

# Műanyagok műszerezett ütésállósági vizsgálata

Bezerédi Ákos\*

Műanyagok ütésállósági vizsgálata a legfontosabb mechanikai vizsgálati módszerek egyike, amely sokkal több, mint pusztán a minőségbiztosítás alapvető eszköze, ugyanis a műanyag feldolgozási körülményein túl lényeges információt nyújt az anyag szerkezetéről [1, 2, 3, 4].

Az ütésállósági vizsgálat alapvetően az alkalmazott mechanikai hatás sebességében különbözik a többi mechanikai (törési) vizsgálatól. A vizsgálat nehézsége a viszonylag nagy alkalmazott erőhatás-sebességéből ( $\geq 1$  m/s) adódik. A törés pillanatszerűen lejátszódó és ezért nehezen kontrollálható folyamat [2, 3], a kiértékelési gondok többsége ebből fakad.

A mérési eredmény régebben pusztán a törésre fordított teljes energia fajlagos értékéből állt ( $a_n$  = törési energia / keletkezett új felület). Az elektronika és számítástechnika fejlődésének köszönhetően azonban ma már az igen rövid idejű (< ms), pillanatszerű törés is egy teljes folyamatként követhető nyomon és értékelhető ki.

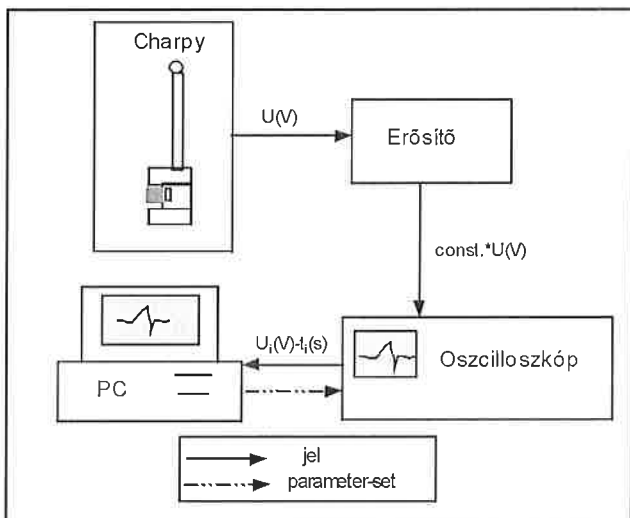
A gyorsan lejátszódó törési folyamat a nagy sebességű adatgyűjtés mellett további feladatok elé állít bennünket: az ütőmű és a próbatest

érintkezésekor dinamikus effektusok lépnek fel, amik igen megnehezítik a kiértékelést, a törési görbe kiugró csúcsokból áll (2. ábra, baloldal).

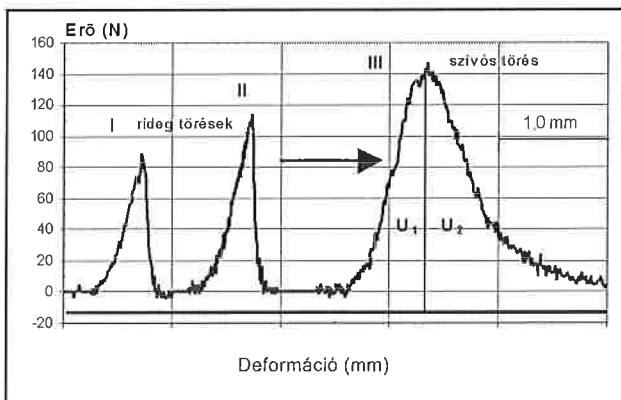
A dinamikus effektusok csillapítására legelterjedtebb módszer az ütőmű érzékelőjén elhelyezett deformálódó anyag (pl.: gumi), amely az effektusok jelenlétét megszünteti, vagy legalábbis jelentősen mértékben tompítja, így a törési görbét kiértékelhetővé teszi (2. ábra, jobb oldal). Munkánk során olyan módszert fejlesztettünk ki, amely az érzékelőhöz rögzített csillapító anyag nemkívánatos, torzító hatását kizárja ki [2, 3].

A törés két szélső típusa a rideg illetve a szívós törés. A rideg törési folyamatra a maximális erő elérése utáni hirtelen erő-esés jellemző az erő-deformáció görbén, míg szívós törésnél a maximális erő után a görbe hosszan elnyúlt [1, 2, 3]. Az eltérés oka, hogy rideg törésnél a deformált mintában felhalmozódó rugalmas energia fedezi az új felület keletkezéséhez szükséges energiát, míg szívós törésnél a repedés előrehaladásához folyamatos energia utánpótlásra, tehát további deformálásra van szükség [1].

