



B3/E3/M3/T8

Változat: 3.5

Kiadva: 2021. március 30.

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

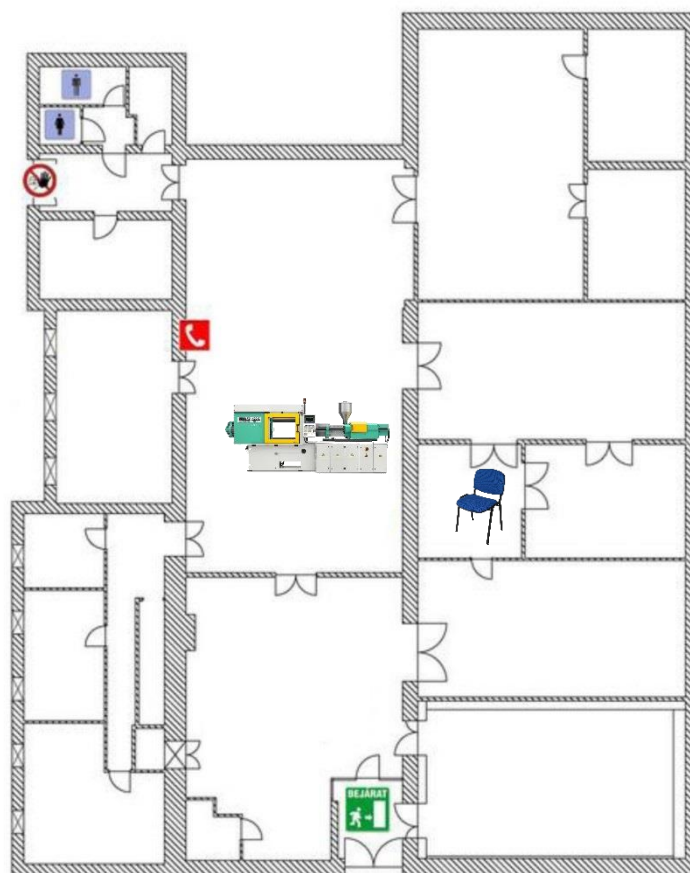
MT épület

Fröccsöntés

HŐRE LÁGYULÓ POLIMEREK FRÖCCSÖNTÉSE

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

A LABORGYAKORLAT HELYSZÍNE



MT
épület

TARTALOMJEGYZÉK

1. A GYAKORLAT CÉLJA	3
2. ELMÉLETI HÁTTÉR	3
2.1. A FRÖCCSÖNTŐGÉP	3
2.2. AZ ALAPANYAG ÚTJA A FRÖCCSÖNTÉSBEN	5
2.3. A FRÖCCSÖNTÉSI CIKLUS	5
2.4. A PLASZTIKÁLÓ-, ÉS FRÖCCSÖNTŐEGYSÉG RÉSZEI ÉS AZOK FUNKCIÓI.....	7
2.5. A POLIMER ÖMLEDÉK ÁLLAPOTHATÁROZÓI A FRÖCCSÖNTÉS SORÁN	10
3. A MÉRÉS SORÁN HASZNÁLT GÉPEK, BERENDEZÉSEK	12
3.1. A TÉMÁHOZ KAPCSOLÓDÓ FONTOSABB SZAVAK ANGOLUL, NÉMETÜL	12
4. AJÁNLOTT IRODALOM.....	13
MÉRÉSI JEGYZŐKÖNYV	14

