



E2/M2/T3

Változat: 1.02

Kiadva: 2021. január 15.

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

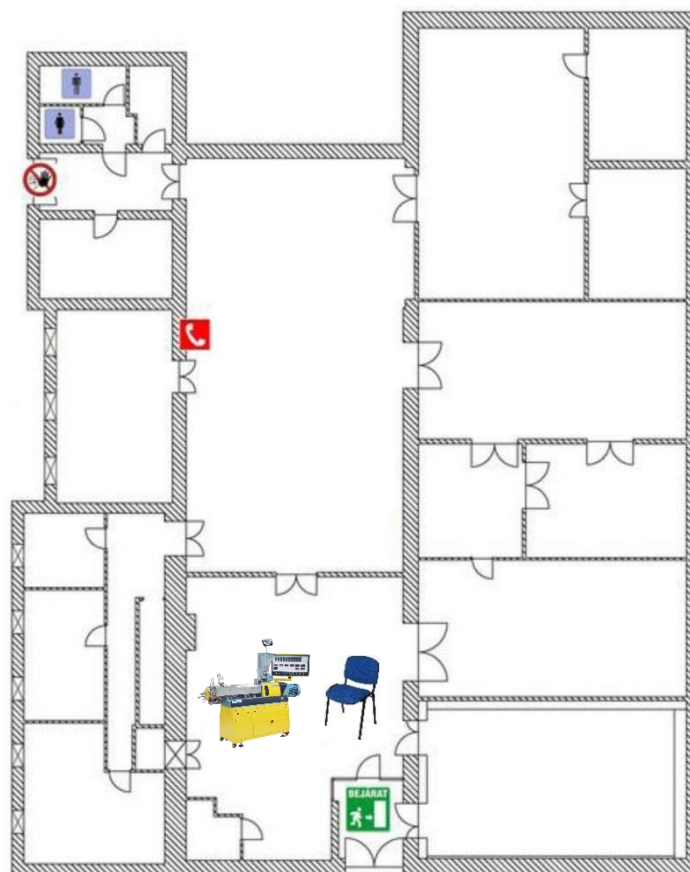
MT épület

Az extrúzió alapjai

HŐRE LÁGYULÓ POLIMEREK EXTRÚZIÓJA

**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.	BEVEZETÉS	3
2.2.	AZ EXTRUDERCSIGA SZAKASZAI	4
2.3.	AZ EXTRUDER SZÁLLÍTÓ-TELJESÍTMÉNYE	7
2.4.	EXTRUDERSZERSZÁMOK	7
3.	A MÉRÉS LEÍRÁSA, ELVÉGZENDŐ FELADATOK.....	12
4.	A MÉRÉS SORÁN HASZNÁLT GÉPEK, BERENDEZÉSEK, ESZKÖZÖK.....	12
5.	A TÉMÁHOZ KAPCSOLÓDÓ FONTOSABB SZAVAK ANGOLUL, NÉMETÜL	12
6.	FELHASZNÁLT IRODALOM	12
	MÉRÉSI JEGYZŐKÖNYV	13

1. A gyakorlat célja

Az extrúziós technológia megismertetése hőre lágyuló polimerek alkalmazása esetén. A gyakorlaton egyféle alapanyagból kiindulva **rúd alakú** előgyártmányt készítünk, illetve aprítunk (granulálunk). A gyártás során vizsgáljuk az extrudálási paraméterek változtatásának hatását az extruderből kijövő anyag tömegáramára.

2. Elméleti háttér

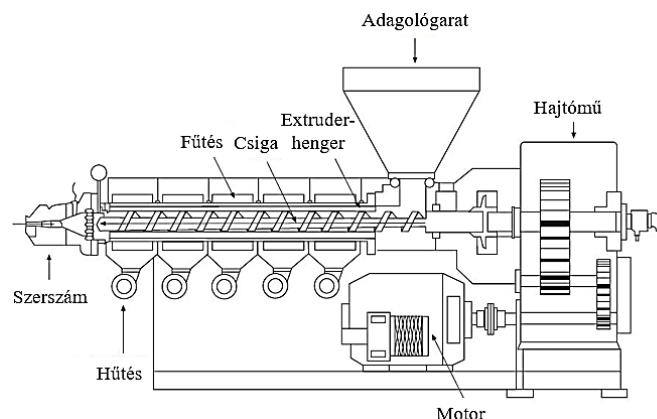
2.1. Bevezetés

Az *extrúzió* ([videó](#)) a polimerfeldolgozás egyik leghatékonyabb, legjelentősebb technológiája, amelynek során a (tipikusan hőre lágyuló) polimert az extruder

