

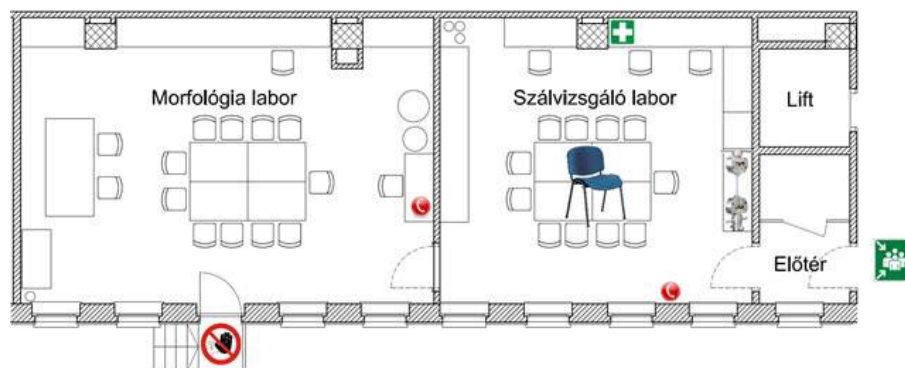


**BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR
POLIMERTECHNIKA TANSZÉK**

Polimerek morfológiai vizsgálata

**A JEGYZET ÉRVÉNYESSÉGÉT A TANSZÉKI WEB OLDALON KELL ELLENŐRIZNI!
WWW.PT.BME.HU**

A LABORGYAKORLAT HELYSZÍNE



FIGYELEM! EZ A LABORGYAKORLAT A T ÉPÜLET FÖLDSZINTJÉN
TALÁLHATÓ LABORATÓRIUMBAN LESZ! GYÜLEKEZŐ A T ÉPÜLETBEN A
LÉPCSŐHÁZBAN A LIFT MELLETT!

TARTALOMJEGYZÉK

A GYAKORLAT CÉLJA	3
1. ELMÉLETI HÁTTÉR	3
1.1. MORFOLÓGIAI ÁTTEKINTÉS	3
1.2. GYAKORLATI JELENTŐSÉG	4
1.3. VIZSGÁLAT LEHETŐSÉGEI	4
2. TERMOANALÍZIS	5
3. MÉRÉSI MÓDSZER.....	6
3.1. A DSC MŰKÖDÉSI ELVE	6
3.2. DSC MÉRÉSI GÖRBE	8
3.2.1. Üvegesedési átalakulási hőmérséklet meghatározása	9
3.2.2. Olvadási paraméterek meghatározása	10
3.2.3. A kristályos részarány meghatározása	10
3.3. A MÉRÉST BEFOLYÁSOLÓ FŐBB PARAMÉTEREK	12
3.4. MÉRÉSI MÓDSZER ÖSSZEFOGLALÁSA	HIBA! A KÖNYVJELZŐ NEM LÉTEZIK.
4. A MÉRÉS SORÁN HASZNÁLT GÉPEK, BERENDEZÉSEK	15
5. A TÉMÁHOZ KAPCSOLÓDÓ FONTOSABB SZAVAK ANGOLUL, NÉMETÜL	15
6. FELHASZNÁLT ÉS KIEMELTEN AJÁNLOTT IRODALOM	15

A gyakorlat célja

A mérés célja, hogy a hallgatók alapszinten megismerkedjenek a polimerek morfológiai jellemzőivel, valamint ezek vizsgálati módszereivel, illetve egy ismert polimer típus morfológiai vizsgálata a termikus tulajdonságain keresztül DSC (Differential Scanning Calorimetry) módszer segítségével.

1. Elméleti háttér

A polimerek elrendeződését szilárd fázisban a morfológia vizsgálja, amely elsősorban a már kialakult képződmények fenomenológiai (közvetlenül érzékelhető) leírásával foglalkozik. Kis molekulatömegű anyagoknál a kristályosodás folyamatát régóta vizsgálják. Az ott tapasztalt törvényszerűségekhez képest - mint azt később látni fogjuk - a polimereknél speciális problémák járulnak, ami abból adódik, hogy eltérő nagyságrendi szinteken létező szerkezeti egységek figyelhetők meg a szemmel látható mérettartománytól kezdve a molekuláris mérettartományokig.

1.1. Morfológiai áttekintés

Krisztallitok

Az ömledékből kristályosított polimerek - így pl. a polietilén - optikai mikroszkópos vizsgálata azt mutatja, hogy hiányoznak azok a jól definiált kristályfelületek, amelyek a kismolekulájú vegyületeket jellemzik. A polimerek külső megjelenésükkel általában egyértelműen nem árulják el, hogy kristályos természetük lehet. Ennek ellenére bizonyos polimerek *kristályos jellege* viszonylag régóta ismert. 1920-ban Scherrer és Herzog a cellulóz, 1925-ben Katz a nyújtott gumi röntgenes vizsgálata alapján felismerte azok kristályos jellegét. Az ma már világos, hogy a polimer láncok kristályossága különböző mértékű lehet, és hogy a polimerek a **kristályos** területeken kívül **nem kristályos, rendezetlen** területekkel is rendelkeznek. Ez utóbbi területeket **amorfnak** nevezik.

