# A fröccsöntési zsugorodás és a technológia összefüggése

*Tárgyszavak: fröccsöntés; fröccsöntési paraméterek; zsugorodás; vetemedés; szálerősített műanyagok; kompozitok.*

A fröccsöntött termékek zsugorodásának ismerete elengedhetetlen a méretpontos termékek gyártásához és a fröccsszerszámok méretezéséhez. *Az alábbiakban töltetlen és szálerősített, hőre lágyuló fröccsöntött műanyagok zsugorodása és a fröccsöntési paraméterek közötti összefüggésről adunk rövid összefoglalót.*

## Fröccsöntött termékek zsugorodása

Zsugorodás alatt a fröccstermék térfogatcsökkenését értjük a lehűlés folyamán. Megkülönböztetjük a térfogati és a lineáris zsugorodást. A kettő közötti kapcsolat egyszerűen leírható. A teljes térfogatváltozás:

$$\Delta V=V_C-V_T \tag{1}$$

ahol $V_C$ a szerszámüreg, $V_T$ pedig a fröccstermék térfogata. Ebből kifejezhető a térfogati zsugorodás:

$$S_V=\frac{\Delta V}{V_C}=\frac{V_C-V_T}{V_C}=1-\frac{V_T}{V_C}=1-\frac{L_x(1-S_x)L_y(1-S_y)L_z(1-S_z)}{L_xL_yL_z} \tag{2}$$

így $$S_V=1-(1-S_x)(1-S_y)(1-S_z) \tag{3}$$

ahol $S_V$ a térfogati zsugorodás, $S_x$, $S_y$ és $S_z$ a lineáris zsugorodások, $L_x$, $L_y$ és $L_z$ pedig a szerszámüreg méretei. Az $S_i$ százalékos lineáris zsugorodást a szerszámüreg és a fröccstermék méretéből az alábbi összefüggéssel lehet kiszámítani:

$$S_i=\frac{L_C-L_i}{L_C}\cdot 100\% \tag{4}$$

ahol $L_C$ a szerszámüreg, $L_i$ pedig a fröccstermék adott helyen mért mérete.

*Az MSZ EN ISO 294-4 és a DIN 16 901 szabvány különbséget tesz feldolgozási zsugorodás ($S_M$), utózsugorodás ($S_P$) és teljes zsugorodás ($S_T$) között.* A feldolgozási zsugorodást az MSZ EN ISO 294-4 szerint fröccsöntés után azonnal, a DIN 16 901 szerint 16 óra elteltével, az utózsugorodást pedig hosszabb idő után kell mérni. A teljes zsugorodás az előbbi kettő összege. Az utózsugorodás a fröccsöntést követően hosszú idő alatt bekövetkező méretváltozás, amely általában lassú, utólagos kristályosodási folyamatoknak tulajdonítható. *Néhány polimerben a kristályos szerkezet teljes kialakulása igen hosszú ideig, akár hónapokig is eltarthat.*

