

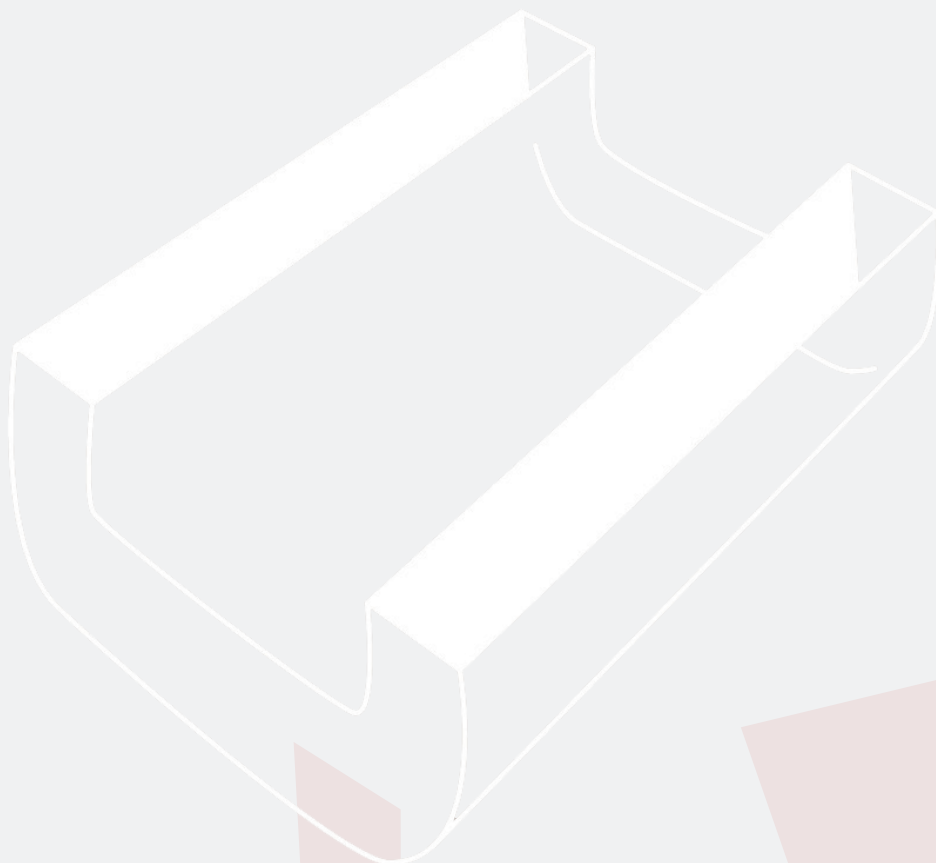


MUANYAG.HU

PLASTRONG

a minőségi műanyagok szakértője

PLEXIGLAS melegmegmunkálási segédlet



2022.08.19. - v2.0

PLASTRONG KFT.
2336 Dunavarsány,
Neumann János u. 26.
Dunavarsány Ipari Park

Cégjegyzékszám: 13 09 221498
Adószám: 10755309-2-13
Bank: Erste Bank Hungary Zrt.
Swift: GIBA HUHB
HUF: 11641003-04108300-41000003

muanyag@muanyag.hu
+36 70 674 7641
+36 24 534 060
+36 24 534 070

muanyag.hu
polikarbonatlapok.hu
plexiglas.hu
danpal.hu

1. ÁLTALÁNOS TUDNIVALÓK

A PLEXIGLAS® – a világ első akrilüvegének (polimetil metakrilát, PMMA) márkaneve – a rendkívül sokoldalú felhasználhatósága, és a kivételesen jó formázhatósága miatt nagyon népszerű. A PLEXIGLAS® **GS** az öntött, míg a PLEXIGLAS® **XT** az extrudált anyagok elnevezése.

A PLEXIGLAS® mindkét típusa keresztülmegy az amorf anyagokra jellemző, hőmérsékletfüggő állapotváltozásokon: szilárd, termoelasztikussá válnak, vagy termoplasztikus tulajdonságokat mutatnak, melynek oka, az extrudált és az öntött lemezek, csövek és rudak, eltérő molekuláris súlya. **Mindez eltérő technikai teljesítő-képességet eredményez, melyet a meleg megmunkálás során feltétlenül számításba kell venni!**

A hőformázás szempontjából a termoelasztikus tartomány a fontos, ahol a termoplasztikus műanyagok „gumielasztikus” állapotba kerülnek, és feszültségmentesen formázhatók préseléssel, hajlítással, vagy nyújtással. Az 1. ábrán látható a PLEXIGLAS® GS és PLEXIGLAS® XT hőmérsékletfüggő állapotváltozása: az öntött PLEXIGLAS® GS (nagy molekuláris tömegű) a magasabb hőmérsékleti tartomány egy széles sávjában termoelasztikus tulajdonságokat mutat. Ezért a melegen megmunkált alkatrészek a műanyag alakításának nyomai nem láthatóak, később pedig, a formázási hőmérsékletre melegítve, maradéktalanul visszanyerik eredeti formájukat (hasonlóan egy elasztikus rugóhoz). **Ezért az alakítási hibák anyagvesztés nélkül javíthatók.**

Ezzel szemben az extrudált (kis molekuláris tömegű) PLEXIGLAS® XT azon tartománya, ahol termoelasztikus tulajdonságokkal rendelkezik viszonylag szűk. Magasabb hőmérsékleten termoplasztikussá, tézstaszerűvé vagy sűrű olvadékká alakul. Mivel a termoplasztikus és termoelasztikus állapot között nincs igazán éles határvonal, ezért minden esetben marad

kevesebb vagy több, az alakítási hőmérséklettől függő mennyiségű, „befagyott” állapotú anyag a formázott termékben. Emiatt a PLEXIGLAS® XT-ből készült gyártmányok soha nem alakíthatók vissza igazán az eredeti formájukra újramelegítéssel. Ebben az esetben tehát a meleg alakítás csak részben visszafordítható.

A GS és XT közötti tipikus különbségek a PLEXIGLAS® speciális felhasználási területekre készült termékein is megfigyelhetők, mint például a **SOUNDSTOP** (víztisztázajvédőfal), vagy a speciális felületi kialakításoknál. A termékek lehetnek karcálló bevonatosak, strukturáltak, tükröbevonatosak, **HEATSTOP** (hő visszaverő), **SATINICE** (speciális szatén felületű), vagy **NO DROP** (kondenzvíz eloszlató) tulajdonságúak. Ahol a két anyag között eltérés van a formázhatósági tulajdonságok között, ott az érintett szakaszokban ezt külön kiemeltük.

Kiadványunk célja, hogy segítsünk Önöknek az optimális munkaeredmény elérésében. Ha kérdése van az információval, vagy a gyakorlati kivitelezéssel kapcsolatban, kérjük forduljon hozzánk bizalommal, vagy a PLEXIGLAS® gyártójának információs szolgálatához. Szívesen

fogadjuk kivitelezési gyakorlatából származó javaslatait is.

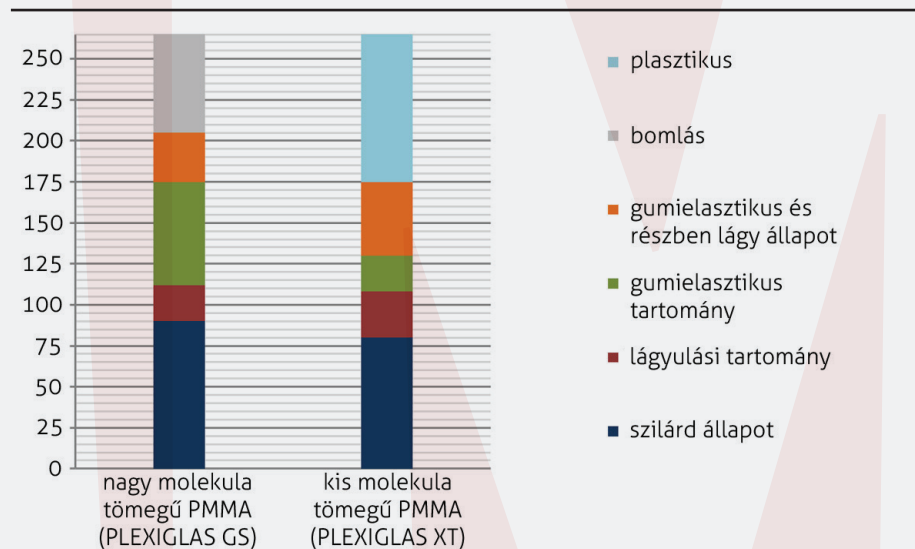
1.1 ELÉRHETŐ TÍPUSOK

A PLEXIGLAS® GS-t tömör síklemezek, tömbök, csövek és rudak formájában, sima, matt vagy szatén (PLEXIGLAS SATINICE®) felülettel gyártják.

A PLEXIGLAS® XT hagyományos és növelt ütésállóságú akrilüveg (PLEXIGLAS RESIST®), sima, strukturált, matt, vagy szatén felületű (PLEXIGLAS SATINICE®) tömör lemezek, hullámlemezek, bordáslemezek, tükrök, csövek, rudak, valamint fólia (EUROPLEX®) formájában is elérhető.

A színes lemezek általában a teljes keresztmetszetükön színezettek.

1. ábra: állapotváltozás a hőmérséklet függvényében



Legyen szó akár standard, akár speciális méretről, a gyártó a termékeket raklapra csomagolja, ahol minden esetben megjelöli a helyes tárolásra és mozgatásra vonatkozó előírásait. A PLEXIGLAS® anyagokat beltérben célszerű tárolni. A gyártó az összes termékét polietilén fóliába csomagolja, ami szükség esetén gyorsan eltávolítható róluk. Kültéri tárolás esetén mindenképpen gondoskodni kell a gondosan megtervezett kiegészítő takarásról.

Kérésére szívesen megküldjük a PLEXIGLAS teljes kínálatát tartalmazó prospektusunkat, melyből megtudhatja, hogy milyen típusok, méretek, vastagságok, felületi struktúrák elérhetőek.

1.2 MÉRETREVÁGÁS, ZSUGORODÁS

A PLEXIGLAS® GS és a PLEXIGLAS® XT az első lágyulási hőmérséklet fölé melegítés során egyszeri alkalommal, a gyártási eljárástól függő mértékű zsugorodáson megy keresztül hosszirányban és szélességben is. Erre a méretváltozásra a hőformázás előtermékének méretrevágásakor mindenképpen számítani kell. Az öntött akrilüveg zsugorodása szélességben és hosszúságban is megegyező mértékű. Az extrudált típusok esetében a méretváltozás jellemzően az extrudálás irányával megegyezően történik (zsugorodik), erre merőlegesen a méretcsökkenés nulla, vagy akár kismértékű növekedés is lehetséges. Részletes információkat a 2. ábrán találhat.

A vákuum-formázás során nincs mérhető zsugorodás, azokban az esetekben azonban,

ahol a rögzítetlen előterméket hevítik, például a melegítő kemencében, mindenképpen jelentkeznek a méretváltozások. Kétes esetekben mindig végezzen előzetes tesztet.

1.3 VÉDŐFÓLIA

Típustól és vastagságtól függően a lemezek felületére a gyártás után öntapadó, vagy ragasztóanyag nélkül (sztatikusan) tapadó, környezetbarát polietilén (PE) védőfólia kerül. Normál esetben a védőfóliának mindaddig a lapon kell maradnia, amíg a termék el nem készül, azonban hőformázásnál, vagy ragasztásnál mindenképpen időben el kell azt távolítani. Tartsa leszorítva a lemezdarabot az egyik éle mentén, és a védőfóliát egy **gyors, határozott mozdulattal** húzza le.

Az időjárásnak kitett lemezekről négy (4) héten belül maradéktalanul el kell távolítani a védőfóliát, függetlenül azok tapadási tulajdonságaitól, mert a polietilén ennyi idő után könnyen rideggé válhat, vagy jelentősen megnőhet a tapadása a lemezek felületére. Bármelyik is következik be, a fólia többé már nem távolítható el a lemezek felületéről károsodás nélkül. A fólia eltávolításakor a műanyagok felülete sztatikusan feltöltődik és magukhoz vonzzák a port, **ezért a hőformázás előtt a lemezeket antisztatizálni kell, például antisztatizáló hatású anyagot tartalmazó vizes lemosással, vagy ionizált levegővel történő lefúvatással.** A gyártási eljárás következményeként a fehér és a színes PLEXIGLAS® GS és a PLEXIGLAS® XT lemezek két felületének minősége kis mértékben eltér. A minőség-ellenőrzés során a felső

felületet vizsgálják, azaz a „használati” oldalt, ezért ezt a védőfólián megfelelően jelölik.

1.4 TÁROLÁS ÉS ELŐSZÁRÍTÁS

A legtöbb műanyag tárolástól és klímaállapottól függő mértékben vesz fel nedvességet. Ennek a szokásos alkalmazási hőmérsékleten nincs jelentősége, azonban az **extrudált** akril-üvegek melegítése során buborékképződést okozhat, ezért mindenképpen hosszabb idejű előszárítás szükséges légkeveréses szárító-kemencében, az anyag lágyuláspontja alatti hőmérsékleten. A lemezekről a szárítás előtt el kell távolítani a védőfóliát. Fontos, hogy a levegő a lemezek között is cirkulálhasson. Gazdaságossági okokból a szárítást célszerű közvetlenül a hőformázás előtt végezni. Nem szabad megfeledezni arról, hogy a lapok 100 °C alá hűlés közben ismét párát vesznek fel a környezetükből. Ha megoldható a gyors és hatékony hevítés, például infravörös melegítő használata esetén, akkor az előszárítás mellőzhető. Élhajlításkor szintén nem szükséges a lemezek előszárítása. Minden más esetben a hőformázási paramétereket a formázandó terméktől függően, próbákkal kell beállítani. A PLEXIGLAS® XT lemezeket nem szükséges a hőformázás előtt előszárítani, ha a védőfóliájuk sértetlen, és a tárolásuk az előírások szerint történt. Abban az esetben, ha ezek a feltételek nem teljesülnek, még a viszonylag magas víztartalmú lapok esetében is elegendő a 24 óráig tartó, 80 °C-os előszárítás. A tárolt lemezeknél, különösen a PLEXIGLAS® XT esetében, a lapszélek hullámosodásának minimalizálásához – mely a párafelvétel következménye – a rakatokat minden esetben le kell takarni PE csomagolóanyaggal. A PLEXIGLAS® GS-ből gyártott csövekkel ellentétben a PLEXIGLAS® XT-ből készültek hőformázása során, a felvett nedvesség hatására optikai hibák keletkezhetnek, esetleg buborékképződés léphet fel, mely elkerülhető, ha 70 °C-on, légkeveréses szárító-kemencében a csöveket előszárítjuk. Az előszárítás időtartama (óra) nagyjából megegyezik a falvastagság milliméterben mért értékével.

2. ábra: zsugorodás hő hatására

	PLEXIGLAS GS	PLEXIGLAS XT		
Zsugorodás az első hőformázási hőmérsékletre melegítés közben	szélességi és hosszúsági irányban	Az extrudálás irányában (erre merőleges irányban elhanyagolható mértékű)		
	minden típus (kivéve a GS 215 "STRETCHED"-et)	Felületi kialakítás		
		Sima	Gallery AR Satinice	Texturált
max. 2%	minden vastagság	-	-	-
max. 3%	-	>3 mm	-	-
max 6%	-	<3 mm	minden vastagság	minden vastagság

2. MELEGÍTÉS

A PLEXIGLAS® GS-t és a PLEXIGLAS® XT-t is olyan gyorsan kell a megalakítás legalacsonyabb hőmérsékletére melegíteni a légkeveréses kemencével, vagy az infravörös sugárzással, amilyen gyorsan csak lehet, hogy elkerülhető legyen az anyagon, vagy a megformált termékben belüli változás. **A karcálló bevonatú PLEXIGLAS® lemezek nem melegíthetők és hőformázhatók** (a bevonat-repedés veszélye miatt), de hidegen hajlítva beépíthetők.

A **kemencés melegítés** egyenletes hőmérsékletet biztosít a formázandó lemez teljes felületén, ami az első lépés a jó formázási eredmény eléréséhez. **Infravörös hőszugárzó** – valamint szabályozott hőmérsékletű megmunkáló forma – használata esetén az előterméket célszerű **kb. 80 °C-ra előmelegíteni**, hogy a későbbi nem kívánt deformációt megelőzzék. Az infravörös hőszugárzók lehetővé teszik, a lemez eltérő részeinek különböző mértékű melegítését, elérhetővé téve például egy meghatározott vastagságeloszlást.

A túl gyors lehűlés, és ezzel együtt a felület vissza-szilárdulása elkerülhető, ha az anyagot közvetlenül az alakítószerszámban melegítik.

A **melegítés időtartama** a lemeztavastagsággal együtt a 3. ábrán látható módon növekszik. Az első melegítés hatására bekövetkező zsugorodásról nem szabad megfeledkezni (lásd. 2. ábra).

2.1 MELEG MEGMUNKÁLÁSI HŐMÉRSÉKLET

A termoelasztikus/termoplasztikus tartománybeli hőformázáshoz javasolt hőmérsékletek a következők:

PLEXIGLAS® GS:	160-175 °C
PLEXIGLAS® XT:	150-160 °C

A megalakítás sebességétől és a fokától függően (lásd 4.1) a fenti hőmérsékleteket lefelé,

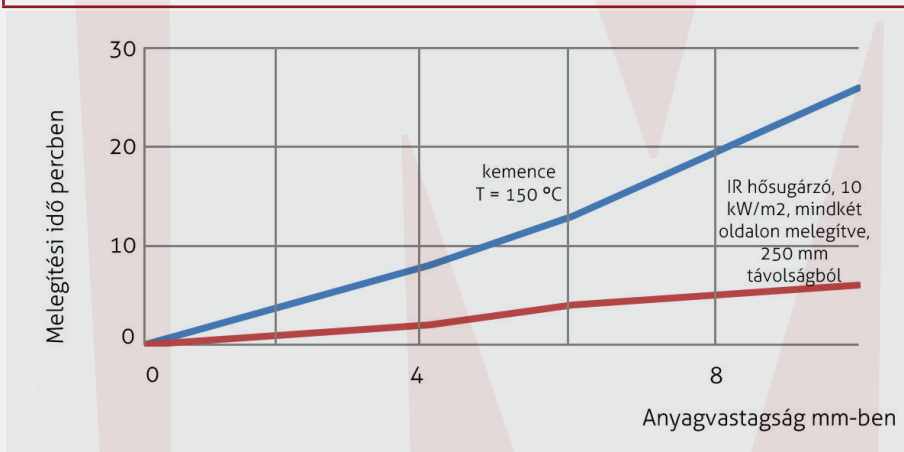
vagy felfelé módosítani kell, hogy a felületek optikai minősége megfelelő maradjon. Gyakorlatban ez azt jelenti, hogy a melegítő eszközt úgy kell beállítani, hogy a fenti hőmérsékletek elérhetőek legyenek. Az anyag hőmérsékletét érintkezés nélkül, például pyrometerrel kell megmérni. Mint mindig, itt is előnyös a PLEXIGLAS® GS és PLEXIGLAS® XT szempontjából is, ha az alakítóformát és a **leszorító keretet, vagy a megalakításhoz használt kontúr lapokat a következő hőmérsékletekre előmelegítik:**

PLEXIGLAS® GS
és PLEXIGLAS® XT: 60-80 °C

2.2 A MELEGÍTÉS IDŐTARTAMA

A PLEXIGLAS® GS és PLEXIGLAS® XT melegítési időtartama mindenképp az anyagvastagságtól és a melegítési eljárástól függ. További befolyásoló tényezők a levegő áramlási sebessége a kemencében, valamint a lemez és az infravörös hőszugárzó közötti távolság. IR hőszugárzó használata esetén a lemezek színe is szerepet játszik az időtartam meghatározásában, ugyanis színenként eltérő az abszorpció. A 3. ábra grafikonja szemléletesen ábrázolja a melegítési időket a lapvastagság függvényében.

