

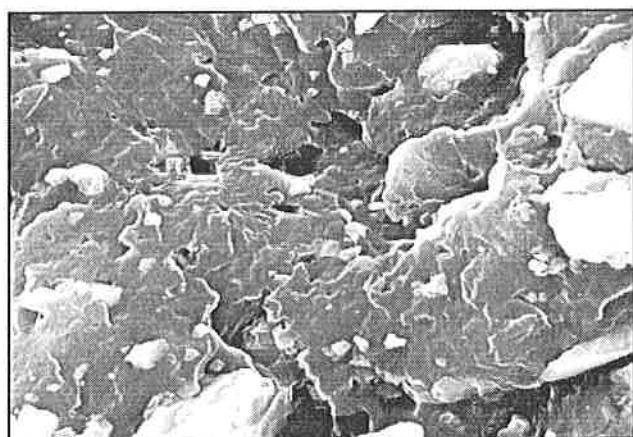
leválik, ami az oda érkező repedés csúcscradiusát megnöveli, a repedés tompul, a plasztikus zóna mérete nő, így a törési ellenállás is nő. Az előbbi ellentétes mechanizmusok következménye, hogy a polipropilén / CaCO₃ kompozit törési ellenállása 5 térf% töltőanyag-tartalom körül maximumot mutatott (7. 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 CaCO₃ tartalmú kompozit ütészállósága nagyobb, mint a kezeletlen töltőanyagot tartalmazóé (7. ábra).

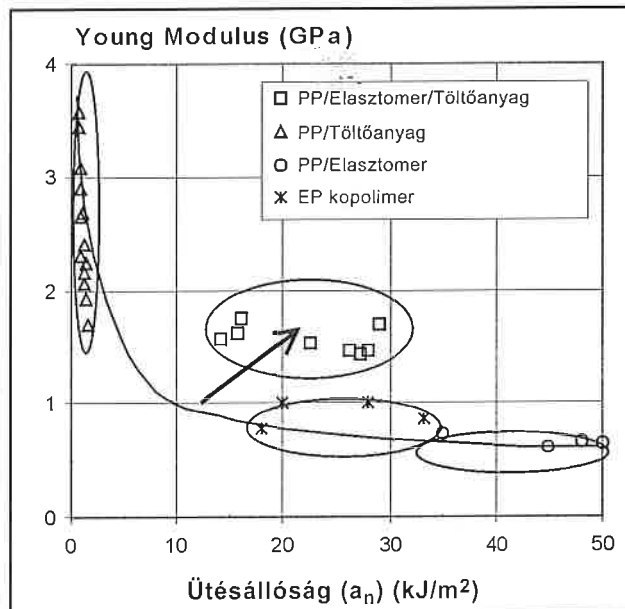
Kiemelendő, hogy a törési ellenállás igen érzékenyen reagál a szerkezeti inhomogenitására, így tehát a töltőanyag-szemcsék agglomerációjára.

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



8. ábra. A 15 térf%, sztearinsavval felületkezelt CaCO₃-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 kötéstípusainak 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].

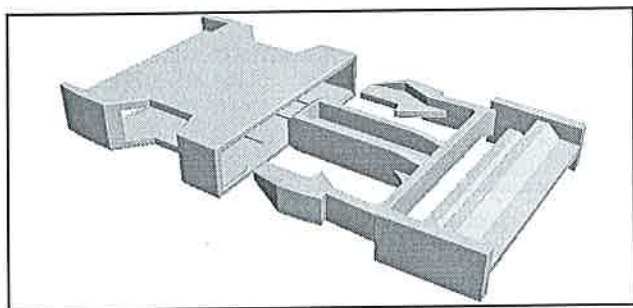
Erővel záró kötés

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

az összekötendő alkatrész felülete között fellépő súrlódás legyőzésével biztosítható. Polimer termékek összekötésénél a legerjedtebb csavarkötési technológia az önmetsző fémcsavarak alkalmazása. A kötés szilárdságát a csavar geometriája, illetve a csavart befogadó szem, vagy tubus kialakítása határozza meg.