1. A gyakorlat célja

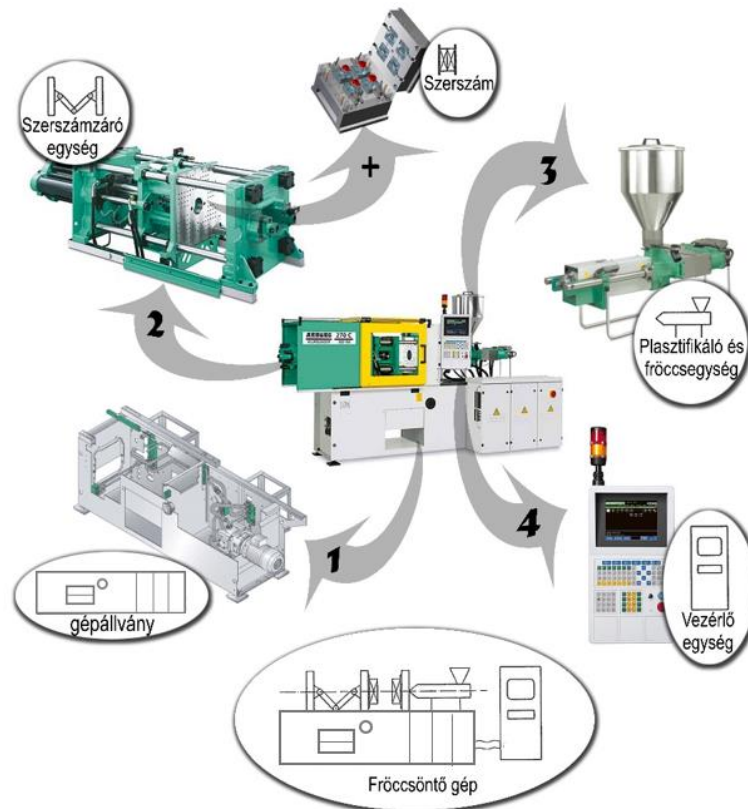
A gyakorlat fő célja a fröccsöntési technológia és a fröccsöntési ciklus megismerése, elemzése. Tanulmányozandók továbbá a gyakorlat során a fröccsöntő gép és annak részegységei, valamint a hőre lágyuló polimerek és a fröccsöntött termékek sajátosságai, jellemzői.

2. Elméleti háttér

A fröccsöntés ([videó](#)) a polimer késztermékek előállítására alkalmas módszerek közül a legsokoldalúbb és a legdinamikusabban fejlődő szakaszos (ciklikus) eljárás. Alapelve, hogy az olvadáspontja fölé melegített, *viszkózan folyós* ömledékállapotba, azaz alakítható állapotba hozott hőre lágyuló (termoplasztikus) polimer alapanyagot nagy sebességgel és nyomással, szűk beömlőnyíláson át a *temperált* (*szabályozott hőmérsékletű, az ömledék-hőmérsékletnél hidegebb*), *zárt alakadó szerszámba* juttatjuk. Ebben a zárt szerszámban a *nyomás alatt* kihülő polimer ömledékből alakul ki a tetszőlegesen bonyolult, 3D-s, nagy méretpontosságú alkatrész, gyakorlatilag *hulladékmentesen*. A technológia sajátossága, hogy az alkalmazott alakadó szerszámmal csak egyféle termék állítható elő, tehát ezek a szerszámok nem univerzálisak. A fröccsöntés szerszámjai ugyan nem olcsók (leginkább a fémmegmunkálás költségei miatt), de mivel egy szerszámmal akár több millió darab termék is készíthető, valamint a termékek gyártásához szükséges ciklusidő rövid, így összességében egy-egy termék fajlagos előállítási költsége kicsi és így a sorozatgyártás gazdaságos.

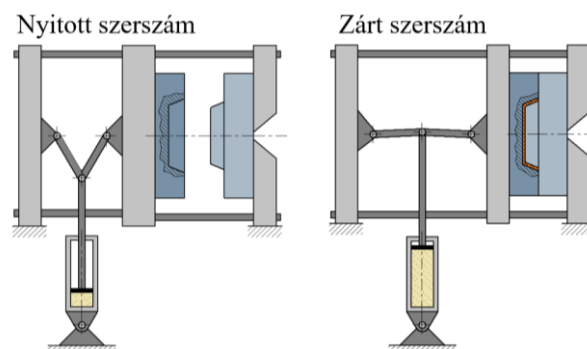
2.1. A fröccsöntőgép

Fröccsöntéssel sokféle méretű, alakú és anyagú terméket lehet előállítani, amelyek optimális gyártásához különböző felépítésű, nagyságú, és a legkülönbözőbb kiegészítő egységekkel ellátott gépeket fejlesztettek ki. Általánosságban elmondható, hogy egy fröccsöntőgép fő egységei az alábbiak (1. ábra):



1. ábra A fröccsöntőgép fő egységei

A **gépállvány és hidraulikus rendszer** (1. ábra/1) feladata a többi egység rendszerbe foglalása, azok rezgésmentes kapcsolásának megvalósítása. A **szerszámozó egység** (1. ábra/2) feladata – legegyszerűbb esetben – a gépvázon rögzített álló szerszámfélhez képest a mozgó szerszámfél megfelelő mozgatása, az osztósíokban történő nyitás-zárás. Amíg a befroccsöntési fázis alatt (amikor a polimer ömledék kitölti a szerszámot) a nagy fröccsöntési nyomásból származó erőkkel szemben a szerszámot tökéletesen zárva kell tartani (a maximális szerszámozó erő a fröccsöntőgép egyik alapvető jellemzője), addig a termék adott hőmérsékletre történő lehűtése után a szerszámot nyitni kell, hogy a gyártmány eltávolítható legyen. A szerszámozó egység lehet mechanikus (hidro-mechanikus, vagy elektro-mechanikus) (2. ábra), vagy direkt hidraulikus.