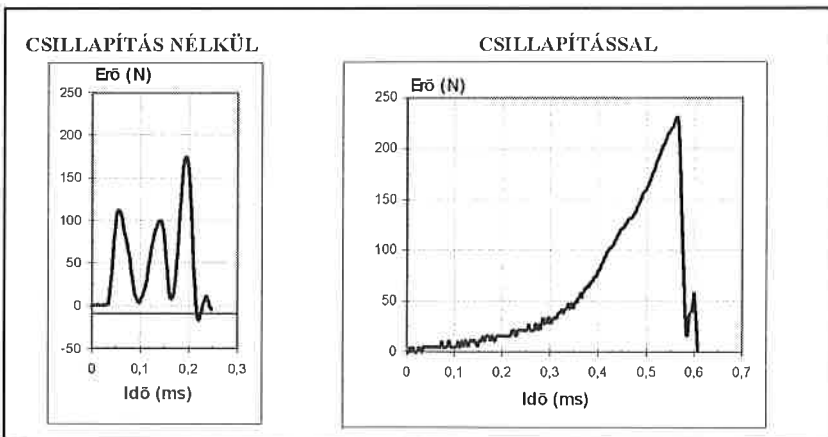
Shívós törés alapja a repedéscsúcs környékén kialakuló jelentős mértékű plasztikus deformáció, helye az ún. plasztikus zóna. Energia



1. ábra. Az általunk épített műszerezett, Charpy típusú törő-berendezés felépítése. (BMGE, KKKI) [2]



3. ábra. A rideg törésből a szívós törésbe való átmenet tanulmányozása. A PP mátrixban levő növekvő EPR tartalom hatására (I- tiszta PP, II – 15 térf% EPR, III – 25 térf% EPR) a törés rideg törésből szívós törésbe megy át. A plasztikus deformáció mértékével nő az  $U_2$  energia-komponens súlya a teljes törési energiában.



2. ábra. Az ütőmű érzékelőjén elhelyezett csillapító anyag hatása a törési görbére

elnyelés szempontjából a plasztikus deformáció a törés meghatározó energiaabszorpciós mikro-mechanikai folyamata. A plasztikus deformáció mértékének növekedésével a rideg törés szívós töréssé alakulhat át, amely elérhető a vizsgálati hőmérséklet növelésével, a deformálási sebesség csökkentésével, a törés geometriai elrendezésének változtatásával (pl.: bemetszés mélységének növelésével) illetve a mátrixanyag elasztomerrel való módosításával (3. ábra). A műanyagok törési viselkedésének sebesség- és hőmérsékletfüggése a polimerek jól ismert viskoelasztikus tulajdonságára vezethető vissza.

Rideg törés kiértékelésére a tisztán rugalmas viselkedési feltételből kiinduló lineárisan rugalmas törési modellt (LEFM = Linear Elastic Fracture Mechanism) használják. Jóllehet műanyagok törésénél a repedéscsúcs környékén mindig található bizonyos méretű plasztikus zóna, mégis a gyakorlatban kisebb mértékű plasztikus deformáció esetén jól alkalmazható eredményt nyújt a LEFM modell. A

\* Ph.D.; MÜKI Műanyagipari Kutatóintézet Kft.

modell két anyagjellemző paramétere: a repedésterjedéshez szükséges kritikus energiát jellemző  $G_c$  tényező (strain energy release rate) illetve a kritikus feszültségintenzitási faktor ( $K_{Ic}$  = critical stress intensity factor) [1]. Az első tényező az anyag törési tulajdonságát az energia, míg utóbbi a feszültség szempontjából jellemzi. A modell szerint  $G_c$  és  $K_{Ic}$  egymásnak megfeleltethető mennyiségek.

A nagy plasztikus deformációval járó szívós törés tisztán anyagjellemző paraméterrel való leírása a bonyolult feszültségi viszonyok miatt meglehetősen nehéz feladat, még ma is erősen vitatott terület. Több modell használatos, mint a J-integrál módszere, vagy a törés lényegi munkájának modellje (EWF = Essential Work of Fracture), azonban az említett modellek paramétereinek anyagi jellemzőként való elfogadása a műanyagok terén még várta magára, több elméleti alátámasztást és kísérleti munkát igényel.