Alakkal záró kötés

Az alakkal záró kötések alapvető tulajdonsága, hogy a kötetést a két (vagy több) elem speciális geometriai kialakítása biztosítja. A legerjedtebb alakkal záró kötés a bepattanó kötés, ahol a két alkatrészt túlfedéssel bíró szakaszon illesztjük össze, melynek során az egyik vagy mindkét alkatrész rugalmasan deformálódik, majd a kötési művelet befejeztekor terheletlen állapotba pattan vissza. A bepattanó kötés alkalmazása csak nagyszériás sorozatgyártás esetén gazdaságos a bonyolultnak mondható szerszámkiállítás magas költségvonzata miatt. A kötés előnye viszont, hogy az alkatrészek kötése a szerelés során gyorsan és egyszerűen létrejön. A pattanó kötés egyik leggyakoribb hétköznapi alkalmazása a táskacsatt (1. ábra).



1. ábra. Bepattanó kötés - táskacsatt

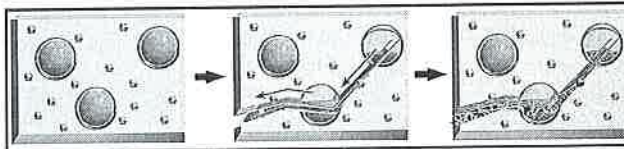
A másik leggyakoribb alakzáró kötés a szegecskötés, amelynek előnye, hogy aránylag gyors, és olcsó, hátránya viszont, hogy a létrejövő kötészilárdság jóval kisebb az eddig említett kötéstípusoknál. További negatívumként említhető meg a technológia esztétikai hátránya, ami a versenyképes termék értékét nagyban befolyásolja. A saját anyaggal úgy jön létre kötés, hogy az egyik darabon kialakított ellapítandó csapra illesztik az ellendarabot, majd a csapvéget a felmelegített fejelőszámmal a gyengén megolvadó anyagot alakra nyomják. A hőre keményedő műanyagok összekötésére leggyakrabban színesfémszegecsket alkalmaznak.

Anyaggal záró kötés

Az elmúlt években az intelligens anyagok megjelenésével az eddig megszokott fizikai hatáselv szerinti adhéziós és kohéziós csoportosítás tovább bővült. Kohézióról beszélünk, ha a kötés az azonos atomok ill. molekulák között jön létre, míg adhézió esetén csak felületi kapcsolat jön létre az összekötendő felületek között. Ebből következik, hogy a kohéziós kötés erősebb az adhéziósnál.

Az *intelligens kötetést* az University of Illinois kutatóinak ötlete alapján fejlesztették, miszerint az anyag folyamatosan képes regenerálni és javítani önmagát a benne lévő kapszulák aktivizálásával. Az anyag fejlesztésekor az emberi test működését vették alapul, annak is öngyógyító tulajdonságát. Az intelligens kötéseknek két fontos tulajdonsága van. A javítás automatikus módja és a helyspecifikusság, azaz a „gyógyító anyagot” mindenhol el kell juttatni, hogy mindenhol elérhető legyen, de csak ott kell aktivizálnia, ahol valóban szükség van rá. Az anyagnak ezt a tulajdonságát a monomerek műanyag alapállományához való keverésével oldották meg oly módon, hogy a folyékony monomer-összetevőket speciális, mikroszkópikus méretű kapszulákba zárták. A műanyag alapállománya e gömböcskékén kívül még katalizátor-molekulákat is tartalmazott, amelyek a monomerek polimerre szerveződését teszik lehetővé. A műanyagban keletkező apró repedések, létrejöttük során megnyitják a monomereket tartalmazó gömböcskéket. A folyékony monomer-állomány belefolyik a repedésbe, majd a katalizá-

torok hatására polimerekké szerveződnek át és megszilárdul (2. ábra). Az anyag megjavítja önmagát, új anyaggal záró kötetést hoz létre automatikusan. A kidolgozott új módszerrel az anyagok életkora megsokszorozódhat. A technológia gyenge pontja, hogy a monomereket tartalmazó kapszulák falvastagságát helyesen kell megválasztani, mert a kapszulának elég erősnek kell lennie ahhoz, hogy törés nélkül kibírja a polimerizációt, de mégis elég áteresztőnek ahhoz, hogy a mikrorepedések áthatoljanak rajta, és ne kerüljék meg [2].



2. ábra. Intelligens anyaggal záró kötés

A ragasztás két szilárd test összeerősítését jelenti ragasztó segítségével. A ragasztott kötések szilárdságát döntően kétféle erő adja: a ragasztandó anyagok, valamint a ragasztó belső szilárdsága, kohéziója, és a ragasztandó anyag–ragasztó határfelületén fellépő erőhatások, az adhézió. A jó ragasztott kötésben az adhéziós erők legalább olyan nagyok, mint a kohéziós erők. Ez más szavakkal azt jelenti, hogy a jól összeragasztott anyagdarabokat nagy erőhatásnak kitéve a tönkremenetel (szakadás, törés) magában a darabban következnek be, és nem a határfelületen, a ragasztó elválása miatt [3]. Ragasztott kötések elsősorban húzó-nyomó igénybevételek esetén alkalmazhatóak, nyírás, hajlítás és csavarás esetén alkalmazása nem optimális.