1.2. Gyakorlati jelentőség

A polimerek kristályosságára (annak minőségére és mértékére) a termikus és mechanikus előélet jelentős hatással van, amely a **tulajdonságokat** (pl.: szilárdság, modulusz) nagymértékben befolyásolja, így vizsgálata és ismerete gyakorlati fontosságú.

1.3. Vizsgálat lehetőségei

Összességében elmondható, hogy a polimerek anyagszerkezeti, morfológiai sajátosságainak tanulmányozására, a kristályos részek kialakulásának követésére a közvetlen **mikroszkópos** megfigyelés, illetve a kristályosodással együtt járó **tulajdonságváltozások követése** ad módot.

Módszerek/eszközök:

- fénymikroszkópia,
- fényszóródás (kisszögű fényszóródás (SALS)),
- elektronmikroszkópia (transzmissziós elektronmikroszkópia (TEM), pásztázó elektronmikroszkópia (SEM)),
- röntgen diffrakció (kisszögű (SAXS)/nagyszögű (WAXS)),
- termoanalízis (differenciál termoanalízis (DTA), differenciál pásztázó kalorimetria (DSC)).

Kiemelten fontos megjegyezni, a különféle módszerek segítségével, különféle morfológiával kapcsolatos kérdésekre kaphatunk választ. Ezen eljárások alapvető ismerete segíti a vizsgálandó jelenséghez tartozó megfelelő eljárás kiválasztását (1. táblázat).

1. táblázat Polimer szerkezetek áttekintése dimenziójuk és vizsgálati módszerek szerint

	Atomos szerkezet a kristályrendszeren belül	Molekuláris szerkezet	Szupermolekuláris szerkezet
Dimenzió	10 ⁻⁸ ...10 ⁻⁷ cm (0,1...1 nm)	10 ⁻⁷ ...10 ⁻⁵ cm (1...100 nm)	10 ⁻⁶ ...10 ⁻¹ cm (1μ...1 mm)
Szint	röntgenes	röntgenes	optikai
Szerkezet	rácsszerkezet	a kristallitok nagysága, alakja, elrendeződése, kristályosság, láncrendezettség, amorf területek, a láncok orientációja	egykristályok, szferolitok, hedritok, dendritok
Alkalmas vizsgálati módszerek	röntgen diffrakció,	röntgen diffrakció, elektronmikroszkópia, differenciál pásztázó kalorimetria , differenciál termoanalízis	fénymikroszkópia, elektronmikroszkópia, röntgen diffrakció, differenciál pásztázó kalorimetria , differenciál termoanalízis

2. Termoanalízis

Termoanalízis adta lehetőségeken belül két kaloriméter típust különböztetünk meg, az egyik az ún. Differenciál termoanalízis (Differential Thermal Analysis, (DTA)), a másik az ún. Differenciál pásztázó kalorimetria (Differential Scanning Calorimetry (DSC)). A két módszer lényegében a hőmérsékletvezérlő rendszer visszacsatolásának módjában különbözik egymástól.

A DTA esetében a regisztrátum, az a mérés eredményeként kapott jel, a polimer minta és a referencia minta hőmérsékletkülönbsége, miközben mindkét mintát azonos hő közlésével vagy elvonásával fűtik vagy hűtik. A DSC esetében ezzel szemben azt biztosítják, hogy a két minta mindig azonos hőmérsékletű legyen, tehát nem alakul ki hőmérsékletkülönbség ($\Delta T=0$) a minta és a referencia anyag között. Itt a készülék az időegység alatt bevitt hőenergia különbséget, azaz a hőáramkülönbséget regisztrálja ($\Delta dQ/dt$).

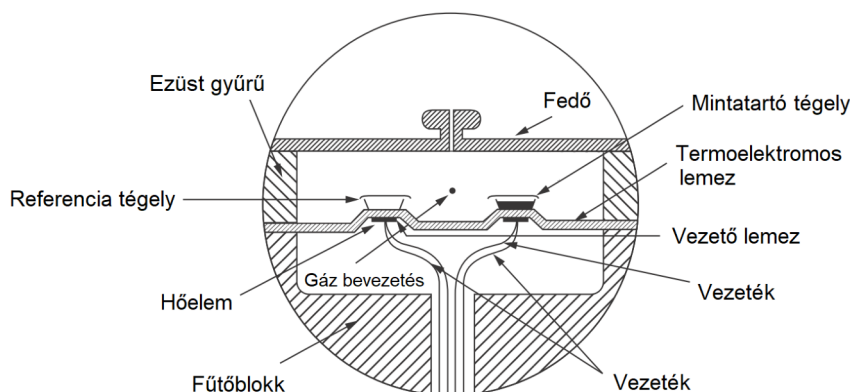
Megemlítjük, hogy a DSC-n és a DTA-n kívül léteznek még egyéb, az anyagok termikus tulajdonságait vizsgáló pásztázó típusú berendezések, mint pl. a minta tömegváltozását detektáló ún. termograviméter (TGA), ill. a minta méretváltozását mérő ún. TMA (Thermal Mechanical Analyzer).