- **képlékeny** állapotba hozza, majd a viszkózus ömledéket
- **nyomás alá helyezi** (komprimálja),
- **homogenizálja**,
- adott, változatlan keresztmetszetű, nyitott **szerszámon keresztülsajtolja**, a továbbiakban a követőberendezésekkel
- méretállandóságot biztosítva **lehűti**, s így
- állandó keresztmetszetű polimer terméket gyárt tetszőleges hosszúságban, **folytonos üzemben**.

A polimerekből készülő termékek közel 40 %-a extrúziós eljárással készül. Az eljárás egyik lényeges tulajdonsága, hogy a termék 3 dimenziós kiterjedése az egyik dimenzióban végtelen, ami lehet cső, síklap, profilos hasáb, fólia, stb. A feldolgozás utolsó fázisában mindig tekercselés vagy darabolás történik. Az alapanyag por vagy granulátum formájú lehet, amelybe adalék anyagokat szoktak belekeverni. Ilyen adalékok lehetnek a hőstabilizátorok, amelyek csökkentik a degradációs hajlamot, UV stabilizátorok, amelyek a természetes fény elleni védelmet biztosítják, lágyítók, amelyek a feldolgozást segítik elő, lángállóságot biztosító adalékok, csúsztató szerek, amelyek a csigasúrlódást csökkentik, stb. Az első extrudereket az élelmiszeriparban a pékek használták tésztagyártáshoz. Könnyűipari felhasználásra 1845-ben került H. Bewley és R. A. Brooman által, azonban az első extrudert M. Gray szabadalmaztatta. Ezeket az extrudereket elsősorban a gumiiparban használták. A mai modern extruderek (1. ábra) felépítésükben nem sokban térnek el a

korai típusoktól, azonban a termoplasztikus polimerek feldolgozásához alkalmazott csiga geometriája jelentős módosításokon ment keresztül.

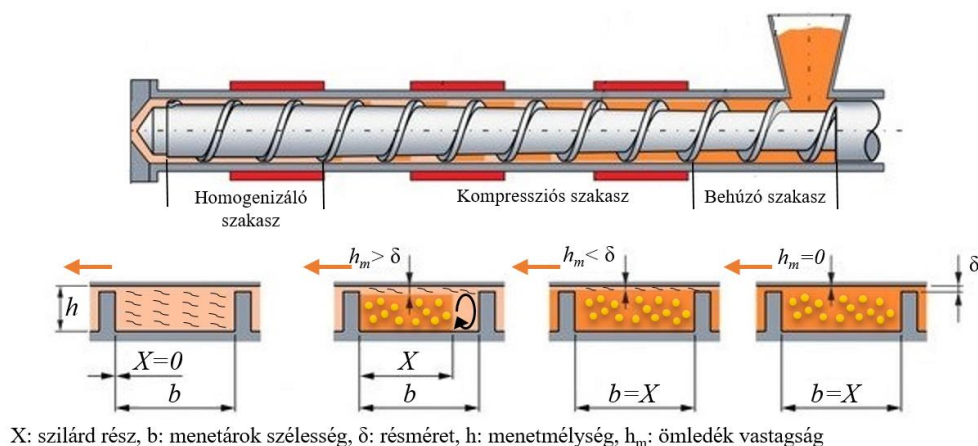


1. ábra Az extruder felépítése

A változtatás elsősorban a csiga méretét érintette. Hőre lágyuló anyagok esetén ugyanis kell egy bizonyos tartózkodási idő, hogy a polimer teljes mértékben ömledék állapotba kerüljön. A csiga méretét a hossz/átmérő, azaz l/d arányban 20 körüli értéknél találták optimálisnak. A kellő hőmennyiséget fűtőbetétekkel biztosítják a hengerfal körül. A fűtéssel párhuzamosan hűtésről is gondoskodni kell a kis hőingadozás (feldolgozáshoz optimális hőmérséklet) biztosításához. Az extrúziónál alkalmazott hőmérséklet alacsonyabb, mint a fröccsöntésnél, ezt a hosszabb tartózkodási idő, és a további feldolgozhatósághoz szükséges magasabb ömledék-viszkozitás magyarázza.