Polimerek hegesztése. Többféle technológia alkalmazható. A hegesztési technikák jellegét tekintve, a fémeknél alkalmazott eljárások elvét veszi alapul [4], a polimereknél is a minél nagyobb szilárdságú, kohéziós kapcsolat létrehozása a cél. A polimerek és fémek jól ismert anyagszerkezettani eltérése számos problémát vet fel [5]. A monomerek kétféle rendszerben kapcsolódhatnak egymáshoz. Abban az esetben, ha a kialakult polimer láncok alakja térhálós, akkor a polimer nem vihető folyékony halmazállapotba, így nem is hegeszthető (hőre keményedő polimerek). Csak azok a polimerek hegeszthetők, amelyeknél a polimer lánc lineáris illetve elágazott óriásmolekulákból állnak (hőre lágyulók). Figelembevéve a polimerek molekuláris szerkezetét polimerek hegesztésén kizárólag a hőre lágyuló polimerek olyan kötését értjük, amely hő és nyomás együttes hatására jön létre hegesztőanyag alkalmazásával vagy anélkül. A hegedés alapfeltételeiből következik, hogy a kötés létrejöttéhez szabad részecskemozgás, vagyis folyékony halmazállapot szükséges. Ennek az állapotnak az elérését a hőmérséklet növelésével biztosíthatjuk, amikor a láncmolekulák, úgynevezett Brown-féle makrohőmozgása oly mértékben fokozódik, hogy képes felszakítani az óriásmolekulák közötti szekunder kapcsolatokat, így azok egymástól függetlenednek, ami az anyag folyékony halmazállapotához vezet. A hegesztés során kialakult varrat jóságai foka annál nagyobb, minél sűrűbben és mélyebben hatolnak egymásba a szabad láncvégek.

A polimerek hegesztése alatt a köztudatban általában a csövek illetve csomagolófóliák hegesztését értik, azonban a gyártástechnológia fejlődésének köszönhetően a hegesztéses technikát egyre gyakrabban alkalmazzák teherviselő alkatrészek kötésére is. A gyakorlatban számos hegesztési technikát alkalmaznak (extrúziós, tűkörtetés, fűtőkecs, hőimpulzusos, lézersugaras, dörzs-, vibrációs, ultrahangos hegesztés stb.), azonban a hétköznapi gyakorlat szempontjából az egyik legfontosabb a forrógázos hegesztési technika [6].

Forrógázos hegesztés

A forrógázos hegesztés a hőkonvekciós eljárások csoportjába tartozik, ahol a varrat helyét hővezetéssel, vagy hőáramlással hozzák a megfelelő reológiai állapotba. A varrat helyének, illetve a hozaganyag-nak a melegítését forró légnemű anyagnak (levégőnek, vagy inert gáznak) a varratkörnyezetbe való áramoltatásával érik el.

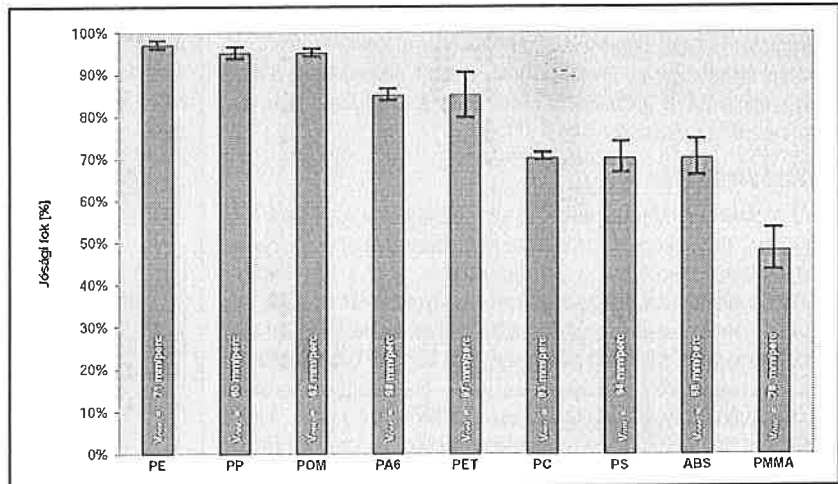
Jelen vizsgálatokkal célunk a kézi hőlégfúvós hegesztési eljárás au-