3. Mérési módszer

A laborgyakorlat során az említett lehetőségek közül a DSC mérési módszerét alkalmazzuk. A kaloriméterek ideális eszközök különböző anyagokban lejátszódó hőeffektussal járó folyamatok gyors vizsgálatára. A mérés során a két mintatartóban elhelyezett mérendő minta, ill. referencia hőmérséklete lineárisan növekszik az idő függvényében. Ily módon, ha a mérendő mintában hőelnyeléssel (endoterm) vagy hőleadással (exoterm) járó folyamat játszódik le, az azt eredményezné, hogy a hőáramkülönbség változatlan értéken tartása esetén a minta és a referencia között hőmérsékletkülönbség alakulna ki. Ezt kompenzálja a berendezés a hőáramkülönbség precíz változtatásával, aminek eredményeképp a minta és a referencia hőmérséklete a kezdeti beállított trend szerint változtatható tovább (endoterm folyamat és fűtés esetén növeli a mintával közölt hőáramot, exoterm folyamat és fűtés esetén csökkenti és így tovább). A hőáramkülönbségek ezen változásait a hőmérséklet, vagy az idő függvényében ábrázolva az eredményként kapott görbén különböző karakterisztikus jellemzőket (csúcsok, lépcsők stb.) kapunk. Ezeknek a helyzetéből és alakjából következtetni lehet a lejátszott átalakulások jellegére és több, az átalakulásra jellemző paraméter meghatározható. Ilyenek például az átalakulási hőmérsékletek, az átalakuláshoz szükséges hő, az átalakulás aktiválási energiája, stb.

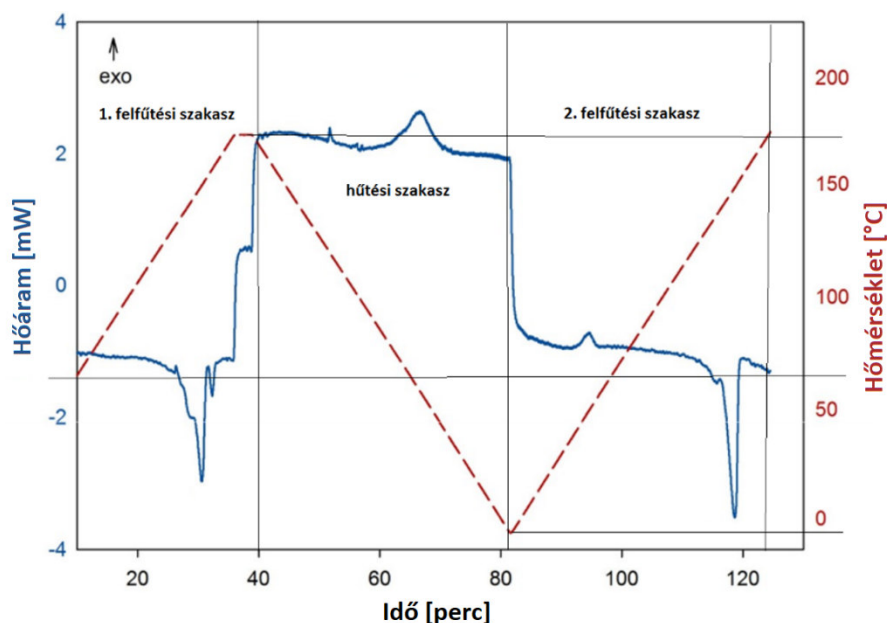
3.1. A DSC működési elve

A mérendő és a referenciaminta egy-egy alulról fűthető mintatartóban helyezkedik el az 1. ábrán látható módon. Az eljárás során a vizsgálandó (mérendő) minta és az összehasonlító (referencia – termikusan a vizsgálati hőmérséklet-tartományban inaktív, azaz semmilyen átalakulás nem játszódik le benne) mintába juttatott hőáram (dQ/dt , egységnyi idő alatt bejuttatott, vagy elvont hő mennyisége) különbségét mérjük a hőmérséklet és/vagy idő függvényében.



1. ábra DSC cella felépítésének elvi vázlata

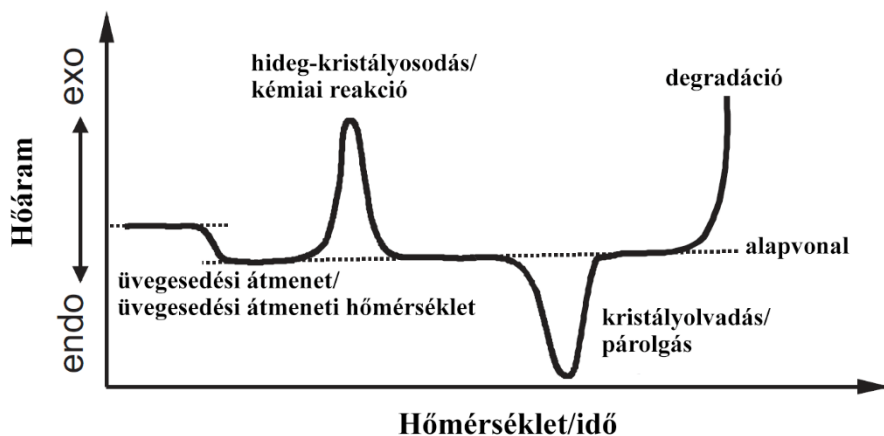
A mérendő mintát és a referencia mintát szabályozott hőmérsékletprogramnak szerint fűtjük/hűtjük/hőn tartjuk. A hőmérséklet program jellemzően a 2. ábrán látható módon épül fel, amely tartalmaz egy szabályozott felfűtési szakaszt (1. felfűtés), illetve igény szerint egy szabályozott hűtési fázist és egy második felfűtési fázist is (2. felfűtés). A felfűtési sebességeket tetszőlegesen változtathatjuk (pl.: 0,1 – 50 °C/min) viszonylag széles határok között, rendszerint lineáris felfűtési görbét alkalmazunk. Van azonban lehetőség a felfűtés modulált szabályzásra is (MDSC – Modulated Differential Scanning Calorimetry). A mérés során a mérőtérben jellemzően inert ipari tisztaságú nitrogén gázt áramoltatunk át. Az áramló gáz szerepe, hogy segít eltávolítani a nedvességet és az oxigént a mérőtérből, amelyek idővel károsíthatják a mérőcellát, meggátolja a mintában a nemkívánatos folyamatokat, reakciókat, továbbá hatékonyabb hőátadást biztosít. Lehetőség van a mérőtérben oxidatív közeg alkalmazására is, ebben az esetben ipari tisztaságú oxigént alkalmazhatunk.



