

Tervezett hővezető képességű műanyagok

Tárgyszavak: polipropilén; töltőanyag; hővezető képesség; számítás; fröccsöntés; hűtési idő; ciklusidő.

Miért van szükség hővezető műanyagokra?

Az elektronikus és mechanikai funkciók egyesítése (még hozzá egyre kisebb térben) továbbra is erőteljes törekvés az iparban – azzal párhuzamosan, ahogy a szenzorok, vezérlőegységek és elektromotorok teljesítménye egyre nő. Az egyre kisebb egységek egyre több hőt termelnek, amit el kell vezetni, mert már 10 °C-os hőmérséklet-emelkedés jelentősen (kb. felére) csökkenti a beépített elektronikus egységek élettartamát. A méretcsökkenésnek ár- és tömegcsökkenéssel kell együtt járnia, ezért jó hőtani, mechanikai és feldolgozhatósági jellemzőkkel rendelkező alapanyagokat kell keresni. A műanyagok feldolgozhatósága a nagy teljesítményű alakadási módszerek miatt (extrúzió, fröccsöntés stb.) lényegesen kedvezőbb a fémekénél, (fajlagos) hővezető képességük (λ) azonban $0,1-0,5 \cdot \text{W/m}\cdot\text{K}$ között van, a fémeké ennél kb. 3 nagyságrenddel nagyobb. *A műanyagok hővezető képessége megfelelő töltőanyagok bedolgozásával bizonyos mértékig javítható.*

A töltött műanyagok hővezető képességének becslése

Egy kompozit (fajlagos) hővezető képessége (λ_{komp}) megbecsülhető a mátrix hővezető képességéből (λ_M) a töltőanyag hővezető képességéből (λ_p) és térfogattörtjéből (x_p). A hővezető képesség alsó határát ($\lambda^{\text{HS-}}$, kis hővezető képességű mátrix és nagy hővezető képességű töltőanyag) az alábbi képlet segítségével lehet kiszámítani:

$$\lambda_{\text{komp}} = \lambda^{\text{HS-}} = \lambda_M \frac{2\lambda_M + \lambda_p - 2x_p(\lambda_M - \lambda_p)}{2\lambda_M + \lambda_p + x_p(\lambda_M - \lambda_p)}$$

A hővezető képesség felső határát ($\lambda^{\text{HS+}}$) indexcserével számítják ki, ami annak felel meg, hogy a nagy hővezető képességű komponens a mátrix, a kis hővezető képességű pedig a töltőanyag. A két határérték és a mért hővezető képesség ($\lambda_{\text{mért}}$) felhasználásával megbecsülhető a töltőanyag-részecskék közti összeköttetés (interkonnekció) mértéke (X_{int}):

$$X_{int} = \frac{\lambda_{m\acute{e}rt} - \lambda^{HS-}}{\lambda^{HS+} - \lambda^{HS-}}$$

Ez az érték azt mutatja, hogy egy ideális töltőanyag-láncolathoz képest mennyire romlik le a kompozit hővezető képessége. Ha a hővezető részecskék között csak pontonként van kapcsolat, akkor csak kevés hőt tudnak átadni, a hálózat rossz minőségű, X_{int} értéke kicsi lesz. A hővezető képességre jellemző másik mennyiség (α) a következő összefüggésben áll a fajlagos hővezető képesség (λ) értékével:

$$\lambda = c_p \rho \alpha$$

ahol c_p a fajhő, ρ a sűrűség, amely befolyásolja a fröccsöntési viszonyokat (α dimenziója mm^2/s , λ dimenziója pedig $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$, tehát nem hasonlíthatók össze egymással). A befröccsöntés után t idővel, s falvastagság esetén a fröccsdarab hőmérséklete az alábbi egyenlettel írható le:

$$T = T_M + \frac{4}{\pi} (T_P - T_M) e^{-\left(\frac{\alpha \pi^2 t}{s^2}\right)}$$

ahol T_M a szerszám, T_P a befröccsöntés (az ömledék) hőmérséklete. Nyilvánvaló, hogy a nagyobb hővezető képesség jelentősen lecsökkenti a fröccsciklus idejét. Az 1. táblázat néhány ásvány hővezetési tulajdonságait foglalja össze.