2.2. Az extrudercsiga szakaszai

Az extrudercsiga alapvetően három szakaszra bontható: behúzó, kompressziós, valamint a homogenizáló vagy kitoló szakasz. Különleges igények esetén további szakaszok is elképzelhetők (pl.: gáztalanító szakasz).

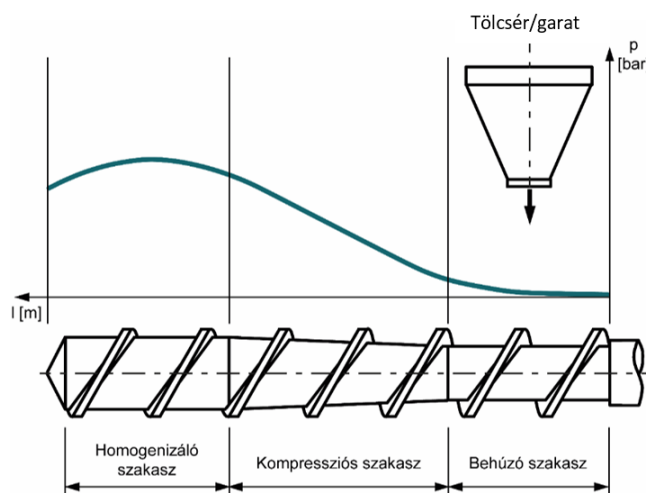


2. ábra A megömlesztés folyamata egycsiga extrúzió esetén

A **behúzó szakasz** feladata a szilárd anyag szállítása a kompressziós szakasz felé. Egycsigás extruderek esetén ennek alapvető feltétele, hogy a csiga és polimer között kisebb legyen a súrlódás, mint a henger és a polimer között. A nagyobb homogenitás biztosítása érdekében kifejlesztett ún. kétszigás extruderek esetén – amennyiben a csigák menetszárnyai egymás menetárákba nyúlnak (egymásba hatolóak), forgásirányuk menetenként ellentétes (szemben forgó) – zárt térfogatban továbbítják az anyagot, azaz kényszer szállítást végeznek. Amennyiben a csigák forgásiránya azonos (együtt forgó), nem alakul ki menetenként zárt térfogat, ám a szállítóteljesítmény így is megfelelő.

A **kompressziós szakasz** kettős funkcióval bír. Az egyik az anyagnak a megömlesztése (2. ábra), a másik a megfelelő nyomás biztosítása az anyag extruderszáron történő átsajtolásához. A megömlés folyamata a melegebb hengerfallal érintkező anyagrészecskékkel kezdődik, majd a nyomás és a csigaforgás következtében a csiga menetárákban cirkulációs áramlás jön létre, amely gyorsítja a polimer megömlesztését.