tomatizálása, és ezen keresztül a kialakult varrat szilárdságának és megbízhatóságának növelése, optimalizálása, valamint a reprodukálhatóság biztosítása. A forrógázos hegesztési eljárás során kialakuló varrat jóságát meghatározó három alapvető paraméter a hegesztési hőmérséklet és sebesség, valamint az összeszorító erő nagysága. Tökéletes hegedés csak abban az esetben érhető el, ha a felsorolt paraméterek beállítása optimális. Ennek érdekében az alkalmazott Leister típusú hőlégfúvós kézi hegesztőgépet köré elektromos hajtású, számítógép-vezérlésű mérőpadot terveztünk és építettünk (3. ábra) biztosítva ezzel a hegesztési paraméterek kontrollálhatóságát és a varrat reprodukálhatóságát [7].

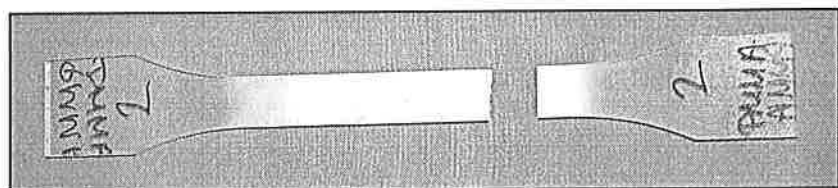
A leggyakoribb kilenc tömeg- és műszaki anyagból (akrilonitril-butadién-sztirol – ABS, poliamid-6 – PA6, polikarbonát – PC, polietilén – PE, polietilén-tereftalát – PET, polimetil-metakrilát – PMMA, poliformaldehid – POM, polipropilén – PP, polisztirol – PS) préseléses technikával készült polimer lemezeket, öt különböző sebességgel (40, 60, 80, 100, 120 mm/perc) összehegesztettük, majd szabványos (DIN 53455) piskóta alakú próbatesteket munkáltunk ki úgy, hogy azok a varrat bekezdést ill. kifutást ne tartalmazzák.

Az elkészült és kiszáritott próbatesteket Zwick Z020 típusú univerzális szakítógéppel vizsgáltuk szobahőmérsékleten, 10 mm/perc terhelési sebességen. Minden anyagnál 5 próbatestet mértünk úgy, hogy a számításoknál a legnagyobb és legkisebb értéket nem vettük figyelembe, s az átlagtól való eltérést 95%-os konfidencia intervallummal külön jelöltük [8].

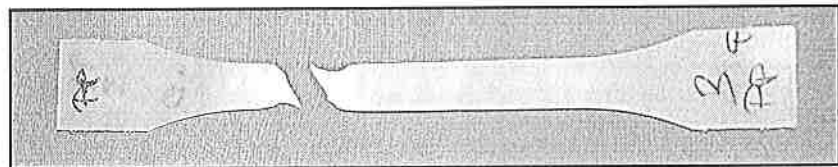
Megállapítható, hogy a hegesztett anyagok maximális jósági fokának változása a vizsgált anyagok szerkezeti tulajdonságaival hozhatók kapcsolatba. A legjobban hegeszthető anyagok mind kristályos szerkezetűek, míg a gyengébben hegeszthetők amorfak. Ennek magyarázata az, hogy az amorf anyagok plasztikusabban viselkednek, lassabban folynak meg, s a megfolyás után is hamar degradálódnak. A kristályos és amorf anyagok csoportján belül is megfigyelhető egy jósági fok sorrendiség (a 4. ábra szerint a kristályos: PE, PP, POM, PA6, PET és az amorf: PC, PS, ABS, PMMA anyagokra), amely az egyes anyagok olvadási hőmérsékletével függ össze, vagyis minél kisebb az olvadáspont annál he-