2. ábra: melegítési idő



3. MELEGÍTÉSI ELJÁRÁSOK

4. ábra: a legáltalánosabb melegítési eljárások összefoglalása

MELEGÍTÉS LEVEGŐVEL	
vízszintes kemence	nagyméretű előtermékekhez (különösen PLEXIGLAS® XT esetén)
függőleges kemence	- egyenletes melegítés - univerzális használhatóság (feszültségmentesítés, visszaalakítás) - limitált méretben vízszintes melegítéshez is
melegfűvő	kisméretű speciális elemekhez
MELEGÍTŐ PANELEK	
hosszú-hullámú 3,5 µm-től 6,0 µm (kerámia, vagy sötétsugárzó)	gazdaságos
közép-hullámú 2,2 µm-től 2,7 µm (kvarcüveg, áttetsző kvarcüveg)	- optimális melegítés - gyors reakció
rövid-hullámú 0,9 µm-től 1,6 µm (fényessugárzó)	- gyors és erős - csökkenti a túlmelegítés esélyét
VONALMENTI MELEGÍTÉS (mindkét oldalon javasolt)	
fűtőszálak (transzformátorral)	~6 mm-es vastagságig
fűtőrudak	~12 mm-es vastagságig - gazdaságos - egyszerű kezelhetőség
kvarcüveg	- nagy teljesítmény a tömbvastagságig - a leghatékonyabb melegítési mód
KONTAKTMELEGÍTÉS	nem ajánlott!

3.1 MELEGÍTÉS LEVEGŐVEL

A légkeveréses kemencék különösen alkalmasak a PLEXIGLAS® GS és a PLEXIGLAS® XT-ből készült lemezek, tömbök, profilok, vagy csövek melegítésére. Normál esetben a **függőleges kemence** a legjobb választás, mert a nagyméretű lemezek kontaktusmentesen befüggeszthetők, miközben a kisebb méretű darabok **horizontálisan** melegíthetők, hasonlóan a fiókos kemencékhez a behelyezett grillrácsokkal. A függőleges kemencék különösen alkalmasak a nagyméretű végtermékek feszültségmentesítéséhez csakúgy, mint a hibás darabok újraformázásához, kiváltképp a PLEXIGLAS® GS-ből készületekhez.

Az alább felsorolt pontokat be kell tartani:

- a kemencén belüli hőmérsékletet $\pm 3^\circ\text{C}$ pontosan be kell tudni állítani, 60 és 250 $^\circ\text{C}$ között.
- ha a kemencébe két oldalról is be lehet

5. ábra: függesztett PLEXIGLAS lemez behelyezése a kemencébe



rakodni, akkor a hőmérsékletkülönbség nem lehet nagyobb $\pm 5^\circ\text{C}$ -nál.

- A levegőkeverést a lehető legnagyobb fokozatra kell állítani (60-90 m/perc levegősebesség), hogy a leggyorsabb és legegyenletesebb melegítést garantálni lehessen.
- A megbízható hőmérséklet-szabályozás lehetővé teszi, hogy a melegítés munkaidőn kívül is folytatható legyen.

A PLEXIGLAS® GS és a PLEXIGLAS® XT-ből készült lemezeket és csöveket célszerű függesztve melegíteni, hogy az egyenletes átmelegedés biztosítható legyen. Ezzel egyúttal elkerülhetők a rögzítési pontokon túli, felesleges benyomódások is.

A termoplasztikus tulajdonságaik miatt, a nagyméretű PLEXIGLAS® XT lemezeket célszerű fektetve melegíteni, hogy a vetemedés, az expanzió, vagy a kicsúszásuk a befogásból megelőzhető legyen. A tartófelület közepesen érdesített, vagy homokfúvott felületű alumínium lemez, PTFE bevonatú fémlemez, vagy üvegszövet szerkezet lehet, mert a felmelegített anyag nem ragad rájuk.

Ha a kemencét más célokra is használják, minden esetben győződjön meg arról, hogy az összes olyan anyag, ami korróziót, vagy törést

okozhat, el legyen távolítva!

A részleges melegítéshez, például a csövek hajlítása esetén, a forrólevegő-fúvó a legalkalmasabb eszköz, azonban minden esetben figyelni kell arra, hogy az igénybevett terület ne melegedjen túl.

3.2 FELÜLETI ÉS VONALMENTI MELEGÍTÉS IR HŐSUGÁRZÓVAL

A PLEXIGLAS® GS és a PLEXIGLAS® XT lemezek infravörös hősugárzóval történő melegítésének nagy előnye, hogy egységnyi felületen jóval nagyobb hőmennyiséget lehet átadni, mint a kemencés melegítés esetén. A melegítési idő függ az anyagvastagságtól, a színtől, a laptípustól, valamint az infravörös sugárzó típusától, annak távolságától és a kibocsátott sugárzás hullámhosszától. A sugárzók a maximális kibocsátható hullámhosszuk alapján különböztethetők meg:

hosszú-hullámú:	3,5 µm-től 6,0 µm (kerámia, vagy sötét-sugárzó)
közép-hullámú:	2,2 µm-től 2,7 µm (kvarcüveg, áttetsző kvarcüveg sugárzó)
rövid-hullámú:	0,9 µm-től 1,6 µm (fényes sugárzó, melegítő lámpa)

Míg az általában kerámiaelemekből álló **hosszú-hullámú sötét-sugárzó** kibocsátott sugárzása a lemezek anyagát a külső oldalról befelé melegíti, addig a **rövid-hullámú** sugárzóknak nagyobb az energia-sűrűsége – és főleg a transzparens termékeknel – a sugarak mélyebbre hatolnak az anyagba. Bizonyos esetekben ez azt is eredményezheti, hogy a sugárzás egy része nem hasznosul, hanem átjut az anyag teljes keresztmetszetén. A **közép-hullámú** sugárzók az ideálisak, és egyben a korszerűek is. A lemezeket részben a felületre érkező, részben az anyagon belül elnyelt sugárzás melegíti. Ha az anyagot csak az egyik oldaláról melegítik – ami a vékony lemezeknél és a fóliáknál gyakori – akkor a keresztmetszeten átjutó, nem

hasznosuló sugárzást egy visszaverő felülettel vissza lehet nyerni. A vastag lapokat mindig mindkét oldaláról melegíteni kell.

Az akrilüvegek gyors és gazdaságos hőformázásához „flash”-nek nevezett sugárzókat is használnak, melyek rövid vagy közepes hullámhosszon működnek és az energiát **pulzusokban** közlik a lemezekkel (részben azért, hogy a túlmelegedést és az égést elkerüljék).

Azokban az esetekben, amikor a PLEXIGLAS® GS és a PLEXIGLAS® XT lemezeket a **teljes felületükön** melegíteni kell, infravörös panelsugárzókat használnak. A paneleket vagy egybeépítik a vákuumformázó géppel, vagy úgy alakítják ki, hogy azok a különböző formázási „állomások” között mozgathatóak legyenek.

Még az egyszerűbb megmunkálási feladatok esetében is előnyös, ha a sugárzópanel részegységei külön-külön is szabályozhatók. Ilyen esetekben az IR sugárzók peremhez közeli területeire magasabb kimeneti teljesítményt lehet beállítani, mint középen. Ez az egyetlen módja az egész lemez egyenletes melegítésének, és a rögzítőkeret kedvezőtlen hűtőhatásának kompenzálásának. Mindezeket túl a lemezterületek különböző hőmérsékletre melegíthetősége előnyös az összetettebb alakzatok kialakításánál. Egy **meghatározott terület**,

például a lemez közepének a letakarásával elérhető, hogy az adott terület kimaradjon a melegítésből. Amennyiben szükséges, a terület feletti sugárzókat is ki lehet kapcsolni. Ez lehetővé teszi az elképzelt forma vastagságbeli tagoltságát. A lemez eredeti vastagsága, merevsége, az optikai minősége, valamint általában a síkbelisége is változatlan marad a lefedett terület alatt, míg a megnyújtott területeken a lemezt vastagság észrevehetően csökken. A szítanyomott lemezterületek kitarakásával elkerülhető a nyomat torzulása.

Ha a lemezt a szokástól eltérően nem rögzítik a formázókeretbe hanem síkban melegítik, akkor üvegszövet alátétet kell a folyamat idejére alá tenni, hogy az esetleges nem tervezett benyomódásoktól megóvják az anyagot.

A PLEXIGLAS® GS és a PLEXIGLAS® XT élhajlítására a fűtőszállal, fűtőrudakkal, kvarcrudakkal felszerelt **lineáris melegítő berendezések** alkalmasak.

A hajlításához szükséges vonal menti melegítésnél **minden érintkezést el kell kerülni a melegítő eszközzel**, hogy a PLEXIGLAS® felületi minősége, átlátszósága ne károsodjon. A kétoldali melegítés ebben az esetben is preferálandó az egyoldali melegítéssel szemben.

6. ábra: élhajlító különféle IR sugárzóval és élhajlított PLEXIGLAS® elem



A matt felületű PLEXIGLAS® SATINICE termékcsoporthoz kreatív lehetőségeket biztosít az élhajlításnál. A mattított felület a SATINICE SC, DC és DF típusoknál a melegítés vonalában is megmarad, a Gallery AR viszont kifényesedik.

Az általában speciális króm-vanádiumból készült **fűtőszálak** is széleskörűen használtak. Mivel általában kisfeszültségű váltó-árammal tápláltak, ezért mindegyikükhöz transzformátor használata szükséges. A fűtőszálakat rugók segítségével mindig feszesen kell tartani, mert annak belógásából adódó tárgytávolság-változása egyenetlen melegítést eredményez. Ez a módszer 6 mm-es lemezvastagságig, különösen mindkét oldali melegítés esetén alkalmazható.

A fűtőszálaknál előnyösebbek az általában króm-nikkel acélból készült **fűtőrudak**, melyeket a pontszerű rögzítettségük és a normál (220V) hálózati feszültség használata könnyebben kezelhetővé tesz. Ha például egy hosszabb fűtőrudat U alakban meghajlítanak, akkor lehetségessé válik a lemezek kétoldali, vonalmenti melegítése. 20 mm-es lemezvastagságig a kétoldali, fűtőrudas melegítés használata javasolt.

Szintén használatosak a szimpla, vagy dupla spirálozású, általában 220 V-ot igénylő **kvarc csövek**. Mivel a fűtőteltjesítményük nagyobb, mint amire a műanyagok esetében szükség van, ezért azt csökkenteni kell vagy termoelemmel (a csövek ki és bekapcsolásával), vagy tirisztoros áramkörrel. A közép-hullámú sugárzása, és kedvező karakterisztikája miatt a kvarc csövek a leghatékonyabb melegítő elemek. Köszönhetően az állítható fűtési teljesítménynek, és a sugárzó pontosan beállítható távolságának, 50 mm-es lemezvastagságig használhatóak melegítésre – különösen kétoldali melegítés esetén – az élhajlításhoz, vagy a meleg íveléshez.

7. ábra: fűtőszálak transzformátorral, fűtőrud és kvarccső



3.3 KONTAKT MELEGÍTÉS

A **fűtőlappos** melegítés általában a PLEXIGLAS® GS-re korlátozódik, a PLEXIGLAS® XT csak néhány egyedi, kisméretű vágat esetén melegíthető ezzel a módszerrel. A lapvastagság nem lépheti át a 3 mm-t, mert ez a megoldás jellemzően egyoldali melegítést tesz lehetővé. A kétoldali melegítés – pld. fűtőprés – nem javasolt folyamat, mert a PLEXIGLAS® jó felületi minőségét elveszíthetjük. A PLEXIGLAS® alapanyag fűtőpréses melegítését nem szabad alkalmazni sima vagy polírozott felületek esetén. A homokszórt és a teflonbevonatú fűtőlappok általában elfogadható mértékű felületi benyomódásokat eredményeznek csak. Általánosságban elmondható, hogy a fűtőpréses történő melegítés **nem ajánlott**, mert az egyenletes hőeloszlás nem biztosított.

A **vonalszerű melegítés direkt érintkezéssel, pld. egy melegítő szál esetén, szintén nem ajánlott**, mert a hajlítások környezetében benyomódás lesz tapasztalható, amelyeket általában nem lehet eltávolítani.

A fentiek miatt minden esetben a direkt kapcsolat nélküli melegítést szükséges előnyben

részesíteni (lásd 3.2).

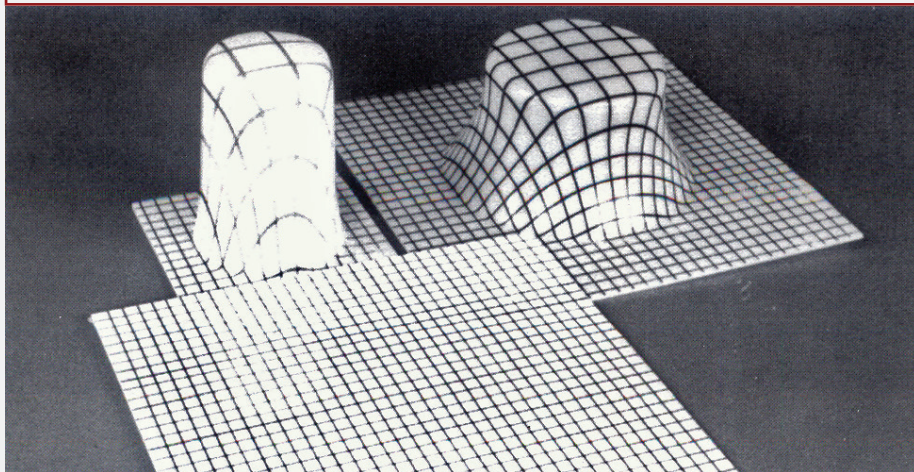
3.4 TOVÁBBI ELJÁRÁSOK

A **nyílt lánggal történő, nagyfrekvenciás rezgéssel** vagy **folyadékfürdőben** való melegítés a **gyakorlatban nem kivitelezhető**.

A **hőlégfúvó** készülékkel történő melegítés **feltételesen ajánlott**, pld. a formálандó alkatrész benyomódásainak kijavítására és a csövek hajlítására. Az anyagban ennek hatására keletkező feszültséget célszerű temperálással eltávolítani.

4. ALAKÍTÁS

8. ábra: az anyag nyúlásának szemléltetése festett rácshálóval



$$R = \left(\sqrt{\frac{d_0}{d_1}} - 1 \right) \times 100 [\%]$$

$$R = \left(\sqrt{\frac{A_1}{A_0}} - 1 \right) \times 100 [\%]$$

R (alakítási- vagy nyújtási fok %-ban)

d_0 (alakítás előtti anyagvastagság)

d_1 (alakítás utáni anyagvastagság)

A_0 (felület nagysága az alakítás előtt)

A_1 (felület nagysága az alakítás után)

A PLEXIGLAS® GS és PLEXIGLAS® XT megmunkálása során

- az alakítási fok
- az alakítási erők
- az alakítási sebességek és
- az alakítási hőmérsékletek (lásd 2.1)

lényegében azoktól a körülményektől és a speciális kialakítástól függenek, melyeket az alkatrésznek a gyakorlatban kell kielégítenie. Az alakítás következménye az anyag belső szerkezeti változása, amely a megformált alkatrész tulajdonságait is befolyásolja.

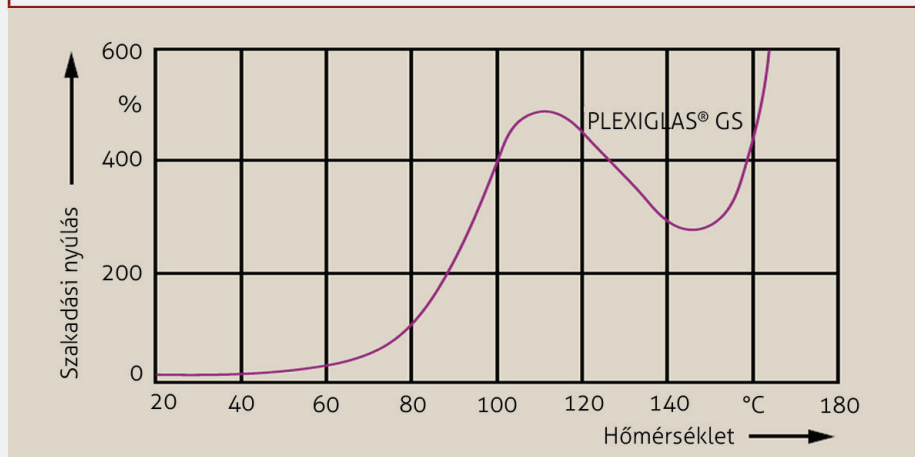
A fent felsorolt tényezőkre az alakítási hőmérsékletnek van a legnagyobb és széles körben változó befolyása. Ennek hatása nagyon eltérő, akár ellentétes is lehet. A PLEXIGLAS® GS és PLEXIGLAS® XT esetében viszonylag alacsony hőmérsékletnél nagy alakítási fokot érhetünk el. Az alakítás lassabban és gumyszerűen történik, a féltermék felületi minősége meszesemenően megmarad. Az alakítási feszültség ilyenkor viszonylag nagy, így az alkatrész ennek megfelelően visszaállásra hajlamos. Relatív magas hőmérsékleten történő alakítással a visszaállásra való törekvés kiküszöbölhető. Mindez a gyakorlatban azt jelenti, hogy az alakítás során meg kell találnunk a megfelelő

kompromisszumot. A következő fejezetek ebben lesznek segítségünkre.

4.1 KÖRÜLMÉNYEK ÉS VISELKEDÉS

Az alakítás foka információt ad a megmunkálható termék meleg megmunkálásánál fellépő formaváltozásáról. A megszokott (szokásos) alakítási eljárásoknál a mono- vagy a biaxiális nyújtásnál a változást a felület megnövekedésével, és az ennek megfelelő mértékű anyagvastagság csökkenéssel jellemezhetjük. Az alakítás fokát ennek megfelelően az alakítás előtti és utáni közepes anyagvastagsággal vagy a felületnövekedéssel határozzuk meg. A biaxiális nyújtásra a következők érvényesek: 100%-os alakítási fok esetén egy négyzetes lemez a hosszában és szélességben is kétszeresére növekedik. A nyújtás előtti felület 100%-ról, 400%-ra nő, míg a vastagság eközben az ¼-re csökken. A gyakorlatban arra kell törekedni, hogy lehetőleg azonos alakítási fokot érjünk el mindenhol, és ezzel a munkadarabon belül az anyagvastagság változás is egyenletes legyen. Ez természetesen a munkadarab alakítási módszerétől és a darab alakjától függ (8. ábra).

9. ábra: a PLEXIGLAS® GS maximális nyúlási mértéke (szakadási nyúlás) a hőmérséklet függvényében



A PLEXIGLAS® GS és XT esetén a maximális alakítási fok mértéke az alakítási sebességtől, az anyag típusától, fajtájától, és az anyag alakítási hőmérsékletétől függ. Ezt jól mutatja az anyag szakadási nyúlása a hőmérséklet függvényében. Bár a 9. ábrán az látható, hogy a maximális szakadási nyúlás viszonylag alacsony hőmérsékleti tartományban található, de ez az **optimális alakításhoz** rendkívül alacsony hőmérséklet, hiszen technikai okokból az csak **magasabb hőfoknál** lehetséges. Ügyelni kell arra is, hogy a melegítési hőmérsékletnek jelentősen magasabbnak kell lennie az alakítási hőmérsékletnél, mivel a formadarab a melegítés és az alakítás között, ill. az alakítási folyamat alatt lehűl. Emellett néhány alakításnál ajánlatos – függetlenül az alakítási foktól – az anyagot továbbmelegíteni.

Az alakító berendezések megfelelő stabilizálásának biztosításához ismerni kell termék alakításhoz szükséges **alakítási erőket**.

Lényegében három tényezőtől függ az alakításhoz szükséges erő mértéke:

- az alakítási foktól, amelyet a munkadarab formája, ill. a kiindulási és kész munkadarab felületi arányváltozása határoz meg,
- az alakítás hőmérsékletétől, amely az alakítási folyamat időtartamától, illetve a szerszámhőmérséklettől függően akár jelentősebb mértékben is csökkenhet,
- az egy- vagy kéttengelyű nyújtástól

(A rugalmassági modulus változását a hőmérséklet függvényében a 10. ábra mutatja).