2. ábra Hidro-mechanikus szerszámozó egység vázlata

A **plasztifikáló- és fröccsöntőegység (röviden fröccsegység vagy aggregát)** (1. ábra/3) a fröccsöntőgép legfontosabb egysége, feladata az alapanyag tökéletes megömlesztése (homogén ömledék képzése a polimer granulátumból) és a szerszámüregbe juttatása.

A **vezérlőegység** (1. ábra/4) feladata a fröccsöntési ciklus elemeinek vezérlése, a fröccsöntőgép teljes körű felügyelete és a kapcsolattartás biztosítása az *ember és a gép* között.

A fröccsöntéshez szükség van alakadó **szerszámra** is (1. ábra/+), de azt nem soroljuk a fröccsöntőgép fő egységei közé, mivel az adott szerszám több fröccsöntőgépen is felhasználható, illetve egy fröccsöntőgép különböző szerszámokkal is üzemelhet. A szerszám jellemzően két „félre” nyitható szét (álló, illetve mozgó szerszámfél), amelyre azért van szükség, hogy a termék eltávolítható legyen a szerszámüregből.

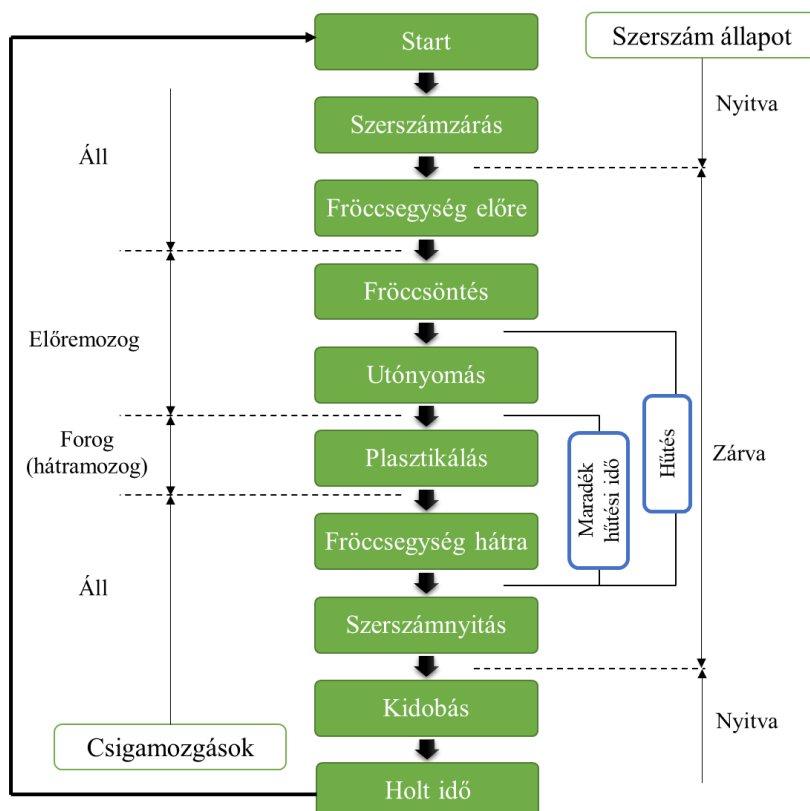
2.2. Az alapanyag útja a fröccsöntésben

Fröccsöntéssel leginkább hőre lágyuló (termoplasztikus) műanyagokat dolgoznak fel késztermékké. Ebben az esetben a polimer alapanyag útja az alábbi:

- az alapanyag eljuttatása az adagoló tölcserbe (1. ábra/3).
- az alapanyag szállítása, plasztifikálása azaz megömlesztése és homogenizálása (alakítható állapotban hozás),
- az ömledék bejuttatása (befröccsöntése) a zárt szerszámba, nagy nyomással (alakadás),
- az ömledék lehűtése a szabályozott hőmérsékletű (temperált) szerszámban (alakrögzítés),
- a késztermék eltávolítása a szerszámból.

