

## Amit tudnunk kell a műanyagok zsugorodásáról

A zsugorodásra is figyelniünk kell a fröccsöntésnél és az extrudálásnál, különösen, ha a termék alkalmazásánál fontos a méretstabilitás. A cikkben számos műanyag típus zsugorodásának mértékét ismertetjük, és tanácsokat adunk a minél kisebb mértékű zsugorodás eléréséhez.

*Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás, fröccsöntés, extrudálás, zsugorodás, vetemedés.*

A műanyagok zsugorodása a feldolgozás során először a hűtéskor lép fel, amikor csökken a termék térfogata. A jelenség oka, hogy ömledékállapotban a polimerek sűrűsége különbözik a lehűtött szilárd állapotban mérhetőtől. A zsugorodás mértékét százalékban fejezik ki. A zsugorodás legnagyobb része a szerszámban, hűtéskor lép fel, de a szerszámból való kidobás után is folytatódik, egészen addig, míg a darab hőmérséklete és nedvességtartalma nem stabilizálódik.

A zsugorodás mértékét ismerni kell, mert vannak olyan alkalmazási területek, amelyeken a termék méretstabilitása alapvető követelmény. Ilyen például a nyomtatott áramkör, amelyben a műanyag alkatrészek és az elektronikai komponensek össze vannak építve. Az idővel fellépő méretváltozás az áramkör meghibásodásához vezet.

### A különböző polimerek zsugorodása és vetemedése

Vetemedésnek nevezzük, ha a termék nem zsugorodik egyenletesen, ami a termékben feszültségeket okoz. A feszültségek, a termék merevségétől függően, a hosszú idejű használat során deformációhoz, alakváltozáshoz vezetnek. A fröccsöntött termékek zsugorodása akár a 20%-ot is elérheti.

A részlegesen kristályos anyagoknak nagyobb a zsugorodása, mint az amorf polimereké. Ennek az oka, hogy makromolekuláris láncok átrendeződnek a hűtés során. Ez rendezett kristályos szerkezethez vezet, ami ugyanannyi atomszám esetében kisebb helyet igényel. Mindenesetre a kristályosodás kis sebessége vagy a teljes kristályosodás kisebb mértéke csökkenti a zsugorodást és a vetemedést. Erre jó példa a polibutilén-tereftalát és a polipropilén.

Az elágazott polimereknél az oldalláncok jelenléte a láncok összekuszálódásához vezet, ami megakadályozza a molekulákat, hogy egy kristályos szerkezetben helyezkedjenek el. Ez lassítja a kristályosodást.

A nukleált polimer típusok nagyobb zsugorodást mutatnak. Ez igaz mind a homopolimerekre, mind a kopolimerekre.

### Molekulasúly hatása

A molekulasúly szintén befolyásolja a zsugorodást. A nagy molekulasúlyú polimerek nagyobb viszkozitása és nagyobb nyomáscsökkenése miatt a szerszámban ezt kompenzálni szükséges, azaz növelni kell az utónyomást. Ellenkező esetben az ömledék kisebb nyomása miatt a késztermék zsugorodása nagyobb lesz.

### Töltőanyagok és szálak hatása

Töltőanyagokkal és szálal erősítőanyagokkal módosítják a polimerek tulajdonságait, pl. a merevséget, a kúszással szembeni ellenállást. Hatással vannak a zsugorodásra is.

A legtöbb töltőanyagnak és szálnak viszonylag kicsi a hőtágulási együtthatója. Tehát amikor a termék hűl a feldolgozóskor, a szálak nem hajlamosak a zsugorodásra, csak a mátrix. A zsugorodás mértéke a szál koncentrációval arányosan csökken.

A hosszú üvegszálakkal erősített polimerek zsugorodása kisebb a szálak elhelyezkedésének irányában. A zsugorodás a folyásirányban megy végbe. A reciklált üvegszálás polimerek zsugorodása eltér a friss polimerekétől.