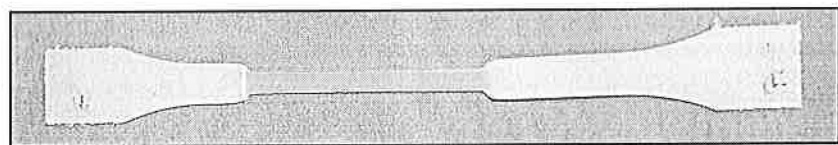
4. ábra. A vizsgált anyagok jósági foka



5. ábra. PMMA szakítóvizsgálatánál fellépő feszültséghegedés



6. ábra. Nyakképződés megindulása PP szakítóvizsgálatánál

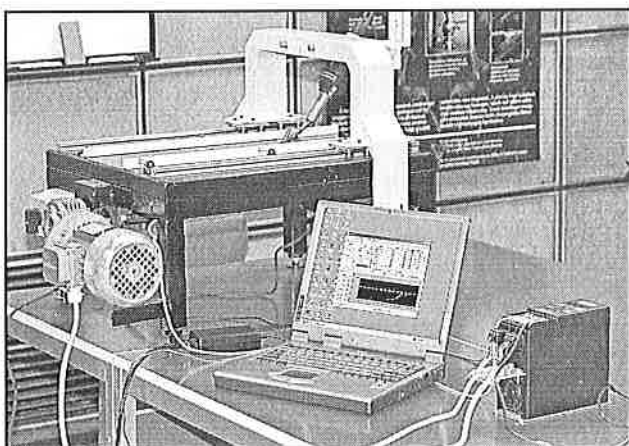


7. ábra. PE szakításakor fellépő nyakképződés és nyúlás

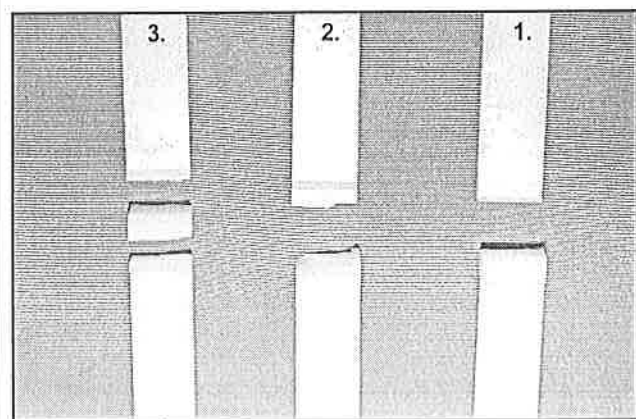
geszthetőbb az anyag. Ennek oka, hogy minél kisebb a különbség a hegesztési és környezeti hőmérséklet között, annál stabilabban viselkedik az ömledék, és könnyebb az egyenletes hőmérséklet-eloszlást biztosítani.

Tönkremeneteli formák

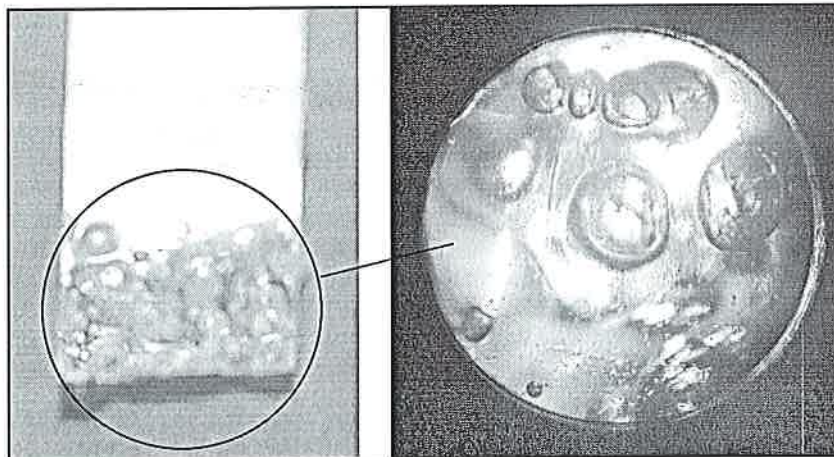
A hegesztés nélküli próbatestek egyik gyakori tönkremeneteli módja a rideg törés, mégpedig a próbatest közepén levő 50 mm hosszú tar-