A törési vizsgálat eredményei és az anyag szerkezeti tulajdonságai szoros összefüggésben vannak. Kiemelendő, hogy a törési vizsgálat igen érzékenyen kimutatja az anyagban levő inhomogenitásokat, orientációkat. Az inhomogenitás a törésnél rendszerint repedést elindító, kritikus gyenge helyek minősül, míg az orientáció a repedés terjedése során egyfajta megvezetésként működik. Az ütésállóság igen érzékeny a gyenge helyekre, az inhomogenitásokra (pl.: töltőanyag szemcsék agglomerátumai), amelyek az anyag belsejéből is iniciálhatnak repedést, ahonnan a teljes törési folyamat végbemeget. Ugyancsak kriti-

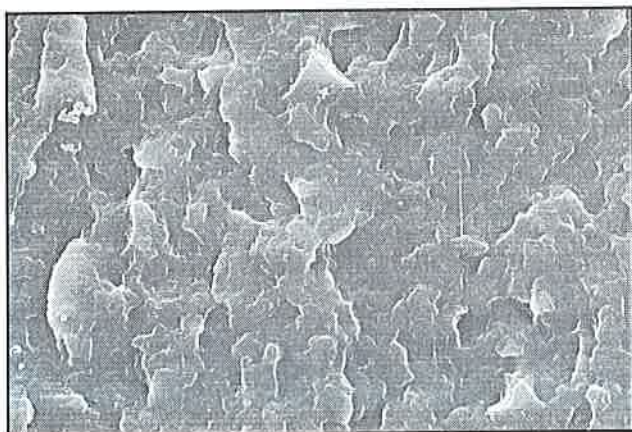
kusak a munkadarab felületén kialakított vagy véletlenül létrehozott éles bemetszések, apró karcok. Minél kisebb a gyenge hely, a bemetszés rádiusza, a repedés annál könnyebben, kisebb ellenállásba ütközve indulhat meg.

A kristályos polimerekben a kristályos fázis egyfajta repedés megvezető felületként viselkedik, a törési felületen a kristályos szerkezet nyomai jól láthatók (4. ábra)

A polipropilénbe blokk kopolimerként bevitt etilén elasztomer tartalom megnöveli a műanyag ütésállóságát, a blokk kopolimer maximális törési erejéből számított  $K_{Ic}$  értékek jóval magasabbak, mint a tiszta polipropiléné (5. ábra). Az ütésállóság a kristályszerkezettel szoros kapcsolatot mutatott. A kristályosodási hőmérséklet és a kritikus feszültségintenzitási faktor közti összefüggés az 5. ábrán látható.

A kopolimernél tapasztalt nagyobb ütésállóság az etilén láncrészekből kialakult elasztomer tartományoknak köszönhető (6. ábra), amik megnövelték a repedéscsúcs körüli plasztikus zóna méretét.

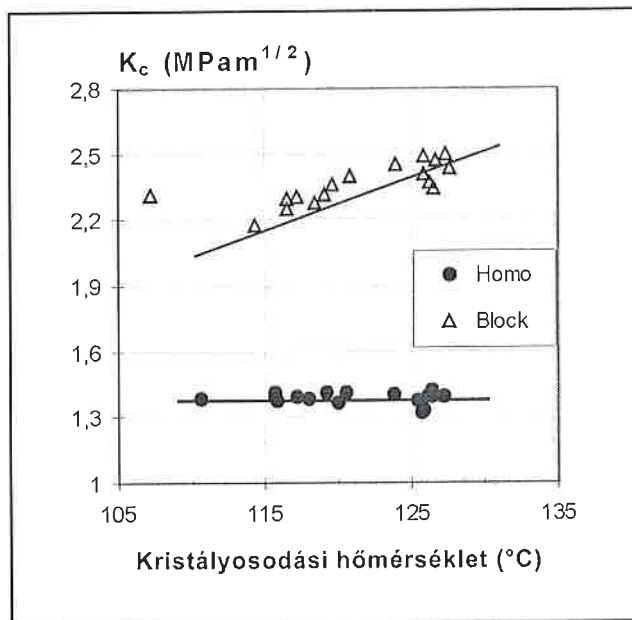
A töltött polimer rendszerek ütésállóságát meghatározza a szilárd szemcsék mátrix polimerbeli diszperziójának homogenitása, illetve a szemcse és a mátrix között kialakult határfelületi kölcsönhatás erőssége, a határfelületi fázis tulajdonságai. A töltőanyag-tartalom növekedésének függvényében várhatóan a törési ellenállás csökken, mivel a növekvő töltőanyag-tartalom miatt kisebb lesz a mátrix effektív keresztmetszete. Ezzel ellentétesen hat, hogy a töltőanyag-szemcse körül a mátrixanyag



