

Műanyagok karcállóságának jellemzése új módon

Tárgyszavak: karcállóság; koptatás; új vizsgálóeszköz; polipropilén; végeselemes analízis; mérési eredmények; modell.

A műanyagok felülete jóval sérülékenyebb a hagyományos szerkezeti anyagokénál, mert keménységük jóval kisebb számos más anyagénál, és ha ilyenekkel ütköznek, súrlódnak, az nyomot hagy rajtuk. A felületek karcoldásának kétféle formáját különböztetik meg. Ha a felület lapos tárgyakkal súrlódik vagy ha sok kis sérülés képződik rajta, elveszti fényét, homogén megjelenését, „kopottassá” válik. Ha viszont az addig hibátlan felület éles vagy hegyes tárggyal mozgás közben érintkezik, az vonalszerű hornyot, karcot ejt rajta. A karcoldás mértéke számos tényezőtől (a karcoldást okozó test nyomásától, sebességétől, formájától; a súrlódási együtthatótól; a karcoldó test alappolimerjétől és a benne levő töltőanyagtól) függ.

A műanyagok karcállóságának jellemzésére sokféle vizsgálati módszert fejlesztettek ki, de egyikük sem alkalmas a karcállóság fizikailag megalapozott mennyiségi kifejezésére. A különböző mérőmódszerekkel kapott mérőszámoknak különféle neveket adtak, pl. karcoldási keménység, dinamikus keménység, fajlagos hornyolási energia stb. Közülük népszerű a gyémánthegyet mint karcoldótestet előíró ASTM G 171-03 szabványban definiált ún. karcoldási keménység. A szabványban rögzített vizsgálati módszer azonban még pontosításra szorul. A reprodukálható eredmények érdekében részletezni kell a horony szélességének meghatározását, és figyelembe kell venni a bekarcolt horony elasztikus és viszkoelasztikus visszaalakulását, amely elérheti akár a 70–95%-ot.

A karcállóság vizsgálatához megfelelő eszközre van szükség, amely megbízható és reprodukálható eredményeket szolgáltat, és amely lehetővé teszi a vizsgálati körülmények változtatását. Mind a makroszkópikus, mind pedig a nanoméretű karcok létrehozásához és vizsgálatához többféle berendezés kapható kereskedelmi forgalomban is (pl. Taber-féle berendezés, Ford-féle ötujjas berendezés, ingás karcállóság-vizsgáló stb.). Ezek egy része azonban inkább a kopásállóság jellemzésére alkalmas, más részük csak korlátozott tartományban képes a karcoldótűt terhelni vagy csak korlátozott sebességtartományban tudja azt mozgatni.

Az anyagtudományokon alapuló kísérleti tapasztalatok önmagukban nem elegendők a polimerek karcolás hatására bekövetkező elváltozásainak leírására. Ehhez meg kell ismerni a karcolódáskor lezajló mechanikai folyamatokat, és az ilyen ismeretek birtokában számszerűen előre lehet majd jelezni a műanyagok karcolás hatására mutatott viselkedését. A jelenség bonyolultsága miatt ez a feladat csak számítógépes technikával, pl. végeselemes módszerrel oldható meg.

Új vizsgálóeszköz a karcállóság mérésére

A karcállóság megbízható vizsgálatát különösen az autóipar igényli. A texasi A&M egyetem Polimertechnológiai Központjának kutatói ezért egy új mérőberendezést és új mérési elvet dolgoztak ki, amely makroszkópikus karcok előállítására alkalmas, és a karcolótűk cseréjével egyszerre 1–5 karcot tud húzni. Mozgatható konstans terheléssel, konstans sebességgel, növekvő terheléssel és növekvő sebességgel, -50 °C és $+100\text{ °C}$ közötti környezeti hőmérsékleten. A mozgási sebességtartomány $0\text{--}400\text{ mm/s}$. A terhelés ráadható $0\text{--}50\text{ N}$ között megválasztható konstans terhelőtömeeggel vagy $0\text{--}100\text{ N}$ között változtatható rugónyomással (amelynek érzékenysége $0,01\text{ N}$). A berendezésen érzékelők mérik a karcolótűre ható érintő irányú erőt $0,1\text{ N}$ pontossággal; annak mélységét és vízszintes helyzetét $5\text{ }\mu\text{m}$, sebességét $10\text{ }\mu\text{m/s}$ pontossággal.

