



A4/T4

Változat: 4.72

Kiadva: 2021. február 28.

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

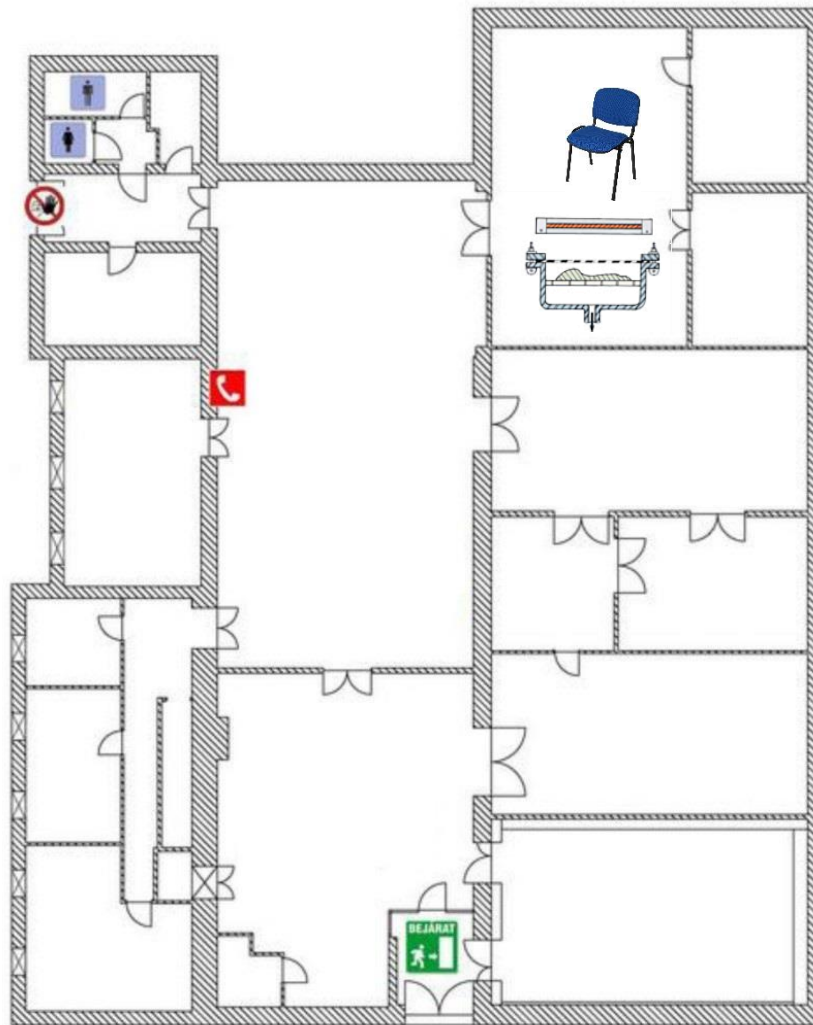
MT épület

Melegalakítás

HŐRE LÁGYULÓ POLIMEREK MELEGALAKÍTÁSA

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

A LABORGYAKORLAT HELYSZÍNE AZ MT ÉPÜLET



MT
épület

TARTALOMJEGYZÉK

1. A LABORGYAKORLAT CÉLJA	3
2. ELMÉLETI HÁTTÉR	3
2.1. <i>A melegalakítási technológiák anyagai</i>	3
2.2. <i>A vákuumformázás technológiája</i>	5
2.3. <i>Egyéb melegalakítási eljárások</i>	8
2.4. <i>Gyakorlati felhasználás</i>	9
3. A MÉRÉS LEÍRÁSA, ELVÉGZENDŐ FELADATOK	10
4. A MÉRÉS SORÁN HASZNÁLT GÉPEK, BERENDEZÉSEK, ESZKÖZÖK	10
5. A TÉMÁHOZ KAPCSOLÓDÓ FONTOSABB SZAVAK ANGOLUL, NÉMETÜL	10
6. AJÁNLOTT IRODALOM	11
MÉRÉSI JEGYZŐKÖNYV	12

1. A laborgyakorlat célja

Hőre lágyuló műanyagok vákuumformázási technológiájának megismerése, a vákuumformázó gép működésének tanulmányozása, illetve pozitív vákuumformázással előállított termék falvastagság különbségének meghatározása.