A 11. ábra (a 10. ábra alapján) megmutatja az alakítási fok hatását az alakítási erőre egy- ill. kéttengelyű nyújtás esetén. Az egyszerűbb alakítási munkáknál, melyeknél az alakítási fok ismert, a biaxiális nyújtási erőszükséglet az ábra alapján meghatározható. Bonyolultabb formadarabok esetén, melyek alakítási foka előzetesen nem határozható meg, gyakorlati kísérletekkel, próbákkal kell meghatározni, megbecsülni a szükséges alakítási erőket.

A **formázási sebesség** az a sebesség, amin az anyag a thermoelasztikus tartományon belül nyújtható, anélkül hogy az elszakadna.

A PLEXIGLAS® GS-t, ill. az XT-t általában a **lehető leggyorsabban** kell alakítani, hogy a

megmunkálás során

- rövid ütemidőket érhetünk el,
- az erősebb lehűlést elkerülhessük,
- valamint energiát takaríthatunk meg.

Másrészről az alakítási sebességnek **olyan lassúnak kell lennie**, hogy a

- megkívánt lemezvastagság-eloszlást biztosítsa és
- a hő okozta törést el tudjuk kerülni a terméknek.

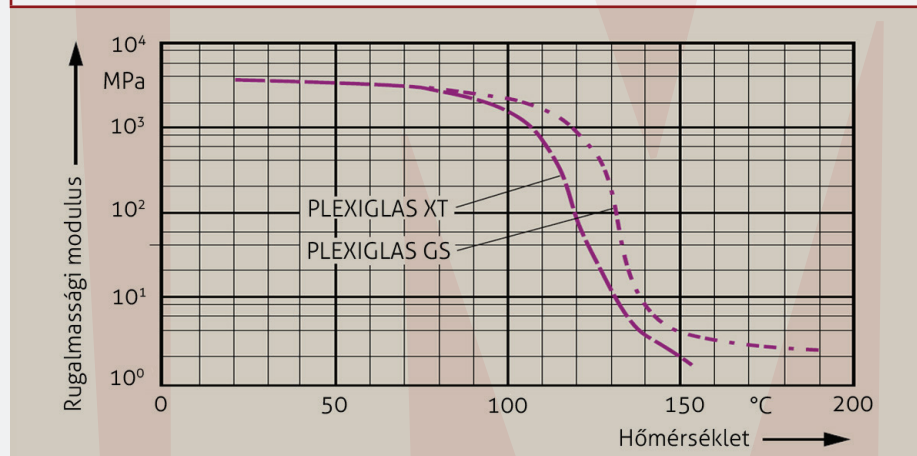
Az alakítási folyamat tarthat:

- másodpercekig, például a vékony PLEXIGLAS® lemezek, vagy az EUROPLEX® filmek esetében,
- percekig, például a vákuumformázás esetében,
- órákig, mint például a lepelformázás esetében, a pihentetési folyamattal együtt.

A mindenkor alakítási sebesség a PLEXIGLAS® GS-től a PLEXIGLAS® XT felé növekszik. A viszonylag lassú megmunkálás során, érdemes az anyagot a folyamat során tovább melegíteni, például infravörös sugárzóval.

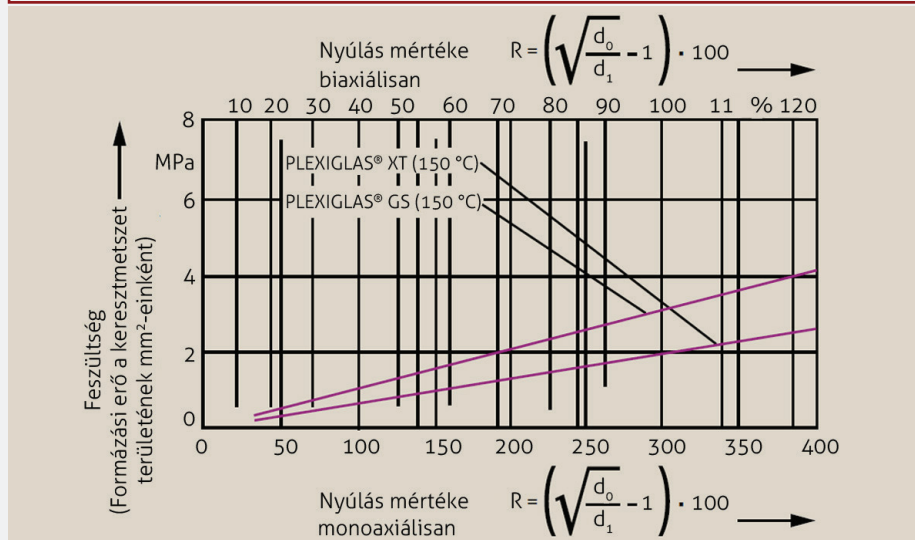
A PLEXIGLAS® GS és XT alakításánál a molekulák a nyújtás irányába rendeződnek. Ez a **szerkezetváltozás** az anyag tulajdonságait pozitívan befolyásolja: az alakított részeknél a szakadási nyúlás, az ütésállóság, a továbbrepedési ellenállás növekszik, továbbá, ha kis mértékben is, de a feszültségi repedésekkel szembeni ellenállás is javul.

10. ábra: a Rugalmassági modulus változása a hőmérséklet függvényében



5. MEGMUNKÁLÁSI ELJÁRÁSOK

11. ábra: formázási erőszükséglet a mono és biaxiális nyújtás esetén



12. ábra: a mechanikai jellemzők változása a biaxiális nyújtás hatására

Tulajdonság		PLEXIGLAS® GS OF00/233		
		eredeti	70%-ban biaxiálisan nyújtott	változás mértéke
Szakadási nyúlás (23 °C)	%	5,5	45	8×
Továbbrepedési ellenállás	mmN/mm ²	0,8	4	5×
Ütésállóság standard kisméretű mintán	kJ/m ²	12	30	2,5×
Korróziós ellenállás izopropil alkohollal szemben diétilén glikollal szemben	MPa MPa	11,5 20	32 40	2,1× 2×

A PLEXIGLAS® GS OF00/233 mechanikai jellemzőinek **javulása** a 12. ábrán látható.

A PLEXIGLAS® GS, PLEXIGLAS® XT alkalmazási területeinek folyamatos bővülése a megmunkálási eljárások kiszélesedését eredményezte, amely gazdaságos és anyagspecifikus megmunkálást tesz lehetővé.

A mindenkor eljárás kiválasztása függ az alábbiaktól:

- a munkadarab formájától és méretétől
- az elvárt falvastagság-eloszlástól
- darabszámtól
- a felhasználandó anyag fajtájától

- a követelményektől (megjelenés, mérettartó képesség, kontúr élessége, stb.)
- rendelkezésre álló gépek, berendezések, eszközök és segédanyagoktól

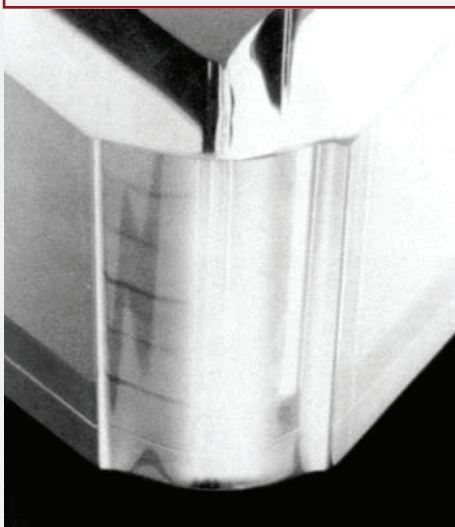
A PLEXIGLAS® GS és a PLEXIGLAS® XT alakítása, megmunkálása egyszerű segédanyagok alkalmazásával lehetséges és jó eredményt érhetünk el gondos megmunkálással. A bonyolultabb alakításokhoz, vagy nagyobb szériák esetén, a piacon kapható gépi berendezésektől a számítógép-vezérelt megoldásokig találunk eszközöket.

5.1 MEGMUNKÁLÁS HAJLÍTÁSSAL

A hajlító megmunkálás egyenes vonalú hajlítást, szögbeli hajlítást, illetve lepelalakítást jelent, pozitív vagy negatív szerszámmal segítségével. Általános jellemzője ezeknek a metódusoknak, hogy a melegített terület anyagvastagsága a hajlítás előtt és után, gyakorlatilag megegyezik.

A legegyszerűbb **élhajlítási** eljárás során, a PLEXIGLAS® lemezeket a 3.2 fejezetben leírtaknak megfelelően vonal mentén melegítik, majd a meghajlított állapotban rögzítik az anyag kihűléséig. Az élhajlítás lehetséges sablon segítségével, vagy egy egyszerű él mentén is. Élhajlítás esetén a munkadarabot mindig csak az egyik oldalán szabad rögzíteni, hogy elkerülhető legyen a nyúlás, és így az anyag vastagságának látható mértékű csökkenése a hajlítás környezetében.

13a. ábra: Nyúlási hiba a túl keskeny melegítési szélesség miatt



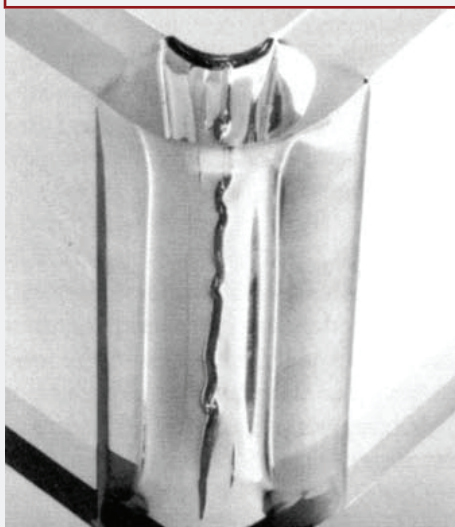
A befogó sablon élét mindig úgy kell lekerekíteni, hogy az a felmelegített lemezterülethez ne érjen hozzá. Ellenkező esetben nem kívánt benyomódás keletkezik (lásd 15. ábra).

A hajlítási sugárnak minden esetben legalább a lemeztavastagság kétszeresének kell lennie.

Kisebb sugár esetén nem megengedhető belső feszültségek, vagy a belső oldalon gyűrődéses bordázat keletkezhet.

Hajlítás esetén a hajlítási élen szükségszerűen fénytörési hiba keletkezik. Ennek mértéke az anyagvastagság növekedésével együtt növekszik, ill. annál jobban, minél kisebb a hajlítási sugár. A jó átlátszósághoz az érintett területen fontos a gondosan megválasztott, lehetőség

13b. ábra: Gyűrődés a túl kis hajlítási rádiusz miatt



szerint minél nagyobb hajlítási sugár.

Teljesen egyedi megjelenés érhető el a fényes és sima, de akár a **matt** felületű PLEXIGLAS® lemezekkel is. A PLEXIGLAS SATINICE® SC és DC szinte minden meleg alakítási folyamat során megtartja felületi struktúráját az öntési eljárás miatt. Ezzel szemben a felhasználó az extrudált variációknak is különböző felhasználási módokat találhat. A PLEXIGLAS SATINICE® „belülről jövő” szatén felületét megtartja, ugyanakkor a PLEXIGLAS Gallery® AR prégelt matt struktúrája a melegítési zónában kisimulhat. Mindez még kreatívabb designt tesz lehetségessé sőt, nem csak élhajlítás, de felületi formázás esetén is működik!

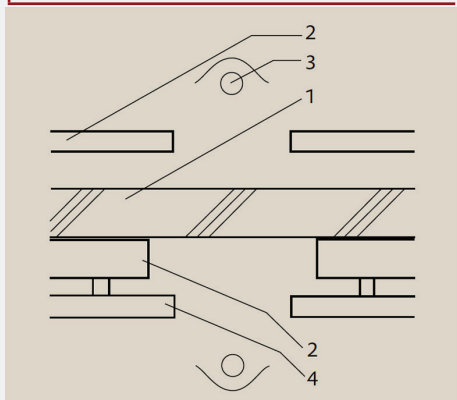
A hajlítási szög **meghatározza a melegítési tartomány szélességét**, mely általában legalább **a lemeztavastagság 3-5-szöröse**. A túl keskeny melegítési terület az anyag túlzott megnyúlását eredményezheti, az így jelentősen csökkenő anyagvastagság károsan befolyásolja az optikai megjelenést, illetve csökkenti a munkadarab szilárdságát (lásd 13.a és 13.b ábra). A melegítési terület egyenletes átmenete a lemez hidegebb területeire elkerüli a „nyúlási határzónákat”. Ehhez szükséges a hőforrás és a lemez között egy árnyékolás beiktatása (lásd 14. ábra).

A megfelelő megjelenés elérése miatt **elvárt egyenletes átmeneten túl a munkadarab melegített és a hideg területei között**, további ellentmondásos követelmények jelentkezhetnek az élhajlítás során. Ezeket befolyásolhatja az alátámasztás hőmérsékleti görbéje, vagy a megfogási pontok (a fűtőszálak mindkét oldalán) melyek jelen vannak néhány eszközön, például az élhajlító gépeken.

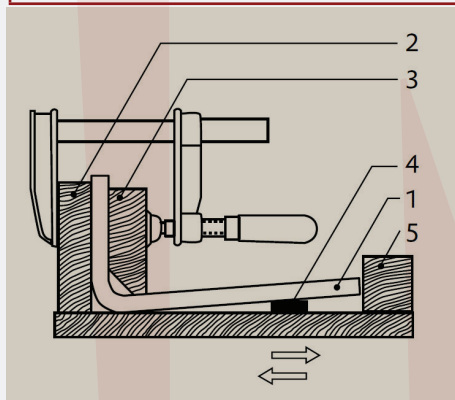
Amennyiben a design szándékosan megköveteli a **nagyon keskeny** hajlítást, a melegítési zóna éles határolásával ez lehetővé válik. Ilyen esetekben a szorítórudakat átfolyós rendszerű hidegvizes hűtéssel hűteni kell (különösen a szériagyártás esetén). **Figyelem!** Az ilyenkor keletkező anyagfeszültség pld. oldószerek hatására repedések keletkezéséhez vezethet!

Ha azonban a hajlított alkatrészeket utólag

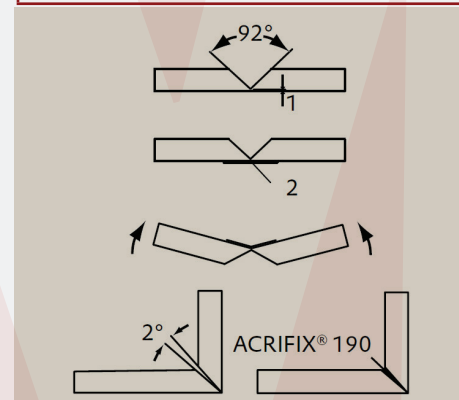
14. ábra: Élhajlítási melegítés árnyékolással: árnyékoló (2) a lemez (1) és az IR sugárhőző (3) között alul és felül, megtámasztás (4)



15. ábra: A hajlítási szög javítása: PLEXIGLAS® (1), hajlítási sablon (2), tömb, letört alsó éllel (3), mozgatható szögbeállító elem (4), ütköző (5)



16. ábra: Hajlítás töréssel, kb. 0,3 mm (1), öntapadó ragasztószalag (2)



ragasztani is kell, **akkor a szorítórudakat ne hűtsük, hanem 60-75°C közötti hőmérsékletre melegítsük** fel (például a belső nyílásaiba helyezett fűtőrudakkal), hogy **megelőzhető legyen a feszültségi repedések kialakulása**.

A szinte minden műanyagra jellemző elasztikus emlékezetnek fizikai okai vannak. Ennek hatására - a megmunkálási eljárástól függően - a hajlítási szög a hűtés folyamán vagy a hűtés után megváltozhat, eltérhet a megkívánt formától. A hajlítási szög változása annak a felületnek az irányában jelentkezik, amely hosszabb ideig melegen marad. Ha az ív belső oldala marad hosszabban meleg, akkor a szög kisebb lesz, ha pedig a külső oldala, akkor a szög nagyobb lesz. Mivel a hajlító-, ill. hűtőszablon anyaga befolyásolhatja a hajlított forma későbbi alaktartósságát, ezért ügyelni kell ennek a viselkedésnek a megfelelő kompenzálására. (lásd a 4-es elemet a 15. ábrán)

A formahűsítést mindkét oldal azonos ütemű és mértékű hűtésével érhetjük el. Letakarhatjuk például a felületet textillel vagy habanyaggal a hűtés során.

A kis szárhosszúságú, sarkosított munkadarabok a hűtés után hajlamosak a hajítás irányának megfelelően elvetemedni. Ez az ún. „kardefektus”, melynek oka a hőtágulás, a zsugorodás és a hajlítási zónában a hajlítási feszültségek. Mivel ezek hatása különböző mértékű lehet, ezért a kardosodás mértéke akár alkalomról alkalomra változhat. Ezek az eltérések, mely 1 méter hossza több milliméter is lehetséges, kiegyenlíthetők:

- a kardosodás irányával szemben kialakított domborulattal a hajító sablonon és/vagy
- feldolgozás előtt a munkadarabot előmelegítve rövid ideig relaxáljuk - PLEXIGLAS® GS és PLEXIGLAS® XT esetén kb. 70-80 °C-on -, ez csökkenti a fő melegítési folyamat, majd a rákövetkező hajítás során keletkező belső feszültségeket, így minimalizálja a kardefektust.

Belső oldalon éles szöget, a külsőn pedig kis

hajlítási sugarat hornyolt hajlítással lehet készíteni, melynek során a hajlítási él hosszában egy 90° „V” hornyot alakítunk ki, majd fűtőrudal vagy fűtőszállal történő felmelegítés után a csak a megmaradó lemezvastagságot kell meghajtani. Az így végzett hajlítás csökkenti ugyan a sarkok stabilitását, de ezt a horony utólagos ragasztásával visszaerősítheti.

Ennek az eljárásnak az egyik változatát (PLEXIGLAS® RESIST kivételével) „**törve hajlításnak**” is nevezik. (lásd 16. ábra)

Miután a hajlítási él hátoldalára egy rugalmas ragasztószalagot – buborék- és ráncmentesen – felhelyeztük, kb. 0,3 mm anyagvastagságig több mint 90°-os „V” hornyot marunk és végül a lemezt a sarkok belső oldalának megfelelő irányban áthajlítjuk. Ezután a szárakat a kívánt szögben rögzítjük, és a megmaradó hézagot ACRIFIX® 2R 0190 ragasztóval kitöltjük. A ragasztó folyási tulajdonságait 3-5% hígító TC 0030 hozzáadásával segítjük. A kikeményedés után a ragasztószalagot eltávolítjuk, és a látható külső élt szükség esetén utómunkával finomítjuk. Ez a módszer közel hasonló a normál ragasztásokhoz.

Nagyon kis keresztmetszetű, hajlított kész termék esetén előnyösebb a PLEXIGLAS® granulátumból készült, extrudált profilok alkalmazása.

A **hideg élhajlítás** az akrilüveg esetén nem lehetséges. Azonban az ütésálló típusok, mint a PLEXIGLAS RESIST® 75, a lapvastagság kétszeresénél nagyobb rádiusszal hidegen is meghajlítható. Ezt azonban csak kivételes

esetekben javasoljuk, mert a mechanikai és optikai (kifehéredés) tulajdonságot jelentősen ronthatja.

A PLEXIGLAS® GS és XT lemezek **hidegen ívelhetőek** és előfeszített állapotban is szerelhetők. Ahhoz, hogy elkerüljük túlzott mértékű belső feszültség kialakulását, az alábbi táblázatban olvasható minimális ívelése (hajlítási) sugarak alkalmazása szükséges.

