja és a többi alkatrész *POM-ból (poliacetálból)* készül. Ez a kombináció lehetővé teszi a különböző elemek súrlódás- és kopásmentes mozgatását. Mivel a műanyagfelületeken a jég alig tapad, a kötést kioldó erő a használat során max. 10%-kal nő.

Műszerház a gépkocsikban elektronika és érzékelők számára

Az autógyártásban talán a legnyilvánvalóbb az ütésálló műanyagok szerepe, ahol a tömegcsökkentésnek óriási a jelentősége. Például az *ütésálló, üvegszálal poliamidból (Zytel SST)* készült műszerdoboz 40%-kal kisebb tömegű, mintha fémből készítették volna. Ezek a műanyag házak –40 – +85 °C tartományban 500 Hz frekvenciáig kielégítik a termékre előírt rezgést követelményeit.

Összeállította: Máthé Csabáné dr.

Class, H.; Schmidt, H.; Winnemann, D.: Was können Kunststoffe? = *Plastverarbeiter*, 56. k. 11. sz. 2005. p. 74–76.

Class, H.; Schmidt, H.; Winnemann, D.: Hohe Steifigkeit und Festigkeit. = *Plastverarbeiter*, 56. k. 12. sz. 2005. p. 34–35.

Class, H.; Schmidt, H.; Winnemann, D.: Gefahr gebannt mit Sicherheitsreserven. = *Plastverarbeiter*, 57. k. 6. sz. 2006. p. 42–44.

Class, H.; Schmidt, H.; Winnemann, D.: Temperaturbeständig unter der Haube. = *Plastverarbeiter*, 57. k. 3. sz. 2006. p. 58–61.