1. táblázat

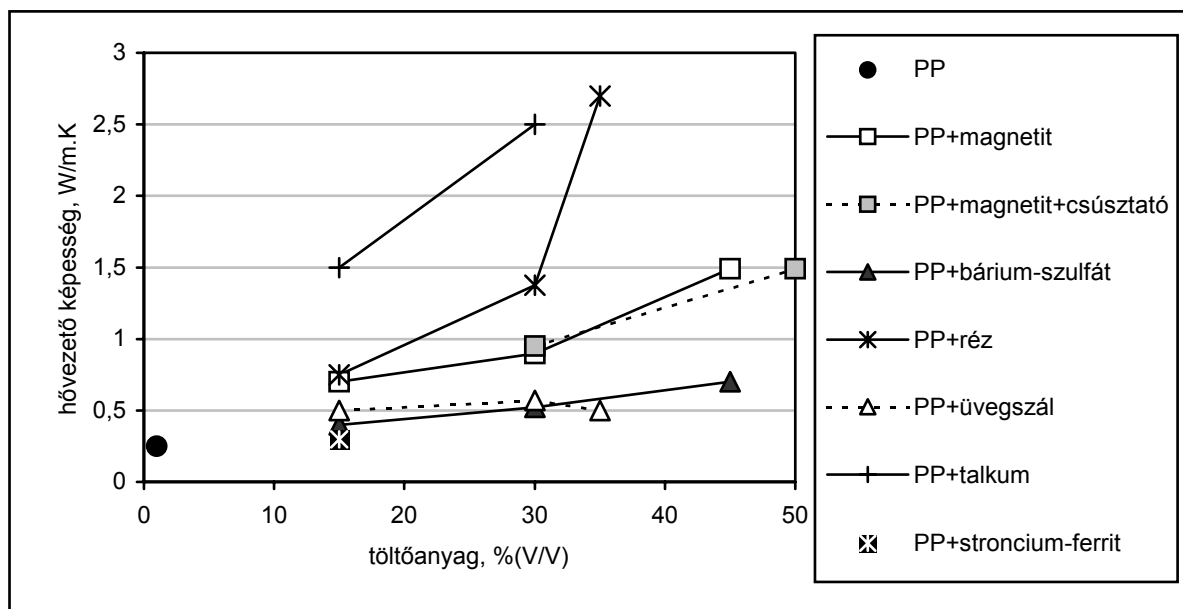
Néhány ásvány (fajlagos) hővezető képességi adatai^{1/}

Jellemző	Magnetit Fe_3O_4	Bárium szulfát BaSO_4	Talkum $\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_2$	Stroncium- ferrit $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$	Réz Cu	Üveg- szál
Hővezető képesség $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$	a: 4,61 a: 5,10 λ_{11} : 9,7	\perp : 2,07 II: 2,92 a: 1,72	\perp : 1,76 II: 10.69 a: 2,97 a: 3,00 a: 6,10	>3	401	1,2-1,5
Átlagos szemcsemé- ret μm	9	1,5	2,0	1,5	15	11
Részecske- alak	szabály- talan	szabály- talan	lemezes		szabály- talan	szál- szál
Sűrűség g/cm^3	5,1	4,48	2,78	5,11	8,94	2,58

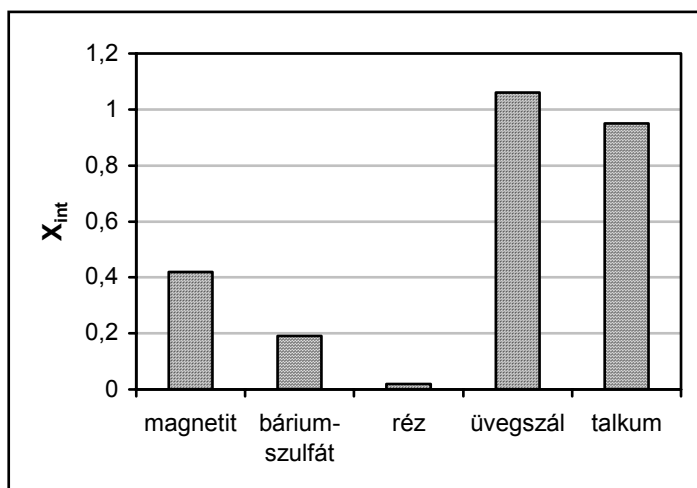
^{1/} Az a jelölés egykristályt jelent, ha több érték van, akkor az több publikációból származik, a kövéren szedett betű azt az értéket jelöli, amelyeket az elméleti számításoknál felhasználtak. Az anizotrop kristályok esetében a hővezető képességi tenzor fő elemeit adták meg (λ_{11} , λ_{22} , λ_{33}), ahol λ_{33} a kristály optikai c-tengelyével párhuzamos. A c-tengely olyan síkban fekszik, amely a legnagyobb hővezető képesség irányával párhuzamos vagy arra merőleges (II, \perp).