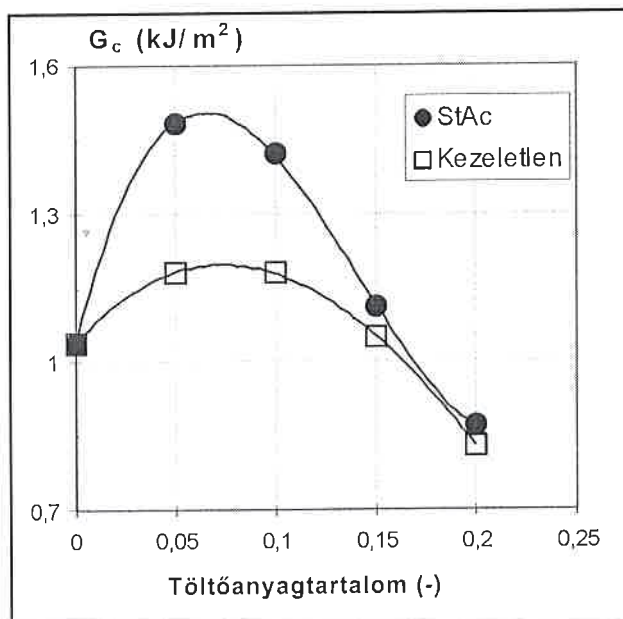
4. ábra. Polipropilén törési felületéről készített SEM képek. A törési felületen jól látható a kristályszerkezet, mint a repedés terjedését megvezető belső felületek élei, barázdái [2].



6. ábra. Polipropilén blokk kopolimer (9% etilén tartalom) törési felületéről készített SEM felvétel [2].



5. ábra. Polipropilén homo- és blokk kopolimerek feszültségintenzitási tényezői a kristályosodási hőmérséklet függvényében [2].



7. ábra. A töltőanyag-tartalom hatása a törési ellenállásra ( $G_c$ ). Az ábrán a töltőanyag felületkezelésének a hatása is megfigyelhető. (StAc – sztearinsav) [4].

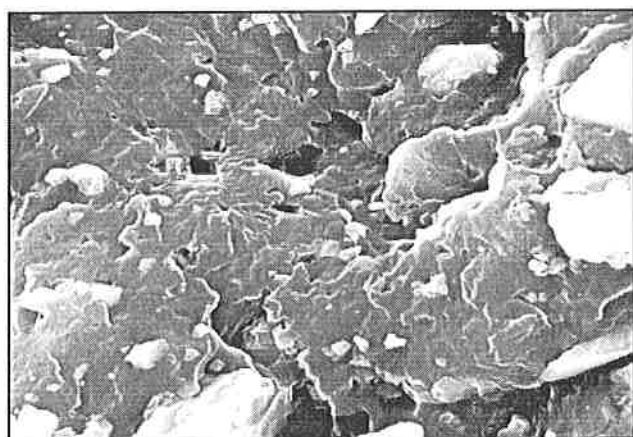
leválik, ami az oda érkező repedés csúcsrádiusát megnöveli, a repedés tompul, a plasztikus zóna mérete nő, így a törési ellenállás is nő. Az előbbi ellentétes mechanizmusok következménye, hogy a polipropilén / CaCO<sub>3</sub> kompozit törési ellenállása 5 térf% töltőanyag-tartalom körül maximumot mutatott (7. ábra) [4].

A mátrix és a töltőanyag-szemcse közötti határfelületi elválás mechanizmusa megváltoztatható megfelelő felületkezelő-szerek alkalmazásával. A könnyebben leváló, plasztikusabb határfelület növeli a törési ellenállást.

A sztearinsavas felületkezelés növeli a határfelületi elválás valószínűségét, így a töltőanyag repedéscsúcsot tágító, tompító hatása jobban érvényesül. Ezzel magyarázható, hogy a sztearinsavval kezelt CaCO<sub>3</sub> tartalmú kompozit ütészállósága nagyobb, mint a kezeletlen töltőanyagot tartalmazóé (7. ábra).

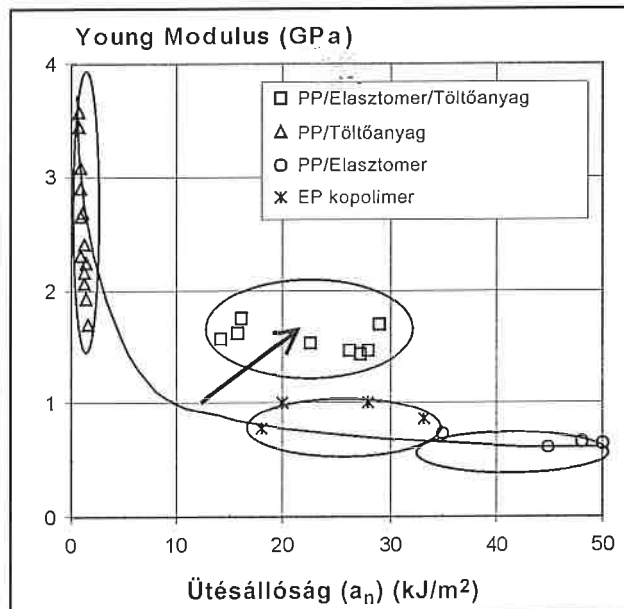
Kiemelendő, hogy a törési ellenállás igen érzékenyen reagál a szerkezeti inhomogenitására, így tehát a töltőanyag-szemcsék agglomerációjára.