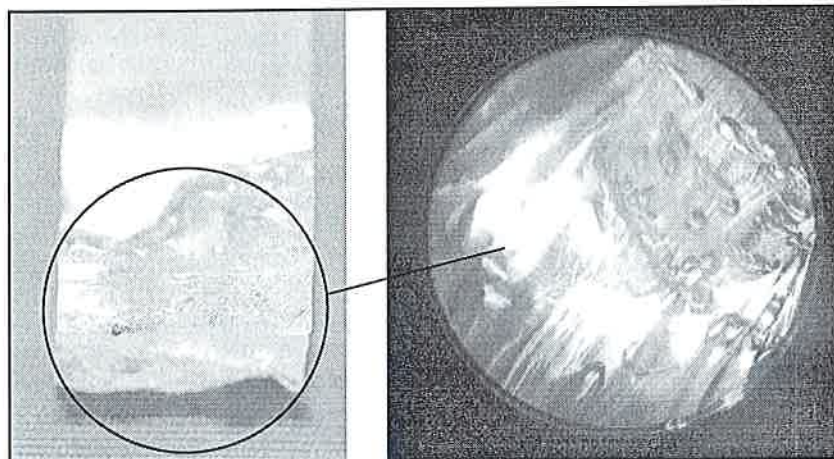
3. ábra. Számítógép-vezérlésű hőlégfúvós hegesztőpad



8. ábra. A hegesztett próbatestek jellemző tönkremeneteli formái



9. ábra. A PC-ben keletkezett buborékok makro- és mikroszkópi felvétele



10. ábra. A PMMA-ban keletkezett buborékok makro- és mikroszkópi felvétele

(8. ábra): törés (elválás) a varrat és az alpanyag közötti határréteg mentén (1), törés a varratban (2) és a varrat kiszakadása (3).

A vizsgált amorf polimerek hegesztése során légbuborékok keletkeztek az elkészített varratban és annak környezetében, ami az anyagok kezdődő degradációjával magyarázható. PC esetén a 9. ábra, míg PMMA estén a 10. ábra mutatja a buborékképződés jelenséget makro- és mikrofoto-
n (Zeiss polarizációs mikroszkóppal 12.5-szeres nagyításnál).

A fenti jelenségek a vizsgált anyagok szerkezeti tulajdonságaival hozhatók kapcsolatba, amelyek DSC vizsgálatokkal magyarázhatók.

DSC vizsgálatok

A DSC (Differenciál Scanning Kalorimetria) mérési eljárás a vizsgált anyagok kristályossági fokának meghatározására szolgál. A méréseket Seteram Labsys TG-DSC berendezéssel végeztük az alpanyagokból, valamint a hegesztett próbatetek hőhatásövezeteiből kivágtott próbadarabokból.

Az 11.-15. ábrákon a hegesztés előtti és utáni DSC görbék együttesen láthatóak 5 anyag esetében.

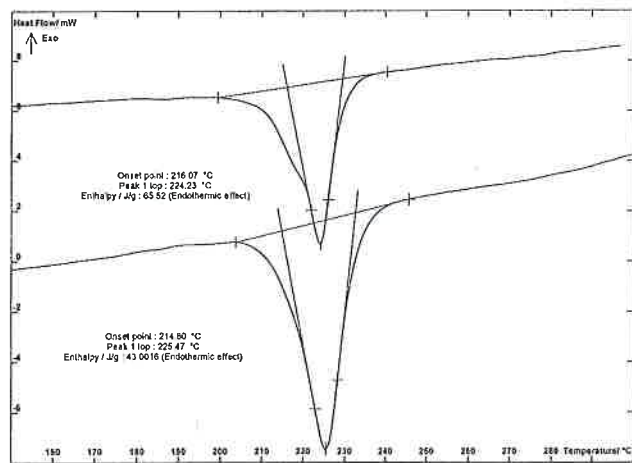
Megfigyelhető, hogy a DSC görbék alakja miként változik a mintakészítés és a hegesztéssel bekövetkező hőközlés hatására. A sajtolással készített polimereken a DSC görbéken válszerű kiszélesedés figyelhető meg. A hegesztés után viszont a DSC görbéken nem figyelhető meg ez a válszerű kiszélesedés, amely azzal magyarázható, hogy a hegesztés helyén a minta termikus előlétele megváltozik. A vállképződés az anyagban felhalmozódó feszültségekre vezethető vissza, amelyek a hegesztés tartományában leépül-

nek. Ennek során az olvadási entalpia jelentős csökkenése következik be a morfológiai szerkezetváltozás eredményeként. Ez az effektus többé-kevésbé minden szemikristályos polimeren fellelhető, de különösen egyértelműen megfigyelhető a PA6 mintán. Ez alapvetően nem a kristályosság változására, hanem a kristályos részecskenyagyság és a kétfázisú szerkezetben bekövetkező változásokra vezethető vissza, ahol a mintákban levő feszültséggócok nagymértékű leépülése következhet be a hegesztéssel járó hőkezelés hatására. A különböző polimerek, az alkalmazott hőkezelés mértékétől függően a hegesztés zónájában alapvetően eltérnek. Az amorf anyagok rendkívül nehezen értékelhetők, mert légzárványok keletkeznek bennük. Ezen polimerekre