2.3. A fröccsöntési ciklus

A tényleges fröccsöntési ciklus természetesen a fenti lépésekből épül fel, de azok sorrendjét, illetve egymásra épülését a fröccsöntés elvi folyamatábrájából érthetjük meg (3. ábra).



3. ábra A fröccsöntési folyamat

A ciklus megértéséhez tudni kell, hogy két ciklus között a szerszám mindig nyitott állapotban van és nincs benne termék, valamint a plasztifikáló- és fröccsegység szintén „nyitott állapotban” van, azaz el van távolítva a fröccsöntő szerszámtól, hogy légrés keletkezzen és így megszűnjön a hőáramlás a fröccsegység irányából a szerszám irányába. Mindezek mellett a fröccsegység már tartalmazza a következő ciklus számára plasztifikált (megömlesztett és homogenizált) alapanyagot.

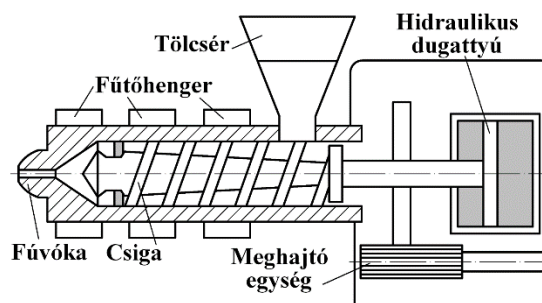
A ciklus kezdetén először a **szerszám, majd a fröccsöntőegység zárása** történik meg. Ezt követően a megelőző ciklusban plasztifikált anyagot a csiga, mint egy előremozgó dugattyú nagy sebességgel és ezáltal nagy nyomással bejuttatja a szerszámüregbe (**befröccsöntés**), valamint a bejuttatott anyagot nyomás alatt tartja (**utónyomás**). Az anyag a szerszámüregben a **hűtés** hatására elkezd megdermedni, miközben a fröccsegység – ezzel párhuzamosan – a következő ciklus számára előállítja az ömledéket. A fröccshengerben a forgó csiga szállítja előre az anyagot, amely a külső fűtés és a súrlódási hő (nyírás) hatására megolvad (**plasztifikálás**). Eközben a csiga elé szállított anyag torlónyomása a csigát hátratólja. Elegendő mennyiségű anyag megömlesztése után a csigaforgás megáll, majd a fröccsegység eltávolodik a szerszámtól, hogy megszűnjön a hőátadás a fűtött csigacsúcs és az annál hidegebb, temperált szerszám között. Miután a darab megdermedt, a

szerszám kinyílik, és a késztermék eltávolítható (**kidobás**). A fröccsöntés folyamata ezután előlről kezdődik (3. ábra).

2.4. A plasztifikáló-, és fröccsöntőegység részei és azok funkciói

A plasztifikáló- és fröccsöntőegység (4. ábra) a folyamat szempontjából a legfontosabb részegység, amelynek fő funkciói az alábbiak ([videó](#)):

- az alapanyag megömlesztése,
- az ömledék szállítása, homogenizálása,
- az ömledék tárolása,
- az ömledék befroccsöntése a szerszámba,
- a szükséges utónyomás biztosítása.



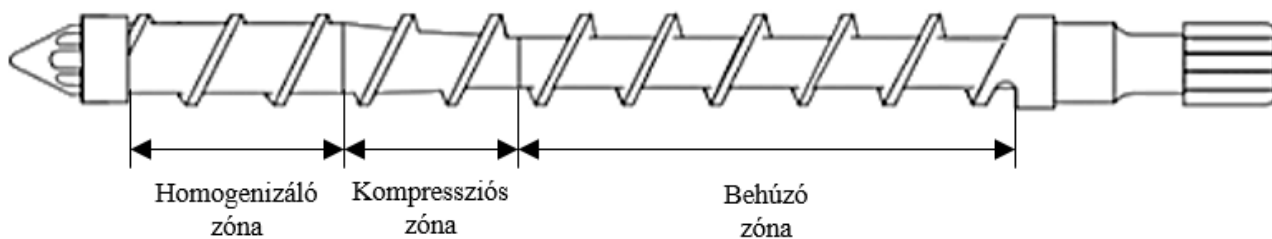
4. ábra Plasztifikáló-, és fröccsöntőegység

A **plasztifikálási folyamat célja**, hogy a szükséges adalékokkal (színezék, égésgátló, antisztatizáló stb.) együtt betáplált granulátum formájú, szilárd polimer mind anyagában, mind pedig hőmérsékletében és ezáltal folyóképességében, azaz viszkozitásában is megfelelően homogenizált (egységes) ömledék állapotba kerüljön.