2. ábra Hőmérsékletprogram (pirossal), regisztrált hőáram (kékkel)

3.2. DSC mérési görbe

A DSC mérés során regisztrált hőáram-idő görbét a 2. ábrától eltérő módon (ami a nyers mérési eredményeket tartalmazza) kiértékelés során (3. ábra) a hőáramot (dQ/dt) a hőmérséklet függvényében ábrázoljuk. Az eredmények értékelésekor megkülönböztetjük az 1. felfűtési görbét, illetve a 2. felfűtési görbét. Az 1. felfűtés során értékelt adatok a vizsgált anyag termikus előéletével (feldolgozással) kapcsolatban nyújtanak információt, amíg a 2. felfűtési görbe esetében (azonos, szabályozott hűtési fázist követően), összehasonlításra van lehetőségünk felhasználni, ekkor az anyagra jellemző tulajdonságokat tudjuk értékelni.



3. ábra Tipikus DSC görbe

A DSC görbe alapján meghatározható adatok:

- üvegesedési átmenet, üvegesedési hőmérséklet (T_g [°C]),
- oladási tartomány, oladási hőmérséklet (T_m [°C]),
- kristályos részarány (X_c [%]),
- fázisátalakulások,
- kristályosodási ill. térhálósodási kinetika,
- fajhő, (c_p [J/kg*K]),
- feszültségi állapot (termikus előélet, feszültség relaxáció),
- illetve a görbe alkalmazható minőségellenőrzési célokra is.

3.2.1. Üvegesedési átalakulási hőmérséklet meghatározása

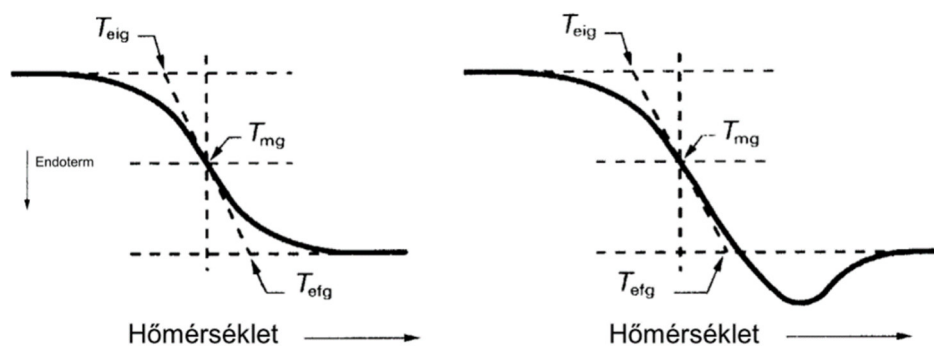
Az ISO 11357-2:2001 szabvány szerint az **üvegesedési átalakulás**: reverzibilis változás egy amorf polimerben vagy egy részben kristályos polimer amorf részeiben az üveges amorf, és a nagyrugalmas amorf állapot között. **Üvegesedési átalakulási hőmérséklet**: annak a hőmérséklet-tartománynak a hozzávetőleges középpontja, amelyben az üvegesedési átalakulás végbemegy.

A jellemző hőmérsékletek (lásd 4. ábra):

Extrapolált kezdeti hőmérséklet: T_{eig} , az a pont, ahol a görbe kis hőmérsékletű oldalán az extrapolált kezdeti alapvonalat a görbe inflexiós pontján átmenő érintő metszi.

Extrapolált véghőmérséklet: T_{efg} , az a pont, ahol a görbe nagy hőmérsékletű oldalán az extrapolált kezdeti alapvonalat a görbe inflexiós pontján átmenő érintő metszi.

Középponti hőmérséklet: T_{mg} , az a pont, ahol a görbét a két extrapolált alapvonalról egyenlő távolságban lévő egyenes metszi.