Megengedett legkisebb hideghajlítási sugár

PLEXIGLAS® típus	Megengedett legkisebb hajlítási sugár (d = lemezvastagság mm-ben)
PLEXIGLAS® GS és XT (beleértve a hasonló összetételű típusokat, mint például a Heatstop, Satinice, Soundstop, ...)	d × 330
PLEXIGLAS® Mirror XT	d × 330
PLEXIGLAS® Resist 45	d × 270
PLEXIGLAS® Resist 65	d × 210
PLEXIGLAS® Resist 75	d × 180

A **lepelalakításnál** a PLEXIGLAS GS, vagy a PLEXIGLAS XT lemezeket kemencékben vagy infravörös sugárzókkal melegítjük (lásd 3.1 és 3.2), majd a nem kívánt benyomódások elkerüléséhez lágy szövetel (pld. kesztyű bélés anyaggal) bevont szerszámra (pozitív, vagy negatív) ráfektetjük azokat (lásd 17. ábra). A nem kívánt benyomódások elkerülhetők úgy is, ha a lehető „legalacsonyabb” formázási hőmérséklet mellett végezzük az alakítást, ekkor azonban számolni kell azzal, hogy a formahűség csökkenhet, melyen feszítő vagy szorítórudakkal segíthetünk.

Az lepelalakítás szerszámain, megmunkáló eszközeit mindig elő kell melegíteni, hogy a

lemezmetset vetemedését megakadályozzuk, és elősegítsük a lemez egyenletes lehűlését is. Előnyösen befolyásolhatja a folyamatot a lemezfelület textillel vagy habanyaggal történő betakarása. A lepelalakítást általában az egytengelyű hajlítás során, többnyire hengeres forma kialakításához alkalmazzuk, kivételes esetben enyhe görbületű, kevésbé kidolgozott gömbformáknál is. Ilyen feladatoknál a teljes kerületet lefedő, alsó feszítőkeret segítségével rögzíthetjük a munkadarabot, és megakadályozhatjuk a ráncképződést. Ha az elasztikus memória miatt a pozitív szerszámoknál (konvex) nehezen érhető el az elvart formahűség, akkor célszerű negatív (konkáv) szerszámot

igénybevenni, mert kisebb erőfeszítéssel, jobb eredményt lehet velük elérni.

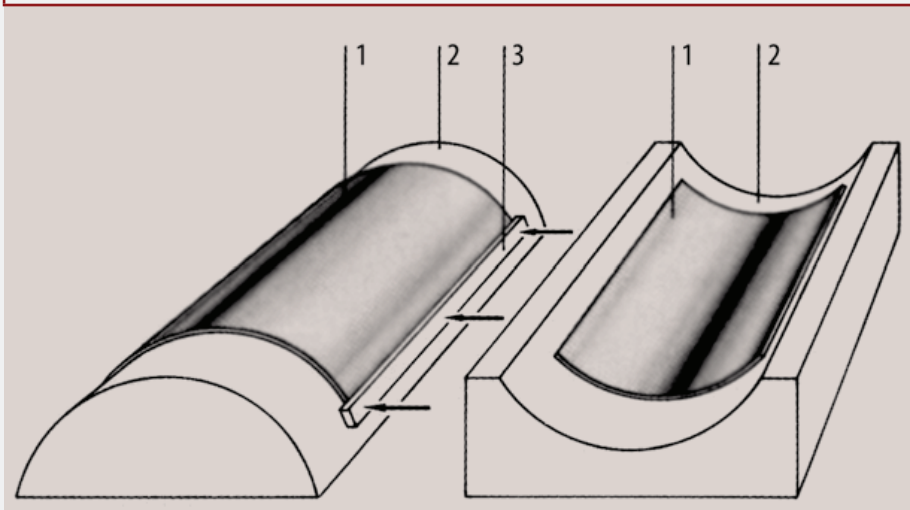
Ha a PLEXIGLAS® GS és PLEXIGLAS® XT csövekből a kívánt átmérő nem elérhető, egyszerű lemezanyagból is lehetséges a csövek, vagy akár kúpos, kónikus variációk kialakítása is (**csőformálás**). Mivel a melegítésnél - fizikai okok miatt - itt is zsugorodás lép fel, célszerű az anyag viselkedésének tanulmányozására előzetes csőalakítási tesztek végezni. **Figyelem:** extrudált anyagnál, mint a PLEXIGLAS® XT a melegedési zsugorodás hosszirányban és keresztirányban eltérő (extrúziós irányban történő zsugorodásról a 2. ábrán találhatóak adatok). A csőalakításnál figyelni kell arra, hogy a csővégek kis mértékben kihalasodnak, ezért a csővégeket az alakítás után célszerű levágni, tehát a valós méretnél hosszabb kiindulási mérettel szükséges számolni.

A gyakorlatban nem könnyű előre meghatározni a felmelegítés és a zsugorodás hatását a kívánt csőátmérő tekintetében, ill. a már kialakított cső végeit a ragasztás céljából a későbbi V horony számára letörni. A lemezvágatot célszerű ezek miatt valamivel nagyobbra választani, hogy a hosszanti lemezvégek a paláston az adott csőátmérőre történő alakítás után túlnyúljanak egymáson. A lehűlés után elvégezhetjük a pontosító vágást és ezt követően a varrat helyének ragasztását is.

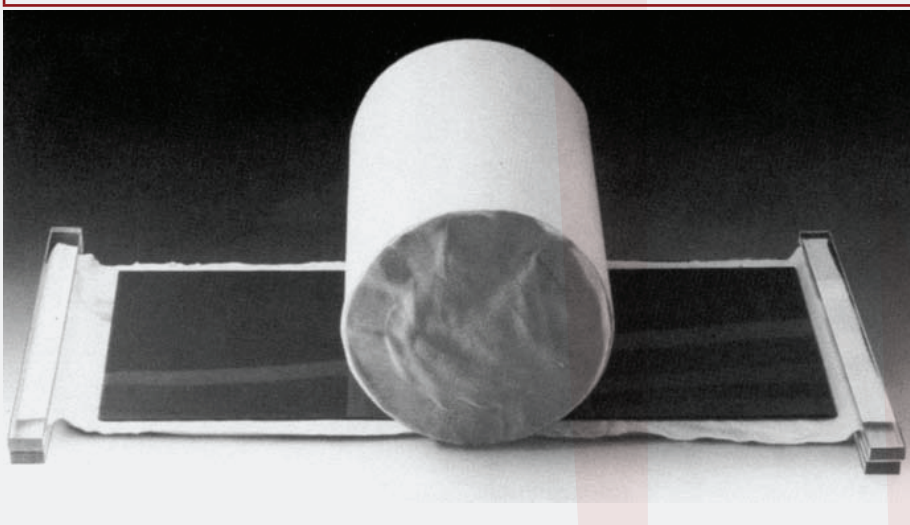
A 18. ábra szemlélteti a felmelegített anyag alakítását. A munkadarabot egy arra megfelelő szövetel a forma mag köré tekercseljük. Ennek az eljárásnak az előnye, hogy egyszeri felmelegítéssel és körformálással egyből a végleges állapotot érjük el.

Amennyiben ez a megoldás – például méret vagy meglévő berendezés miatt – nem lehetséges, létezik egy másik eljárás, melyet a 19. ábrán szemléltetünk. Ez az eljárás hengeres és kúpos kialakításra is alkalmas (üreges kúp). Az üreges test kialakításának megfelelő lemez szelvényt kemencében felmelegítjük, és mindkét varratelt ugyanazzal a rögzítőeszközzel egy

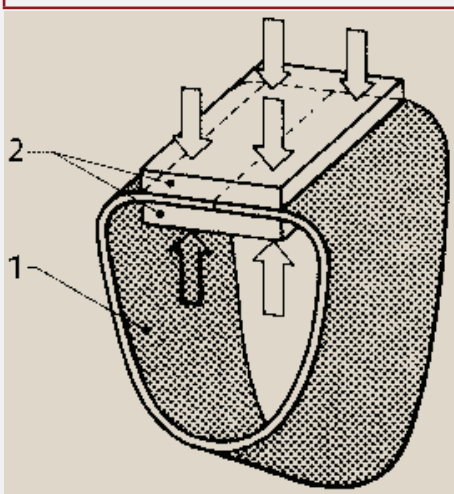
17. ábra: lepelformázás: PLEXIGLAS® lemez (1), szerszám szövetel letakarva (2), rögzítő elemek (3)



18. ábra: cső formázása lemezből, tekercseléssel



19. ábra: üreges kúp előformázása, PLEXIGLAS® GS (1), rögzítő tömbök (2)



síkban, átfedés nélkül rögzítjük.

Szükség esetén a lehűlés után a varratéleket vágással korrigálhatjuk, hogy tiszta és megfelelő ragasztási élt kaphassunk. A ragasztáshoz hézagkitöltő reaktív ragasztóanyagot, ACRIFIX® 2R 0190-t kell használni.

Ahhoz, hogy a ragasztási varratban a lehető legnagyobb szilárdságot érhesük el, a kikeményedett ragasztóanyag tartósságát és

tulajdonságait javítsuk, valamint a következő felmelegítésnél a lehetséges buborékképződést elkerülhessük, a munkadarabot temperálni kell.

A melegítő kemencében a formázáshoz szükséges, ismételt felmelegítés során megjelenő visszarendeződési erő hatására a PLEXIGLAS® GS esetében jól láthatóan, a PLEXIGLAS® XT esetén kevésbé, de a kívánt csőforma érhető el. A csövek a kemencében történő felmelegítésének különféle lehetőségeit az 5.7 Csövek és rudak meleg alakítása című fejezetben ismertetjük.

5.2 NYOMÓ ALAKÍTÁS

A nyomó alakítás tisztán mechanikai folyamat és legfőképpen akkor ajánlott, ha

- a széria darabszáma nem elegendő a fröccsöntéshez vagy
- nagymolekuláris PLEXIGLAS® GS szükséges.

A **dombornyomás** különösen fontos fajtája a PLEXIGLAS® GS, PLEXIGLAS® XT nyomással történő alakításának. Erre az alakításra jellemző a viszonylag nagy nyomóerő, amely a nyomóprofil alakjától, a szerszám kialakításától és a

nyomási folyamat során kiszorított anyagmenyiség hányadától függ. Tekintettel kell lenni továbbá a mindenkor anyagfajta alakítással szembeni ellenállására, amely a PLEXIGLAS® XT esetén alacsonyabb, a PLEXIGLAS® GS esetén magasabb.

Az alakítás előtt a megmunkálandó darabot és a formázó szerszámot is az alakítási hőmérsékletre kell felmelegíteni, így elkerülhető a korai lehűlés. Különösen az optikai elemek megmunkálásánál fontos, hogy a nyomó szerszámok kifogástalan minőségűre polírozható acélból készüljenek. Fontos továbbá, hogy a présszerszám legmélyebb részein a levegő akadálytalanul távozni tudjon.

A lehűlésnek minden oldalon egyenletesen kell megtörténnie, hogy a vetemedést és az anyagfeszültséget elkerülhessük. Vastagfalú termékek esetén a lehűlés – a műanyagok csekély hővezetőképessége miatt – viszonylag lassan megy végbe. Időtakarékossági szempontból ajánlatos több reteszelő szerszám (vagy többszörös szerszám) alkalmazása, melytel jobb prés kihasználtságot lehet elérni.

Egy másik lehetséges megoldás a **feliratok vagy szimbólumok dombornyomására**, ha a sík lemezeket, az alakítási hőmérséklet fölé melegített szerszámmal, egy hideg anyagba nyomjuk.

Különösen a sarkos, relief jellegű munkadarabok (pld. betűk) előállításakor kiváló eljárás, ha a felmelegített lemezdarabokat, a dombornyomás magasságánál kétszer vastagabb **szilikongumi lemezzel** (keménység: Shore A 60) egy negatív fémszerszámba nyomjuk. (lásd 20. ábra).

A nyomó alakítással készített termékek végleges felületének kialakításához további anyagok használata is lehetséges:

- strukturált lemezek, perforált lemezek, vagy az alakításhoz használt fémekből készült eszközök
- a formszerszámok béleléséhez használt kemény habanyagok mint például a

20. ábra: PLEXIGLAS® GS-ből nyomással készített betűk, alumínium formszerszámmal és szilikongumi lemezzel



ROHACELL®, lágy habanyagok (pld. poliuretán és poliéterhab), vagy a dombornyomás során alkalmazott szilongumi lemezek

- különféle más anyagokkal, mint a fa, textília, stb.

5.3 MÉLYHÚZÁS

A mélyhúzásos alakítás során a PLEXIGLAS® GS-t és a PLEXIGLAS® XT-t a felmelegítés után negatív szerszámmal vagy anélkül, bélyeggel vagy pozitív szerszámmal formázzuk. A lemezek azonban nincsenek szilárd, fix módon rögzítve, mint a korábban bemutatott módszereknél, hanem rugós szorítógyűrű tartja őket a megfelelő pozícióban. Az alakítás során tehát az anyag utánacsúszhat, így az anyagnyúlás nem csak a szabadon lévő anyagban történik, hanem abban a zónában is, amely a **rugós szorítógyűrű** alatt helyezkedik el. Megfelelő szerszámhőmérséklet esetén (kb. 100°C) a mélyhúzószerszám közel azonos falvastagságú formadarabokat állíthat elő. Az eljárás sajátja, hogy a kisebb benyomódások nem kiküszöbölhetők.

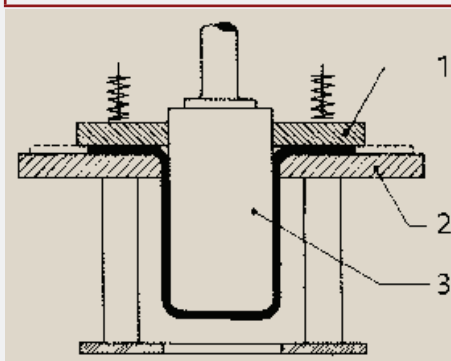
A 21. ábra egy forgásszimmetrikus alkatrész esetén mutatja be az eljárást. Az esetlegesen fellépő benyomódások ennél az eljárásnál főleg a belső oldalon találhatóak. A **bélyegbenyomódások csökkentésére** a bélyeg felülete ne legyen se durva, se fényesre polírozott, hanem legyen inkább matt, szatén jellegű.

Bizonyos esetekben a mélyhúzásos alakítást követően, a behúzott anyagot, a szorítógyűrű zárása mellett, préslégfomázással a negatív formaszerszámmal alakítják, így a korábban említett benyomódások elsősorban a külső oldalon jelennek meg.

5.4 HÚZÁSOS ALAKÍTÁS

A húzásos alakítás során a PLEXIGLAS® GS, PLEXIGLAS® XT anyagokat bélyegnyomással, sűrített levegővel, vagy vákuum segítségével, ellenszerszámmal vagy anélkül formáljuk. Eltérően a mélyhúzásos alakítással, amelynél az anyagot rugalmas szorítógyűrűvel, lazán

21. ábra: Mélyhúzás negatív forma nélkül; rugós szorítógyűrű (1), támasztógyűrű (2), bélyeg (3)



fogjuk be, itt az anyagot **szilárdan rögzítjük** (nyújtó alakítás). Az alakítás csak a szabadon lévő anyagrészekben történik. A kész termék alakjától függően az **anyagvastagság** vagy a teljes felületen, vagy annak csak egy részén **csökken**.

A kész darabok terhelhetősége a legvékonyabb résztól függ, ezáltal a további részek túlméretezettek lesznek. Ezt a hátrányt **mechanikus vagy pneumatikus előnyújtással** kerülhetjük el, így akár vékonyabb lemezvastagságot is használhatunk. A közel azonos falvastagságok közel azonos nyújtási fokokat jelentenek, így az anyagstruktúra majdnem teljesen egységes, azaz a szilárdsági értékek a munkadarab minden keresztmetszetén hasonlóak. (lásd. 4.1 Körülmények és viselkedés)

A **kombinált** eljárásokkal végzett alakítás kellő mértékben változatos ahhoz, hogy a kész termék azon keresztmetszeit szándékosan nagyobb falvastagsággal lehessen például gyártani, amik a felhasználás során erősebb igénybevételnek lesznek kitéve. Ezek az eljárások általában egyesítik a préslégfomázást, vagy a vákuumformázást, a bélyeggel történő alakítással. Ennek során a felmelegített lemezdarabot előnyújtjuk, és szívással vagy fúvással készre alakítjuk. Az összes kombinált eljárást, amelyek általában vákuumformázó gépeken lehetségesek, a következőkben részletesen tárgyaljuk.

Az, hogy az alakítást mechanikusan,

préslégfomázással, vagy vákuumformázással végezzük, függ a kész termék típusától, illetve az elvárt felületi minőségtől. Bélyeggel történő mechanikus nyújtás akkor ajánlott, ha a kész terméken belül nem lehet vastagsági eltérés a különböző keresztmetszetekben. Ezzel szemben a pneumatikus eljárások bonyolult formáknál és alávágott alkatrészek előállításához alkalmasak.

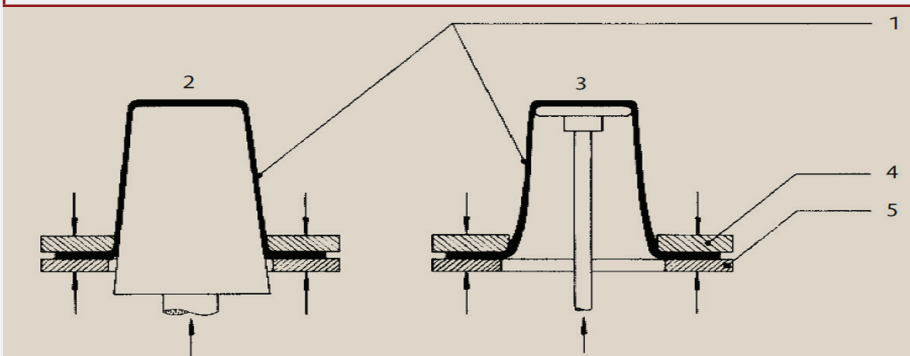
Az is a kész termék kialakításától függ, hogy a felmelegített munkadarabot sűrített levegővel, vagy vákuummal formázzuk.

A vákuumformázásnak határt szab az, hogy maximum 1 bar atmoszférikus légnyomás áll az alakítási munkához rendelkezésre. PLEXIGLAS® GS-ből készült munkadarabok esetén ez nem minden alkalommal elegendő az éles és jó kiformáláshoz. A vákuumformázás ezért csak a PLEXIGLAS® XT-nél és néhány speciális fajtánál: pld. PLEXIGLAS® GS SW és PLEXIGLAS® FREE FLOW® GS SW-nél lehetséges. Minden más esetben a sűrített levegős eljárás ajánlott, amely nagyobb alakítási erőt hozhatunk létre, mely jobb kiformálhatóságot eredményez.

A bélyeggel történő nyújtó húzásnál a felmelegített darabot bélyeggel, húzógyűrű, ill. kontúrlemez segítségével alakítjuk, vagy feszítőkeretbe befogva, pozitív szerszám fölött alakítjuk. Hideg bélyeg esetén a nyers munkadarab először érintett felülete az érintkezés során lehűl, így az anyagrész tovább nem alakítható, nyújtható, a formadarabok alja vastagabb lesz, míg a palástfelületek vékonyak, mert az anyag megnyúlása gyakorlatilag csak itt történik. Ezt az effektust egy rugózó ellenbélyeggel még erősíteni is lehet.

Egyenletes falvastagságeloszlás alakul ki akkor, ha a bélyegeket felmelegítjük az alakítási hőfokra. Ezzel elkerülhetjük az erős lehűlést, az anyag a bélyeg éle felett utánacsúszhat, így a nyúlás nemcsak az oldalsó részekben következik be. Az egyenletes utánacsúzás elérése érdekében az alakító bélyeggel érintkezésben lévő éleket erősen le kell gömbölyíteni és formazsírral, szilikonolajjal, talkummal vagy

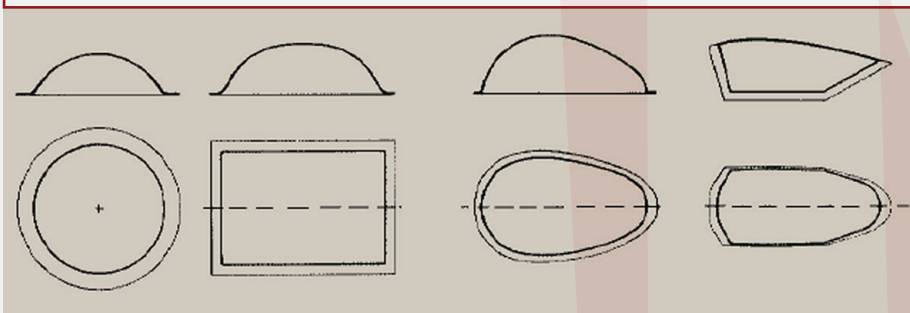
22. ábra: Hőformázás alávágott és tömör bélyeggel; PLEXIGLAS® (1), tömör bélyeg (2), alávágott bélyeg (3) rögzítő gyűrű (4), támasztógyűrű (5)



23. ábra: Felülvilágító kupola prés légformázása ellendarab nélkül



24. ábra: Alaprajzformák és a hozzájuk tartozó kontúrvonalak



PTFE-spray-vel kell kezelni.