### **Színezékek hatása**

Általában a színezékek növelik a zsugorodást, aminek az az oka, hogy nukleáló szerként viselkednek. A részlegesen kristályos polimerekben a színezékek hatnak a kristályosodásra és a folyásirányra merőleges zsugorodást idéznek elő. A színezék nélküli polimerhez képest ebben az esetben nagyobb mennyiségű kristály keletkezik, mivel a kristályosodás hamarabb indul el és gyorsabban megy végbe. A szerves színezékek hatása a zsugorodásra kisebb, mint a szerves színezékeké.

### **Méretstabilitás**

A műanyagokban a méretváltozás sebességét a feszültség szintje és a feszültség alatt lévő rész hőmérséklete határozza meg. Folyadékok, pl. lágyítók migrációja az idő folyamán szintén zsugorodást idéz elő, és növekszik a törékenység.

További tényezők, amelyek az elfogadható mértéken túli zsugorodást okozhatják:

- kis fröccsnyomás,
- rövid utónyomás idő vagy hűtési idő,
- magas ömledék-hőmérséklet,
- magas szerszám-hőmérséklet,
- kis utónyomás.

### **A zsugorodás szabványos meghatározása**

- **ASTM D955:** hőre lágyuló műanyagok zsugorodásának mérési módszere a fröccsöntött termék méreteiből
- **ISO 294-4:** hőre lágyuló műanyagok vizsgálati mintáinak fröccsöntése a zsugorodás meghatározására
- **ISO 2577:** hőre keményedő műanyagok fröccsöntése a zsugorodás meghatározására

Az 1. táblázatban – tájékoztató jelleggel – néhány műanyag zsugorodási mértékét közöljük. Az eredeti cikkben további típusok is fel vannak tüntetve.

### **Zsugorodás és orientáció az extrudálásnál**

Igaz, hogy a legtöbb anyag zsugorodik, de a polimerek különösen. A szokásos tágulás/zsugorodás folyamatot a hőközlés váltja ki. De a polimereknek van egy második zsugorodási állapota is, amely egyes részlegesen kristályos típusoknál lép fel. Ennek mértéke hatszor nagyobb lehet, mint az amorf polimereké. Relaxált állapotban a részben kristályos polimerek szerkezete rendezett, míg az amorf polimerek orientációja mindig teljesen random.

Ömledék állapotban valamennyi polimer rendezetlen állapotban van. Hűtéskor a kristályosodási hőmérséklet alatt a kristályos polimerek rendezett szerkezete kezd kialakulni. Az amorf polimerek természetes rendezetlen láncszerkezete kisebb mértékű átrendeződést igényel, hogy a hűtés során relaxált állapotukat elérjék. A különbség annak is köszönhető, hogy az amorf polimerek sűrűsége kisebb mértékben csökken az ömledékből a szilárd állapotba jutás során, mint a kristályos polimereké.

Amennyiben az extrudálás hűtési fázisában a zsugorodás minden irányban végbemegy, a feldolgozók viszonylag világosan meg tudják ítélni a termékek méretváltozását. A feldolgozás során a polimerek ömledék állapotban a folyás által indukált feszültségnek, míg hűtéskor, az ömledékből a részlegesen