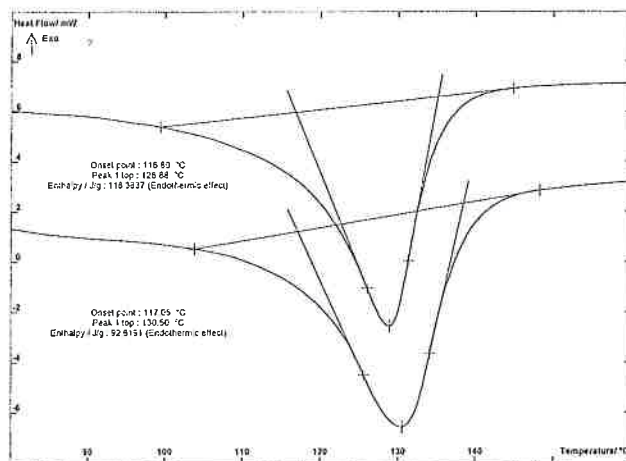
tományában, mely jól megfigyelhető a PS, PC és PET anyagokon. Hasonlóan rideg törés figyelhető meg PA, POM, PMMA és ABS esetén, azonban itt a törési felület környezetében feszültségfahéredés figyelhető meg (5. ábra).

Polipropilén esetén szintén megfigyelhető kismértékű feszültségfahéredés, de a szakítás során megindul a nyakképződés is (6. ábra). A vizsgált polimerek közül a polietilén mutatta a legképlékenyebb viselkedést, a próbatetek szakadása a nyakképződés után nagymértékű nyúlással következett be (7. ábra).

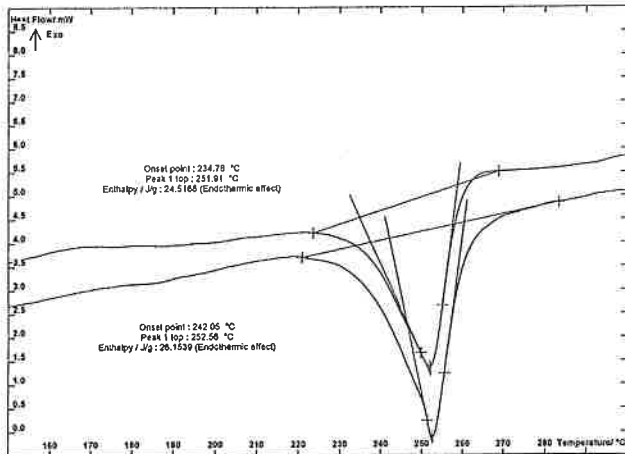
A hegesztett próbatetek szakításakor fellépő tönkremeneteli módok



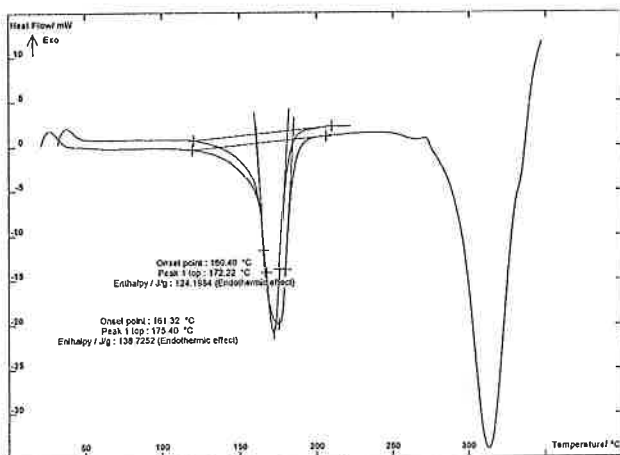
11. ábra. PA6 alpanyag és hegesztett darab DSC összehasonlító görbéje