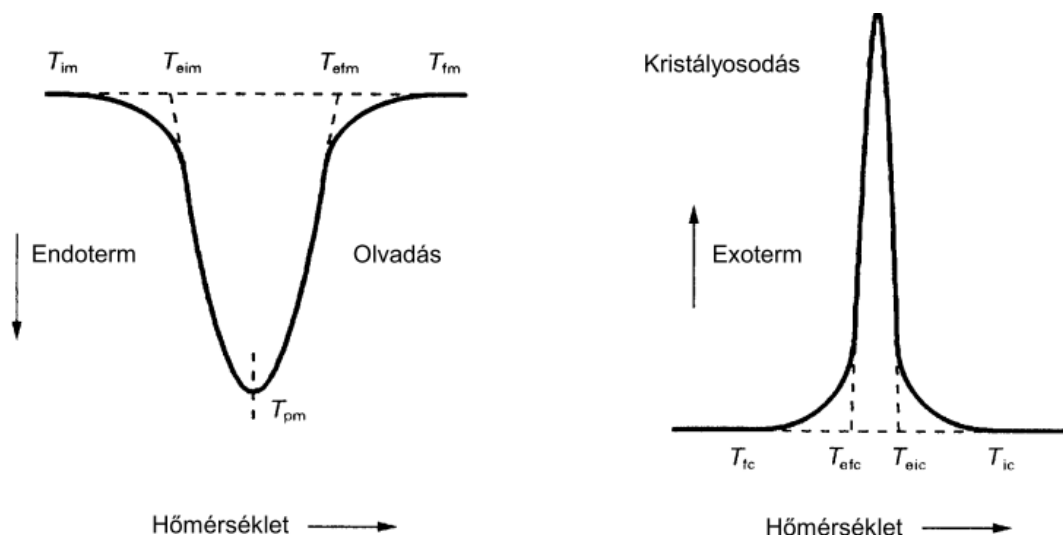
4. ábra Jellemző üvegesedési átalakulási hőmérséklet-meghatározások példái

3.2.2. Olvadási paraméterek meghatározása

Az ISO 11357-3:2001 szabvány szerint az **olvadás**: átalakulási állapot a teljesen kristályos vagy a részben kristályos szilárd állapot és a viszkózus amorf folyadék között. **Kristályosodás**: átalakulási állapot az amorf viszkózus folyadék-állapot és a teljesen kristályos, vagy a részben kristályos szilárd állapot között.

A jellemző hőmérsékletek (lásd 5. ábra):

- extrapolált kezdeti hőmérséklet, T_{ei}
- csúcshőmérséklet, T_p
- extrapolált véghőmérséklet, T_{ef}



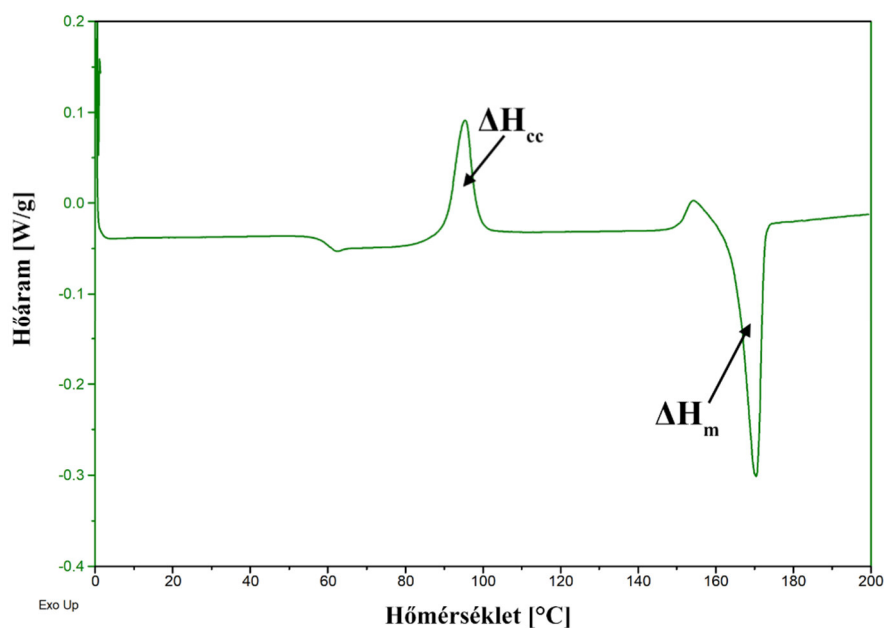
5. ábra Jellemző hőmérséklet-meghatározások példái

MEGJEGYZÉS: Az olvadási jelenséget „m” kiegészítő alsóindex, a kristályosodási jelenséget „c” kiegészítő alsóindex jelzi a hőmérsékletben.

3.2.3. A kristályos részarány meghatározása

A részben kristályos minták esetében az egyik fontos jellemző a kristályos részarány ismerete, amelynek mértéke/változása számos tulajdonságra (pl.: szilárdság, ütőszilárdság, modulusz, hőállóság, stb.) hatással lehet a polimer szempontjából. A kristályos részarány meghatározás több mérési eljárással is lehetséges, ezek közül leggyakrabban a DSC vagy a röntgen vizsgálatot szokták felhasználni.

