

## A hőformázhatóság újdonságai: anyagok térhálósítása és hibridtechnika

A részlegesen kristályos polimerek, mint pl. a poliamidok, éles lágyuláspontjuk következtében sokkal nehezebben hőformázhatók, mint az amorf műanyagok. Ugyanakkor bizonyos alkalmazásokhoz nagyon előnyösen lehetne ilyen hőformázott termékeket használni. A hőformázhatóság jelentősen javítható besugárással létrehozott részleges térhálósítással. Másik újdonság a hibridtechnika alkalmazása.

*Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; hőformázás; műszaki műanyagok; poliamid 12; térhálósítás; besugárzás; műanyag/fém hibridek.*

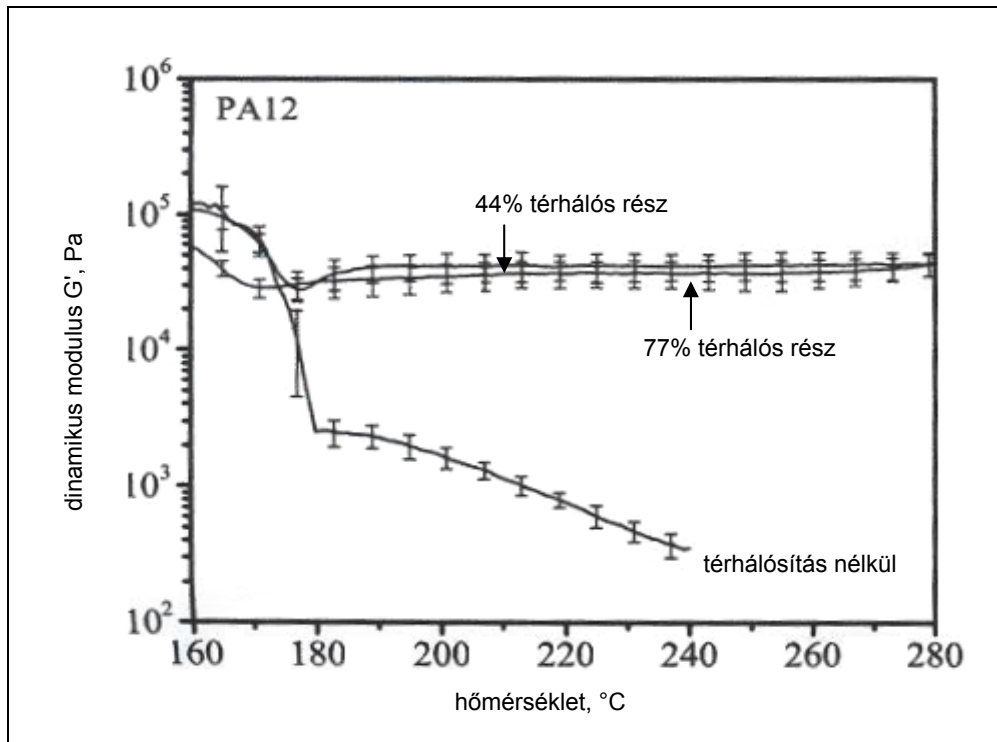
A hőformázást elterjedten alkalmazzák műanyag csomagolóanyagok (pl. joghurtos poharak) és kisebb mértékben műszaki termékek (pl. háztartási gépek burkolatai) előállítására. A hőformázás számos változata használatos, az alakadáshoz használhatnak vákuumot vagy sűrített levegőt, illetve mechanikai erőhatást (és ezek kombinációit); az alakadó szerszám lehet pozitív, illetve negatív; a műanyag lemezt (fóliát) adagolhatják folyamatosan (tekercsből), vagy használhatnak méretre vágott lemezeket. Vannak emellett speciális hőformázási technológiák is, mint pl. az ikerlemezes módszer, amellyel nagyméretű üreges testeket lehet készíteni.