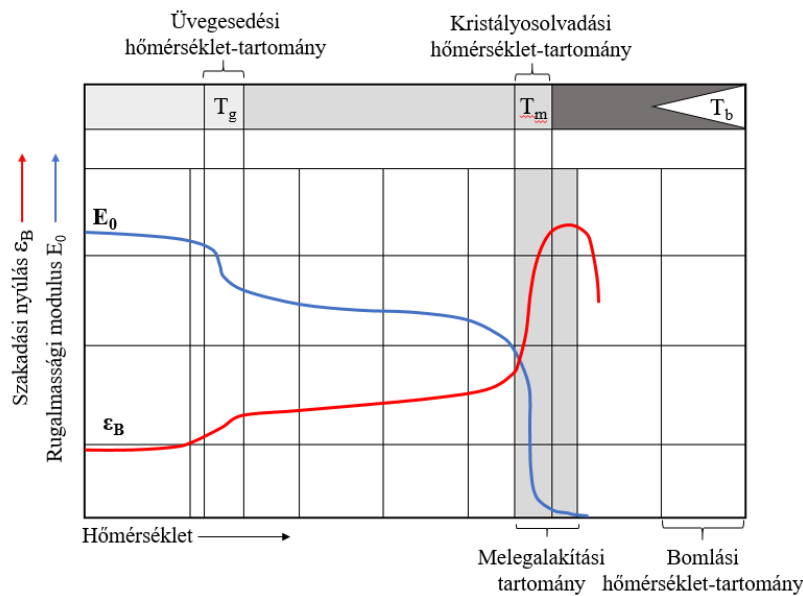
2. Elméleti háttér

2.1. A melegalakítási technológiák anyagai

Melegalakítás alatt az alakítható állapotban (melegalakítási hőmérséklet tartományban) lévő hőre lágyuló műanyag félkész termékek (előgyártmányok, többnyire lemezek, fóliák) kis erővel történő alakítását értjük. A folyamat lényege a következő: A műanyag lemezt – általában sugárzó hővel – a kívánt hőmérsékletre előmelegítjük, „kilágyítjuk” (*alakítható állapotba hozás*), majd ezt a lágy anyagot viszonylag kis erővel a hideg (temperált) szerszámba (szerszámra) préseljük, vagy szívjuk (alakadás). A szerszámban (szerszámon) az anyag lehül (*alakrögztetés*), és a termék eltávolítható.

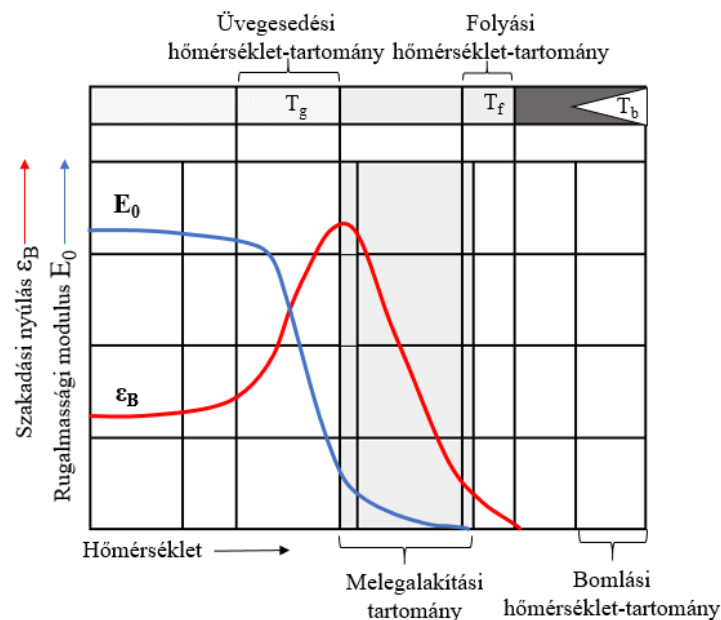
A módszer legnagyobb előnye abban rejlik, hogy az alakítható állapotban lévő, lágy műanyag kis erővel, nagymértékben alakítható. Ebből következik, hogy a szerszám anyagköltsége alacsony (kis szilárdságú – merevségű anyagból is előállítható, pl. fa, gipsz, alumínium műanyag (3D nyomtatott szerszámok)), ami még kis sorozatok esetén is gazdaságos gyártást biztosít. Hátrányként meg kell említeni a magasabb alapanyagköltséget, hisz a granulátumból valamilyen más technológiával elő kell állítani az alakítandó lemezt, ill. azt, hogy többnyire csak olyan vékonyfalú, nem túl bonyolult, alámetszés nélküli 3D-s termékek gyárthatók vele, amelyek esetenként jelentős anizotrópiával rendelkeznek.