Polipropilének karcállóságának vizsgálata

A kutatók egy PP homopolimer és egy kopolimer töltőanyag nélküli és 20% talkumot tartalmazó változatának karcállóságát vizsgálták az új berendezéssel. Valamennyi PP 2% színező mesterkeveréket is tartalmazott. A műanyagokból $340\times 180\times 3\text{ mm}$ -es lapokat fröccsöntöttek, majd ezekből $140\times 10\times 3\text{ mm}$ -es pálcákat vágtak ki. Háromféle módon karcolták meg a próbatesteket:

- *A kísérletsorozat* – a karcolótűt (amelynek hegyét egy 1 mm átmérőjű rozsdamentes golyó képezte) konstans 100 mm/s sebességgel mozgatták $0\text{--}50\text{ N}$ között egyenletesen növekvő terheléssel,
- *B kísérletsorozat* – 30 N konstans terhelőtömeget alkalmaztak, és konstans 100 mm/s sebességgel húzták a karcolótűt. (Ezek a kísérleti körülmények azonosak a Ford-féle ötágú karcolóberendezéshez előírt körülményekkel),
- *C kísérletsorozat* – 30 N terhelőtömeeggel $0\text{--}140\text{ mm/s}$ között egyenletesen növekedő sebességgel végezték a karcolást.

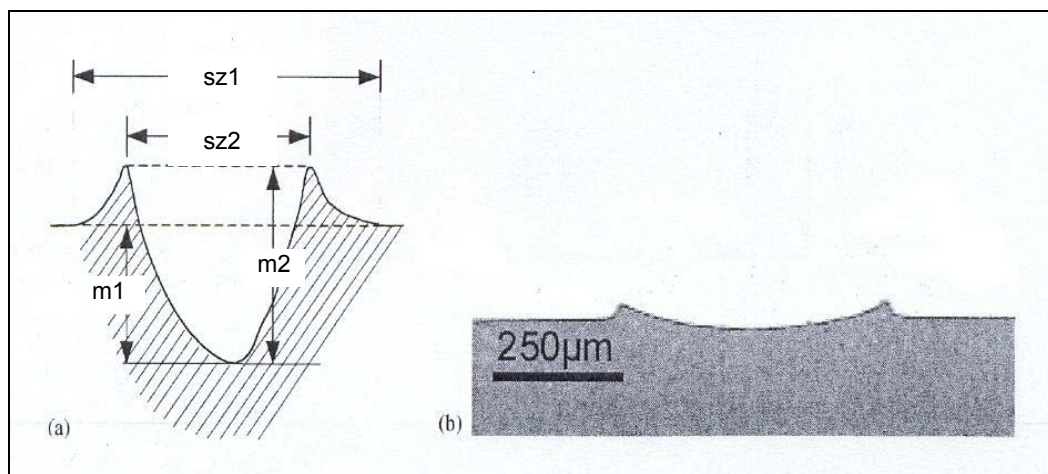
Valamennyi karc hossza 100 mm volt, és valamennyi kísérletet szobahőmérsékleten végezték.

A karc keresztmetszetét transzmissziós optikai mikroszkóppal és pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgálták meg. Ennek érdekében a megkarcolt

próbatesteket először 2 cm-es darabokra vágták, majd a kiválasztott darabot epoxigyantába ágyazták. Az így előkészített mintákat gyémántfűrészsel 2 mm vastag részekre szeletelték, majd 100-150 μm vastagságúvá polírozták. Lemérték a horony 1. ábrán bejelölt méreteit, ahol $sz2$ a horony külső, $sz1$ a belső szélessége; $m1$ az eredeti felülettől, $m2$ a feltorlódott felülettől mért mélysége. A golyó alakú karcolótest általában szimmetrikusan torlasztja fel a polimert. Ha a feltorlódás aszimmetrikus volt, a magasabb szinthez viszonyították a horony mélységét.

Végelelemes analízis

A felállított modellben megpróbálták a karcoláskor bekövetkező jelenségeket és a vizsgálati körülményeket a lehető legreálisabban megközelíteni. Első közelítésként egy 50x10x3 mm-es próbatestből indultak ki, amelyet a szimmetriasík mentén 50x5x3 mm-re kisebbítettek. Ezáltal nem csak a számítógép kapacitását tudták jobban kihasználni, de az eredményeket könnyebb volt kiterjeszteni a valódi próbatestre.