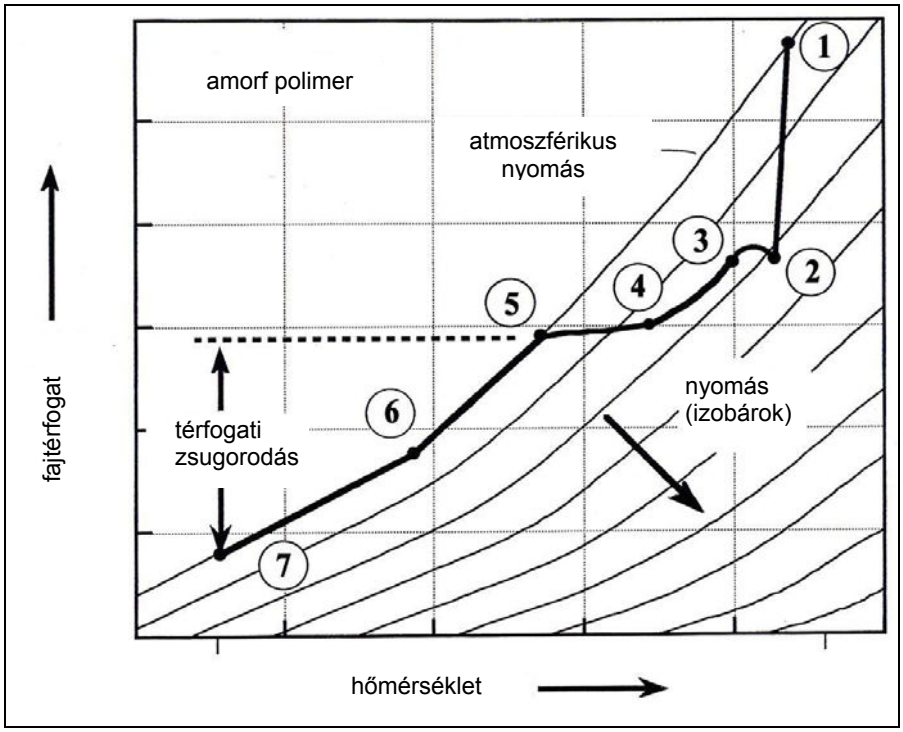
*A zsugorodás folyamata legjobban három állapothatározó, a nyomás (p), a fajtérfogat (v) és a hőmérséklet (T) függvényében vizsgálható*. A polimerek fajtérfogatát a nyomás és a hőmérséklet erősen befolyásolja. A polimerek fajtérfogatának hőmérsékletfüggése (azaz hőtágulása) szilárd halmazállapotban is igen nagy. Ömledékállapotban a fajtérfogat még nagyobb mértékben nő a hőmérséklettel. A polimerömledék fajtérfogatának nyomástól való függése is szembetűnő, ami azt jelenti, hogy a polimerömledék (mint folyadék) összenyomható. Ugyanez – bár kisebb mértékben – igaz a szilárd polimerre is. A kristályos hőre lágyuló műanyagok fajtérfogatának változása, ezáltal zsugorodása nagyobb mértékű, mint az amorf polimereké, aminek magyarázata a molekuláris szerkezetben rejlik: a zsugorodás oka alapvetően a molekulaláncok közeledése a lehűlés során. A kristályos anyagoknál a kristályos szerkezetből fakadó tömörebb elrendeződés következtében nagyobb a zsugorodás.

Az *1. ábrán* a fröccsöntés folyamata követhető nyomon a termodinamikai állapothatározók függvényében, amorf polimer esetében. Az ábrán látható technológiai lépések a következők: 1–2: befröccsöntés, 2–3: átkapcsolás utónyomásra, 3–4: utónyomás, 4: lepecsételődés, 4–6: zsugorodás a termék kidobásáig, 5: légköri nyomás elérése, 6: a termék kidobása, 6–7: zsugorodás a szerszámon kívül. A függőleges tengelyen, amely a fajtérfogatot ábrázolja, a térfogati zsugorodás pontosan megfigyelhető. A termék mérete az 5. pontban pontosan megegyezik a szerszámüreg méretével, a zsugorodás az 5.–7. pontok közötti fajtérfogat-változásnak felel meg. Jól látható az utónyomás nagyságának és idejének lényeges szerepe.

## A zsugorodás és a technológiai paraméterek összefüggése

*A zsugorodás jellegét és nagyságát az anyagi minőségen túlmenően a termék geometriai jellemzői (például a falvastagsága) és a technológiai paraméterek befolyásolják.* A vastagabb falú termék lassabban hűl le, mint a vékonyabb falú, emiatt növekszik a zsugorodás. Az ömledék-hőmérséklet és a befröccsöntési sebesség különböző befolyást gyakorolhat a zsugorodásra, mivel ezek növelése egyrészt a folyóképességet és ezzel a nyomásátvitelt javítja, másrészt a zsugorodási hajlam a hőmérséklet növelésével nő. A zsugo-

rodás és a vetemedés csökkentése érdekében vékony falú daraboknál magasabb ömledék-hőmérséklettel és befröccsöntési sebességgel, míg vastag falú daraboknál alacsonyabb ömledék-hőmérséklettel és befröccsöntési sebességgel kell dolgozni.