Alávágott bélyeg használatánál ügyelni kell arra, hogy a köpenyfelület alsó tartománya jelentősen meggyöngyösül, amely csak a húzó-mélység növelésével fordul át kúposra. Ha egyenes kúp kialakítása szükséges, tömör bélyeget kell alkalmazni, melynek az anyag a nyújtás közben neki támaszkodhat (lásd 22. ábra). A tömör bélyeggel történő húzás során általában elkerülhetetlen a szerszámbenyomódások megjelenése a formadarabon, amelyek különösen az átlátszó termékeknél lehetnek feltűnőek. Ezért gyakran a tömör bélyeg helyett vázszerzőt alkalmaznak a benyomódások meggátolása érdekében (lásd 7.1. fejezet).

Az ellendarab nélküli szabad prés légformázásnál, vagy vákuumformázásnál a felmelegített, befogott lemezdarabot sűrített levegővel húzógyűrűn vagy feszítőkereten át a szabad térbe fúvatjuk, vagy vákuummal formaedénybe szívattuk (23. ábra).

Az így készített termékek jó optikai minőséggel rendelkeznek, mivel gyártás közben nem érintkezik az anyagfelület és a forma fala. Ebben az esetben benyomódás sem jöhet létre és nincs zónánkénti lokálisan eltérő lehűlés sem. Ezzel az eljárással kupolaformájú termékeket készíthetünk, melyek alakja a feszítőkeret geometriájának megfelelően gyakorlatilag magától beáll. A gyakrabban előforduló alaprajzformákat a 24. ábra mutatja.

A kívánt magasságot, ill. mélységet a nyomás, ill. a vákuum változtatásával érhetjük el. A magasság behatárolásához lágy, hőszigetelő tulajdonságú anyagokból készült sablont alkalmazhatunk, amely kizárja az optikai torzulásokat a munkadarabon. További lehetőségként a nyomás, ill. a vákuum automatikus szabályozása fényerőszórással vagy közelségérzékelővel, amely a levegő-hozzávezetést elektromágneses szelepen át vezérli. Bár az ilyen érintkezésmentes gyártás költségeiben alacsonyabb ki, de nagyobb szériák esetében mindenképpen előnyösebb is.

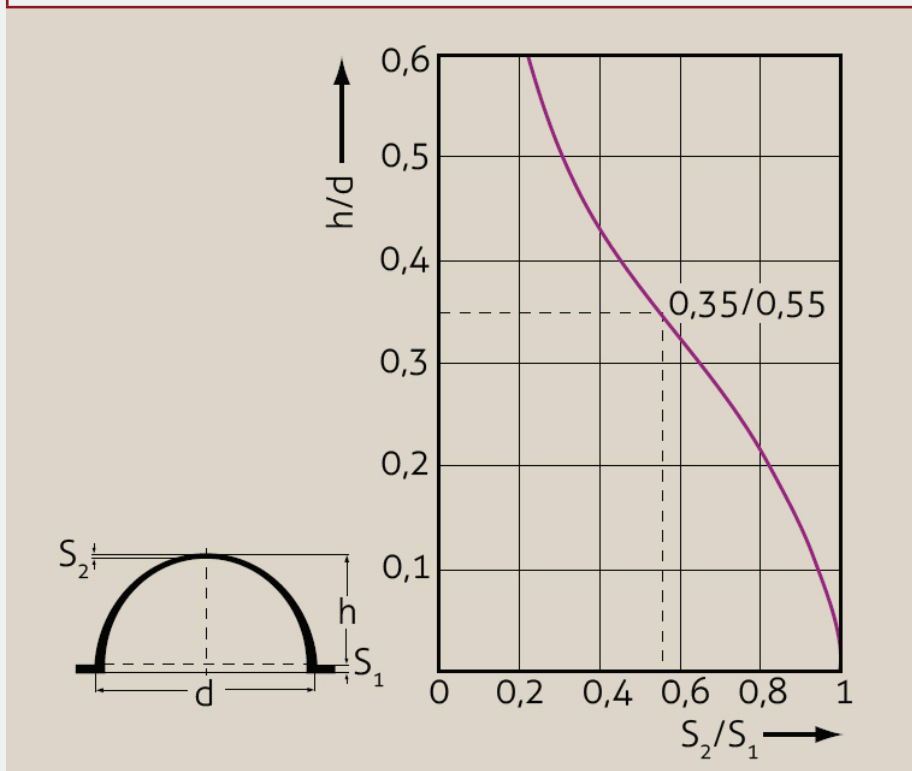
Ha az egyenletesen felmelegített lemeztárgyakat a leírta szerint alakítjuk, a **vastagságeloszlás** a húzási mélységgel fordítottan arányos lesz. A 25. ábrán ezt az összefüggést egy szabadon fúvott félgömbhéj példáján keresztül mutatjuk:

Lemezvastagság:	$s_1 = 8 \text{ mm}$
Kupolaátmérő:	$d = 1000 \text{ mm}$
Kupolamagasság:	$h = 350 \text{ mm}$

A tető anyagvastagságát a következő módon határozhatjuk meg. A kupolamagasság és az átmérő hányadosaként kiszámítjuk a h/d arányt, mely 0,35. A h/d tengely ennek az értéknek megfelelő pontjából vízszintest húzva, megnézzük, hogy az a görbét mely ponton metszi. Ezt a metszéspontot függőlegesen levetítjük az S_2/S_1 tengelyre. Az itt leolvasott érték alapján megkapjuk az $S_2/S_1 = 0,55$ értéket, majd az eredeti lemezvastagság (S_1) behelyettesítésével kiszámítjuk a tető (S_2) anyagvastagságát. $S_2 = 0,55 \times 8 \text{ mm}$, azaz $S_2 = 4,4 \text{ mm}$.

A fúvással, vagy szívással, ellenforma nélkül gyártott termékek méret- és kontúrponthossza, ill. reprodukálhatósága a legtöbb alkalmazás esetén (pld. felülvilágító kupolák) megfelelő. Ez legfőképp akkor igaz, ha a befogó peremét később a beépített termék rögzítőperemékként használjuk. A formaszerszám viszonylag egyszerű lehet. Fúváshoz stabil alaplamezt alkalmazunk feszítőkerettel. A rögzítőperem

25. ábra: Préslégformázott félgömbhéj vastagságeloszlása



biztosítja a jó tömítést. A felmelegített lemezek befogására mechanikus vagy pneumatikus feszítőkarok alkalmasak. Számuk a készítenő darab nagyságához, a feszítőkeret szilárdságához, a szükséges összenyomáshoz és az egyes befogók terhelhetőségéhez igazodik.

Gyakorlati példa: PLEXIGLAS® XT-ből készült „szokványos”, 3-6 mm vastag felülvilágító kupola. A kiindulási adatok a következők:

Kupolamagasság:	a nettó szélesség, ill. átmérő 25%-a
Nyújtási fok:	kb. 16% a csúcson biaxiálisan
Anyagvastagság:	az eredeti vastagság kb. 75%-a a csúcson
Melegítési hőm.:	150-160 °C légkeveréses kemencében, vagy infravörös fűtéssel

Mivel a nyomás a fúvóasztal és kupolahéj között rövid ideig csak kb. 0,01-0,03 MPa-ra emelkedik, a formaszerszám felső rögzítőkerete akkor van lefűrés ellen biztosítva, ha annak

rögzítőereje kb. 0,05 MPa. Egy adott, névleges méretű kupola, ill. a formaszerszámra vonatkozó, mechanikus, vagy pneumatikus rögzítőkeret tartóereje kedvezőtlen esetre – pld. sík segélyrel rendelkező kupola formadarab esetén – az alábbi képlettel számolható:

$$F_H = \frac{P_{\max} \times A \times L \times 1000}{U_K}$$

F_H = rögzítőelem tartóereje (N)
 $P_{\max}$ = maximális fúvónyomás (MPa)
 A = névleges terület (m²)
 U_K = a kupola kerülete (m)
 L = befogási távolság (mm)

Példa: Egy 2000×1000 mm-es kupola névleges területe 2 m², a kerülete 6 m. Ebből adódik, hogy kb. 450 mm-ként elhelyezett, egyenként kb. 7,5 kN = 7500 N tartóerejű befogóelem ajánlott (A befogó- és rögzítőfelületek célszerű kiképzéséről lásd a 7.2 fejezetet). A fúvókák kitérésénél ügyelni kell arra, hogy a beömlő sűrített levegő ne közvetlenül a felmelegített lemezdarábra kerüljön. Ez helyileg különböző

lehűléshez és – ennek köszönhetően – optikai zavarokhoz vagy hibás alakításokhoz vezetne. Ennek megakadályozására ütköző lemezeket, szitákat vagy anyaglátéteket kell a beömlőnyíláshoz felszerelni, melyek a levegőáramot elterelik vagy elosztják. A felmelegített lemez behelyezését – a nem kívánatos lehűlés elkerülésére – arra kell figyelni, hogy az alaplemezt is előzőleg felmelegítsük, ill. anyaggal burkoljuk vagy szigetelő anyaggal, pl. habanyaggal lefedjük.

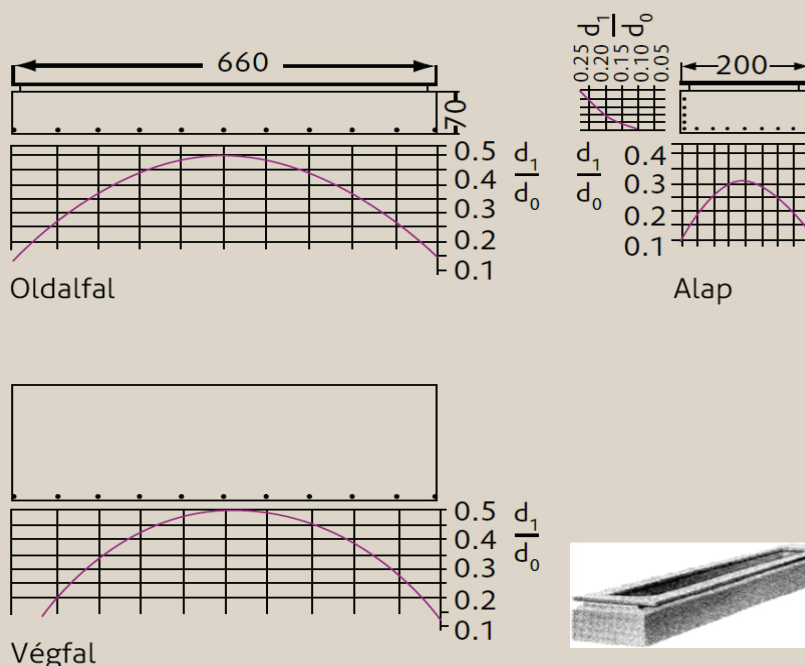
Vákuummal történő megalakításnál a vákuumnyílásokat egyenletesen kell elosztani, hogy a keletkező légárammal az egyoldalú lehűlést megakadályozzuk. Nagy termékek alakításánál a vákuumszivattyú elé előtétartályt kell kapcsolni, ezzel nagy térfogatot is a lehető leggyorsabban leszívhatunk.

A **negatív szerszámmal, présleggel, vagy vákuummal történő alakítás** változó falvastagságú termékeket eredményez. A formaszerszám kialakításától függően a felmelegített anyag egy része nagyon gyorsan érinti a szerszám falát, és a lehűlés miatt többé már nem nyújtható. A további alakítás ekkor már csak a szabadon lévő területeken lehetséges. Az extrém mértékű alávágások vagy kiöblösítések eközben túlzott mértékű nyújtási fokot és ebből adódóan csekély falvastagságot eredményezhetnek. A 26. ábra mutatja a PLEXIGLAS® GS-ből vagy XT-ből, prés légformázással készült, alávágást is tartalmazó fénycsőarmatúra vastagságeloszlását.

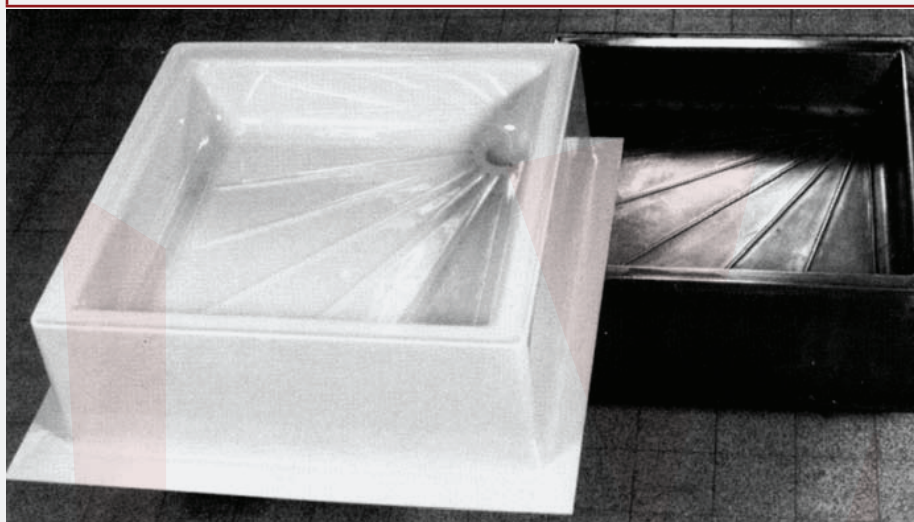
A legmagasabb nyújtási fokok a kész terméken belül azokon a helyeken láthatók, melyek a sík kiindulási anyag felületének a középpontjától legtávolabbra esnek.

Egyenletes falvastagság érhető el a legnagyobb nyújtási fok zónáinak helyileg korlátozott és vezérelt hűtésével, ez azonban nagy tapasztalatot igényel. Jól kidolgozott sarkok csak úgy alakíthatók ki, ha speciális szerszámokat használunk, melyek lehetővé teszik, hogy a nyomást 15 bar-ig növeljük. Az ilyen

26. ábra: PLEXIGLAS® GS-ből, vagy XT-ből prés légformázott fénycsőarmatúra anyagvastagsági eloszlása



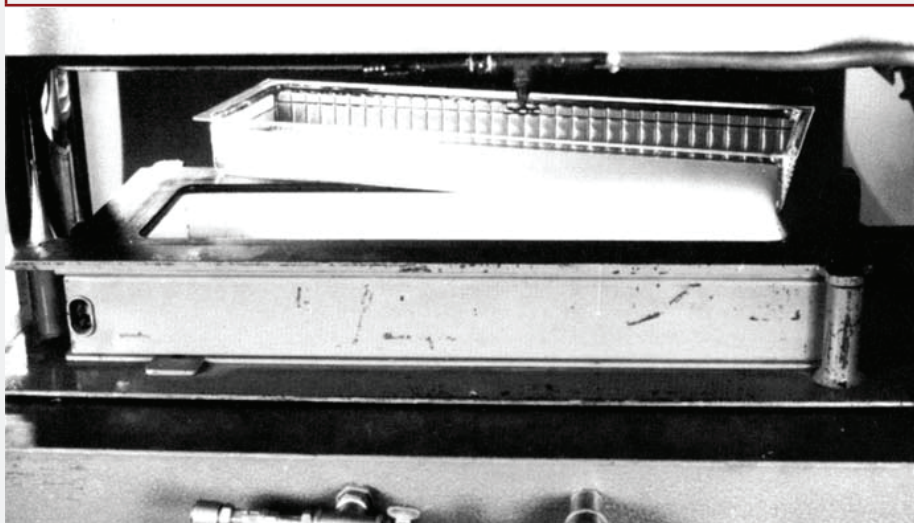
27. ábra: Zuhanytálca és a pozitív formaszerszáma



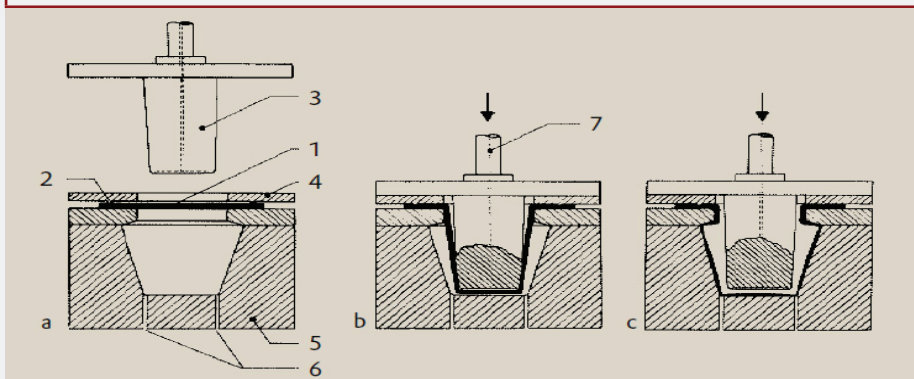
nagy erők esetén a formaszerszámokat már hidraulikus **présekkel** kell lezárni, melyek megfelelő tömítettséget biztosítanak. A prés kapacitása a szükséges záróerő, a formázandó termék területe és az alakítási nyomás alapján számítható ki. Ennél az eljárásnál a formaszerszámokat megfelelően méretezett, biztonsági tényezővel kalkuláltan, alumínium öntvényből vagy acélból kell készíteni. A túlterhelés

megakadályozására túlnyomási szelepeket kell beépíteni, a szépen kirajzolt, éles kontúrok eléréséhez a szükséges helyeken szellőztető csatornákat vagy furatokat kell elhelyezni. Ajánlatos a fedelet vagy az alaplemezt az alsó présasztalra és a formaszerszámot a présnyeregbe szerelni. Így az elszennyeződést és a felmelegített anyag formaszerszámba történő átlógását elkerülhetjük.

28. ábra: Fénycsőarmatúra, pozitív szerszám és a formázott alkatrész



29. ábra: Préslégformázás negatív szerszámba, mechanikus előnyújtással. PLEXIGLAS® (1), tömítőperem (2), bélyeg (3), befogókeret (4), negatív szerszám (5), szellőzőcsatornák (6), sűrített levegő csatlakozás (7)

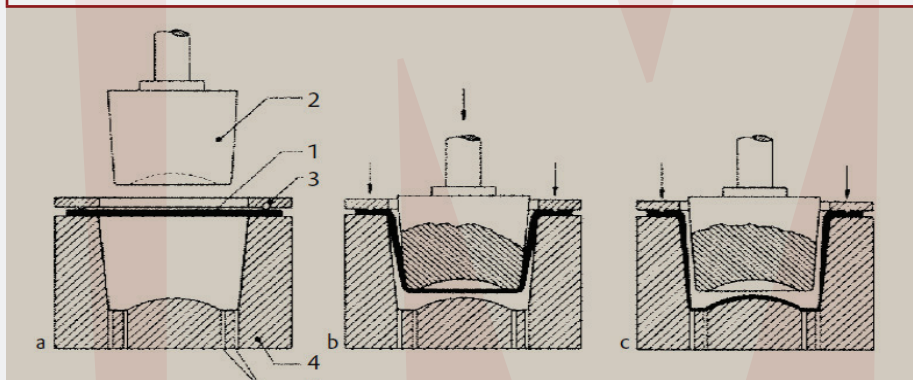


Általános szabály a **pozitív vagy negatív szerszámmal történő megalakításnál** esetén, hogy a pozitív szerszám teljesen azonos kialakítású, mint a kész munkadarab, a negatív szerszám pedig annak lenyomata (lásd a 27. és 28. ábrát).