Jelen gyakorlat során a mért DSC görbe segítségével határozzuk meg a minta kristályos részarányát. Ehhez a mérés során detektált entalpiaváltozásokat fogjuk felhasználni (6. ábra). A kristályolvadás során a berendezés rögzíti a hőáram változást, majd a görbe alatti területből számítható az entalpiaváltozás, ΔH_m [J/g]. Számos esetben a mérés során tapasztalható egy exoterm csúcs az üvegesedési átmeneti hőmérséklet és a kristályolvadási hőmérséklet között. Ez a minta fűtése közben bekövetkező utólagos kristályosodást jelzi, amelyet hidegkristályosodásnak nevezünk. Ehhez szintén a görbe alatti területből meghatározható az entalpiaváltozás értéke, ΔH_{cc} [J/g]. Ez a két mennyiség a mérési görbéből meghatározható, a kristályos részarány számításához azonban még szükségünk van a 100%-os kristályos részarányal rendelkező minta kristályolvadási entalpiájára (ez egy elméleti, számított érték, nincs 100%-os kristályos részarányal rendelkező polimer), ΔH_m^0 [J/g], amely érték a szakirodalomban megtalálható információ, de pár méréssel és extrapolációval is meghatározható. Ezen kívül adott esetben ismernünk kell az adott minta töltőanyag tartalmát, a [-] is.



6. ábra Entalpia változások a kristályos részarány számításához.

Az így összegyűjtött mennyiségek alapján az alábbi összefüggéssel számítható a mintánk kristályos részaránya:

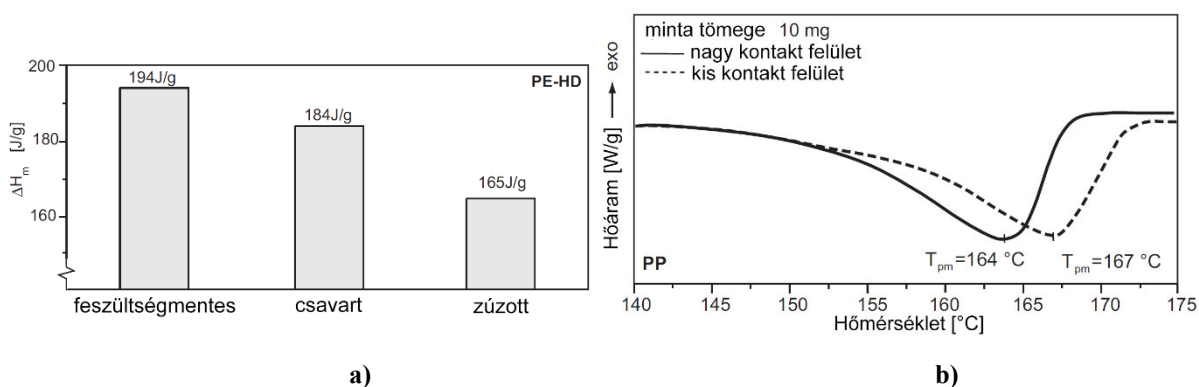
$$X_c = \frac{\Delta H_m - \Delta H_{cc}}{\Delta H_m^0 \cdot (1 - a)} \cdot 100 \text{ [%]}$$

ahol X_c [%] a minta kristályos részaránya, ΔH_m [J/g] a kristályolvadáshoz tartozó entalpiaváltozás, ΔH_{cc} [J/g] a hideg-kristályosodáshoz tartozó entalpiaváltozás, ΔH_m^0 [J/g] a 100%-ban kristályos minta kristályolvadáshoz tartozó elméleti entalpiaváltozás, a [-] a minta töltőanyag tartalma.

3.3. A mérést befolyásoló főbb paraméterek

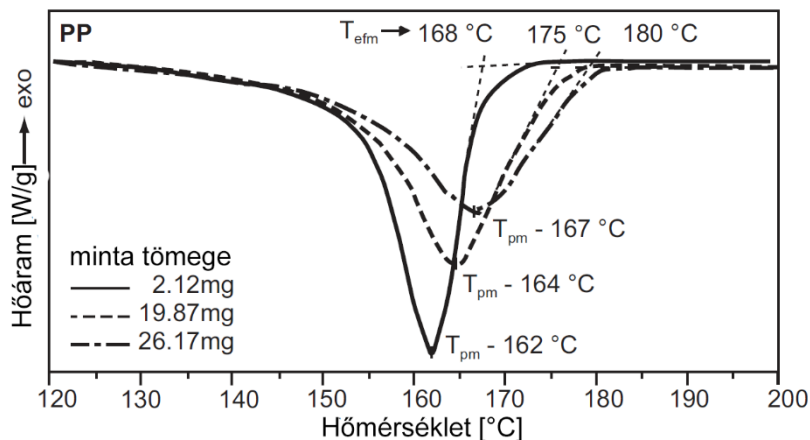
A mérést számos tényező befolyásolhatja, amelyekre a mérés elvégzése során kellő figyelmet kell fordítani ahhoz, hogy megfelelően kiértékelhető eredményt kapjunk. Ilyen fontos tényezők: a minta tömege, a mintaelőkészítés menete, a kezdeti- és véghőmérséklet, a méréshez használt referencia, az áramoltatott gáz típusa, a fűtési/hűtési sebesség.