Néhány hővezető műanyagkeverék vizsgálata

A holland **Minelco** cég különböző hővezető anyagokkal (magnetit, bárium-szulfát, réz, üvegszál, talkum, stroncium-ferrit) töltött polipropilénekből fröccsöntött próbatesteket. A fröccsöntő szerszámban hőelemet helyeztek el, amellyel az anyag lehülése közvetlenül követhető. Az 1. ábrán látható a kompozitok (fajlagos) hővezető képessége a töltőanyag-tartalom függvényében. Az üvegszál és a bárium-szulfát kevésbé, a magnetit és a stroncium-ferrit jobban növeli a hővezető képességet. Ugyanakkor vannak váratlan effektusok is. A 30 (%V/V) rézet tartalmazó kompozit hővezető képessége csak $1,25 \text{ W/m} \cdot \text{K}$, a talkummal töltött kompozit pedig $2,5 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ annak ellenére, hogy a réz fajlagos hővezető képessége ($400 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) jóval nagyobb, mint a talkumé ($10,6 \text{ W/m} \cdot \text{K}$). Ezt a töltőanyag-részecskék közti jobb vagy rosszabb érintkezéssel lehet magyarázni, amit a korábban bevezetett X_{int} mennyiséggel lehet jellemezni (2. ábra). A talkum és az üvegszál X_{int} értéke közel van 1-hez, ami azt jelzi, hogy jó a termikus kontaktus, és közel tökéletes hővezető hálózat alakul ki. A jó hővezetést az magyarázza, hogy a talkum és az üvegszálak a fröccsöntés során erősen orientálódnak, és a hővezető képességet a kedvező orientáció irányában mérik. A réz esetében viszont nagyon rossz érintkezés alakul ki a részecskék között, ami lerontja a nagy hővezető képességű adalék hatásfokát.



1. ábra A töltött polipropilén (PP) minták (fajlagos) hővezető képessége a töltőanyag térfogattörtje függvényében



2. ábra A töltőanyag-részecskék közti termikus kontaktus jóságát jellemző X_{int} érték a különböző töltőanyagok esetében

2. táblázat

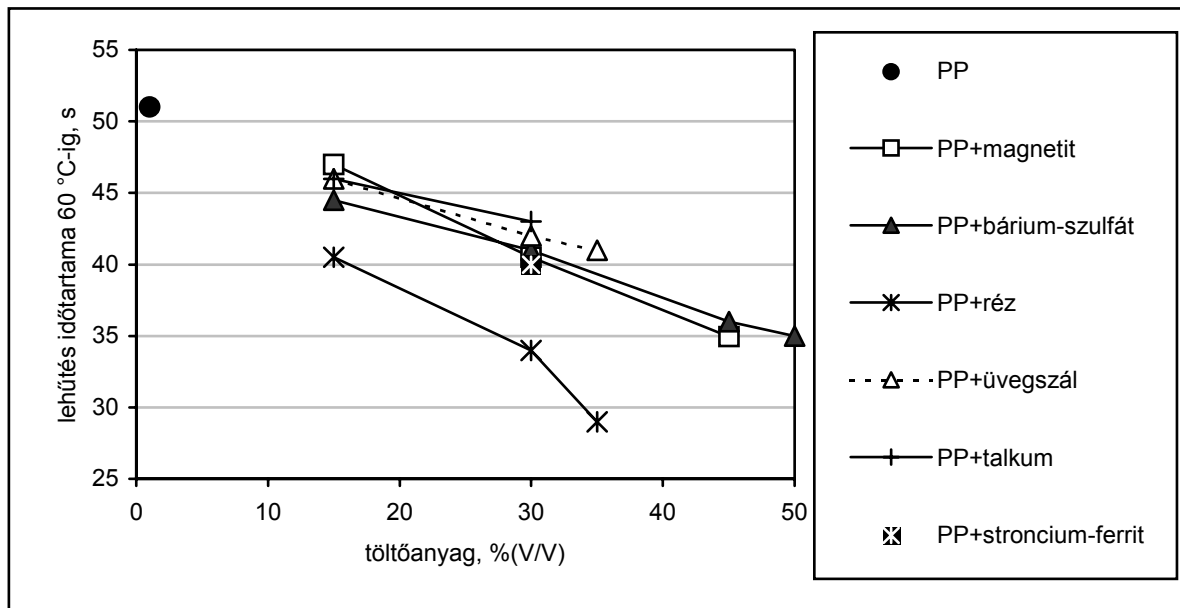
A polipropilén és néhány magnetittel töltött keverékének fröccsöntő gépben mért lehülési görbékhez szakaszonként illesztett hővezető képesség értékei és szobahőmérséklet körüli tranziens módszerrel mért hővezető képessége. (Az értékek mellett zárójelben szerepel az a hőmérséklet vagy hőmérséklet-tartomány, amelyre az érték vonatkozik.)