Amint az a 1. ábrán is látszik, a részben kristályos szerkezetű termoplasztok csak a meglehetősen szűk kristályolvadási hőmérséklettartományban alakíthatóak. Ezen hőmérséklet felett az anyag megömlik, alatta pedig a kristályos fázis gátolja az alakíthatóságot. Melegalakításra a termoplasztikus műanyagok közül az amorf szerkezetűek az alkalmasabbak, mivel ezeknél az anyagoknál szélesebb a melegalakíthatósági hőmérséklet-tartomány. Az 1. táblázat néhány polimer melegalakítási hőmérséklettartományát tartalmazza.



1. ábra Részben kristályos hőre lágyuló műanyagok termomechanikai görbéjének jellege

Amorf hőre lágyuló anyagoknál a legnagyobb alakíthatóságot a termomechanikai görbe (2. ábra) nyúlásmaximumánál lehet létrehozni, de ilyenkor a gyártmányban nagy belső feszültségek maradnak, és a relaxációs hajlam is számottevő. Magasabb hőmérsékleten, a nyúlásgörbe leszálló ágán kisebb ugyan az alakíthatóság, de jobb az alaktartósság és kisebb a relaxációs hajlam.



2. ábra Amorf szerkezetű, hőre lágyuló műanyagok termomechanikai görbéjének jellege

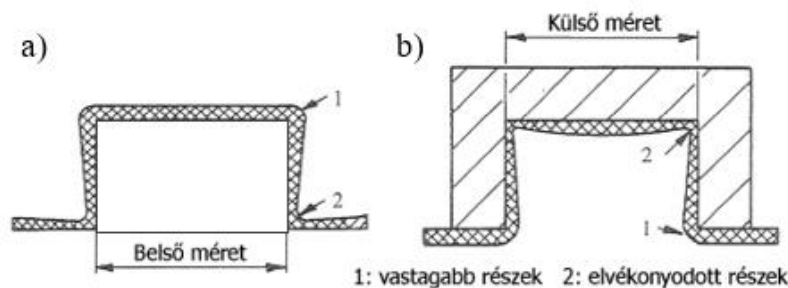
Részben kristályos polimerek	Melegalakítási hőmérséklet-tartomány [°C]	Amorf polimerek	Melegalakítási hőmérséklet-tartomány [°C]
LDPE	112...117	ABS	100...150
HDPE	130...135	PC	150...210
PP	160...164	PVC	90.....150
POM	164...167	PMMA	130...170
PA6	205...210	PS	95.....135

1. táblázat Néhány polimer jellemző melegalakítási hőmérséklettartománya

Attól függően, hogy a kilágyított lemezt túlnyomással, vákuummal, merev szerszámmal vagy ezek kombinációival alakítjuk, nagyon sokféle melegalakítási eljárás ismeretes. Tekintettel arra, hogy a legelterjedtebb a vákuumformázás, ezt részletesebben ismertetjük.