A minta előkészítés/kivágás során törekednünk kell arra, hogy a mintánkat jelentős mechanikai behatás, illetve hőhatás ne érje, mert az jelentősen befolyásolhatja a minta morfológiáját, ez által a mérés eredményeit (7 ábra/a). A minta előkészítésnél szintén fontos, hogy mekkora a kivágott minta felülete, ebben az esetben törekedni kell a lehető legnagyobb kontaktfelület elérésére a minél pontosabb méréshez. Mint ahogy a 7 ábra/b esetben is látható a kisméretű minta és mintarató tégely érintkezési felület esetében a kristályolvadási tartomány a nagyobb hőmérsékletek irányába tolódik a rossz hővezetés hatására. Továbbá a mérésünket az is befolyásolja, hogy a termék/próbatest melyik részéből munkáljuk ki a DSC méréshez használt mintát (pl: fröccsöntött minták esetében: mag/héj jelenség). Hidrofil anyagok esetében, mint például a poliamid a nedvességtartalom is döntő hatású lehet.



7. ábra Mintaelőkészítés hatása a mérésre: a) mechanika hatások mintavágás során, b) minta érintkezési felületének nagysága

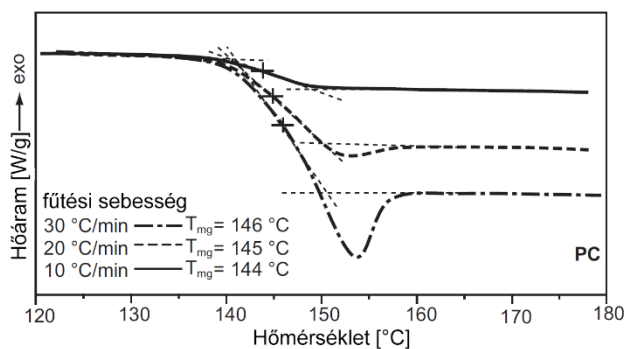
Az előkészítés mellett a mintánk tömege szintén befolyásolja a mérés pontosságát (8. ábra). Amíg a kristályolvadás vizsgálatához érdekesebb kisebb 5-10 mg tömegű mintát választani, addig az üvegesedési átmeneti hőmérséklet meghatározásához ajánlott a nagyobb tömegű 10-20 mg-os minták készítése.



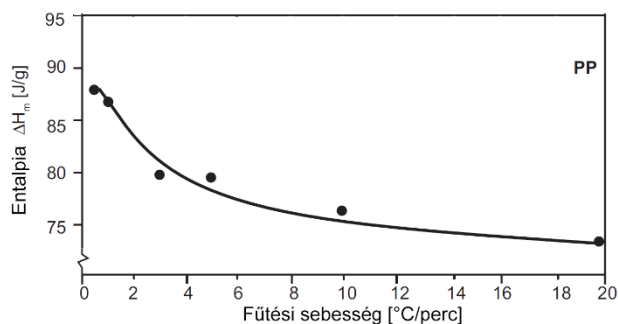
8. ábra Minta tömegének hatása a kristályolvadási csúcsra

A mérés során szintén fontos paraméter a mérés kezdeti és véghőmérséklete, amelyeket lehetőleg úgy kell megválasztani, hogy a vizsgálni kívánt jelenség hőmérséklet-tartományát megfelelő tartalékkal lefedje. A legtöbb ajánlás szerint a mérésünket érdemes 50 °C-kal kisebb hőmérsékletre kezdeni a várt átalakuláshoz képest és 30 °C-kal utána befejezni.

A fűtési és hűtési sebesség nagysága nemcsak a mérés idejére, hanem a kapott eredményekre is hatással van. Az ajánlások alapján az üvegesedési átmenet tanulmányozásához érdemes nagyobb, 20 °C/perc fűtési sebességet választani, amíg az olvadás és a kristályosodás vizsgálatához 10 °C/percet. Méréseink során ezektől el lehet térni, amennyiben szükség van rá, például a nagyobb fűtési sebesség felerősíti kisebb átalakulásokat (9. ábra), ellenben a mérésünk felbontásának a pontossága csökken. Kisebb hűtési sebességeknél a mérés felbontása pontosabb ellenben részben kristályos polimerek esetében ekkor az utó/átkristályosodás befolyásolhatja a mérési eredményeket, amíg nagyobb fűtési sebesség alkalmazásával elkerülhető a részben kristályos minták utólagos mérés közbeni kristályosodása.



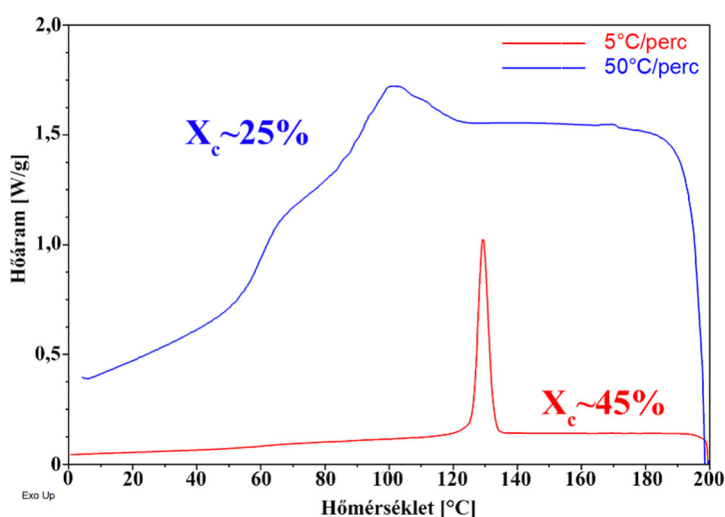
a)



b)