A **negatív szerszámba történő vákuumformázás** alig különbözik a préslégformázásnál ismertetett eljárásától. A fúvófedél itt befogó gyűrűvel és kerettel pótolható. A szerszám és a befogó elemek gyengébbek lehetnek, így hidraulikus présre sem lesz szükség. A szellőztető csatornák pozícionálásával analóg módon a szívófuratok a vákuum eljárás esetén is a legtovábbi pontokra kerüljenek. A vákuumeljárás a fúvással szemben még egy technikai előnyt kínál: mivel a teljes alakítási keresztmetszet szinte szabadon van, a lemez befogott állapotban

infravörös sugárzással melegíthető. Általában felületi sugárzókkal (fűtőernyőkkel) történik, amelyeket a szerszám vagy a formázóállomás fölé lehet helyezni. Negatív szerszám használata esetén a kontúrok pontosan leképződnek, de benyomódások előfordulhatnak a látható felületeken.

30. ábra: Vákuumformázás negatív szerszámba, mechanikus előnyújtással. PLEXIGLAS® (1), bélyeg (2), rögzítőkeret (3), negatív szerszám (4), szívócsatornák (5)



A negatív szerszámba, mechanikus előnyújtással történő fúvásnak fontos előnye, hogy alávágott formadarabokat is előállíthatunk ezzel az eljárással. (lásd 29. ábra).

A különösen nagy nyújtási fokok eléréséhez, a felmelegített anyagot rugalmas rögzítőgyűrűvel rögzítve, az előnyújtás fázisában lehetséges utáncsúztatni (lásd. 5.3 Mélyhúzás c. fejezetben). A felmelegített lemezanyagot bélyeggel előnyújtjuk és végül sűrített levegővel a végleges formára alakítjuk. Eközben először az oldalsó részek nyúlnak meg, majd a többi hely, amely a bélyeghez támaszkodott. Ezen a módon, közel egyenletes falvastagság érhető el. A vastagságeloszlás függ a bélyeggel történő előnyújtástól. A szerszámokat – főként a bélyegeket – jól fel kell melegíteni, nehogy a lehűlés miatt zavarokat okozzon.

A negatív szerszámba, mechanikus előnyújtással történő préslégformázásnál a folyamat a 29. ábra szerint történik:

- Kiindulási állapot
- Mechanikus előnyújtás
- Sűrített levegővel történő végformálás

melynél egymás után következnek

- a PLEXIGLAS® lemezek felmelegítése
- felhelyezés a szerszámba és befogás szilárd vagy rugalmas alátéttel
- előnyújtás és az előnyújtás folyamat végén a szerszám lezárása
- készre alakítás sűrített levegővel
- lehűtés kb. 60-70°C-ra
- kivétel a formából.

▪ a **negatív szerszámba, mechanikus előnyújtással történő vákuumformázásnál**

lényegében ugyanez érvényes, mint a fűvés esetén. A max. 1 bar-os csekély nyomáskülönbség miatt azonban csak erős, alávágás nélküli, egyszerűbb formadarab készítése lehetséges.

A 30. ábra mutatja az alakítási folyamatot:

- Kiindulási helyzet
- Mechanikus előnyújtás
- Végformálás szívással (vákuum)

A **pozitív szerszámba présléggel, vagy**

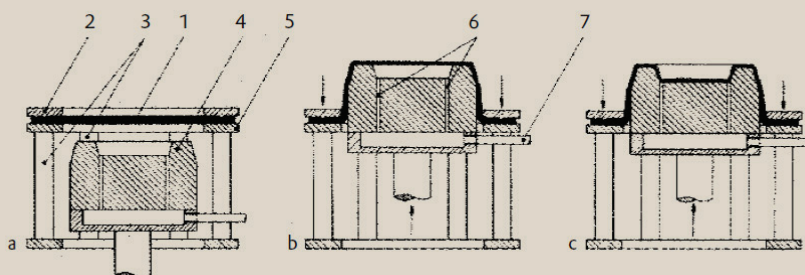
vákuummal történő alakításra technikailag ugyanaz érvényes, mint a negatív szerszámokkal történő megalakításnál. Az exakt szerszámforma ebben az esetben a nem használt oldalra, azaz belülről esik, így a használati oldalon nem képződnek formalenyomatok. A legvékonyabb helyek többnyire a kész darab felületén és oldalain képződnek, míg a negatív szerszámoknál ezek általában az éleken és a peremeken alakulnak ki. A megfelelő meleggömökölési eljárás kiválasztásához minden esetben meg kell vizsgálnunk az elvárt követelményeket, és ez alapján érdemes dönteni.

Szemben a negatív szerszámba történő nyújtásos húzással, a **pozitív szerszámba, mechanikus előnyújtással történő szívásnak** az az előnye, hogy a szerszám egyidejűleg, mint bélyeg szolgál az előnyújtásra. Lenyomatok ezenkívül csak a felületen léphetnek fel. A 31. ábra mutatja az eljárási folyamatot:

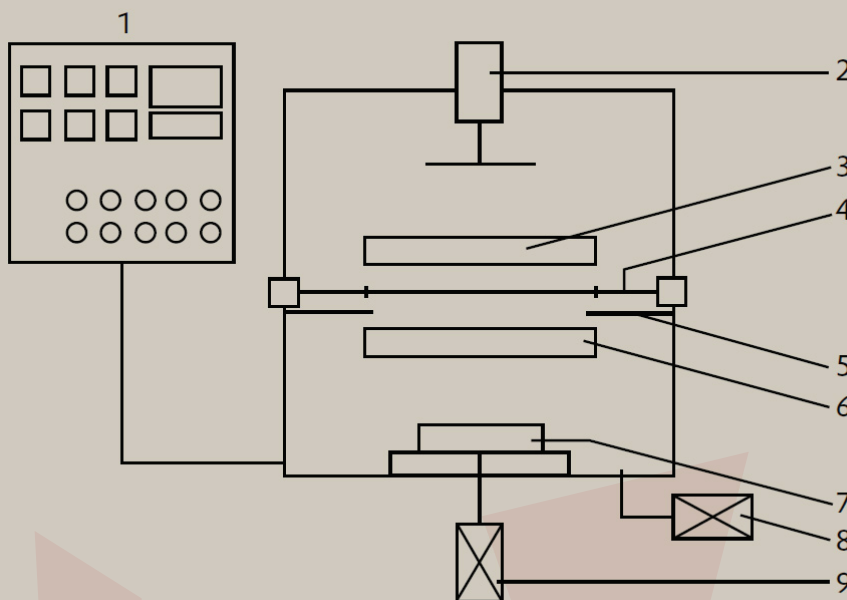
- kiindulási helyzet
- mechanikus előnyújtás
- végformázás szívással (vákuum).

Ahol a vákuumerők nem kielégítőek, hasonló alakítás sűrített levegő segítségével is lehetséges. Mindkét esetben ügyelni kell arra, hogy a szerszámokat jól felmelegítsük (lásd. 2.1) és a szívó- ill. szellőztetőcsatornák a formaszerszám megfelelő pontjain legyenek.

31. ábra: Vákuumformázás pozitív szerszámba, mechanikus előnyújtással. PLEXIGLAS® (1), rögzítőkeret (2), támasztócsövek (3), pozitív szerszám (4), szerszámkeret (5), szívócsatornák (6), vákuumcsatlakozás (7)



32. ábra: Vákuumformázó gép sematikus kialakítása: vezérlőszekrény (1), felső bélyeg (2), felső fűtés (3), befogókeret (4), ablaklemez (5), alsó fűtés (6) szerszámasztal szerszámmal (7), sűrített levegő (8), vákuum (9)



33. ábra: Vákuumformázó gép és formázóállomás összehasonlítása

	Vákuumformázó gép	Külön formázóállomás
Előnyök	- felső és alsó fűtés - univerzálisan használható - az alakítási folyamat vezérelhető - egzakt hőmérsékletszabályozás - rövid ütemidő - automatikus betáplálás, illetve kiadás lehetséges	- kedvező beszerzési lehetőségek - saját kialakítás és építés lehetséges - az adott feladathoz illeszthető
Hátrányok	- magas beszerzési ár - hosszú szerelési idő a szerszámok gyakori cseréje esetén	- többnyire csak kevés szerszámmal - kézi, vagy kis automatizáltságú vezérlés - csak felső fűtéssel, vagy fűtés nélkül (külön)

5.5 MELEGALAKÍTÁS MÉLYHÚZÓ GÉPEKKEL

A korábban részletezett, a PLEXIGLAS® GS-nél, PLEXIGLAS® XT-nél alkalmazott előnyújtásos formázási technikák az úgynevezett hőformázó, vagy vákuumformázó (mélyhúzó) gépeken is elvégezhetők. A külön alakító állomásoktól eltérően a mélyhúzó berendezések univerzálisan használhatóak. Előnyük, hogy minden folyamat automatizálható, azaz minden esetben tökéletesen azonos termékek állíthatók elő.

Majdnem minden mélyhúzó gép rendelkezik felső- és többnyire alsó fűtéssel is. Az infravörös sugárzókat a vezérlőszekrényen keresztül egyenként vagy csoportokban a mindenkori szükséges sugárzás teljesítményre állítják be, a lemez hőmérséklet eloszlása a mindenkori szerszám geometriájához illeszkedik. A kivittől függően a lemezfelület hőmérsékletét érintésmentes infravörös sugárzási pirométerrel mérik, amelyet többnyire a felső fűtőegységbe szerelnek be. Ha ez a mérési lehetőség nem adott, a lemez hőmérsékletet a felmelegítési idővel vezérlik.

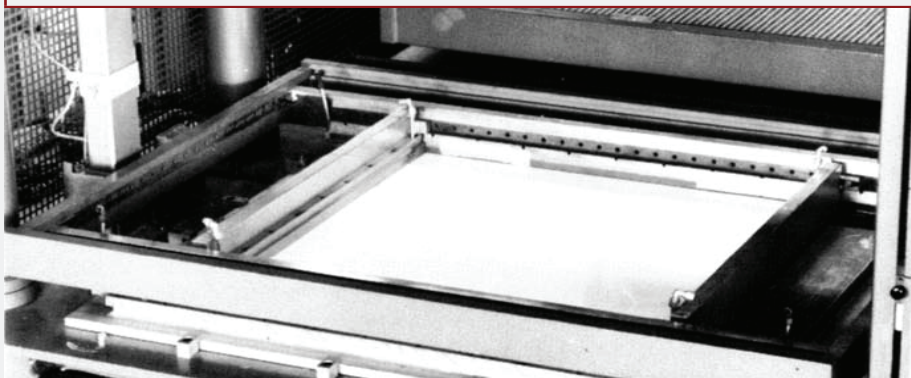
A 32. ábra mutatja be egy mélyhúzó berendezés elvi felépítését. Előnyeit és hátrányait pedig a 33. ábra foglalja össze.

A sűrített levegő csatlakozásán át a felmelegített lemezt szükség szerint előfújuk, mielőtt a szerszámasztal a szerszámmal felfelé elmozdulva becsúszik ebbe a buborékba. Az előfújás használatával, különösen a magas szerszámok esetén, egyenletesebb vastagság-eloszlást kapunk. Az automatikus vezérlésnek köszönhetően az előfújás buborékja minden esetben azonos. A végső formázást vákuummal végezzük.

A felső bélyeg használhatjuk

- szerszámtartóként,
- vagy a mechanikus előnyújtás berendezésének (pld. ütköző lemez) rögzítéséhez, vagy
- kiegészítő utánbélyegző szerszámmal láthatjuk el.

34. ábra: Zuhanytálca hőformázása vákuumformázó gépen
a: méretrevágott PLEXIGLAS GS SW lemez



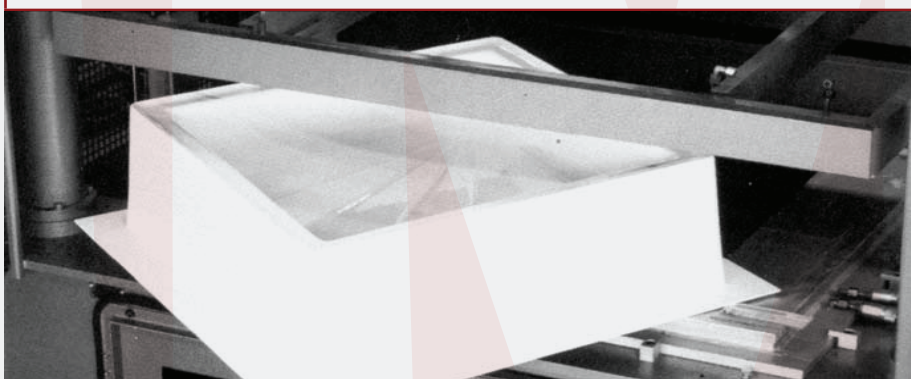
b: lemezvágat előfűtés közben



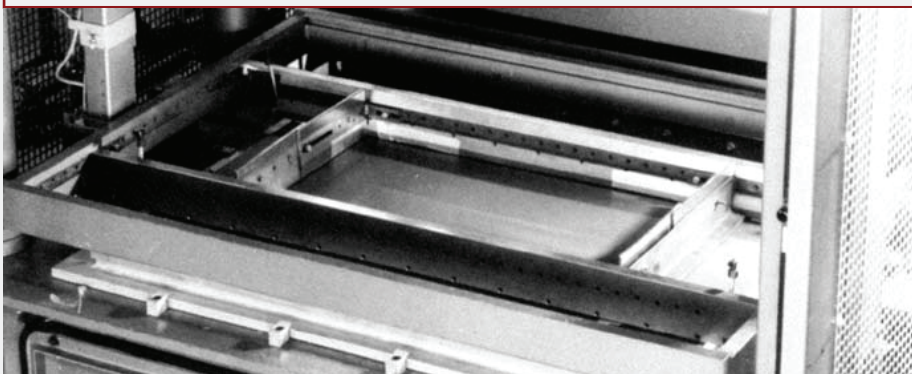
c: vákuumformázást követően



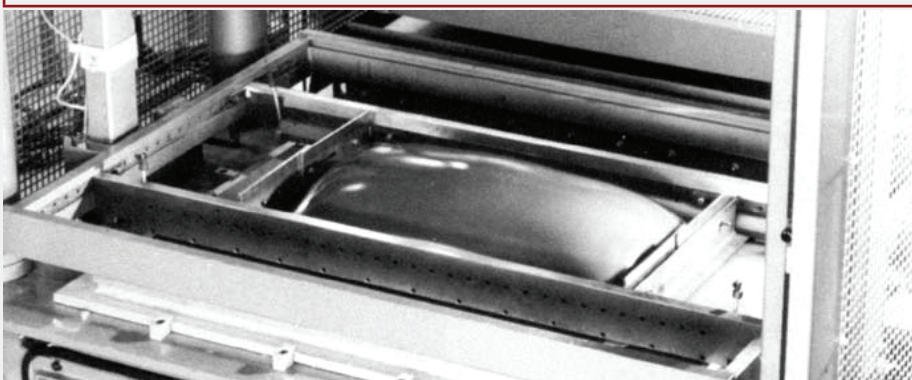
d: a kész termék kivétele



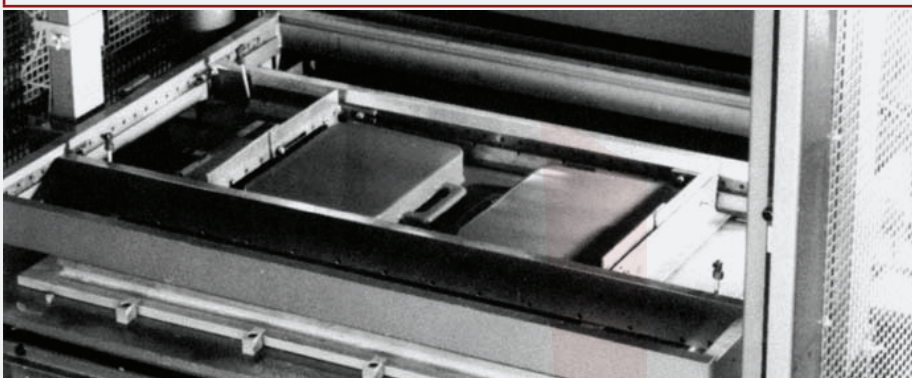
35. ábra: Böröndelemek hőformázása vákuumformázó gépen
a: méretvágott PLEXIGLAS XT lemez



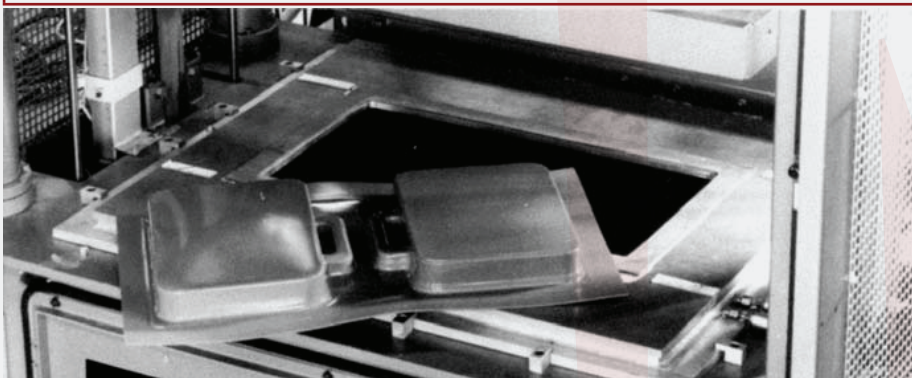
b: előfűtés



c: vákuumformázást követően



d: a vákuumformázott elemek kiemelése



Az egyes lépések időbeli lefutását ennél az eljárásnál vezérlő berendezések segítségével automatizálhatjuk, így

- a fűtési időket és a formálási hőmérsékletet,
- a levegővel történő előnyújtást (a buborék nagyságát),
- a vákuumkésleltetést,
- a vákuum időtartamát,
- a hűlési időket, és
- a formából való kivétel folyamatát

reprodukálhatjuk.

A 34., 35. és 36. ábrák PLEXIGLAS® GS SW (zuhanytálca), PLEXIGLAS® XT (börönd) és PLEXIGLAS RESIST® (fali szekrény) melegalakítását mutatják be mélyhúzó gépeken történő általános alakító folyamat segítségével.

Bizonyos esetekben, például komplex formák megmunkálásánál, célszerű a mélyhúzógép felső bélyegén **ütköző lemezeket** alkalmazni (Röhm-szabadalom: DE-A 3516467). Ennek segítségével behatárolható a magassága, és el- laposítható az előfűvott buborék, megkönnyítve ezzel a formaszerszám betolását, valamint egyenletesebb falvastagság eloszlást érhetünk el vele (lásd. 37. ábra).

További előnyt nyújthatnak a **kétlépcsős rögzítéssel** (Röhm-szabadalom: DE 341 0550C 2) és **temperálható befogókerettel** ellátott mélyhúzó gépek. Előnyük a vetemedésmentes befogóperemek biztosítása.

A szokásos melegalakítás után a befogókeret lehűlése miatt, a kész termékben deformáció jelentkezhet, melyet a rögzítési zóna és a szabadon álló lemeztérlet közötti hőmérsékletkülönbség, valamint a korlátozott hőtágulási lehetőségek, ill. a zsugorodás eredményez. A kétlépcsős rögzítés ezzel szemben lehetővé teszi az akadálytalan hőtágulást, mivel az első lépcsőben (a melegítés elkezdése után) a befogókeret a lemezvágatot csak lazán fogja be, egyúttal a temperált befogókeret felmelegíti a rögzítő peremet, csökkentve a hőmérsékletkülönbséget a szabadon lévő, infravörös

sugárzókkal felmelegített lemezterülethez viszonyítva. A második lépcső mindaddig nem hajtódik végre – fixre zárás –, amíg a vágat többé-kevésbé el nem éri a lágyulási hőmérsékletet, és nem relaxálódik.