A plasztifikálási folyamat a következő: Az adagoló tölcserből a szilárd alapanyag a gravitáció hatására a fröccsöntőhengerben (fűtött henger) található, ahhoz lazán illesztett menetes alkatrész az úgynevezett csiga behúzó zónájába kerül. Az anyagot a csiga mentén a fúvóka irányába a csiga forgómozgása által szállítja, miközben az anyag a szabályozhatóan fűtött hengerfallal való érintkezés, valamint a súrlódás (nyírás) hatására folyamatosan melegszik, végül megolvad. Az ömledék homogenitása (anyagban és viszkozitásában) a hengerfűtéstől, valamint a csiga geometriájától és fordulatszámától függ.

Mivel az ömledéket a rövid ciklusidő elérése miatt gyorsan és jól kell homogenizálni, ezért az egyes technológiai folyamatoknak megfelelően a csigát geometriailag általában 3 szakaszra osztják (5. ábra). A polimer granulátum útja szempontjából a csiga első szakasza az etető, vagy más néven

behúzó zóna ($\varnothing_d = \text{állandó}$), amely a szilárd granulátumot az etető tölcserből a csiga mentén, annak menetárkaiban a fúvóka felé szállítja.



5. ábra Háromzónás csiga (magprogresszív)

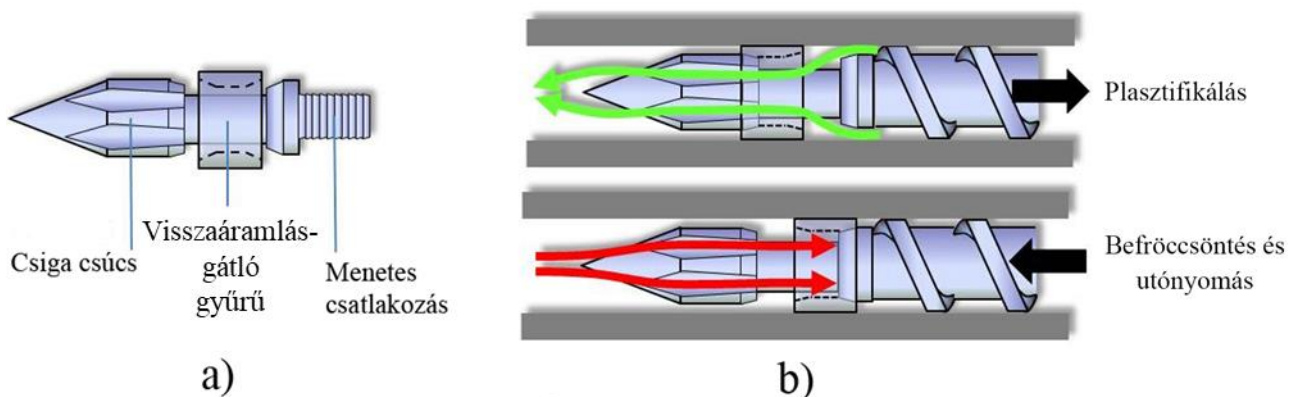
A csiga középső (növekedő átmérőjű, tehát magprogresszív) része az ömlesztő, vagy más néven **kompressziós zóna** ($\varnothing_d \rightarrow \varnothing_D$), ahol az anyag megolvad, tömörödik és légtelenedik. A kitoló, vagy más néven **homogenizáló zónában** ($\varnothing_D = \text{állandó}$) történik az ömledék homogenizálása.