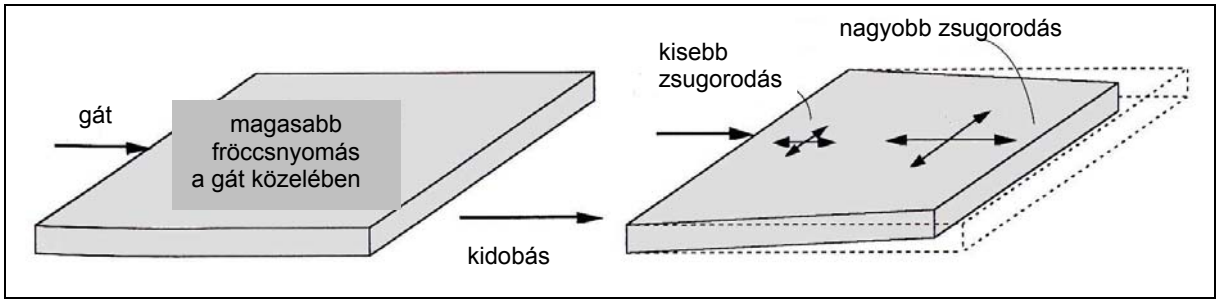



1. ábra Amorf polimer nyomás–fajtérfogat–hőmérséklet összefüggése

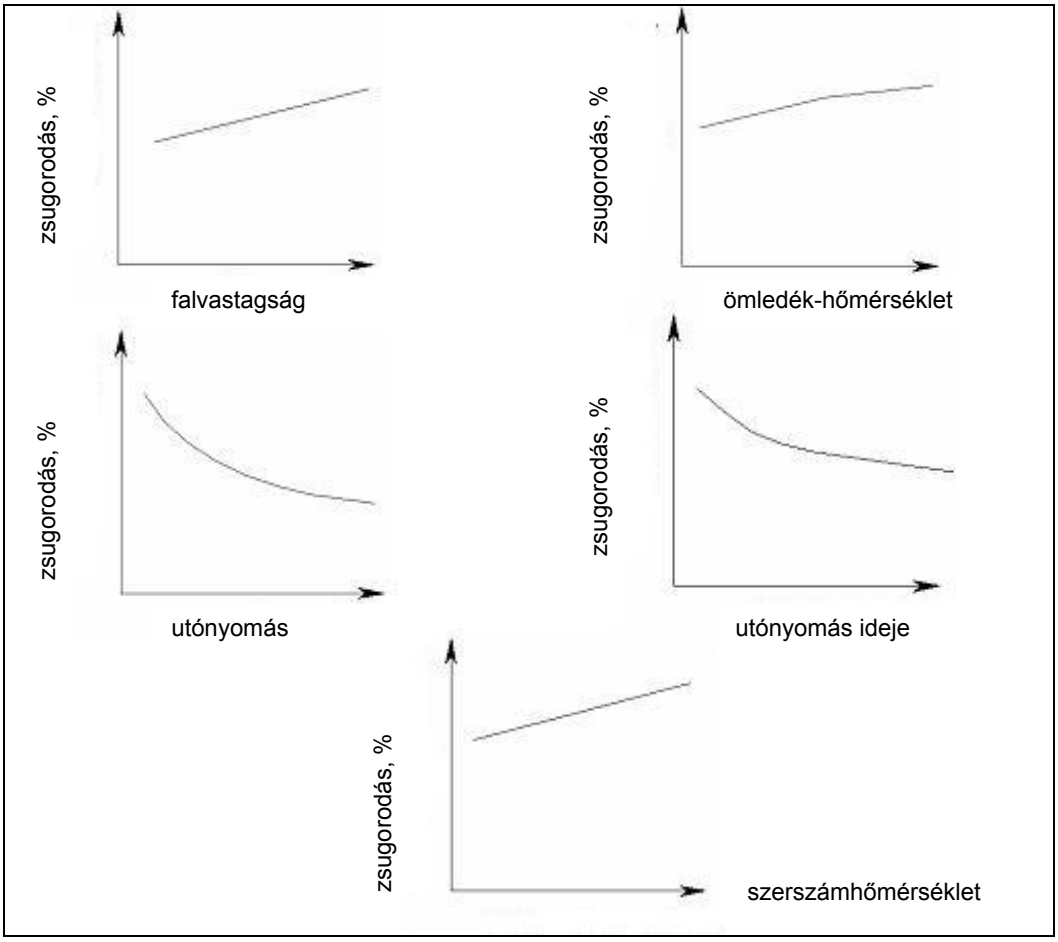
*A szerszámhőmérséklet is jelentősen befolyásolja a zsugorodást.* Alacsony szerszámhőmérséklet a formatest gyors lehűlését okozza, ezért a molekulaláncok tömör elrendeződése nem jöhet létre. Magas szerszámhőmérséklet a termék lassabb lehűlését okozza, így a molekulaláncoknak elég idejük van, hogy rendeződjenek. A zsugorodás magas szerszámhőmérsékletnél mindig nagyobb. Az utónyomás és az utónyomási idő növelése csökkenti a zsugorodást. Mivel a gáttól távolodva a nyomásveszteségek miatt az utónyomás egyre kevésbé tudja kifejteni hatását, a zsugorodás fokozatosan növekszik (*2. ábra*). Bár nem minden paraméter hatása egyértelmű, illetve jelentősen függ az anyagtól, a fő tendenciák a *3. ábrán* látható módon alakulnak.