1. táblázat.. Különböző műanyagok zsugorodása

Műanyag neve	Minimum érték [%]	Maximális érték [%]	Műanyag neve	Minimum érték [%]	Maximális érték [%]
ABS	0,70	1,60	PC hőálló	0,70	1,00
ABS/PC	0,50	0,70	PEI	0,70	0,80
ABS/PC 20% üvegszál	0,20	0,30	PEI 30% üvegszál	0,20	0,40
EVA	0,40	3,50	PEEK	1,20	1,50
HDPE	1,50	4,00	PEEK 30% széniszál	0,00	0,50
LDPE	2,00	4,00	PESU	0,60	0,70
LLDPE	2,00	2,50	PESU 10-30% üvegszál	0,20	0,30
XLPE (térhálós PE)	0,70	5,00	PI	0,20	1,20
PA11 30% üvegszál	0,50	0,50	PMMA	0,20	0,80
PA11 flexibilis	1,40	1,80	POM	1,80	2,50
PA11 kemény	0,70	2,00	PS	0,10	0,70
PA6	0,50	1,50	PS 30% üvegszál	0,20	0,20
PA66	0,70	3,00	PSU	0,70	0,70
PA66 30% üvegszál	0,50	0,50	PSU 30% üvegszál	0,10	0,60
PA66 ütésálló	1,20	3,00	PTFE	3,00	6,00
PBTF	0,50	2,20	PTFE 25% üvegszál	1,80	2,00
PBTF 30%üvegszál	0,20	1,00	PVC kemény	0,10	0,60
PP homopolimer	1,00	3,00	PVC lágy	0,20	4,00
PP 10-20% üvegszál	0,30	1,00	PVC lágy, töltött	0,80	5,00
PP 10-40% talkum	0,90	1,40	PVDF	2,00	4,00
PP kopolimer	2,00	3,00	SAN	0,30	0,70
PC 20-40% üvegszál	0,10	0,50	SAN 20% üvegszál	0,10	0,30

**Rövidítések:**

ABS: akrilnitril butadién sztírol,  
 EVA: etilén-vinilacetát,  
 HDPE: nagysűrűségű polietilén,  
 LDPE: kissűrűségű polietilén,  
 PA: poliamid,  
 PBTF: poli(butilén-tereftalát),  
 PP: polipropilén,

PC: polikarbonát,  
 PEI: poli(éter-imid),  
 PEEK: poli(éter-éter)keton,  
 PESU: poli(éter-szulfon),  
 PI: poliiimid,  
 PMMA: poli(metil-metakrilát),  
 POM: poli(oxi-metilén),

PS: polisztirol,  
 PSU: poli (fenilén-szulfon),  
 PTFE: poli(tetrafluor-etilén),  
 PVC: poli(vinil-klorid),  
 PVDF: poli(vinilidén-fluorid),  
 SAN: sztírol-akrilnitril.

szilárd állapotig, a mechanikai zsugorodásnak vannak kitéve. Ez azt eredményezi, hogy a molekuláris szerkezet a feszültséggel arányosan rendeződik.

**Miért nem előnyös a gyors hűtés?**

Ha az extrudálásnál gyors a hűtés, akkor a polimerekben az orientált szerkezetek egy része visszamarad, a polimer láncok mobilitása „befagy”. Ugyanakkor, ha ezután a termék hőnek van kitéve, valamennyi polimer visszatér a relaxált állapotába, még ha ez éveket vesz is igénybe, és a hőmérséklet elég alacsony ahhoz, hogy a molekulák mozgékonyágát csökkentse. Ez a magyarázata annak, hogy az extrudált termékek hosszú ideig nem vetemednek meg, de ha szokatlanul magas hőmérséklet éri őket, akkor eltorzulnak.

Minél több polimer molekula van orientált állapotban, annál nagyobb lesz a zsugorodás abban az irányban. Képzeljünk el egy gumi lemezt, amelyet csak egy irányban ér feszültség. A keresztirányú és a hossz (gép) irányú zsugorodásban fellépő különbség jól mutatja, hogy az extrudált termékben milyen mértékben nincs egyensúlyban az orientáció. Ezt kivágott mintákkal lehet meghatározni a felmelegítés során. Az ilyen nem egyenletes feszültség okozza a csövek repedezését a napfény hatására. Ilyenek lehetnek a lemezek, amelyek hullámosodnak, fedelek, amelyek oválissá válnak, és nem illeszkednek a téglákra, és profilok, amelyek meggörbülnek. Az elváltozást a feldolgozás utáni zsugorodás miatti nem egyenletes orientáció okozza.