9. ábra Fűtési sebesség hatása a) az üvegesedési átmenetre és b) a kristályolvadásra

A részben kristályos polimerek esetében a fűtési sebesség mellett jelentős fontosságú a vizsgálat során a hűtési sebesség megfelelő megválasztása is, mivel a hűtés során a kristályosodási folyamatokat vizsgáljuk. A fűtés során a kristályolvadás és a hűtés során a kristályosodás folyamata jelentősen eltér egymástól, mivel a kristályosodáshoz túlhűtés szükséges. Túl nagy hűtési sebesség esetében előfordulhat, hogy nem vagy csak részben alakul ki a kívánt kristályszerkezet kristályos részarány, így az ezt követő felfűtés során nem a várt eredményt kapjuk. Nagy hűtési sebességek esetében a mérési görbén a kristályosodási csúcs a kisebb hőmérsékletek irányába tolódik el, illetve a kialakult kristályos részarány mennyisége is kisebb lesz (10. ábra).



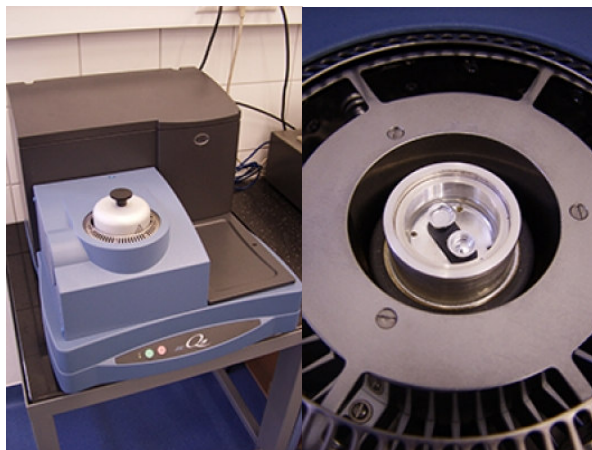
10. ábra Hűtési sebesség hatása

Összességében elmondhatjuk, hogy a termoanalitikai módszerek, különösen a DSC mérések kis alapanyag mennyiségből (pl.: 2-20 mg), rövid idő alatt, (pl.: 45-200 perc) sok információt adnak a polimerekről, mindezt nagyfokú precizitás és automatizáltság mellett (opcionálisan elérhető automatikus mintaváltó egység is).

4. A mérés során használt gépek, berendezések

TA INSTRUMENTS Q20 TÍPUSÚ DSC - KALORIKUS JELLEMZŐK, KRISTÁLYOS RÉSZARÁNY MEGHATÁROZÁSA (11. ÁBRA)

A berendezés hőmérséklettartománya:
23-550°C



11. ábra TA Instruments Q20 DSC

5. A témához kapcsolódó fontosabb szavak angolul, németül

Magyar	Angol	Német
Sűrűség	Density	e Dichte
Kristályosság	Crystallinity	e Kristallinität
Tömeg	Mass	e Masse
Hőmérséklet	Temperature	e Temperatur
Hő	Heat	e Wärme

6. Felhasznált és kiemelten ajánlott irodalom

1. Bodor G., Vas L. M.: Polimer anyagszerkezetten, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2001, 73-78, 146-151 old.
2. Charsley E. L., Warrington S.B.: Thermal Analysis-Techniques and Application, Royal Society of Chemistry, Leeds, 1992, 17-30 old. Hütte: A mérnöki tudományok kézikönyve, Springer-Verlag, 1993
3. ISO-11357-1:2016 – Műanyagok. Pásztázó differenciálkalorimetria (DSC). 1. rész: Alapelvek (ISO 11357-1:2009)
4. ISO-11357-2:2016 – Műanyagok. Pásztázó differenciálkalorimetria (DSC). 2. rész: Az üvegesedési átalakulási hőmérséklet és az üvegedési átalakulási lépcső magasságának meghatározása (ISO 11357-2:2013)

Mérési jegyzőkönyv

Név:

Minősítés:

Neptun kód:

Dátum:

Ellenőrizte:

Gyakorlatvezető:

1. Gyakorlaton elvégzendő feladatok

A DSC vizsgálat során az adott polimerből 3-6 mg tömegű mintát kell bemérni 0,1 mg pontossággal. A mintát mintatartó edénybe a berendezés automatikusan helyezi. A mérés eredményeként meghatározott termográfot a számítógép segítségével kell kiértékelni. Meg kell határozni a kristályos részarányt, az üvegesedési átmeneti hőmérsékletet, illetve a kristályolvadási hőmérsékletet.

2. Alapadatok

Környezeti hőmérséklet, T: [°C]

Környezeti relatív légnedvesség: [%]

Minta tömege: [mg]

Fűtési sebesség: [K/min]

Kezdeti hőmérséklet: [°C]

Véghőmérséklet: [°C]

3. Hőmérséklet program



4. Hőáram görbe



5. Mérés eredmények

Minta	T_g	T_{cc}	ΔH_{cc}	T_m	ΔH_m	X_c
	°C	°C	J/g	°C	J/g	%