*Számos paraméter (például az ömledék-hőmérséklet és a befröccsöntési sebesség) hatása a körülmények függvényében igen változékony, sőt ellentétes is lehet, illetve sokkal kisebb mértékben képesek a zsugorodás befolyásolására, mint az utónyomás.* Emiatt a zsugorodás csökkentésének leghatásosabb módja a megfelelő alapanyag kiválasztása mellett az utónyomás nagyságának és idejének megfelelő beállítása. Méretpontos termékek előállításá-

hoz pontosan ismerni kell a zsugorodást, és figyelembe kell venni a szerszám megtervezésénél: a szerszámüreget annyival nagyobbra kell készíteni a terméknél, hogy a zsugorodást követően az a megfelelő méretet érje el. Ez azt is jelenti, hogy a szerszámok többségét adott anyaghoz készítik, az eredetitől eltérő alapanyaggal az adott szerszám kevéssé alkalmas méretpontos termékek előállítására.



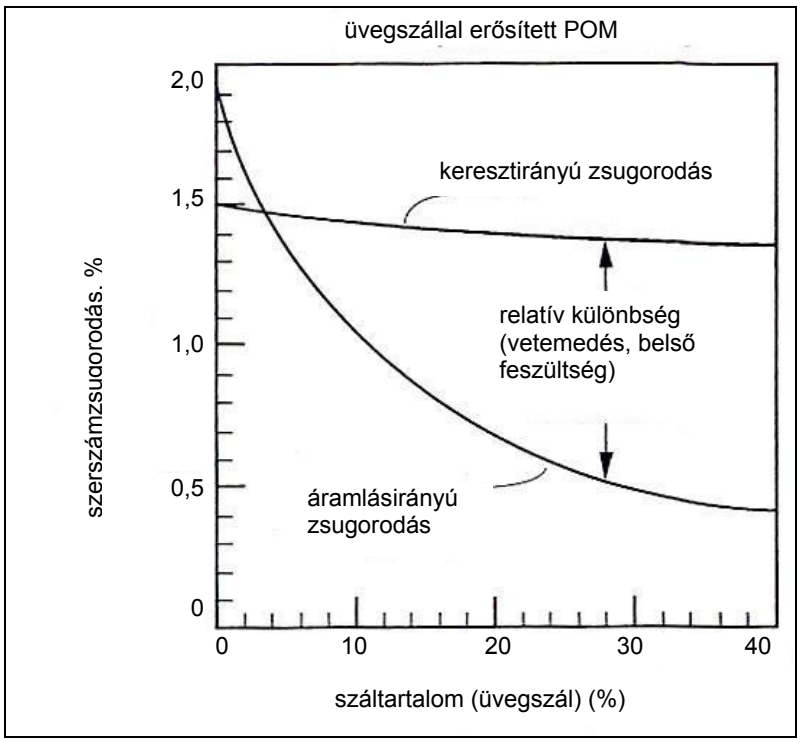

2. ábra A zsugorodás nagyságának változása a gáttól való távolság függvényében




3. ábra Különböző tényezők hatása a zsugorodásra

## Zsugorodás és vetemedés

*A vetemedés kialakulásának legfőbb oka a maradó feszültségek egyenlőtlensége vagy aszimmetriája.* Noha számos tényező okozhatja a feszültségek egyenlőtlenségét, mint például a bonyolult geometria vagy az ömledéknyomás különbségei, a vetemedés leggyakoribb előidézője az egyenetlen szerszámhűtés, ugyanakkor sok esetben – különösen bonyolult alakú termékeknél – a differenciált szerszámtemperálással csökkenthető vagy megelőzhető a vetemedés. *A vetemedés elkerülése szempontjából előnyös, ha tovább hűtik a terméket a szerszámban, azaz alacsonyabb kidobási hőmérsékletet alkalmaznak, azonban a belső feszültségek ebben az esetben maradéktalanul rögzülnek a termékben, miáltal az merevebb és ridegebb lesz.*