### A zsugorodás mértékének csökkentése

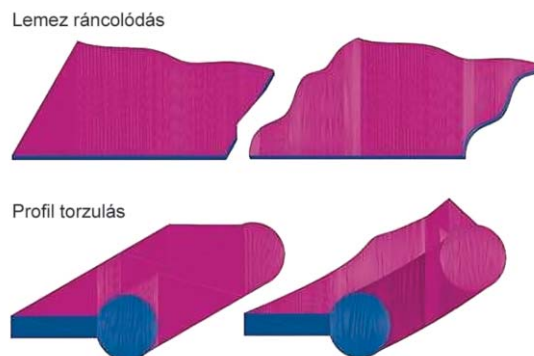
Egy extrudált profilban általában lehetetlen az orientációtól megszabadulni másodlagos hőkezelési műveletek nélkül. El kell érni a polimer relaxált állapotát. A cél persze az, hogy minél kevesebb utóművelettel állítsuk elő az extrudált terméket. A feldolgozók néha nem ismerik fel, hogy a termékben az orientáció nincs egyensúlyban és azt hogyan lehet leküzdeni.

Lemeznél a középső részben nagyobb az ömledék-feszültség vagy orientáció a szerszámban, mivel a szerszám szűkebb közepén, mint a széleken. Ha a lemez teljes keresztmetszetében egyenletesen hűl, középen több lesz a maradék orientáció, mint a széleken, tehát a lemez középen nagyobb mértékben zsugorodik. Az eredmény, hogy a lemez a szélein ráncolódik. A profiloknál hasonló a helyzet, az orientáció nem egyenletes a profil különböző részein (1. ábra).

A feldolgozók a zsugorodást a szerszám módosításával próbálják csökkenteni, kevés sikerrel. A relaxáció nem megy végbe az üvegesedési hőmérséklet alatt. Sok részlegesen kristályos polimer üvegesedési hőmérséklete szobahőmérséklet alatt van, s így az egyensúlyi szerkezet eléréséig tovább relaxálódhatnak. Egyes esetekben a nem egyensúlyban lévő zsugorodás az 50%-ot is elérheti, ami komoly vetemedést vagy akár törést okozhat. A legnagyobb probléma, hogy a tönkremenetel sokszor csak napok, hetek vagy akár hónapok után jelentkezik.

A termék alakját általában nem lehet megváltoztatni, sokkal inkább a feldolgozási körülményeket kell megváltoztatni. A legtöbb esetben elegendő a hűtési sebességet és a lehúzást csökkenteni, ami enyhíteni fogja a kiegyensúlyozatlan állapotot. Bonyolultabb esetekben zónás hűtést, az erősen orientált részek nagyobb melegítését, a hűtési fázis megszakítását kell alkalmazni a termikus homogenizálódás elősegítésére, és végül másodlagos hőkezelési lépések is szóba jöhetnek.

Összeállította: dr. Orbán Sylvia



1. ábra. Nem egyenletes orientáció következményei az extrudálásnál.

[https://omnexus.specialchem.com/polymer-properties/properties/shrinkage?li=100009054&lr=iom23022219&utm\\_campaign=OM-Industry-NL&utm\\_medium=email&\\_hsmi=248060506&\\_hsenc=p2ANqtz---MZIoO7WVD-VHLJCxS6IsI1\\_Yfn--B7DF3gA6vYdRDeX4rUYkIxWlGRSPR6mPmtQ2f6UWBpzsJ5791nWKESpYX7Eih1Q&utm\\_content=248060506&utm\\_source=hs\\_email](https://omnexus.specialchem.com/polymer-properties/properties/shrinkage?li=100009054&lr=iom23022219&utm_campaign=OM-Industry-NL&utm_medium=email&_hsmi=248060506&_hsenc=p2ANqtz---MZIoO7WVD-VHLJCxS6IsI1_Yfn--B7DF3gA6vYdRDeX4rUYkIxWlGRSPR6mPmtQ2f6UWBpzsJ5791nWKESpYX7Eih1Q&utm_content=248060506&utm_source=hs_email)

<https://www.ptonline.com/articles/extrusion-how-to-adjust-for-shrinkage-and-orientation>

<https://www.extrusion-training.de/en/274-2/>