A részlegesen kristályos polimerek sokkal nehezebben hőformázhatók, mint az amorfak. Ennek az az oka, hogy a kristályok megolvadása után az anyag hirtelen elveszti szilárdságát, és ezért csak nagyon szűk technológiai (elsősorban hőmérsékleti) ablakban dolgozható fel. A részlegesen kristályos anyagok közül ezért nagyobb volumenben csak a polipropilén és a PET [poli(etilén-tereftalát)] hőformázása megoldott, bár ezeket is jóval nehezebb hőformázni, mint az amorf anyagokat (pl. polisztirol, PVC, ABS, PMMA, polikarbonát). Ugyanakkor a részben kristályos műszaki műanyagok olyan tulajdonságkombinációkkal rendelkeznek (pl. hőállóság, vegyszerállóság, mechanikai és tribológiai jellemzők), amelyek bizonyos alkalmazási célra a feldolgozási technológiák közül optimálisan a hőformázást igényelnék.

A szakirodalomban található vizsgálati eredmények szerint egy műanyag hőformázhatóságának jellemzésére az alábbi anyagjellemzők a legfontosabbak:

- rugalmassági modulus: ha az anyag rugalmassági modulusa elég nagy (pl. eléri a  $10^6$  MPa értéket) a hőformázás hőmérsékletén, mégpedig egy viszonylag széles hőfoktartományban, az anyag elég szilárd ahhoz, hogy jól alakítható legyen (*1. ábra*),

- az egytengelyű nyújtási viszkozitás értékének hasonló körülmények között  $10^5$ – $10^7$  Pa.s tartományba kell esnie az alakadási folyamat során,
- a műanyag lemezek formázás közben ún. húzási keményedést (strain hardening) kell mutatni, azaz nyújtás hatására a modulusnak növekednie kell. Egy polimer ezen tulajdonsága a molekulatömeg, illetve az elágazottsági fok növelésével javítható.



1. ábra A PA12 dinamikus modulusának hőmérsékletfüggése különböző mértékű térhálósítás esetében. A térhálósítás mértékét a besugárzás dózisa (kGy) és az alkalmazott mesterkeverék (MB) mennyisége határozta meg

Ha a részlegesen kristályos polimerlemezeket térhálósítják, hőformázhatóságuk javul, azaz szélesebb technológiai ablakban lehet őket hőformázni. A térhálósítás általában besugárzással történik.

Leggyakrabban nagy energiájú elektron – azaz  $\beta$  – besugárzást alkalmaznak. A sugárzás hatására keletkező szabad gyökök a polimerláncsal érintkezve rekombinálódnak és a láncokat összekapcsolva elágazásokat, illetve nagyobb gyöksűrűség esetén térhálós szerkezetet hoznak létre. Egyes műanyagok, mint pl. a polipropilén vagy a polietilén a besugárzás hatására önmagában is térhálósodik, másoknál ezt térhálósító adalékok bekeverésével lehet elérni. A térhálósító adalék(oka)t általában mesterkeverék formájában adagolják a lemez előállítására szolgáló extruderbe.

A térháló sűrűségét a besugárzás dózisének, illetve a térhálósító adalék (ha van) koncentrációjának változtatásával lehet beállítani. Egy adott termék hőformázásához

meg kell találni az optimális térhálósűrűséget. *Ezt a viszonylag új módszert sikeresen alkalmazták polipropilén, polietilén és PA12 (poliamid 12) hőformázhatóságának javítására.* A poliamidok éles olvadáspontjuk következtében általában nagyon nehezen hőformázhatók, ugyanakkor a kenő- és üzemanyagokkal szembeni jó ellenállásuk, kitűnő vibrációállóságuk és jó tribológiai jellemzőik révén alkalmasak lennének hőformázott motorburkolatok és zajcsökkentő panelek alapanyagának.

## **Vékony falú műanyag-fém hibrid termékek gazdaságos gyártása**

Műanyag-fém hibrid termékeket elsősorban fröccsöntéssel állítanak elő. A magas szerszámköltségek miatt a technológiát csak nagy sorozatoknál alkalmazzák, hibrid termékekre azonban igény lenne kisebb darabszámú termékeknél is. Ehhez kínál lehetőséget a hőformázás, amelynél a szerszámköltségek kisebbek. Hőformázással különböző méretű vékony falú termékek állíthatók elő. Ezeknek a megfontolásoknak az alapján megkísérelték a hibridtechnika alkalmazását, szem előtt tartva az eljárás gazdaságosságát is.