A csiga forgása következtében a fúvókához érkező polimer ömledék nem kerül azonnal a szerszámba. Az anyag szerszámba juttatásának ugyanis nagy sebességgel kell történnie, hogy a polimer még ömledékállapotban töltsse ki a szerszámüreget. A plasztifikáló egység teljesítményét nem lehet úgy beállítani, hogy az a megfelelő homogenizálás mellett a kívánt sebességgel be is juttassa az ömledéket a szerszámüregbe. A plasztifikálás és a befröccsöntés között tehát az ömledéket tárolni kell. Ebből kifolyólag a csigadugattyús fröccsöntőgép csigája axiálisan elmozdítható. A csigaforgás és ezáltal a fúvóka irányába történő anyagáramlás következtében az ömledék a csigacsúcs előtti térben gyűlik. Ekkor a csiga – miközben tovább forog – a csigacsúcs előtt ébredő, egyre nagyobb mennyiségben felgyülemelő ömledék okozta **torlónyomás** hatására hátrafelé elmozdul. A csiga addig végzi a forgómozgást, és ezáltal az indukált hátramoszgást, amíg a beállított mennyiségű (térfogatú) ömledéket létre nem hozta a granulátumból. Ekkor a csiga forgása leáll, és ezzel együtt a további anyagszállítás is megszűnik.

A fröccshenger szerszám felőli végét a fúvóka (dűzni) zárja le. Ezen a fúvókán keresztül jut majd az ömledék a szerszámba, de a befröccsöntési – és a később tárgyalt utónyomási – fázison kívül máskor nem szabad anyagnak kikerülni innét. Ezért a fúvókának – a plasztifikálási folyamat alatt – zárhatónak kell lennie, amelyet úgy valósítanak meg, hogy a plasztifikálást a fröccsöntőegység elülső pozícióban végzi, aholis a szerszámban lévő, hűtés alatt álló termék maga gátolja meg a fúvókából az ömledék kiáramlását.

A **befröccsöntés** – a plasztifikáló- és fröccsegyység másik fontos feladata – a csigacsúcs előtt összegyűlt, plasztifikált és homogenizált ömledék bejuttatása a zárt szerszámba. A szerszámüreg kitöltését gyorsan kell végrehajtani, nehogy a temperált, az ömledékhőmérsékletéhez képest hidegebb

szerszámmal érintkező ömledék még idő előtt megdermedjen. Mivel az ömledéknek viszonylag nagy a viszkozitása, a gyors befroccsöntéshez nagy nyomás szükséges. Ezt az axiális mozgást és a nagy nyomás kifejtését a fröccsöntőegység hidraulikus dugattyúja biztosítja (4. ábra). Természetesen ezt a folyamatot is szabályozni kell, nehogy a szerszám, illetve az ömledék túlzott igénybevételnek legyen kitéve. A befroccsöntési fázis alatt gondoskodni kell arról is, nehogy visszafelé áramoljon az ömledék a csiga menetárkai mentén ahelyett, hogy a szerszámot töltené ki. Erre szolgál az ún. visszaáramlás-gátló, amely mindaddig megakadályozza az ömledék hátrafelé áramlását, ameddig a csigacsúcs előtt nagyobb a nyomás, mint mögötte (6. ábra).



6. ábra Gyűrűs visszaáramlás-gátló részei (a) és működési elve plasztifikálás, valamint befroccsöntés és utónyomás folyamán (b)

A nagysebességű befroccsöntést követően az ömledék a temperált szerszámüregben lehűl és eközben térfogata csökken, zsugorodik. Hogy ne kapjunk hiányos terméket, így ezt a térfogatesökkenést további ömledékadagolással még pótolni kell. Ez az ún. **utónyomás** szakasza, amikor is a csiga még lassan előre mozog, további ömledéket juttat a szerszámba, valamint nyomás alatt tartja a szerszámban lévő ömledéket mindaddig, amíg – általában a legszűkebb keresztmetszetben, a legkisebb falvastagságnál – meg nem szilárdul az anyag (lepecsételődési pont). A csigacsúcs előtt tehát a teljes folyamat alatt egy ömledék tartaléknak (úgynevezett anyagpárna) kell lennie, és ezen az anyagpárnán keresztül adódik át a csigadugattyú nyomása. Az utónyomás befejezése után a csiga forogni kezd és ezzel együtt a torlónyomás hatására axiálisan hátrafelé elmozdul mindaddig, amíg a következő befroccsöntéshez szükséges anyagmennyiség plasztifikálását el nem végzi. Közben a szerszámüregben tovább folytatódik a termék hűtése. A késztermék kellő merevség (kellően kis hőmérséklet) elérése után a szerszám kinyílik, a gyártmány eltávolítható, majd pedig egy a szerszám újbóli bezárásával egy új ciklus indul.