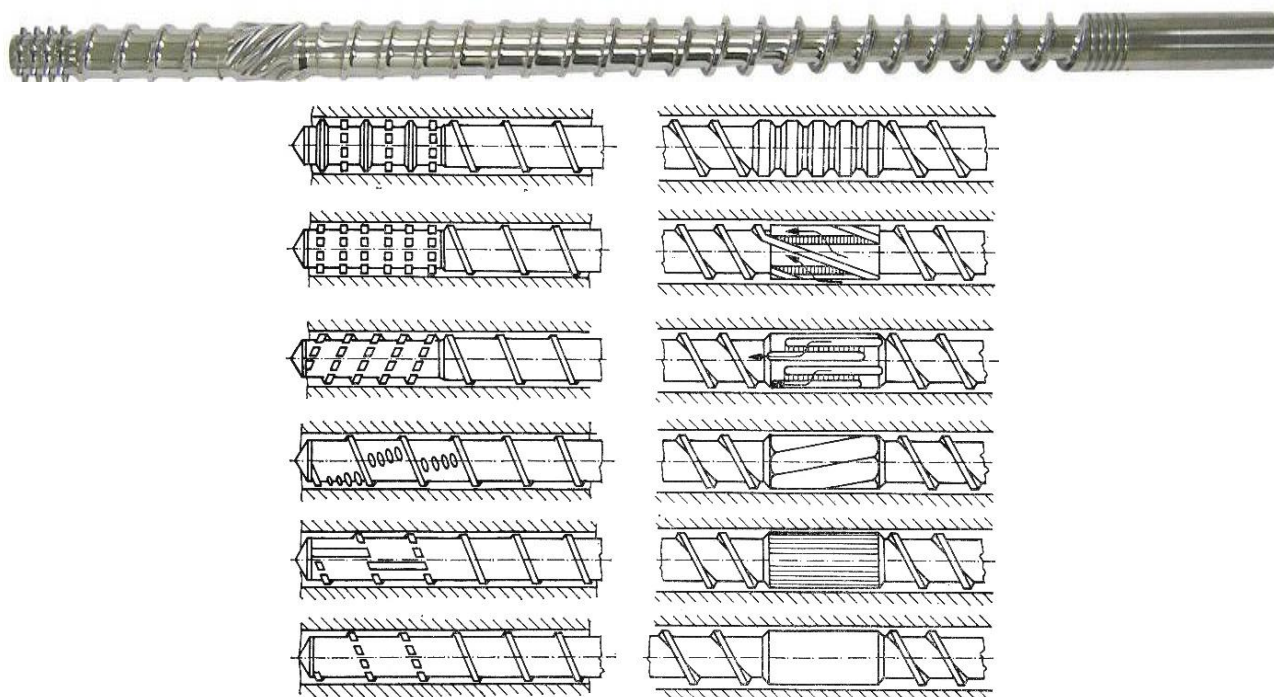
A kompressziós zóna másik feladatát, a nyomás növelését alapvetően kétféle módon érik el. Az egyik eset, amikor a csiga magátmérőjét növelik (magprogresszív), a másik eset, amikor a menetemelkedést csökkentik (szögdegresszív). Egy harmadik, ám nem elterjedt megoldás, amikor a menetszárny szélességét növelik meg. Az extrudálás esetén, hogy milyen mértékben tudjuk a kompressziót biztosítani az adott extruder csiga alkalmazásával, a kompressziós aránnyal szemszerüstített érték adja meg. Ennek értéke függ a feldolgozandó alapanyagtól és jellemzően 1,75:1 - 3,0:1 közötti érték. Az így létrejövő nyomás nagyságrendileg 30-100 bar, a nyomáseloszlás (3. ábra) a csigakialakítástól nagyban függ.



3. ábra A nyomás változása egycsigás extruderben, az extrudercsiga szakaszainak figyelembevételével

Az így létrehozott nyomás nemcsak az anyag szerszámon történő átsajtoláshoz szükséges, de legtöbb esetben ez biztosítja az anyagrészecskék között lévő levegő eltávolítását is. Amennyiben a feldolgozástechnológia szempontjából ez nem elég, akkor külön erre a célra kifejlesztett, úgynevezett gáztalanító extruder alkalmazása javasolt.

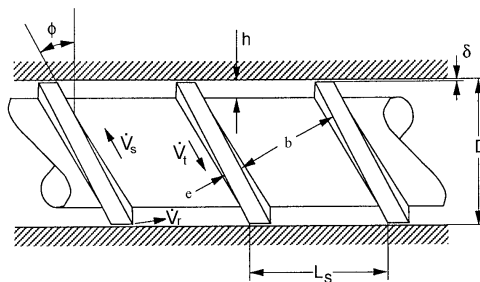
A harmadik szakasz az ún. **homogenizáló, vagy kitoló** szakasz. Homogenizálásra nemcsak akkor van szükség, ha valamilyen adalékanyagot, vagy erősítő anyagot keverünk el a polimer anyagban, hanem akkor is, ha „tisztá” polimert extrudálunk. Ennek az oka, hogy a megömlesztés után a hőmérséklet az anyag hengerrel érintkező felületének (ahol a hőátadás történik) közelében nagyobb, attól távolabb kisebb. Ha ezt a problémát nem küszöböljük ki, az a termék minőségét ronthatja. Ilyen keverőelemek nemcsak a csiga végén, hanem attól távolabb a homogenizáló szakaszban is előfordulhatnak (4. ábra).