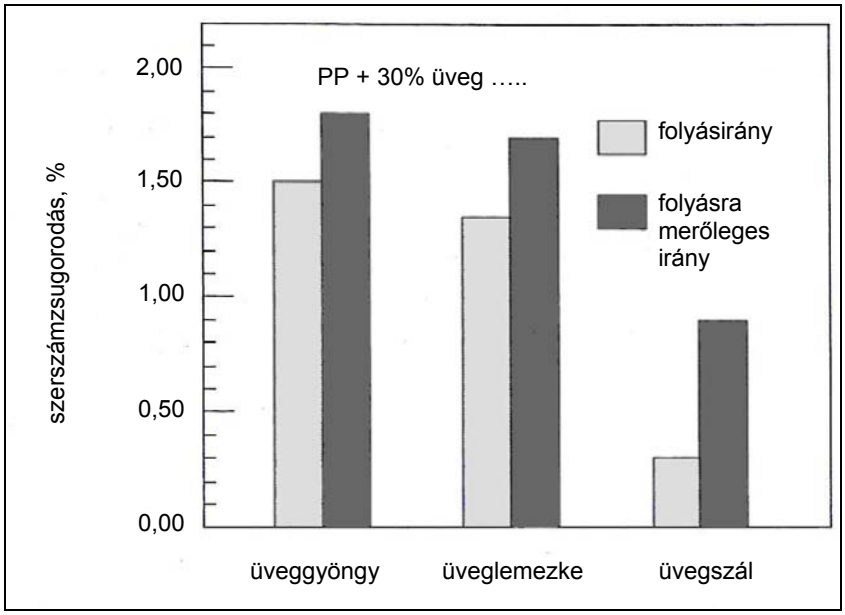



4. ábra A szálerősítés hatása a zsugorodásra

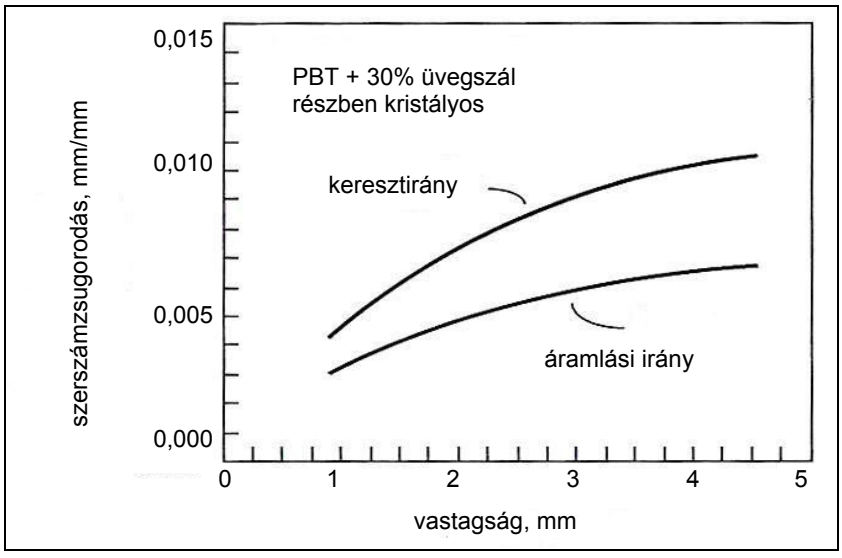
## A szálerősítés hatása a zsugorodásra

*A zsugorodás jelentősen csökken, ha különböző töltő- és erősítőanyagokat kevernek a polimerekbe,* mivel ezeknek az – általában szervetlen – anyagoknak (például az üvegszálnak) a hőtágulási együtthatója töredéke a műanyagokénak, illetve nem összenyomhatók. A részecskék vagy lemezkék formájában felhasznált töltőanyagok megközelítőleg mennyiségükkel egyenes arányban csökkentik a zsugorodást, és annak izotróp jellegét nem befolyásolják. Ezzel szemben erősítőszálak alkalmazásakor a hosszirányú (áramlás irá-

nyába eső) és keresztirányú (áramlás irányára merőleges) zsugorodás között jelentős különbség mutatkozik. Ez abból adódik, hogy az erősítőszálak saját elhelyezkedésük irányában sokkal nagyobb mértékben csökkentik a zsugorodást, mint arra merőlegesen, a szálak jelentős része pedig az ömledékáramlás irányába orientálódik. A száltartalom növekedésével a hossz- és a keresztirányú zsugorodás eltérő módon változik, emiatt különbségük és egymáshoz viszonyított arányuk is fokozatosan növekszik (*4. ábra*). Az egyenlőtlen zsugorodás a szerszám tervezését is bonyolultabbá teszi, mivel megnehezíti a szerszámüreg méreteinek helyes megválasztását.