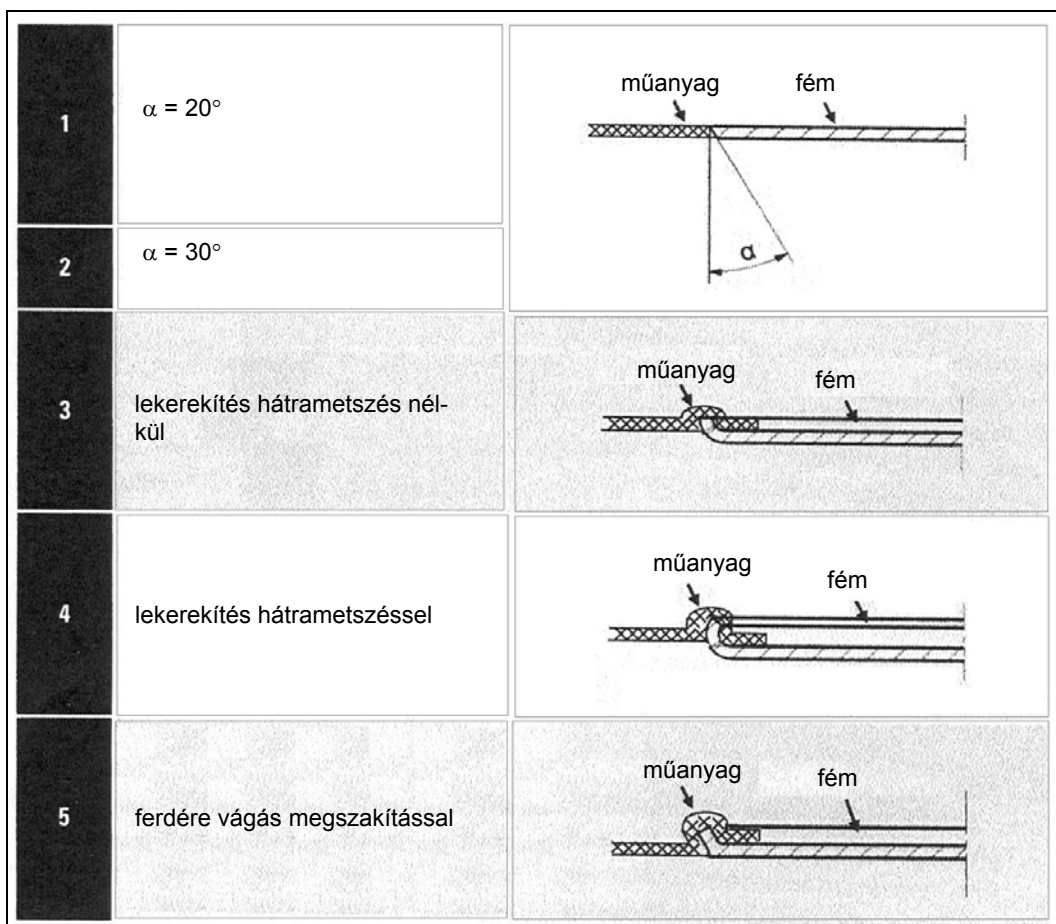
A téma előzményeit (szabadalmi bejelentéseit) áttekintve kiderült, hogy ezideig a fémet mindig teljesen beborította a műanyag, és elsősorban az elem mechanikai erősítését célozta. Most viszont olyan műanyag-fém termékeket kívántak előállítani, amelyekben mindkét anyagnak van funkciója, és a fémet nem borítja be teljes felületen a műanyag. Ilyen alkalmazásra pl. elektronikai berendezések borításainál, házainál van szükség, ahol a szabadon lévő fém elősegíti a keletkező hő elvezetését.