1. ábra A bekarcolt horony jellemző méretei

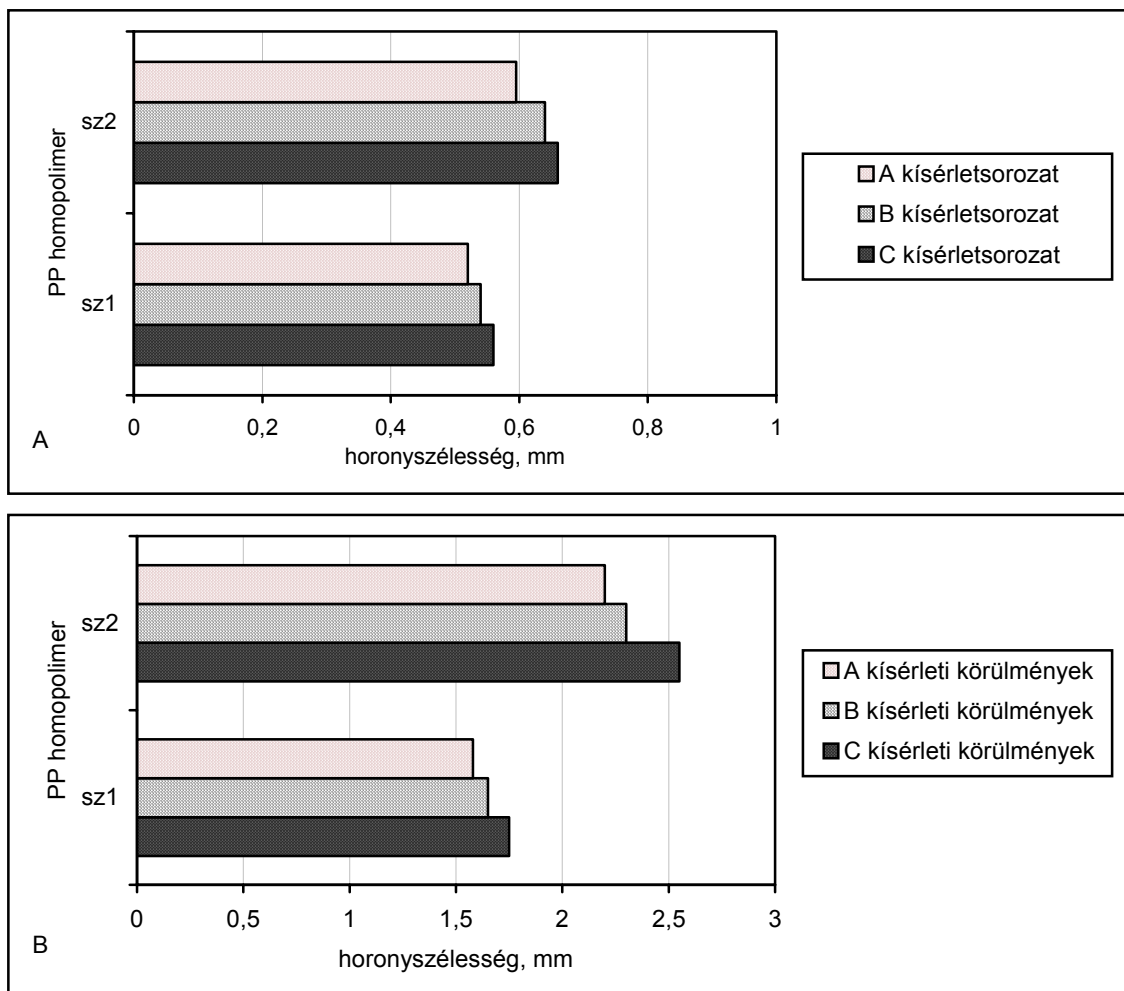
A számításokban a PP sűrűsége 0,905 g/cm^3 , Young-modulusa 1,65 GPa, Poisson-száma 0,4 volt. A PP különböző mértékű deformációnál fellépő viszkoelasztikus tulajdonságait a különböző nyújtási sebességek mellett mért feszültség-nyúlás görbék alapján vették figyelembe. Az 1 mm átmérőjű golyós karcolótűt teljesen merevnek feltételezték.

Háromdimenziós dinamikus és plasztikus feszültséganalízist végeztek, amelyben felhasználtak egy korábbi modellt, továbbá egy frikciós modellt, amelyben a súrlódási együtthatót 0,3-nak feltételezték. A számítás részletei a szakirodalomban megtalálhatók.

A kísérleti eredmények

Az eredmények értékelésekor 5 karcolás átlagértékeit vették figyelembe. A hornyok méreteit az *A kísérletsorozatban* ott határozták meg, ahol a normál terhelés elérte a 30 N-t. A *C kísérletsorozatban* a mintát azon a helyen vették, ahol a sebesség 100 mm/s volt. Ilyen módon a két kísérletsorozat és a *B kísérletsorozat* eredményeit össze tudták hasonlítani.