A töltött polimerekre jellemző határfelületi elválás jelensége jól megfigyelhető a törési felületről készült SEM felvételen (8. ábra).



8. ábra. A 15 térf%, sztearinsavval felületkezelt CaCO<sub>3</sub>-ot tartalmazó polipropilén kompozit törési felülete. A kiesett töltőanyag-szemcsék üres kráterei a töltőanyag-szemcse és mátrixanyag közti határfelületi elválásra utalnak [4].

Az ütészállóság javítása csak kompromisszum árán lehetséges, mégpedig sajnos csak az anyag merevségének (Young-modulusának) csökkenése mellett valósítható meg (9. ábra). Az anyagszerkezeti fejleszté-



9. ábra. Módosított polipropilén rendszerek modulusa és ütészállósága közti összefüggés [2].

sek célja tehát a megfelelő nagyságú ütészállóság és merevség elérése, amelynek egyik útja az ún. hidrid rendszerek előállítása. A hidrid polimer rendszerek töltőanyagot és elasztomert egyaránt tartalmazó polimer keverékek, a két adalék komponens előnyös hatásait próbálják ötvözni.

Összefoglalásul elmondhatjuk tehát, hogy az ütészállósági vizsgálatok műszerezése és számítógépes adatfeldolgozása valóban nagy előrelépést jelentett a nagy sebességű mechanikai vizsgálatok terén. Ma már a törés többlépcsős folyamatként elemezhető és alapvető információkat nyújt az anyag belső szerkezeti tulajdonságairól.

### Irodalom

1. J. G. Williams: Fracture mechanics of polymers, Ellis Horwood, Chichester , West Sussex, 1984
2. Á. Bezerédi: Instrumented impact testing of polymers, Technical University of Budapest, Ph.D. Thesis, 1996
3. Á. Bezerédi, Gy. Vörös, B. Pukánszky: Mechanical damping in instrumented impact testing, Journal of Materials Science, 32, 6601-6608, 1997
4. Á. Bezerédi, Z. Demjén, B. Pukánszky: Fracture resistance of particulate filled polypropene, Die Angewandte Makromolekulare Chemie, 256, 61-68, 1998

## Polimerek kötéstípusai, különös tekintettel a hegeszthetőség és a fizikai szerkezet közötti kapcsolatra

Czigány Tibor\* – Marczis Balázs\*\*

### Bevezetés

Napjainkra a polimertermékek gyártási színvonala, valamint az ehhez kapcsolódó szerszámgyártási technológiák olyan magas technikai színvonalat értek el, hogy egyre összetettebb formájú alkatrészek készülnek és kerülnek beépítésre a szerkezetekbe. Ezeknek a bonyolult geometriájú alkatrészeknek a beillesztése, beszerelése során a konstruktőrnek kell kiválasztani a legmegfelelőbb kötési technikát, amely funkcionális és gazdasági szempontból is optimális. A cikk célja a polimer szerkezetek kötésttechnikáinak a bemutatása, különös tekintettel a hegesztésre és ezen belül a forrógázos hegesztésre.

\* Doc. Dr.; Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Polimertechnika és Textiltechnológia Tanszék, \*\* doktorandusz ugyanott.

### Kötéstípusok

A polimer szerkezeti elemek kötéstípusait fizikai hatáselvük szerint három csoportba sorolhatjuk. Így megkülönböztetünk erővel, alakkal és anyaggal záró kötéseket. Ezek a kötéstípusok oldhatóságuk alapján tovább jellemezhetők [1].

#### Erővel záró kötés

Erőzáró kötés akkor jön létre, ha az összekötendő felületek között a súrlódásból adódó erő biztosítja a kötés kialakításához szükséges kapcsolatot. Az erővel záró kötések családjába tartozik a csavarkötés. Műanyag csavarok és anyák mechanikai viselkedése hasonló a fémekéhez, vagyis a szükséges meghúzási nyomaték a menetemelkedésen kívül az anya és a csavarmenet, valamint az anya homloklapfelülete és