5. ábra A töltő- és az erősítőanyagok összehasonlítása




6. ábra A falvastagság hatása

*A hosszirányú és keresztirányú zsugorodás közötti különbség csökkentésének egyik lehetséges módja a töltő- és erősítőanyagokat egyaránt tartalmazó kompozitok alkalmazása (5. ábra)*. Ezek a hibrid anyagok kompromisszumot jelentenek a zsugorodási és a mechanikai tulajdonságok között, és gyakran használják olyan termékek gyártására, amelyek méretpontosságával szemben fokozott követelményeket támasztanak. A termék falvastagságának növelése a hossz- és keresztirányú zsugorodást egyaránt növeli *(6. ábra)*.

**Deák Tamás**


Chang, T. C.: Shrinkage behaviour and optimization of injection molded parts studied by the Taguchi method. = Polymer Engineering and Science, 2001. 41. sz. p. 703–710.

Malloy, R. A.: Plastic part design for injection molding, Carl Hanser Verlag, München, 1994.

Dunai A.; Macskási L.: Műanyagok fröccsöntése, Lexica Kft., Budapest, 2003.

Jansen, K. M. B.; Van Dijk; D. J.; Husselman, M. H.: Effects of processing conditions on shrinkage in injection moulding. = Polymer Engineering and Science, 1998. 38. sz. p. 838–845.

Akay, M., Ozden, S.: Prediction of process-induced warpage in injection molded thermoplastics. =Polymer Engineering and Science, 1996. 36. sz. p. 1839–1846.