Műanyag	Fröccsgépben mért értékek		Külön mért érték
	α_1 mm ² /s	α_2 mm ² /s	α mm ² /s
PP	0,21 (120–55 °C)	–	0,19 (26 °C)
PP+15 %(V/V) Fe ₃ O ₄	0,24 (120–67 °C)	0,19 (67–51 °C)	0,27 (26 °C)
PP+30 %(V/V) Fe ₃ O ₄	0,29 (120–68 °C)	0,19 (68–45 °C)	0,35 (26 °C)
PP+50 %(V/V) Fe ₃ O ₄	0,33 (120–77 °C)	0,16 (67–45 °C)	0,48 (26 °C)

A fröccsöntés utáni lehülés sebességét a korábban definiált α érték írja le. Érdekes módon a rézzel töltött minta lényegesen gyorsabban hűl le, mint a többiek. A talkummal töltött minta viszont nagyobb fajlagos hővezető képessége ellenére nem hűl gyorsabban, mint a többi minta. Ez azzal is összefüggésben van, hogy a hővezető képességet a részecskék legnagyobb hővezető képességi irányában, a lehülési görbét pedig arra merőlegesen mérik.

A lehülési görbék több különböző meredekségű szakaszt tartalmaznak. Néhány magnetittel töltött minta fröccsöntő gépben mért és egy szobahőmérsékletre közeli tranziens módszerrel mért α értékeit a 2. táblázat mutatja. Látható, hogy a magas hőmérsékleten illeszthető hővezető képességek kisebbek, mint a szobahőmérséklet környékén mérhető értékek, és ugyanezen görbék alacsonyabb hőmérsékletű szakaszához illeszthető értékek alig térnek el a töltetlen PP minta értékétől. *Úgy tűnik, hogy a hűlési görbe alsó szakaszán a töltőanyagok nem járulnak hozzá a hűlési idő csökkentéséhez. A 60 °C-ig való*

lehűléshez szükséges időt vizsgálva (3. ábra) látható, hogy a rézzel töltött minták lényegesen hamarabb hűlnek le, a többi minta viselkedése pedig elég hasonló egymáshoz.



3. ábra Az ásványi anyagokkal töltött PP minták hűlési ideje a fröccsszámban 60 °C-ig

A mérések azt mutatják, hogy a fröccsöntés ciklusideje ugyan befolyásolható töltött műanyagok alkalmazásával, mégis azt kell mondani, hogy a lehűlést és a kompozitok hővezető képességét leíró elméleti összefüggések nem mindig elég pontosak, ezért empirikusan kell megvizsgálni az egyes komponensek viselkedését.

Dr. Bánhegyi György

Duifhuis, P.; Magnus R.; Weidenfeller B.: Wärmeleitung nach Mass. = Kunststoffe, 94. k. 11. sz. 2004. p. 83–86.

Weidenfeller, B.; Höfer, M.; Schilling, F. R.: Thermal conductivity, thermal diffusivity, and specific heat capacity of particle filled polypropylene. = [www. gfz-potsdam.de](http://www.gfz-potsdam.de), 2005. 05. 04.