4. ábra Keverő- és nyíróelemek az extrudercsigán

2.3. Az extruder szállító-teljesítménye

Az extrudercsiga főbb méretei, illetve a benne kialakuló áramlási komponenseket az 5. ábra szemlélteti.



5. ábra Az extrudercsiga főbb méretei

Az extruder szállító-teljesítménye a térfogatárammal kifejezve a következő:

$$\dot{V}_e = \dot{V}_s - \dot{V}_t - \dot{V}_r \quad (1)$$

Ahol $\dot{V}_e$ az összes (eredő) térfogatáram (m^3/s), $\dot{V}_s$ a sodróáram, amely a szállítást végzi, és a csigaforgásból adódik, $\dot{V}_t$ a torlóáram, amely a sodróárammal ellentétes irányú és a fojtásból ered, ami a szerszámon való átsajtolásból következik. $\dot{V}_r$ a résáram, ami az illesztési hézagból ered, és csökkenti a szállítóteljesítményt.

Az extrudercsiga és a henger közötti rés, a „játék” eléggé csekély: tipikusan $0,002 D$ és $0,005 D$ közötti, amelyet a viszkózus polimer ömledék tömít, illetve ken a forgás közben. Ezért első közelítésben a résáramot el is hanyagolhatjuk. A másik két összetevőt a legegyszerűbb egyirányú áramláson keresztül elemezzük izotermikus körülményeket és newtoni közeget feltételezve.

2.4. Extruderszerszámok

Az extrudercsiga végső pontja után kialakuló, a legtöbbször kör-keresztmetszetű polimer anyagáramot elvileg bármilyen szabályos vagy szabálytalan keresztmetszetű anyagárammá alakíthatjuk, majd lehűtése után féltermékké, szerkezeti elemként szolgáló csővé, lemezzé, profilá stb. dolgozhatjuk fel. A polimerek viszkoelasztikus karaktere azonban, és különösképpen azok a „szabálytalan” áramlási jelenségek (például a kifolyási duzzadás) korlátozzák a profilkialakítás szabadságát. A lehűtésekor az extrudált termékbe, profilokba befagyott feszültségek ugyanis később, a tartós igénybevétel során helyileg eltérő relaxációs jelenségeket, méretváltozást, torzulást,

feszültségi repedezést, korai tönkremenetelt okozhatnak. Ezek jó része az extruderszerszám tervezése során elkerülhető. Célszerű tehát áttekintenünk a polimer extrúzió szerszámainak bevált alaptípusait.

Az extruder végére illesztett szerszámok közös vonása, hogy az anyagáramot a következő szakaszokon átvezetik:

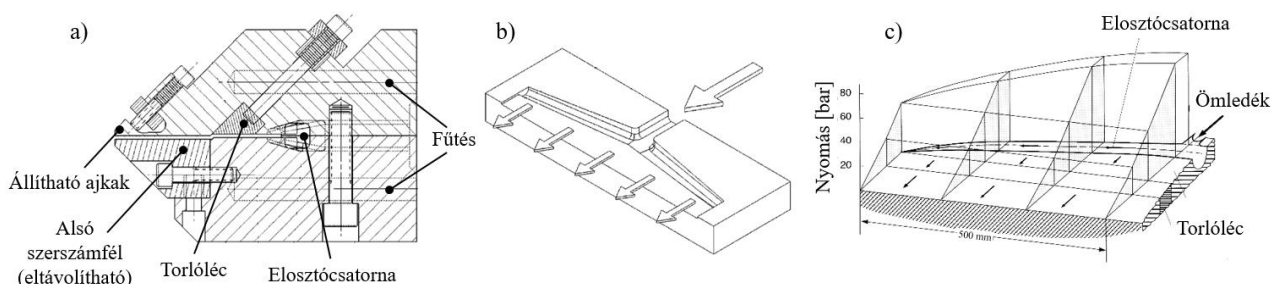
- - **átmeneti szakasz**
- - **alakadó szakasz**
- - **simító („vasaló”) szakasz**

Az átmeneti szakasz a kör-keresztmetszetű viszkózus anyagáram átvezetését biztosítja. Az alakadó szakasz már a kívánt adott keresztmetszet képét alakítja ki. Ezt a keresztmetszetet a következő szakaszban valamelyest még szűkíteni érdemes: a profilt ebben a szakaszban stabilizálják: a helyi nyomás enyhe növelésével még „kivasalják”.