A következő hőmérsékleti értékek bizonyítottan alkalmasak rögzítőkeret beállításához:

PLEXIGLAS® GS	80 °C
PLEXIGLAS® XT:	75 °C

5.6 MELEGALAKÍTÁS PRÉSEKKEL

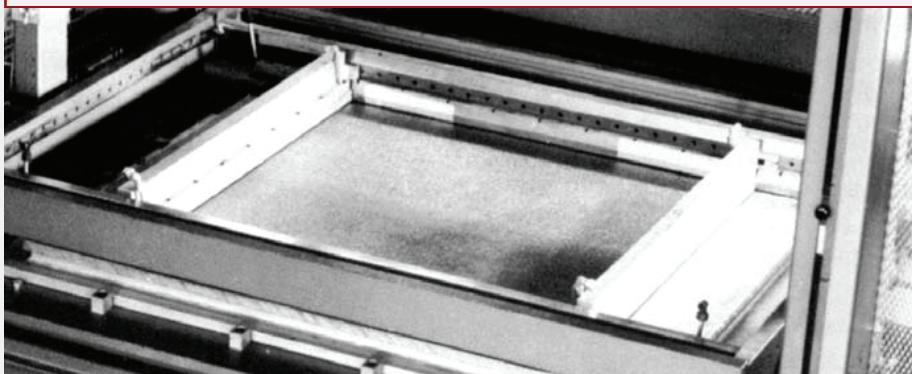
PLEXIGLAS® GS-ből, vagy XT-ből készült lemezvágatok esetén a gyakorlatban gyakran alkalmazunk préseket. A lemezvágatok előmelegítése ezeknek a gépeknek a használatakor jellemzően máshol történik.

Különösen a nagyobb munkadarabok alakításánál, vagy a nagy fűvónyomások esetén jelentős befogó- és alakítóerőre lehet szükség, amelyeket a mélyhúzó gépek, azaz vákuumformázó gépek esetleg már nem tudnak biztosítani. Ilyen esetekben megfelelő teljesítményű préseket kell alkalmazni. A legtöbbször hidraulikus, néhány esetben mechanikus berendezésekről beszélünk. Ezek a prések általában univerzálisan használhatók, mivel nagyszámú formaszerszámot alkalmazhatunk velük.

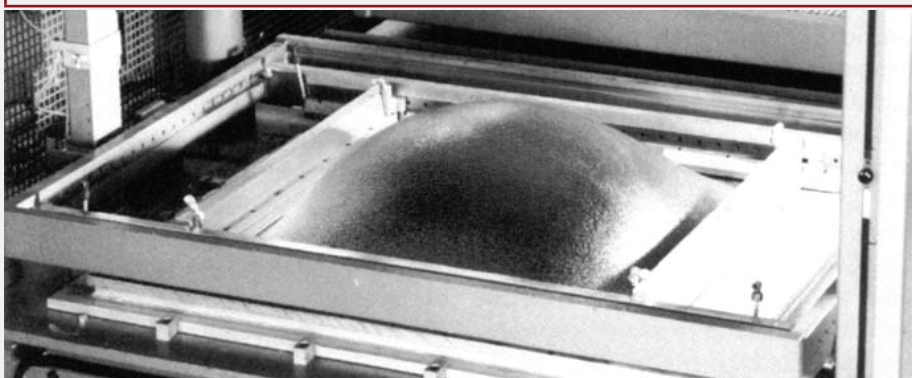
Használatuk jól kezelhetővé teszi a különböző gyártási programok és technikák változtatását, továbbá bármilyen méretű lemezvágattal dolgozhatnak. A hidraulikus prések további előnyei az építési módjukból adódóan:

- nagy nyomású mozgó présasztal,
- mozgó présnyereg nagy nyomásokhoz,
- pneumatikus vagy hidraulikus bélyeg az asztalon és/vagy a nyergen,
- a sűrített levegő és/vagy vákuum kiegészítő bevezetése az asztalhoz és/vagy nyereghez,
- a melegítés lehetősége a présen a mozgó vagy lengő infravörös fűtőernyővel,
- osztható présasztalok, azaz egyes alkatrészek külön vagy ellentétes reteszelés mellett együttesen működhetnek.

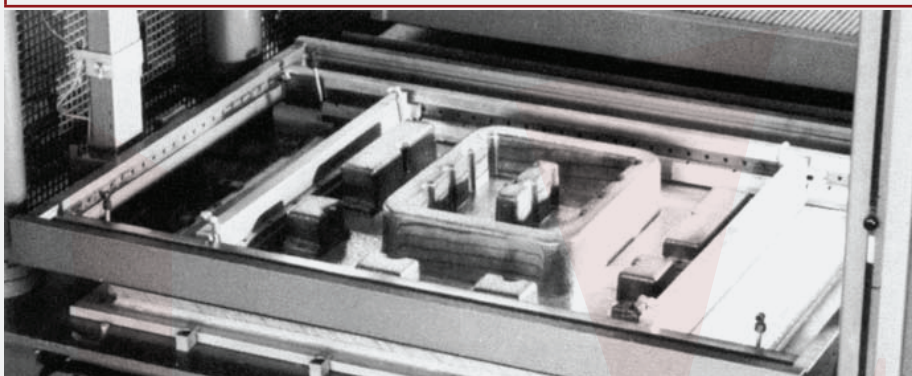
36. ábra: Fali szekrény hőformázása vákuumformázó gépen
a: méretre vágott PLEXIGLAS RESIST lemez



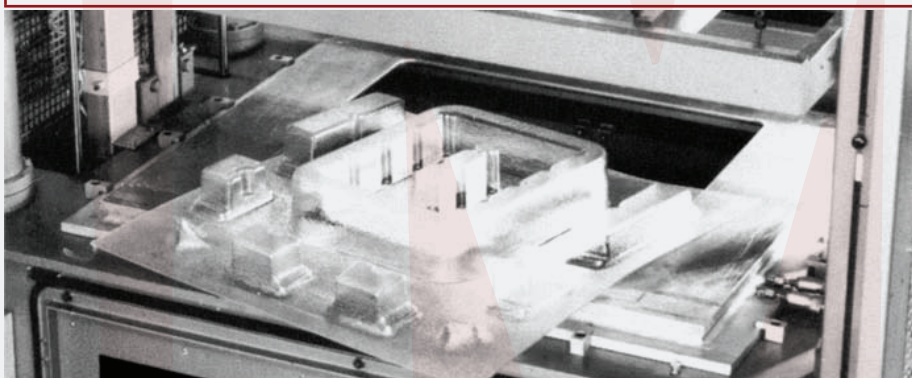
b: előfűtés



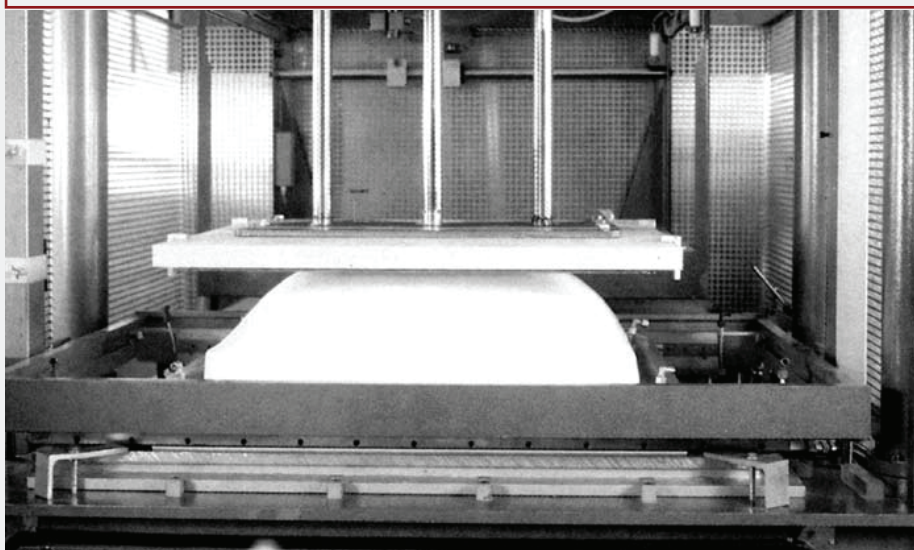
c: vákuumformázást követően



d: a vákuumformázott elemek kiemelése



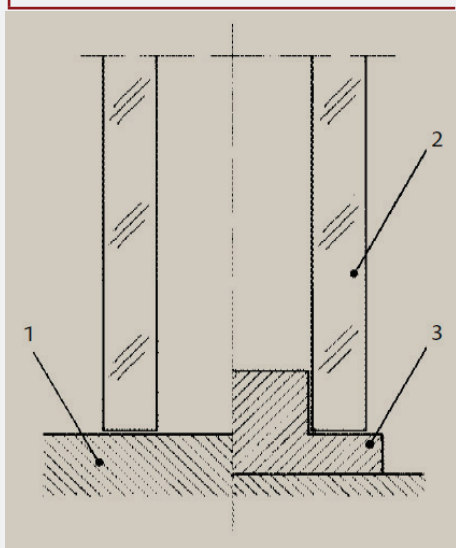
37. ábra: előfűvás ütközőlemezzel



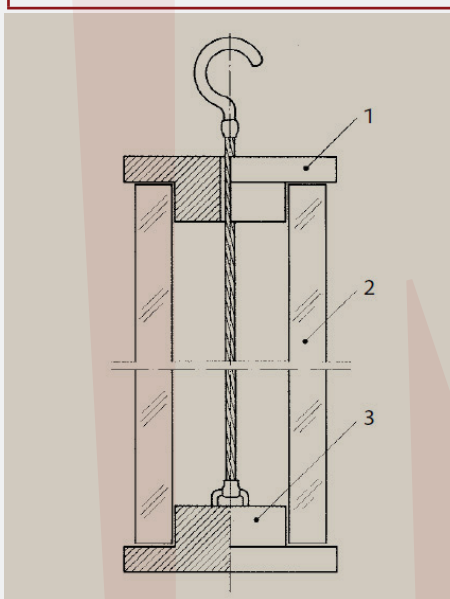
A maximális préselési erő az alakítandó darab nagyságától és az alakítási technológiától függ. Ez egy 3000×1000 mm asztalnagyság esetén 1000 - 2000 kN között mozog. A nyomás nagyságát automatikus nyomáshatárolóval (nagynyomású kontakt kapcsolóval) lehet beállítani. A gyors alakításhoz kétlépcsős hidraulika ajánlott. Az alsó nyomásfokozat a prés gyors lezárásáról gondoskodik, a második lépcső adja a szükséges befogó- és alakító nyomást.

Szériagyártás esetén az alakítási folyamat automatikus. Amíg nem tisztán sűrített levegős alakításról van szó, az asztali hidraulika mellett a tényleges alakításhoz további hidraulikus működtetésű szerszámok szükségesek. Ezek az asztalra vagy a nyeregbe szerelhetők.

38. ábra: álló melegítés. Alátét (1), cső (2), központosító mag (3)



39. ábra: függesztes melegítés, központosító tárcsákkal. Központosító tárcsa furattal (1), cső (2), központosító tárcsa felfüggesztéssel (3)



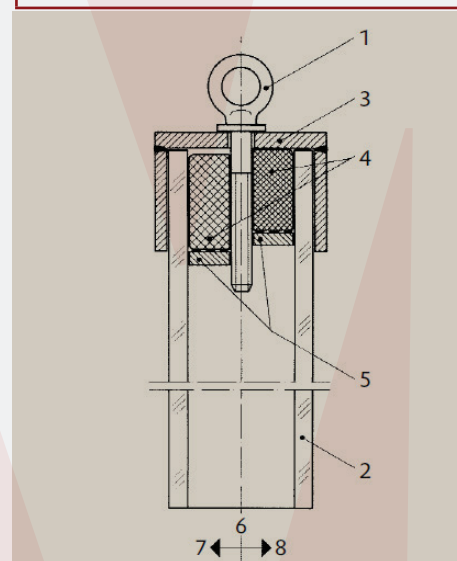
5.7 CSÖVEK ÉS RUDAK MELEGALAKÍTÁSA

PLEXIGLAS® GS-ből, PLEXIGLAS® XT-ből készült csövek **szabad hajlítása** megtámasztás nélkül történik. Ilyen esetben, amikor a csöveket szögben meghajlítjuk, azok belső vagy külső falait nem támasztja meg semmi, a csövek nincsenek kitöltve támasztóanyaggal, illetve kívülről sem használunk formázóablont. A kemencében történő felmelegítésnél három módszert alkalmazhatunk a csőszelvény rögzítésére:

- **sík alátétre vagy középpontosító magra állítjuk** – abban az esetben, ha a csőhossz nem sokkal nagyobb, mint a csőátmérő és a falvastagság sem túl keskeny (38. ábra).
- **felfüggesztve és mindkét csővégen középpontosító tárcsával**, ha a csövek vastagfalúak és hosszuk az átmérő háromszorosát nem éri el (39. ábra)
- **felfüggesztve és harangalakú tartóval a felső szegélynél** – abban az esetben, ha a csövek nagyon hosszúak és vékonyfalúak (40. ábra)

A legkisebb lehetséges hajlítási sugár a csőátmérőtől (d) és részben a falvastagságtól is függ. A következő táblázatban a 10-60 mm átmérők

40. ábra: függesztes melegítés tartókkal. menetes szár függesztfüggel (1), cső (2), harang formájú tartó (3), gumitömb a rögzítőtárcsához ragasztva (4), szorítótárcsa csavarmenettel (5), rögzítés (6), lazán rögzített állapot (7), fixen rögzített állapot (8)



közötti PLEXIGLAS® csövek megengedett legkisebb szabad hajlítási sugarait találja. Ameddig ezeket az értékeket nem lépjük át, a kör keresztmetszet csak nagyon csekély mértékben válik oválissá a hajlítás során. Nagyobb sugar esetén ezt a változást a külső íven keletkező húzófeszültség okozza, amely a belső íven a nyomófeszültség ellen dolgozik. Ha eközben átlépünk bizonyos határfeszültségeket, a cső megroppanhat.

A PLEXIGLAS® XT-ből készült csövek esetén ezek a tapasztalati úton meghatározott értékek jelzik, hogy a melegítést nagyon szűk hőmérsékleti tartományban kell végezni, amit az adott melegítési eljárásnak megfelelően kell meghatározni.

A nagyon pontos ívek hajlításakor sablont kell használni. A hajlítás során, illetve az ívsablon készítésekor vegye figyelembe, hogy az alakított cső a hűlés folyamata során kissé szétnyílik majd. (lásd 5.1).

Kis hajlítási sugarak esetén ajánlott sík lemezből két megfelelő félhéjjat gyártani, majd azokat összeragasztani. Nagyobb méretek esetén is ezt az eljárást érdemes alkalmazni. Azoknál a munkáknál, ahol nagy pontosságot kell elérni, hajlításablont, vagy kalibert kell használni, mely megtámasztja a csövek belsejét is, illetve megakadályozza a csövek hűlés közbeni oválosodását (lásd 41. ábra).

A már említett megroppanás elkerülése érdekében a **hajlítást belső támasztékkal** is végezhetjük. Homok, gipsz, iszapolt kréta és más, fémcövek hajlításánál alkalmazott porszerű anyagok használata nem javasolt a víztiszta csövek hőformázásakor, mert a belső felületüket behomályosíthatja. Belső megtámasztásként

- gumigyűrűket
- gumiköpenyes fémspirálokat vagy
- egymásba helyezett gumicsöveket

használhatunk, hogy a felület fényességét ne befolyásoljuk. Ezek az elasztikus belső támasztékok a PLEXIGLAS® cső meleg hajlítása és

csőátmérő [mm]	legkisebb megengedett hajlítási sugar [mm]
10	80
20	100
30	120
40	150
50	190
60	250

lehűlése után a hajlatból általában problémamentesen kihúzhatók, ha előzőleg talkummal beszorjuk őket.

Fontos, hogy a támasztékok pontosan a cső belső átmérőjéhez illeszkedjenek. Ilyen esetben a táblázatban látható minimális szabadhajlítási sugarakat a harmadikkal csökkenteni lehet. A folyamat következtében a csőív belső oldalán jelentős formabenyomódások jelenhetnek meg.

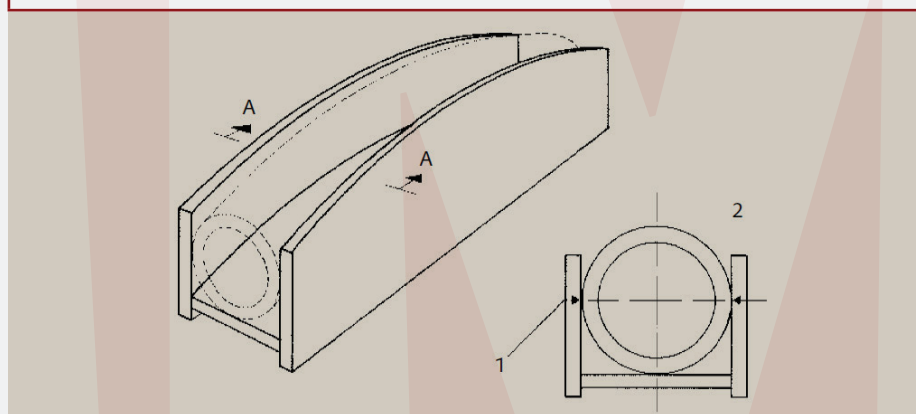
Lehetséges, hogy egy, a szükségesnél némileg kisebb átmérőjű, de nagyobb falvastagságú csőből, préslégfórmázással, két részes alakítószerszámban gyártjuk le a kívánt hajlítási méretet. (lásd 42. ábra, illetve a **préslégfórmázást** alább).

Kevésbé megszokott, de ettől még alkalmas formázási megoldás az **átlapolás**, amikor a cső egyik végét formázási hőmérsékleten feltágítják egy megfelelő méretű tuskával, majd ezzel a felével egy másik cső végére ráhúzzák, amire hűlés közben rázsugorodik. Ez az **oldalsó** módszer jellemzően a PLEXIGLAS® GS termékeknél

működik, a PLEXIGLAS® XT esetében kevésbé. A csővég tágitásához használt tuska készülhet keményfából, fémből, vagy műanyagból. A tágitó tuska kihúzása esetenként nehéz lehet, de előzetes felmelegítése megkönnyíti a folyamatot. A cső belső fala és a tuska közötti nagymértékű súrlódás behatárolja az átmérő lehetséges növelését, így az kb. a falvastagság háromszorosával tágitható. A tágitás mélysége maximum a csőátmérő 1,5-szerese lehet. Rendkívül pontos illesztés hozható létre úgy, hogy a felbővített csövet egy másik, az eredeti mérettel rendelkező csőre ráhúzzuk, majd forró levegővel lokálisan melegítjük, aminek következtében a kitágított cső **rázsugorodik** a másikra. Ugyanez a módszer más anyagokra történő ráhúzás esetén is működik, de a mag külső kerülete nem lehet kisebb a cső eredeti belső kerületénél. Mivel az ilyen csőtoldások esetén az anyagban nagy belső feszültségek maradnak, így a vegyszerek könnyen feszültségi repedéseket okozhatnak, ezért mindenkor erősen javasolt a kész kapcsolat relaxációja.