2.2. A vákuumformázás technológiája [\(videó\)](#)

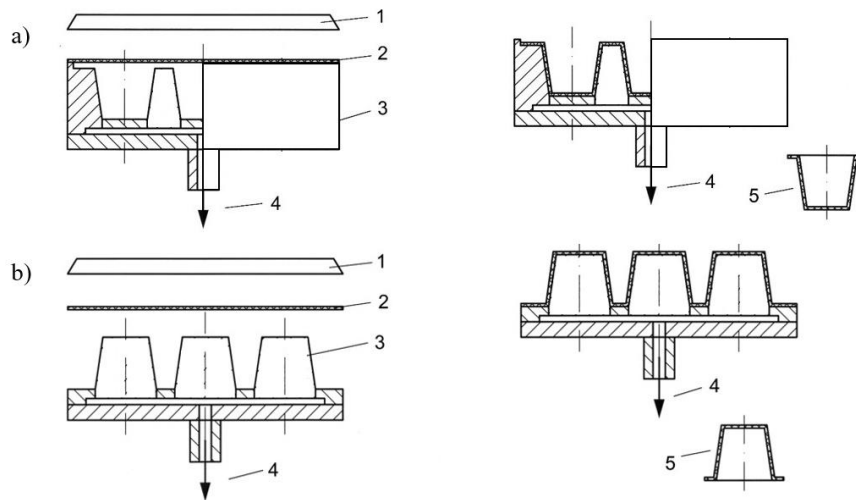
Vákuumformázással általában nagyméretű, vékonyfalú termékeket állítanak elő. Alapelve szerint a formázandó meleg lemez és a szerszám között vákuumot létesítenek, és ez a max. 1 bar (0,1 MPa) nyomáskülönbség alakítja a lágy polimert. A szerszámkialakítástól függően negatív és pozitív vákuumformázást különböztetünk meg, amit a 3. ábra mutat be [\(videó\)](#).



3. ábra A negatív és a pozitív vákuumformázási eljárások összehasonlítása, a., pozitív b., negatív
Egy-egy termék elvileg mindkét szerszámmal előállítható, hogy mégis mikor melyiket alkalmazzák, annak eldöntésére ismertetünk néhány szempontot:

- A terméknek mindig a szerszámmal érintkező felülete a pontosabb, így a pozitív szerszámmal gyártottak a belső, a negatívval előállítottak pedig a külső mérete.
- Pozitív szerszámra a termék rázsugorodik, eltávolítása problémás, míg negatív szerszámból kizugszorodik, tehát könnyen eltávolítható.
- A pozitív szerszám előállítása egyszerűbb, mivel a külső felületeket kell megmunkálni, így a szerszám olcsóbb.

A negatív vákuumformázás folyamata a 4/a ábrán, a pozitív vákuumformázás folyamata a 4/b ábrán látható.



4. ábra A negatív vákuumformázási eljárások folyamata, (a) és a pozitív vákuumformázási eljárások folyamata (b), 1 - fűtőelemek, 2 - fólia, 3 - szerszám, 4 - vákuum, 5 – végtermék

A vákuumformázási technológiák néhány sajátossága:

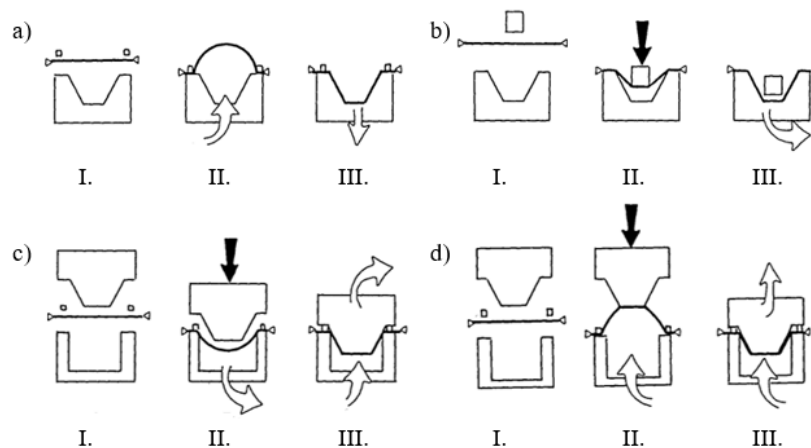
a) *Melegítés.* Az előgyártmány megfelelő hőmérsékletre történő melegítése történhet az alakító gépen, melegítő kemencében vagy kontakt fűtőlemezek segítségével. Vákuumformázás esetén ez többnyire a gépen, infravörös hőszugárzókkal történik, mivel a nagyméretű, meleg, lágy lemez mozgatása problematikus. Sőt, azokat a polimereket, amelyeknek a melegalakítás hőmérsékletén minimális a szilárdságuk (PE, PP), célszerű a melegítés alatt a formázógépen légpárnával alátámasztani.

Tekintettel arra, hogy a műanyagok rossz hővezetők, a felmelegítést csak viszonylag lassan lehet elvégezni. A túlzottan gyors melegítés a felületen károsodást (elszíneződést, hólyagképződést) okozhat, míg a lemez belseje még „hideg”. Vastagabb lemezek, igen jó hőszigetelő képességű habfóliák alakítására ajánlatos a kétoldali (alsó-felső) fűtés alkalmazása. Ezzel elkerülhető a jelentős hőmérsékletkülönbség a lemez két oldalán.