A szerszámból kilépő polimer anyagáram még nem szilárd. A végső megszilárdulás az extrudert követő *kalibráló* egységben következik be, amelyben a kívánt méretpontosságot biztosítjuk.

A lemezgyártás szerszáma (videó)

Lemeznek a műanyagiparban a 0,5 mm-nél (sőt: a leggyakrabban 1 mm-nél) vastagabb síklapot nevezik. A vékonyabb termék, a néhány tized mm vastag, vagy annál is vékonyabb fólia ugyanis alkalmazástechnikájában eléggé elkülönül, és jellemzően azokat fóliafúvással állítják elő. A síkfólia/lemez elsősorban tekercsben forgalmazott termék esetlegesen melegalakításra szánt előgyártmány. Tipikus gyártószerszám, az úgynevezett szélesrésű szerszám a következő ábrán (6./a ábra) látható.



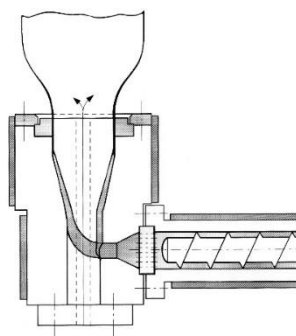
6. ábra Szélesrésű szerszám (a), vállfa alakú elosztócsatorna (b) és nyomáeloszlás a szerszámban (c)

Az alapvető feladatot az jelenti, hogy egy kör-keresztmetszetű anyagáramot kell egyenletesen, síkban szétteríteni, akár 2000 mm-nél is szélesebb 15 mm-nél is vastagabb lemezzé. Az ömledék először egy „vállfa” alakú **elosztócsatornába** (6./b ábra) jut, majd az egyenletes anyagáram megvalósításában kulcsszerepet játszó **torlóléc** útjába kerül, amely az anyag egyenletes elosztásán túl, megtörve az anyagáramot, homogenizálást is végez. Az anyagáram egy **állítható ajakon**

keresztül hagyja el a szerszámot, amely még egyenletesebbé teszi a termék vastagságát. A fellépő nyomásviszonyokat a 6./c ábra mutatja be. Az ilyen módon előállított lemezt egy hengerson vezetik keresztül, amely a végső lemezvastagság, a felületi érdesség beállítását, valamint az anyag hűtését végzi.

A fóliafűvás szerszáma [\(videó\)](#)

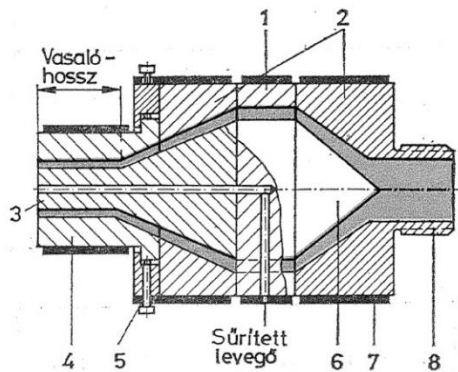
A csomagolástechnika lehetővé teszi a tasakjaitól a mezőgazdasági hajtatóházak 0,2 mm vastag és akár 16 m szélességű agrofóliáig a vékony PE filmek nagy része tömlő extrúzió technikájával készül. A tömlőfűvás (fóliafűvással) technológiájának elve jól hasznosítja a polimerek viszkoelasztikus állapotban megfigyelhető jelentős nyújthatóságát és az ezzel együtt megjelenő szilárdságnövekedést. A tömlőfűvás technológiáját kifejezetten az LDPE típusokra optimálták, de hasonló módszerrel fel lehet dolgozni HDPE-t, LLDPE-t. Az extrúzió során az anyagáramot egy ún. pinolén típusú szerszámra vezetik rá, ahol ezt 90°-ban elforgatják és cső alakú előgyártmányt állítanak elő, majd belső túlnyomás alkalmazásával ballont képeznek és az így gyártott polimer ballont hajtogatják, tekercselik (7. ábra).