2.5. A polimer ömledék állapotathározói a fröccsöntés során

A *szerszámban* lejátszódó folyamatokat legjobban a polimer ömledék p , v , T állapotathározóinak függvényében érthetjük meg. A polimerek fajlagos térfogatát ($v=1/\rho$) a külső (hidrosztatikus) nyomás (p) és a hőmérséklet (T) nagymértékben befolyásolja. A polimerek fajtérfogat-változása azonos nyomáson a hőmérséklet függvényében szilárd halmazállapotban is nagyobb mértékű, mint a többi szerkezeti anyag esetében, ami a magasabb hőtágulási együtthatóban is megnyilvánul. *Spencer és Gilmore* írta le először, hogy a polimer ömledék állapotathározóit a termodinamikából ismert gáztörvényhez hasonló egyenletbe foglalhatjuk (1):

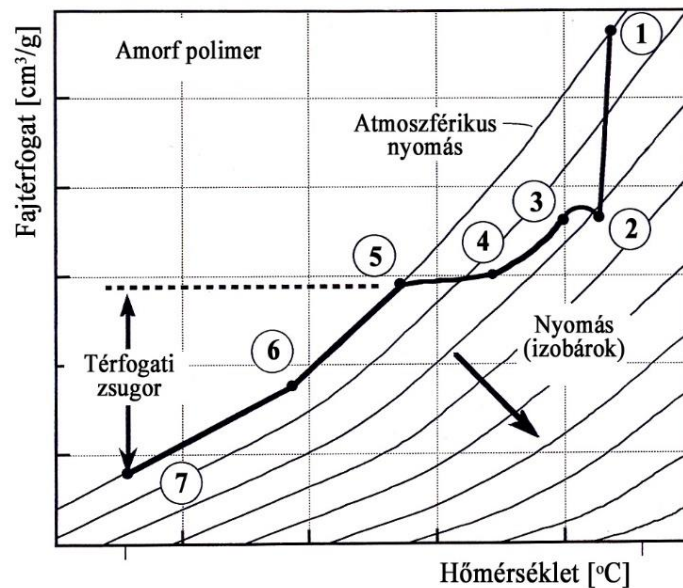
$$(p + \pi)(v - \omega) = \frac{RT}{M}, \quad (1)$$

ahol p a hidrosztatikus nyomás, v a fajtérfogat, R az egyetemes gázállandó, T az abszolút hőmérséklet, M a polimerlánc monomer-egységének móltömege, π az anyagra jellemző nyomáskorrekciós állandó és ω a makromolekula saját térfogatát figyelembe vevő korrekciós állandó. A fröccsöntés ciklusa az állapotathározók függvényében jól követhető (7. ábra).

Mielőtt megvizsgálánk a polimer ömledék állapotathározóinak változását a fröccsöntés során, tekintsük át az amorf polimerek p , v , T összefüggését. Ahogy látható, a hőmérséklet emelésével lineárisan nő a fajtérfogat a többi szerkezeti anyaghoz hasonlóan, ugyanakkor annak mértéke jóval nagyobb (nagy hőtágulási együttható). Egy adott hőmérsékletet, az üvegesedési átmeneti hőmérsékletet (T_g – Glass Transition Temperature) elérve a fajtérfogat változás lineáris jellege ugyan megmarad, de annak meredeksége nagyobb lesz, aminek a magyarázata a polimer molekulálancok mozgékonyságának növekedése T_g fölött. A hőmérséklet további növelésével már nem találunk több töréspontot a görbéken, mivel egy amorf hőre lágyuló polimer az ömledékállapot elérésével nem megy át elsőrendű fázisátalakuláson (a részben kristályos polimerekkel szemben, ahol a kristályos fázis megolvadása jelenti az elsőrendű átalakulást). Végül pedig az is szembetűnő, hogy ha nagy nyomással is, de a polimerek is összenyomhatóak és így kellően nagy nyomás hatására csökken a fajtérfogatuk. Mindezek tükrében tekintsük át, hogy a polimer nyomása, hőmérséklete és fajtérfogata hogyan alakul egy fröccsöntési ciklus során (7. ábra).