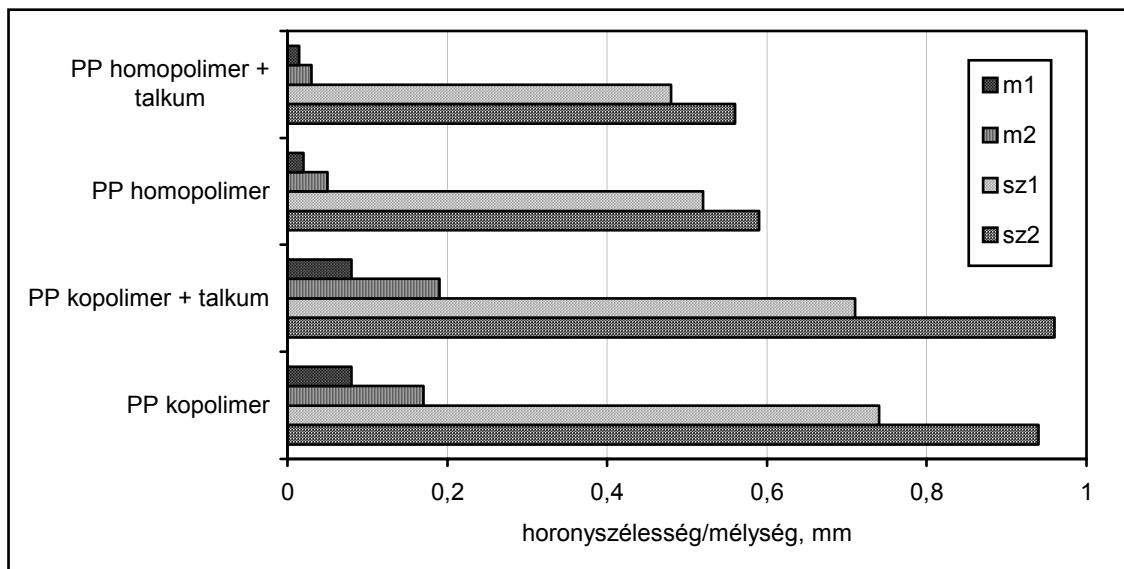
A 2/a ábrából látható, hogy a töltetlen homopolimeren legszélesebbek a *C*, ezt követik a *B* majd az *A* kísérletsorozatban karcolt hornyok. A *C* kísérletsorozatban a húzási sebesség növekedésével a hornyok szélessége és mélysége egyaránt nő, ami a növekedő súrlódással magyarázható. A növekedő terheléssel végzett *A* kísérletsorozatban a behatolás mélysége kisebb, mint a *C* kísérletsorozatban. A kopolimer ugyanolyan körülmények között erősebben karcoldott, ami kisebb modulusával és kisebb húzószilárdságával magyarázható. A *B* kísérletsorozatban kapott hornyok egyenletesen szélesek és mélyek.



2. ábra A karcolóberendezésen mért (A) és a modell alapján számított (B) eredmények

A talkummal töltött PP-n egyenletesen széles hornyokat kaptak a *B* és *C* kísérletsorozatban, viszont fokozatosan erősödő karcolási nyom képződött az *A* kísérletsorozatban. Az utóbbi nyom első szakasza szabad szemmel nem is volt érzékelhető, ez inkább kopásnak, mint karcnak tekinthető. A hornyok méretei nem tértek el a töltetlen polimerektől (3. ábra).

Úgy tűnik, hogy az *A* kísérleti körülmények között sokkal érzékenyebben követhető a polimer karcolással szemben mutatott érzékenysége. Az ebben a kísérletsorozatban használt próbatesteket pásztázó elektronmikroszkóp alatt vizsgálták, különösen a szabad szemmel észlelhető karc környezetében. A felvételeken látható volt, hogy a karcoláskor bonyolult mechanizmusok működnek, mert a felület alatti rétegben egyaránt megfigyelhető volt a polimer „kivasalása”, mikrorepedések képződése, szálhúzás, töltőanyag-elválás, anyagtorlódás stb., aminek következtében a horony mélysége helyenként változott. Ezért a karc jobban jellemezhető a szélességgel, mint a mélységgel, és a szélesség egyszerűbben is mérhető, különösen ha nincs igény kiemelkedő pontosságra.