A két anyag hézagmentes összeépülését különböző módszerekkel, többnyire a fémbetét hátrametszésével lehet elérni, amint ezt a 2. ábra szemlélteti. A különböző hátrametszési technikákkal, ill. a hátrametszés nélküli lemezeket tömítettségi és mechanikai stabilitási vizsgálatoknak vetették alá. Kör alakú pecséttel a fémbetétet 10 mm/min sebességgel terhelték (megnyomták). Mérték azt a maximális erőt, amely a kötés szétszakításához kellett. A tömítettséget etanollal vizsgálták, amellyel kisebb felületi feszültség (22,5 mN/m) adódott, mint vízzel (73 mN/m). A 2. ábrán látható megoldások közül az 5. számú bizonyult a legstabilabbnak, a második a 4. számú lett. Hátrametszés nélküli beépítésnél (3. számú minta) a lemez nem volt tömített, a többi kiállta ezt a próbát.

### *A hőformázási technológia optimalizálása*

Ismert, hogy a hőformázást számos technológiai paraméter befolyásolja, ezért statisztikai kísérleti tervet (Design of Experiment – DoE) állítottak össze a folyamat optimalizálására. A termék minőségét a fémbetét kinyomásához szükséges erővel jellemezték. A lemezek vastagsága 1,5, 2,0 és 2,5 mm volt, a szerszámhőmérsékletet közvetlenül nem tudták mérni, ezt a bevitt hőmennyiséggel és a fűtés idejével jellemezték, ill. változtatták. A hőmérséklet eloszlását a gép fűtőzónáinak állításával variálták. Az előkísérletek eredményei azt mutatták, hogy két lépésben érdemes vizsgálni

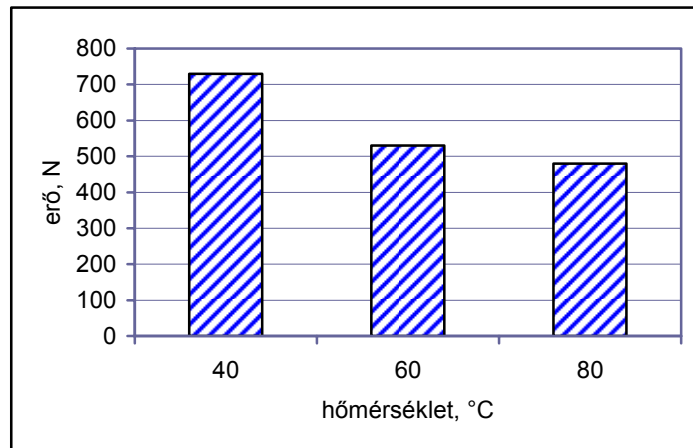
a paraméterek hatását. Az első lépésben a belső és a külső fűtőteljesítményt és a falvastagságot változtatták, a második lépésben pedig csak a fűtés idejét. Az eredmények szerint *a lemezvastagság jelentős mértékben befolyásolja a műanyag/fém hibrid lemez stabilitását*. De a fűtési teljesítmény változtatásával is nagy stabilitást lehet elérni. *A fűtési idő növelése szintén növeli a stabilitást, maximumát 55 s-nál éri el. Ennél hosszabb idő már nem növeli a stabilitást, mert az anyag túlságosan megfolyik, és a termék fala elvékonyodik.*



2. ábra Műanyag-fém kapcsolat kialakításának módjai hőformázott lemezekben

Az alkalmazás szempontjából fontos tudni, hogy a fém-műanyag kötésnek mekkora a hőállósága. A 3. ábrán feltüntetett eredmények mutatják, hogy a kötés még 80 °C-on is stabil, szétszakításához kb. 500 N erő szükséges.

Az elvégzett kísérletekkel bizonyították, hogy a hibridtechnikának szerepe lehet a nagy felületű, vékony falú hőformázott elemek gyártásában.



3. ábra Fém-műanyag kötések stabilitásának hőmérsékletfüggése

Összeállította: Dr. Füzes László és dr. Orbán Sylvia

Seefried A.; Fuchs M.; Drummer D.: Radiation crosslinking of semicrystalline thermoplastics: a novel approach to modifying a material's thermoformability = *Plastics Engineering* 68. k. 10. sz. 2012. p. 14–22.

Naumann T.; Krämer M.; Stommel M.: Funktionen integrieren = *Kunststoffe*, 102. k. 8. sz. p. 60–63.