Az alakítandó lemez hőmérsékletének a felület minden pontján azonosnak kell lennie, ellenkező esetben egyenlőtlen lesz a hűléskor fellépő zsugorodás, aminek következtében jelentős vetemedések, elhúzódások jönnek létre. A lemez homogén hőmérséklet-eloszlását az infravörös hőszugárzók különböző (középen kisebb, a szélső zónában nagyobb) teljesítményre állításával lehet biztosítani.

b) *Előnyújtás (videó).* A melegalakítási technológia lényegéből következik, hogy a vákuum bekapcsolása után a lágy lemez folyamatosan fekszik be a szerszámüregbe, vagy feszül rá a

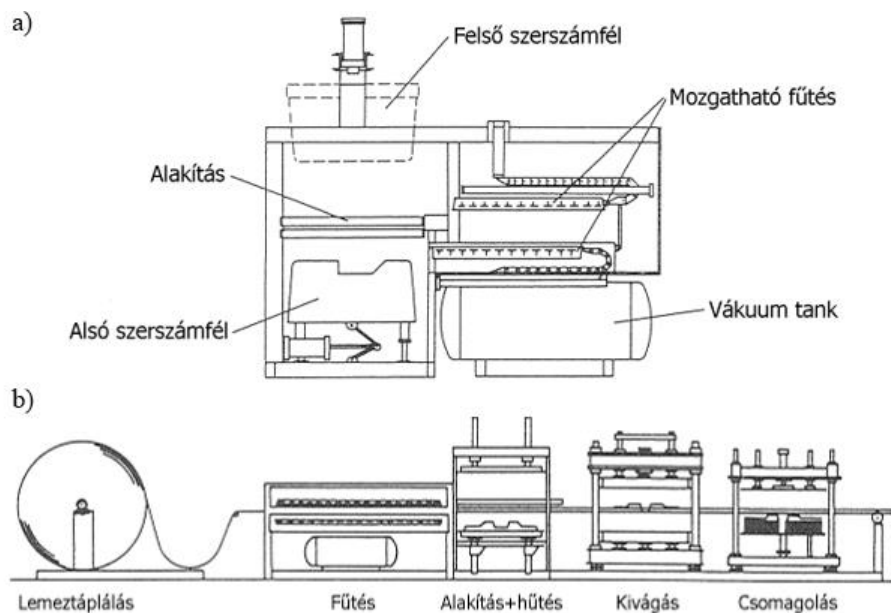
pozitív szerszámra. Tekintettel arra, hogy a hideg (temperált) szerszámrésszel érintkező anyag a továbbiak során már nem nyúlik, az ilyen egyszerű esetekben jelentős falvastagság különbségek lépnek fel. Ennek csökkentésére, esetleg elkerülésére különböző előnyújtási módszereket dolgoztak ki (5. ábra). Előnyújtás esetén nagyon fontos, hogy az alakítandó lemezeknek egyenletes vastagságúak legyenek. Az előfűvés fázisában ugyanis belső túlnyomással nyújtjuk a lemezt. Ha ennek falvastagsága nem egyenletes, a nyomás egyenletes terjedéséből következően a vékonyabb részben jobban nyúlik, extrém esetben kilyukad.



5. ábra Különböző előnyújtási lehetőségek

A vákuumformázás szakaszos technológia, azonban az előgyártmány (lemez) adagolása, a melegítés, a termékeltávolítás folytonossága alapján megkülönböztetünk szakaszos (6./a ábra) és folyamatos (6./b ábra) vákuumformázási technológiákat. Szakaszos üzemű berendezéseket többnyire kísérleti gyártásra vagy nagyobb kiterjedésű termékek előállítására alkalmazzák, amíg a folyamatos üzeműeket kisebb termékek nagysorozatban történő előállítására alkalmazzák.

Folyamatos vákuumformázás (6./b ábra) esetén a lemezadagolás történhet lemezt gyártó extruderről közvetlenül, vagy lemeztekercsről. A beadagolt lemezt fűtőegység keresztülvezetve kilágyítják, így juttatják a formázógépbe, ahol megtörténik az alakadás és a hűtés. A kihűlt munkadarabot alakra vágják és csomagolják.