7. ábra Fóliatömlő extrúziója

A csőgyártás szerszáma [\(videó\)](#)

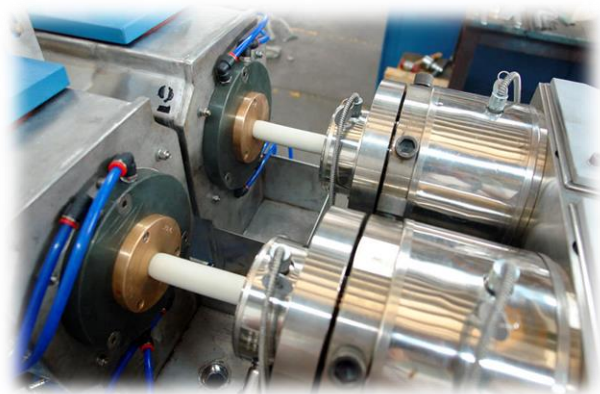
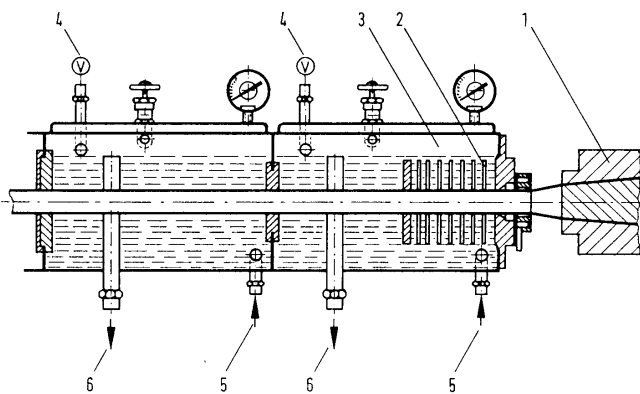
A szintetikus polimerek építőipari, épületgépészeti alkalmazásai között a legfontosabb a műanyag-csőgyártás. A csőszerszám egy példája látható a következő ábrán (8. ábra). Az ömledékáram egy körszimmetrikus magot (torpedó) kerül meg, majd a végső méretre szűkítve hagyja el a szerszámot.



8. ábra Csőgyártó-szerszám

1, magtartó; 2, szerszámház; 3, mag; 4, csőszerszám; 5 központosító; 6, kúp;
7, fűtőszalag; 8, menetes csatlakozó az extruderhez

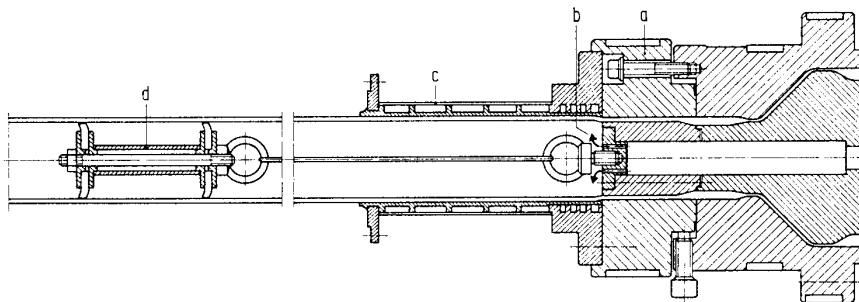
Ezután következik a cső kalibrálása, amely rendszerint vákuum, vagy túlnyomásos levegővel történő kalibrálás lehet. A vákuumkalibrálás vízzel hűtött kalibrálószerkezettel történik (9. ábra). Az extruder szerszámból kilépő cső, gumitömítéssel keresztül belép egy csökkentett nyomású tartályba, ahol vízfürdőbe merülve egyre szűkebb belső átmérőjű kalibráló lemezek között hűl le. A vákuumkalibrálás a cső külső méretét rögzíti a kívánt pontosságban.