- 1-2: A polimer ömledék megtölti a szerszámuveget (befröccsöntés), miközben egyre nagyobb nyomás alá kerül,
- 2-3: Átkapcsolás utónyomásra, amely nyomásvesztéssel jár,

- **3-4:** Utónyomás, ami egészen a lepecsételődésig tart (4-es pont). Az utónyomás kezdete egyben a hűtési idő kezdete is,
- **4.:** Lepecsételődési pont. Ekkor a legszűkebb keresztmetszetben megszilárdul a polimer, így megakadályozza a további nyomásközvetítést,
- **4-5:** A termék – közel állandó fajtérfogaton (izochor) – hűl, miközben a nyomás csökken. A termék hűléséből adódó fajtérfogat csökkenést a belső nyomás kompenzálja,
- **5.:** A termék nyomása elérni az atmoszférikus nyomást, a termék mérete pontosan megegyezik a szerszámüreg méretével,
- **5-6:** A termék –állandó nyomáson (izobar) – hűl, miközben a térfogata csökken (zsugorodás),
- **6:** Szerszámnyitás, késztermék eltávolítása,
- **6-7:** A termék a szabadlevegőn tovább hűl, és ezáltal zsugorodik.



7. ábra A fröccsöntés folyamatának p-v-T diagramja amorf polimer esetében

3. A mérés során használt gépek, berendezések

ARBURG ALLROUNDER 320C 400-170 FRÖCCSÖNTŐGÉP (8. ÁBRA)

Maximális adagsúly: 88 g (PS)

Maximális záróerő: 40 t

Zárás: Direkt hidraulikus

Oszloptávolság: 320 x 320 mm

Csigaátmérő: 30 mm

Maximális fröccsöntési nyomás:
2290 bar



8. ábra ARBURG Allrounder 320C 400-170 típusú fröccsöntőgép

A segédletben szereplő, a tananyag megértését segítő videók QR-kódja:

Fröccsöntés



Plasztifikálás



3.1. A témához kapcsolódó fontosabb szavak angolul, németül

Magyar	Angol	Német
fröccsöntés	injection molding	Spritzgiessen
fröccsegység	injection unit	Plastifizier-einheit
befröccsöntés (kitöltés)	injection phase / injection	Einspritzen
beömlőcsatorna	sprue	Anguss (Zapfen, Kegel, Stange)
elosztócsatorna	runner	Verteilungskanal (Angussverteiler)
csigadugattyú	reciprocating screw	Schnecke
fröccsnyomás	injection pressure	Spritzdruck
utónyomás	holding/packing pressure	Nachdruck
szerszám	mold	Werkzeug
hűtés	cooling	Kühlung
zsugorodás	shrinkage	Sohrumpfen
vetemedés	warpage	Verziehen
anyagpárna	material cushion	Schmelzpolster
záróerő	clamping force	Schliesskraft
szerszámzáró egység	clamping unit	Schliesseinheit

4. Felhasznált irodalom

1. Czvikovszky T., Nagy P., Gaál J.: A polimertechnika alapjai, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000
2. Dunai A., Macskási L.: Műanyagok fröccsöntése, Lexica Kft., Budapest, 2003

MÉRÉSI JEGYZŐKÖNYV

Név:

Minősítés:

Neptun kód:

Dátum:

Ellenőrizte:

Gyakorlatvezető:

1. Feladat

- Az ARBURG Allrounder 320C 400-170 fröccsöntőgép beállítása a megfelelő termékminőség eléréséhez,
- A beállított gép ciklusának vizsgálata – a ciklusdiagramhoz szükséges értékek mérése (ciklusidő, szerszámzárási idő, szerszámnyitási idő, zónahőmérsékletek, stb.),
- A mért értékek alapján a ciklusdiagram megrajzolása.

2. Alapadatok, mért és számított eredmények

Zónahőmérséklet

A fűvókánál: [°C]

Középen: [°C]

A garatnál: [°C]

Alapanyag:

Sűrűség: [g/cm³]

Adagsúly: [g]

Fröccstérfogat: [cm³]

Fröccsöntési nyomás: [bar]

Befröccsöntés ideje: [s]

Csiga elmozdulás a
befröccsöntéskor: [cm³]

Utónyomás: [bar]

Utónyomás ideje: [s]

Csiga elmozdulás az
utónyomáskor: [cm³]

Szerszám
zárási idő: [s]

Szerszám
nyitási idő: [s]

Fröccsegység
zárási idő: [s]

Fröccsegység
nyitási idő: [s]

Csigaforgási idő: [s]

Maradék hűtési idő: [s]

Teljes hűtési idő: [s]

A fröccsöntés ciklusideje: [s]

3. A fröccsöntés ciklusdiagramja

Ezt az oldalt
kinyomtatva
hozza
magával!