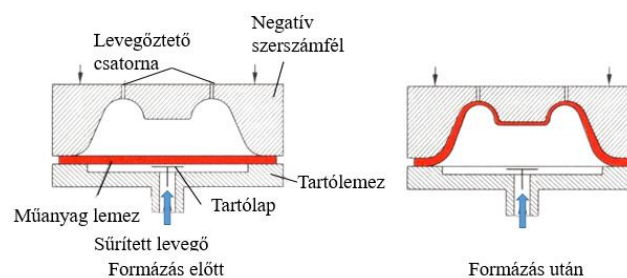
6. ábra Szakaszos vákuumformázás (a), és folyamatos vákuumformázás (b)

2.3. Egyéb melegalakítási eljárások

Túlnyomásos formázás

A túlnyomásos (vagy préslég-) formázás elvét az 7. ábra szemlélteti. Elve megegyezik a vákuumformázással, azaz az alakítandó lemez egyik oldalán túlnyomást alakítunk ki, és ezzel kényszerítjük azt pl. a negatív szerszámba. A különbség az, hogy a túlnyomás nagyobb lehet 1 bar (0,1 MPa)-nál, ezáltal nagyobb alakító erőket lehet megvalósítani.

Az eljárás során az anyag felmelegítése és a légtömör zárás megvalósítása jelent nehézséget, hisz a lemezt melegítő infravörös hőszugárzó és a légtömör zárást is biztosító alakadó szerszám is az alakítandó lemez felett kell, hogy elhelyezkedjék. Mivel mindkettő nem lehet egyszerre ott, ezért a melegítő testet (kocsit) a felmelegítés után el kell onnan távolítani, ezután a szerszámot a lágy lemez fölé (lemezre) vezetni, létrehozni a légtömör zárást, és csak ezután hozható létre az alakadáshoz szükséges túlnyomás. Természetesen lehet a lemezt is mozgatni, a problémát azonban ez sem oldja meg.



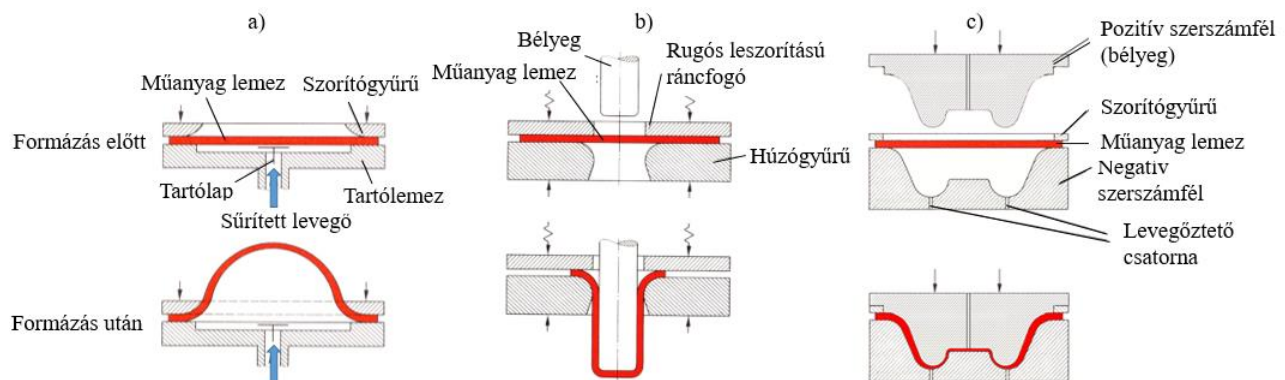
7. ábra A túlnyomásos formázás elve

Mélyhúzás

A húzóformázások során a felmelegített lemez leszorítására rugózó keretet (ráncfogót) használnak, aminek következtében alakításkor a lemez szélei el tudnak csúszni, ezáltal egyenletesebb falvastagságú termékeket lehet előállítani. A mélyhúzást sűrített levegővel vagy nyújtóbéllyeggel végezhetik. A sűrített levegős mélyhúzásnál (8./a ábra) a körben leszorított, kilagyított lemez alakítását sűrített levegő aláfúvásával oldják meg. Látható, hogy ezzel az eljárással csak egyszerű geometriájú termékek (pl. nagyméretű világítókupolák) gyárthatók. Hátránya a módszernek a gyártmányok rossz reprodukálhatósága, ezért viszonylag ritkán használják. Ezt a hátrányt azzal lehet kiküszöbölni, hogy a lemez fölé egy alakadó szerszámot helyeznek, de ez már a korábban megismert présleégformázáshoz vezet.