9. ábra A cső külső méretének kalibrálása vákuumkalibrálóval

1, csőszerszám; 2, kalibráló lemezek; 3, vákuumkalibráló
; 4, vákuumszivattyú; 5, víz bevezetés; 6 túlfolyó

A kalibrálás másik lehetősége, ha túlnyomást hozunk létre a még képlékeny csőben, és azt a külső kalibráló falához szorítjuk (10. ábra). A sűrített levegő bevezetése a szerszám felől történik (8. ábra). A vontatott dugó feladata, hogy megtartsa a csőben a nyomást. Ha a cső belső méretét kell kalibrálni, akkor a csövet egy hosszabb, hűtött vontatott dugón húzzák át.

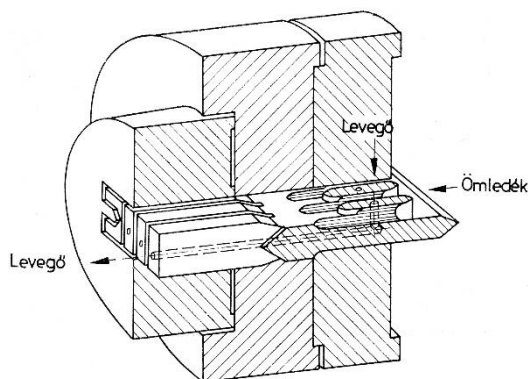


10. ábra A cső külső méretének kalibrálása belső túlnyomással

a, a csőszerszám kilépő része; b, sűrített levegő bevezetés; c, hűtött kalibráló szerszám; d, vonszolt dugó
Profilszerszámok ([videó](#))

Az extrúzió technikája sokféle bonyolult alakú, többszörösen üreges profilok gyártását is lehetővé teszi. A kPVC-ből készült mérettartó és viharálló ablakprofil jó mechanikai „tartását”, merevségét és hőszigetelő képességét többszörösen összetett üreges (szekrényes) szerkezetének köszönheti.

A szerszámkonstruktor előtt álló feladat hasonló, mint a csőszerszámnál vagy a tömlőszerszámnál: az alapanyag ömledékáramát meg kell osztani, hogy körbejárhassa a szerszám magjait, majd újra egyesülve kialakítsa a profilokat (11. ábra).



11. ábra Egy profilszerszám metszete

Ebben az esetben a kalibrációt rendszerint vákuummal végzik, a belső nyomással történő kalibráció nem megvalósítható, hiszen ahhoz több, akár igen bonyolult formájú vonszolt dugót kellene alkalmazni.

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

Extrúzió



Csőgyártás



Profilgyártás



Fóliafűvés



Lemezgyártás



3. A mérés leírása, elvégzendő feladatok

A mérés menete:

- Az extruder indítása
- Az adott paraméterek változtatása mellett az anyag tömegáramának meghatározása.
- Kiértékelés

4. A mérés során használt gépek, berendezések, eszközök

- Labtech scientific 25-30C egycsigás extruder
 - Henger hossza: 30 L/D
 - Maximális extrúziós hőmérséklet 300°C
 - Csigá maximális fordulatszáma: 300 1/perc
 - Csigáátmérő: 25 mm
- Szállítószalag
- Mérleg

5. A témához kapcsolódó fontosabb szavak angolul, németül

Magyar	Angol	Német
csiga	screw	e Schnecke
deformáció komponens	deformation component	e Deformation komponente
extrúzió	extrusion	e Extrusion
fólia	foil	e Folie
viszkózitási tényező	coefficient of viscosity	r Viskositätsfaktor
szerszám	die	s Werkzeug / e Form
ömladék	melt	r Schmelz

6. Felhasznált irodalom

Czvikovszky T., Nagy P., Gaál J.: A polimertechnika alapjai, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000

Schwarz O., Ebeling F. W., Lüpke G., Schelter W.: Műanyagfeldolgozás, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1987.

MÉRÉSI JEGYZŐKÖNYV

Név:

Minősítés:

Neptun kód:

Dátum:

Ellenőrizte:

Gyakorlatvezető:

1. Feladat

Az extruder kihozatalának meghatározása, különböző extrudálási paraméterek mellett.

2. Alapadatok, mért és számított eredmények

A vizsgált anyag típusa:

Fordulatszám [1/perc]						
Feldolgozási hőmérséklet [°C]						
Mért tömeg [g]						
Mérési idő [s]						
Kihozatal [g/perc]						

3. A mért eredmények ábrázolása