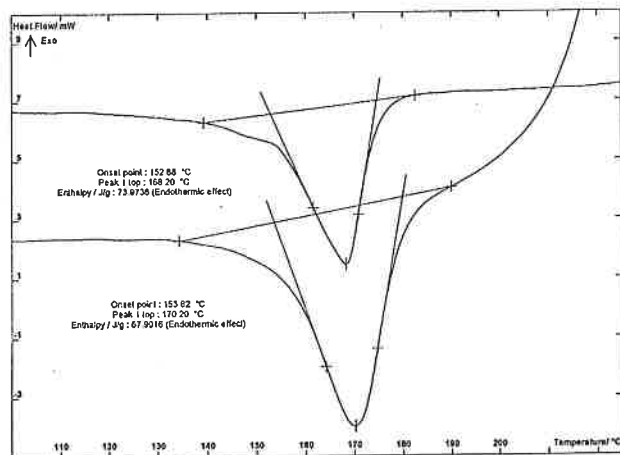
12. ábra. PE alpanyag és hegesztett darab DSC összehasonlító görbéje



13. ábra. PET alapanyag és hegesztett darab DSC összehasonlító görbéje



14. ábra. POM alapanyag és hegesztett darab DSC összehasonlító görbéje



15. ábra. PP alapanyag és hegesztett darab DSC összehasonlító görbéje

DSC-vel a hegesztés jóságára nem lehet következtetni. Ez esetben a DSC görbékben endoterm csúcs nem figyelhető meg. A morfológiai szerkezetben bekövetkező változás nem követhető nyomon.

Következtetések

Kilenc különböző tömeg- ill. műszaki műanyag (PE, PET, PP, POM, PC, PS, PA6, PMMA, ABS) hegeszthetőségét vizsgáltuk számítógépezéssel mérőpadon a hegesztési sebesség függvényében. Az öt különböző sebességgel hegesztett kötések jóságát szabványos piskóta alakú próbatestek szakítóvizsgálatával ellenőriztük. A kötések szakító-

szilárdsági értékeiből jósági fokot számoltunk az alapanyag szakítószilárdságához viszonyítva. Megállapítottuk, hogy a hegeszthetőséget a polimer kristályos vagy amorfi szerkezete jelentősen befolyásolja. A kristályos anyagok könnyen hegeszthetők és megfelelő jósági fok érhető el, ez azonban nem mondható el az amorfi anyagokról. Megállapítottuk, hogy a PE, POM, PP kiválóan, a PA6 és PET jól, a PC, PS és ABS közepesen, míg a PMMA gyengén hegeszthető. A vizsgált anyag mindegyikénél találtunk hegesztési sebesség optimumot. Az alapanyagok és a varratok környezetének tanulmányozásához morfológiai vizsgálatokat végeztünk, valamint mikroszkópos vizsgálatokkal elemeztük a tönkremenetel formáit. DSC mérésekkel korrelációt találtunk az anyag szerkezete és hegeszthetősége között.

Közönetnyilvánítás

A cikk megjelenését az Oktatási Minisztérium FKFP 0089/1999 sz. kutatási pályázata és Széchenyi Professzori Ösztöndíja támogatta.

Irodalom

- [1] Zsáry Á.: Gépelemek I., Tankönyvkiadó, Budapest, 1989.
- [2] Vas Ottó: „Önjavító” műanyagot állítottak elő. <http://www.origo.hu/tudomany>, 2001. március 7.
- [3] Czvikovszky T., Nagy P., Gaál J.: A polimertechnika alapjai, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000.
- [4] Gáti J.: Hegesztési zsebkönyv, Műszaki Könyvkiadó, 1996.
- [5] Molnár I., Pető E., Seder J., Csikai I.: Műanyagok hegedési folyamatai és a hegesztési eljárások problémái, Műanyag és Gumi 33/11, (1996), 339-348.
- [6] Marczis B., Bárány T., Czigány T.: Weldability of polymer machine structure, Proc. of Second Conf. on Mechanical Engineering, Springer Hungarica, Vol 1.(2000), 1000-1004.
- [7] Czigány T., Marczis B., Bárány T.: Automatizált hegesztőpad kifejlesztése polimerek hegesztéséhez, Gép, 51, (2000), 60-63
- [8] Czigány T., Pap R., Marczis B., Bárány T.: Polimerek forrógázos hegesztése, Hegesztéstechnika, 11 (2000), 37-41.

Molnár és Társa
Kesztyűkötő és Kereskedelmi Kft.
 5100 Jászberény, Nagykátai út 27.
 Tel.: (06-57) 415-700 Fax.: (06-57) 415-800

- Védőkesztyűt szerezze be nagykereskedésinktől!
- Kötött munkavédelmi kesztyűk gyártása és értékesítése pamut, poliamid, kevlar alapanyagból.
- Import és hazai gyártású bőr, pvc, latex mártott kesztyűk széles választéka.
- OMMF engedéllyel rendelkeznek termékeink.

A kézenfekvő biztonság