Béllyeggel történő mélyhúzáskor (8./b ábra) a kilagyított lemezt a béllyeg alakítja a kívánt mértékig. A termék geometriája ebben az esetben is korlátozott.

Az eddig ismertetett valamennyi eljárásnál fennállt annak a veszélye, hogy a késztermék falvastagságában nemkívánatos különbségek jöjjenek létre. Ennek az az oka, hogy az alakítás során a lemeznek csak az egyik oldala érintkezett merev alakadó szerszámmal, míg a másik oldalon levegő volt. Ezt a hátrányt azzal lehet kiküszöbölni, ha az alakításra kétoldali merev szerszámot használunk. (8./c ábra) Ebben az esetben, amelyet akár sajtolásnak is nevezhetünk, a szerszámköltség igen magas.



8. ábra Mélyhúzási technológiák, sűrített levegővel (a), béllyeggel (b), pozitív-negatív szerszámmal (c)

2.4. Gyakorlati felhasználás

Melegalakítással általában egyszerű, vékonyfalú termékeket állítanak elő, mint pl.: tejfölös pohár, margarinos doboz, egyszer használatos tányér és pohár, dobozok, logisztikai tálcák, desszertbetétek, blisztercsomagolások, lámpabúra, de az autóiparban is alkalmazzák héj jellegű termékek előállítására (pl. kalaptartó).

3. A mérés leírása, elvégzendő feladatok

A gyakorlat során csonka gúla alakú termék előállítására kerül sor előnyújtásos, és előnyújtás nélküli pozitív vákuumformázással. Az előállított termék falvastagság-eloszlásának elemzésével az előnyújtás hatásának vizsgálatára, majd a technológiai folyamat ciklusdiagramjának felvételére kerül sor.

4. A mérés során használt gépek, berendezések, eszközök

- A laboratóriumi mérés során alkalmazott vákuumformázógép az orosházi OVM által gyártott VFP-0705-2SL típusú félüzemi berendezés (9. ábra).
- A mérés során a termék falvastagságának méréséhez tolómérő, a szerszám méreteinek meghatározásához vonalzó szükséges.



9. ábra A laborgyakorlaton használt vákuumformázó gép

5. A témához kapcsolódó fontosabb szavak angolul, németül

Magyar	Angol	Német
Előnyújtás	Prestretching	s.Vorstrecken
Melegalakítás	Thermoforming	s.Warmformen s.Thermoformen
Mélyhúzás	Deep drawing	s.Tiefziehen
Préselés, sajtolás	(Mechanical) Pressing	s.Pressverfahren
Préslégformázás	Air pressure forming Pressure forming	s.Druckluftumformen
Vákuumformázás	Vacuum forming	s.Vakuumformverfahren

6. Felhasznált irodalom

1. Czvikovszky T., Nagy P., Gaál J.: *A polimertechnika alapjai*, Egyetemi tankönyv, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2006, 291-299. old.
2. H. Belofsky: *Plastics: Product Design and Process Engineering*, Hanser Verlag, München, 1995, 373-384. old.
3. W. Michaeli: *Plastic Processing an Introduction*, Hanser Publishers, München, 1995, 172-177. old.
4. A. Illig: *Thermoforming A Practical Guide*, Hanser Publishers, München, 2001, 54 - 85. old.

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

Melegalakítás



Pozitív-, negatív
szerszám bemutatása



Előnyújtás
lehetőségei



MÉRÉSI JEGYZŐKÖNYV

Ezt az oldalt
kinyomtatva
hozza
magával!