3. ábra A különböző műanyagokon kapott hornyok szélessége és mélysége az *A* kísérletsorozatban

A normál terhelés és a karc szélessége közötti összefüggést a 4. ábra érzékelteti. Látható, hogy a terhelés növelésével egyenletesen növekszik a karc szélessége, és hogy a kopolimer érzékenyebb a karcolásra, mint a homopolimer. Ebből az ábrából az is megállapítható, hogy mekkora terhelés hatására válik szabad szemmel láthatóvá a karc. A vizsgált töltetlen homopolimeren ez 18 N terhelésnél, 26,5 mm után, a talkummal töltött homopolimeren 15 N terhelésnél, 19 mm után következett be. Az átmeneti tartományban az

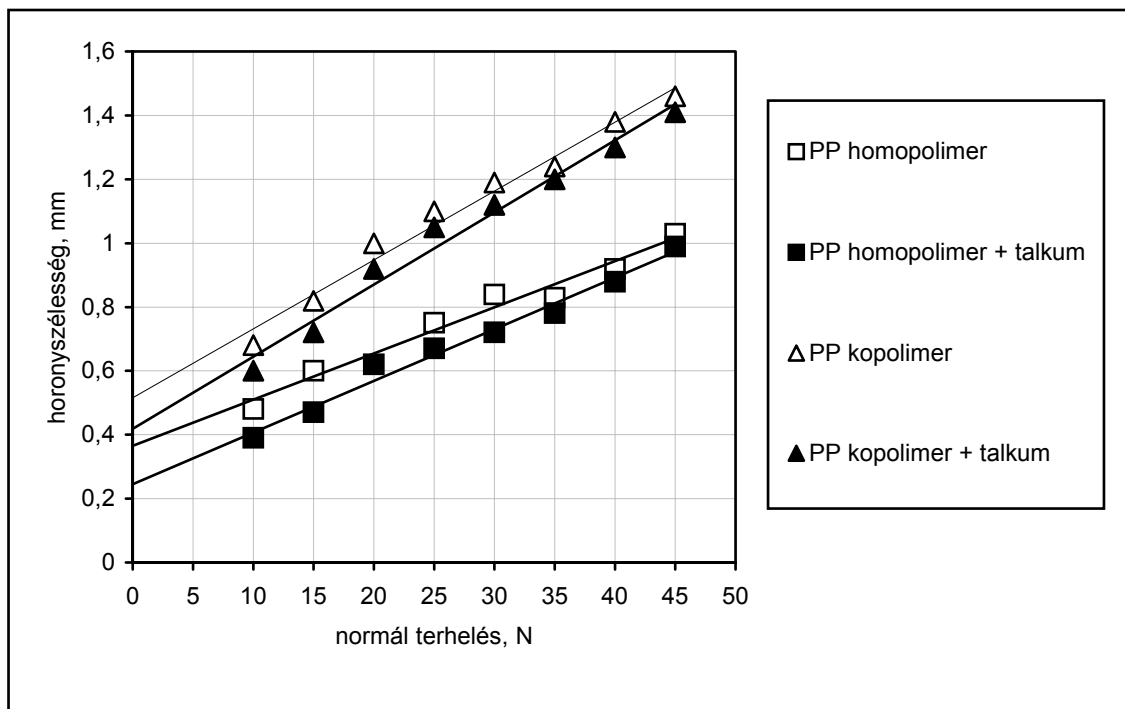
elektronmikroszkópos felvételek szerint a töltetlen homopolimerben mikrorepedések képződnek, a talkummal töltött homopolimerben a polimer megfolyik és deformálódik.

Hasonló információkat a *B* és *C* kísérletsorozatban nem kaptak.

További előnye a növekvő terheléssel végzett mérésnek, hogy eközben a karcolótű mozgása kiegyensúlyozott, míg a másik két üzemmódban néha megakad vagy „ugrál”.

A mérési eredmények megbízhatóak és reprodukálhatók. A horonyszélesség értékeinek szórása (standard deviáció) 5–10%, a horonymélység szórása 15–33% volt.

A végeselemes modell alapján kiszámított horonyjellemzőket a *2/b* ábra mutatja a *2/a* ábra szerinti kísérleti körülményekre. Látható, hogy a változások iránya hasonló, jó kvalitatív korreláció állapítható meg. A horonyjellemzők konkrét értékeiben még nagyok az eltérések, amit a modell finomításával valószínűleg csökkenteni lehet.



4. ábra A normál terhelés és a karc szélessége közötti összefüggés

Dr. Pál Károlyné

Wong, M; Lim, G. T. stb.: A new test methodology for evaluating scratch resistance of polymers. = Science Direct of 2500 – Wear, 256. k. 11/12. sz. 2004. jún. p. 1214–1227.

Document Summary. ASTM G171-03 Standard test method for scratch hardness of materials using a diamond stylus. = www. astm.org, 2004. 07. 18.