Név:

Minősítés:

Neptun kód:

Dátum:

Ellenőrizte:

Gyakorlatvezető:

1. A feladat

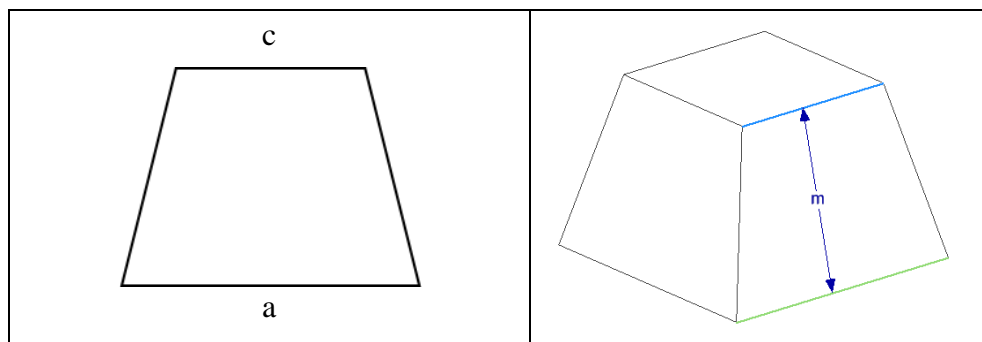
- Egy csonka gúla alakú termék előállítására előnyújtásos, illetve előnyújtás nélküli pozitív vákuumformázással.
- A technológiai folyamat ciklusdiagramjának felvétele.
- A csonka gúla alakú termék falvastagság eloszlásának elemzése.

A mérés menete:

- Az ε_A fajlagos területi nyúlás kiszámítása $\varepsilon_A = \frac{A_{def} - A_0}{A_0}$,

ahol:

- A_{def} : deformált (alakított) felület: $A_{def} = c^2 + 4 \cdot \frac{a+c}{2} \cdot m$
- A_0 : kezdeti (alakítás előtti) felület: $A_0 = a^2$



- Az ideális, állandó falvastagság meghatározása a térfogatállandóság feltételezésével.
- A falvastagság meghatározása (megmérése) a termék tetején, oldalfalának felső és alsó harmadában.



2. Alapadatok, mért és számított eredmények

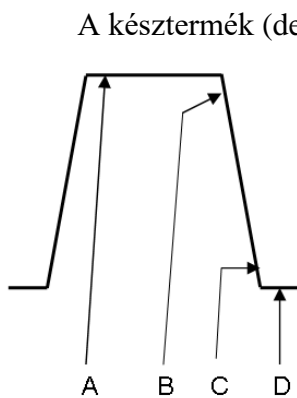
A lemez anyaga:

Az A_0 deformálatlan felület: [mm²]

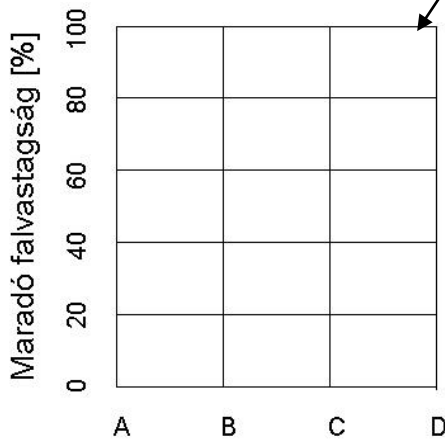
Az A_{def} deformált felület: [mm²]

A létrehozott ϵ_A fajlagos területi nyúlás: [-]

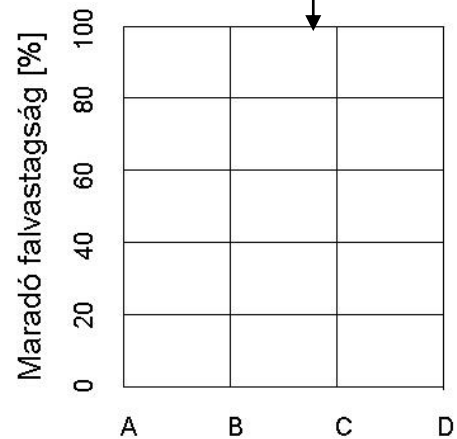
A térfogat-állandóság feltételezésével kiszámított ideális, állandó h_{def} falvastagság: [mm]



A késztermék (deformált felület) mért falvastagságai	Előnyújtott	Előnyújtás nélkül
Tetején (A): [mm] [mm]
Oldallap felső harmadában (B): [mm] [mm]
Oldallap alsó harmadában (C): [mm] [mm]
Alaplemezen (D) [mm] [mm]



Mérési helyek



Mérési helyek

Ezt az oldalt
kinyomtatva
hozza
magával!

3. A technológiai folyamat ciklusdiagramja