Néhány feladathoz sarkos keresztmetszetű csőtest szükséges, ezeket feszítőberendezéssel tudjuk alakítani. Itt jellemzően PLEXIGLAS® GS-ből készült csöveket alkalmazunk, melyeket az alakítási hőmérsékletre történő felmelegítés után mechanikus feszítőberendezéssel hengeres vagy kúpos formára tágitunk. A csőtágítás sűrített levegővel megfelel a csövek negatív formába történő húzóalakításának és mindenekelőtt kúpos csövek és változó vagy

41. ábra: PLEXIGLAS GS és XT cső hajlítása sablonban. oldaltámasz (1), A-A metszet (2)

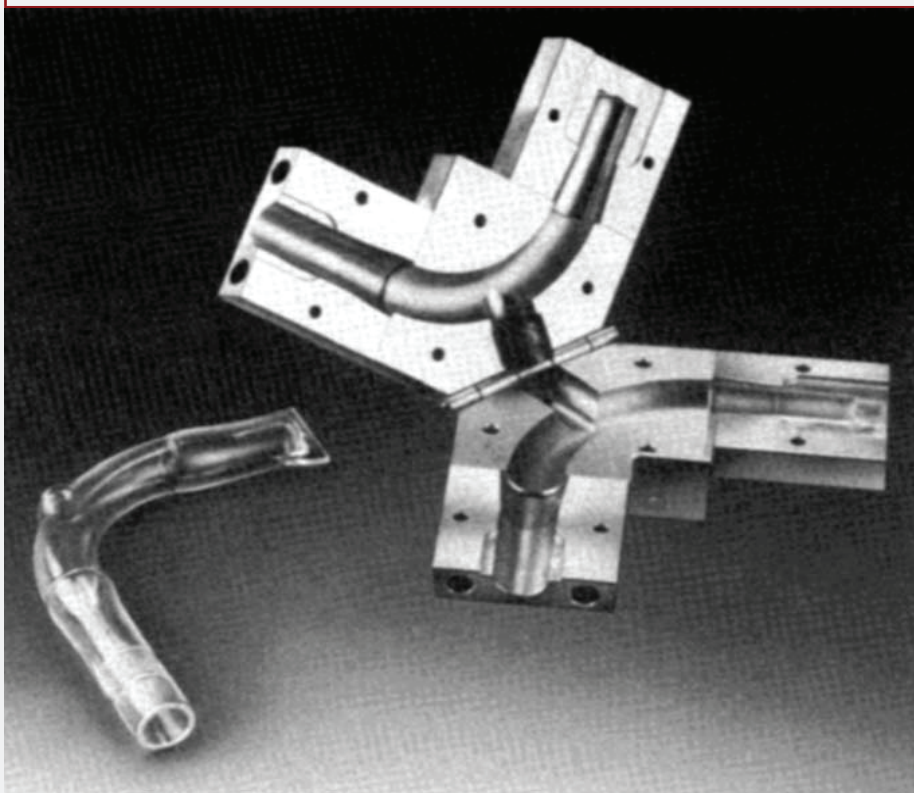


nem kör keresztmetszetű csövek előállítására használhatjuk. A falvastagság a nyújtási foknak megfelelő mértékben csökken. Ha a cső keresztmetszete a teljes hosszán azonos marad, akkor akár az eredeti átmérő két-, háromszorosára is lehet tágítani (lásd 43. ábra). A szerszámnak a folyamat közben fellépő alakító nyomást biztosan kell viselnie. Bonyolult munkadaraboknál a formákat fűteni kell. A csőátmérőtől függően különféle befogó- és tömítőberendezéseket kell alkalmazni (lásd. 5.1 fejezet). A felmelegített csöveket a formába helyezésüket követően a csőtengely irányában enyhén húzni kell, hogy a csőfalak behúzódnak, illetve megereszkedését megakadályozzuk. Hosszú méretű csövek esetén ajánlott a szerszámot úgy felépíteni, hogy a felmelegített cső, függőlegesen lóghasson a formaszerszámban. Ennek hiányában, alakítási hiba fordulhat elő, vagy a csőfalak – különösen a PLEXIGLAS® XT csöveknél – szilárdan egymáshoz tapadhatnak.

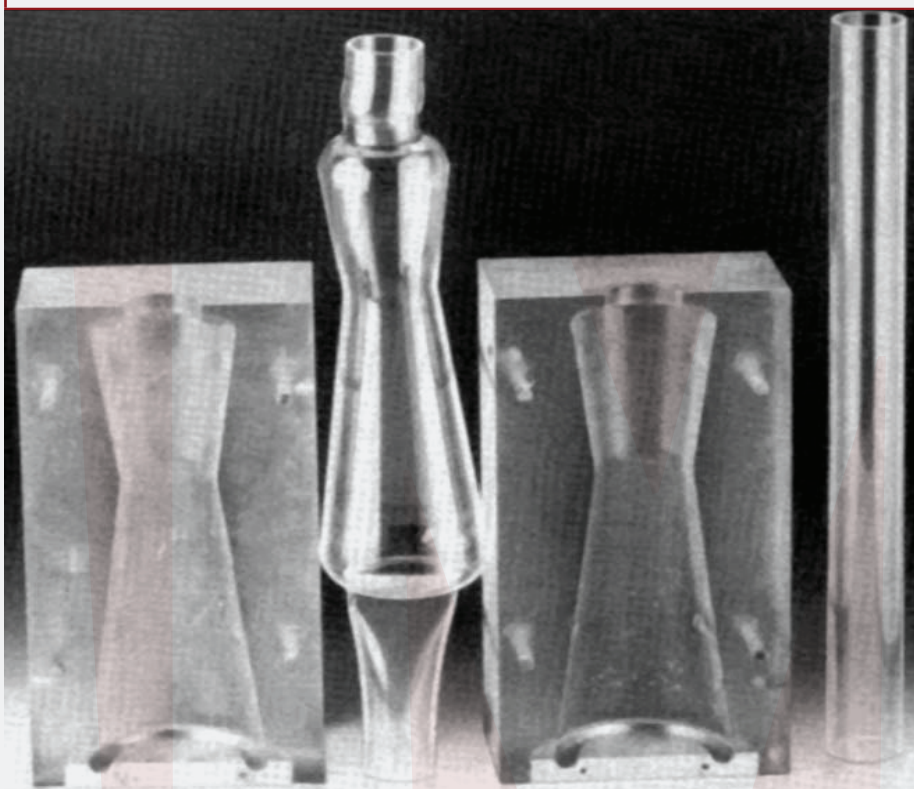
A PLEXIGLAS® GS-ből és XT-ből készült **kör és négyszög keresztmetszetű rudakat** külső támasztékok segítségével, a csövekhez hasonló módon alakítjuk, mely jellemzően ívelést, vagy egyenes vonalú hajlítást jelent. Téglalap vagy négyzet keresztmetszetű rudak formázásakor, a lemezeknek megfelelő ajánlások érvényesek. A kör keresztmetszetek ugyanúgy viselkednek, mint a csövek belső megtámasztással. Lehetőség szerint nagy hajlítási sugarat kell választani, hogy az erősebb torzulásokat a hajlítási területeken elkerüljük. Amennyiben a négyzetes PLEXIGLAS® rudakat a hossztenge-lyük mentén kell elforgatni, elcsavarni a meleg megmunkálás során, célszerű azt esztergapadon végezni.

Néha előfordul, hogy bizonyos feladatokra nyújtott körkeresztmetszetű PLEXIGLAS® GS rudakra van szükség, ilyen például egy szegecs is. A nyújtást egy hengeres rúd alakítási hőmérsékletre történő melegítését követően, esztergapad segítségével lehetséges elvégezni, amivel kb. 70%-os mértékben, monoaxiálisan megnyújtható.

42. ábra: csőalakító sablon prés légformázáshoz



43. ábra: tágító sablon prés légformázáshoz



6. LEHŰLÉS

6.1 LEHŰLÉS

A lehűlés folyamán a PLEXIGLAS® GS-ből, PLEXIGLAS® XT-ből készült formadaraboknak szilárdan befogva kell maradniuk az alakító erők hatása alatt. A kész termékeket a sablonból csak azután szabad kivenni, ha azok megfelelő méretstabilitást értek el. Ez a feltétel akkor teljesül, ha a termék hőmérséklete

PLEXIGLAS® GS esetén	70 °C
PLEXIGLAS® XT esetén	60 °C

alá kerül.

Fontos, hogy a formadarab teljes keresztmetszete elérje a fenti hőmérsékletet!

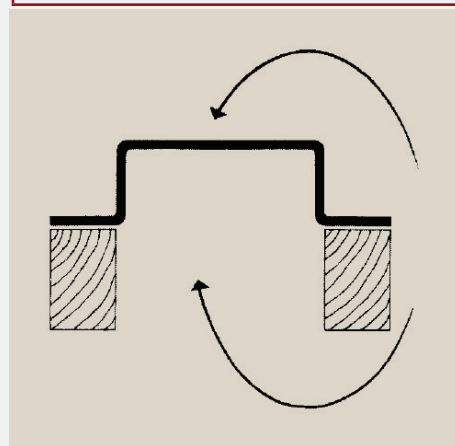
A lehűtés/lehűlés folyamatának egyenletesnek kell lennie, hogy a belső feszültség kis mértékű legyen. Mivel az akrilüveg hővezetése alacsony, a vastagabb darabok csak nagyon lassan hűlnek le, éppen ezért ezeket a formából való kivétel után lágy szövetekkel vagy hőszigetelő anyagokkal kell letakarni, hogy az esetleges légmozgást megakadályozzuk, és a temperálás-hoz hasonló hatást érhetünk el.

A hőformázott munkadarab, amely korábban a hő hatására kitágult, a hűlés folyamán zsugorodik. Ezt a méretváltozást nem szabad megakadályozni, hogy ezzel elkerüljük az ebből eredő belső feszültségek kialakulását. Ha a formadarabnak a formaszerszáma történő rázsugorodásával feszültség keletkezhet, közvetlenül a formatartó állapot elérését követően (esetlegesen még röviddel a fenti hőmérséklet elérése előtt) ki kell venni a sablonból. A PLEXIGLAS®-ból készült formadarabok jobban hajlamosak berepedzni, ha a lehűtés túl sok időt vesz igénybe, és a zsugorodás miatt a terméken belül nagy belső feszültség keletkezik. A termék típusától és kialakításától függően, a sablonból kivett munkadarab pontosságát és a síkok egyenességét a lehűtési eljárás helyes megválasztásával pozitívan befolyásolhatjuk.

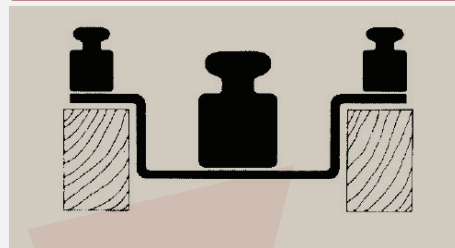
A lehűtés történhet:

- kis felfekvési felületen érintkező, sík alátámasztáson, ahol a munkadarab egyenletesen érintkezhet a helyiség levegőjével a deformálódásmentes lehűlés érdekében. Ez a leginkább alkalmazott megoldás az egyszerűbb feladatok esetén. (lásd. 44. ábra)
- szigetelőanyagból készített sík felületen történő szabad tárolással, kiegészítve helyi befogásokkal, vagy lesúlyozással, hogy a termék alakjától függő deformálódást a kihűlés után meggátoljuk. Jellemző alkalmazási helye például fénycsőfedelek, zuhanytálcák, felülvilágító kupolák és fényreklám berendezések esetén (lásd. 45. ábra)
- A formadarabok elhelyezése hőszigetelő anyagból készült tartószerkezeten, hőszigetelő szövetréteggel letakartan, hogy biztosíthassuk a lassú és egyenletes lehűlést. Ha a termékek egymásra rakhatók a lehűtés idejére, akkor közéjük minden esetben hőszigetelő anyagot kell tenni. Ez az eljárás általában vastagfalú alkatrészek esetén ajánlott (lásd. 46. ábra).

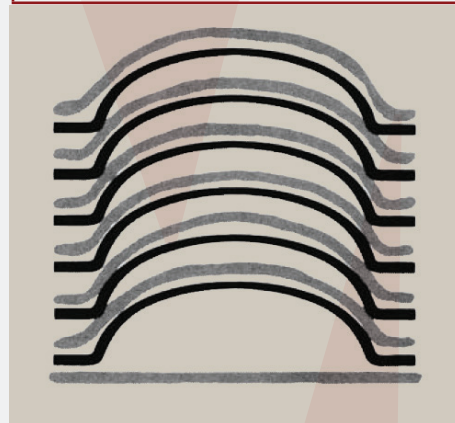
44. ábra: termékek hűtése szabadonállóan, kis felfekvő felülettel



45. ábra: termékek hűtése lesúlyozva



46. ábra: termékek hűtése rakatolva, a rétegek között hőszigetelő anyaggal



7. SZERSZÁMOK

7.1 SABLONOK

A PLEXIGLAS® GS, PLEXIGLAS® XT melegalakítása egyszerű szerszámokkal lehetséges. A sablonok előállítására alkalmas a fa, a farostlemez, a fém vagy az öntőgyanta. A kiválasztásánál döntő

- a mechanikai igénybevétel
- a szükséges élettartam
- a mérettartóság
- a hővezető-képesség
- a megmunkálhatóság
- a súly, valamint
- az anyag- és előállítási költség.

A negatív szerszámba történő préslegformázás nagy mértékű mechanikai igénybevétellel jár. A szerszámok itt főként acélból vagy alumíniumból készülnek, és a minden esetben szükséges a terhelésre méretezni és ellenőrizni is őket. Kisebb terhelések esetén öntőgyantát, a leg-
alacsonyabb mechanikai igénybevétel vagy e nélküli alakításoknál (például a lepelformázásnál) fa ill., műanyag szerszámot használhatunk.

A formaszerszámok élettartamát az alakítandó darabok száma és a mindenkor mechanikai és termikus terhelés határozza meg.

Az alakítási mód – pozitív vagy negatív – meghatározza a sablon szükséges mérettűrését. A PLEXIGLAS® GS és a PLEXIGLAS® XT nagy hőtágulási együtthatója miatt, a hűlési folyamat során jelentős mértékben **zsugorodik**. A formaszerszámokat ennek megfelelő túlmérettel kell elkészíteni, melynek mértéke formaszerszám anyagától függően **0,5-0,8%** nagyobb, mint a kész termék névleges mérete.

Ahhoz, hogy a munkadarabok könnyebben kivehetőek legyenek a sablonból, a pozitív formaszerszámoknak, a szerszám magasságától függően, a függőleges oldalnak 1-3° ferdeséggel kell rendelkeznie. Negatív szerszámok esetén ez általában nem szükséges, mivel a termék lehűlés közbeni zsugorodása, a forma-

szerszámtól való leválásához vezet.

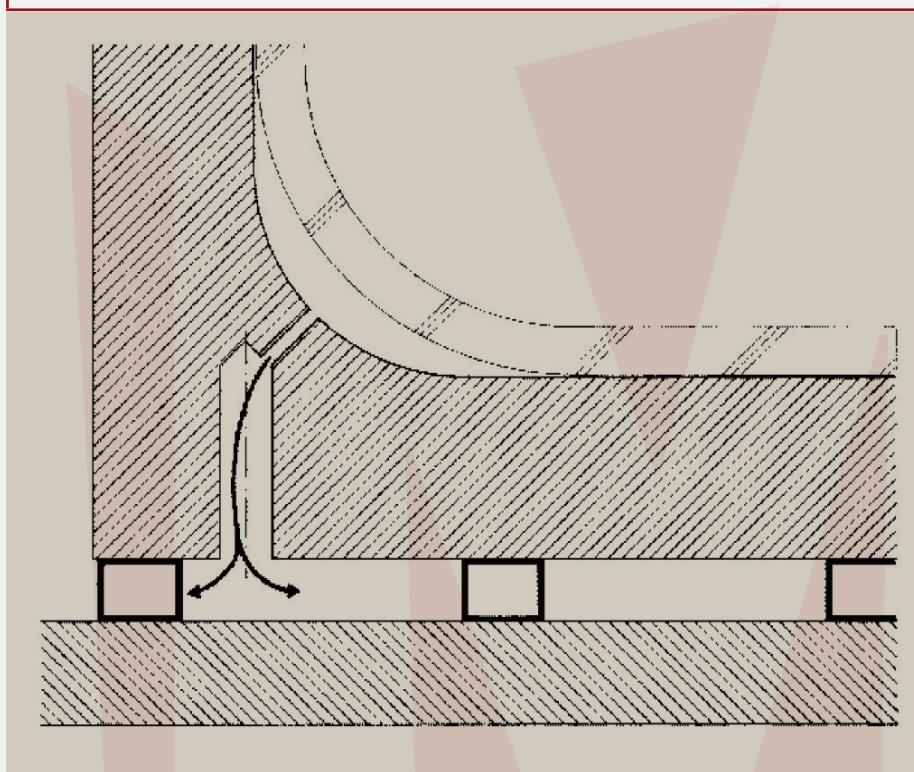
Az egyes alakítási hőmérsékletek tárgyalásánál (lásd. 2.1) már utaltunk arra, hogy a különböző alakítási metódusoknak megfelelően, különböző **formaszerszám hőmérsékletek** lehetnek szükségesek. A pontos hőmérsékletszabályozás céljából a fémből készült formaszerszámokba fűtő- és hűtőcsatornákat alakítsunk ki (hővezetési!).

A kész munkadarab felületét a választott alakítási hőmérsékletek és a **szerszám felületi minősége** befolyásolja. Ha közvetlen kapcsolat áll fenn az alakítandó lemezvágat és a sablon között, a szerszámfelületeket tisztára ill. matt felületűre kell csiszolni (nem magasfényű polírozás!). Ha a választott sablonanyag nem teszi lehetővé a matt felület kialakítását, akkor a végső felületét polírozásálló lakkal vagy öntőgyanta felhasználásával alakítsuk ki, melyek utólag homokszórással mattíthatók.

Ha az alakítás során a szerszám és a formadarab felülete között kialakuló légpárnát kell megszüntetni, szellőztető furatok segítségével tudjuk ezt megtenni. Ezek mérete igen kicsi legyen (átmérő 0,5-1 mm), hogy a felületi benyomódásokat elkerüljük. A légpárna gyorsabb megszüntetése érdekében a szellőzőnyílásokat a formaszerszám hátoldalától nagyobb átmérőjűre bővítjük fel (47. ábra).

A **fából készült formaszerszámokat** kis darab-számoknál, és az alakítás folyamán kialakuló csekély terhelés esetén érdemes alkalmazni. A kis szerszámokat tömör fából, a legömbölyített felületű nagyobb formákat – pld. hengeres vagy kúpos forma – keményrost-lemezekből vagy rétegelt falemezből készítjük. Nagyobb szériáknál vagy nagyobb igénybevétel esetén a rétegelt, laminátok alkalmazása ajánlott. A fa porózus felülete a formadarabon benyomódásokat okozhat, ezért a tisztítást követően póruskitöltővel tömítsük azokat, vagy még jobb,

47. ábra: szellőztető nyílás kialakítása a sablonban



ha lágy, hajlékony szövettel (például kesztyűbélés, filc) áthúzzuk. A fa szerszámok olcsón állíthatók elő, könnyen javíthatóak, alakíthatóak. Egyedi gyártásnál vagy kis széria esetén a csekély hővezetőképességük miatt előnyösek. Hátrányuk, hogy nem nagyon terhelhetőek és repedésre, vetemedésre hajlamosak.

A PLEXIGLAS® GS-ből készült sablonok

csak nagyon rövid ideig kitéhető a vágatok hőformázásához szükséges hőmérsékletnek, és a formázás során fellépő mechanikai erőknél. Használatuk csak és kizárólag kísérleti, vagy tanulmányozási célokra ajánlott, olyan esetben, ahol a későbbi komplex formázási folyamat során előforduló problémákat ellenőrizni kell, és a problémák megértését az átlátszó sablon segíti. Mivel a PLEXIGLAS® GS csekély hővezetőképességgel rendelkezik, ezért a rajta hőformázott terméket nem engedi gyorsan kihűlni, továbbá tükörsima felülete az alakítás során légpárnák kialakulását okozhatja, ami a kész termék optikai megjelenését rontja.

A fémből készült formaszerszámok általában öntvények - többnyire alumínium ötvözetekből -, vagy lemezvágatok összeillesztésével készülnek. A fém sablonokat nagyobb darabszám esetén alkalmazzuk. A magas fényű polírozás benyomódásokat, foltokat eredményez, ezért a matt felület sokkal előnyösebb.

A fémszerszámok előnyei:

- nagy pontosság és területminőség,
- a felületi hőmérséklet vezérlése fűtőelemek beépítésével,
- gyorsított lehűtés beépített hűtéssel,
- hosszú élettartam.

A tömör sablonok mellett, a jó optikai minőségű, egyszerű, többnyire átlátszó termékek előállítására ún. „**vázszerszámokat**” is alkalmazhatunk. A váz általában fémcsövekből, rudakból, vagy síklemezekből állhat, melyek a sablon külső kontúrját képezik, és a rudak között nyitottak maradnak. Az alakítási hőmérsékletre melegített anyag a vázra támaszkodik, a többi terület benyomódásmentes marad.

A 48. ábra néhány példát szemléltet. A kontúrlemez nyílásának nagysága alapján derékszögű vagy különböző szögű oldalakkal ellátott formákat is előállíthatunk (2. példa, 48. ábra). A kiváló megjelenést, simaságot, és az eredeti lemezvastagság megtartását a forma sík felületén (fősíki) infravörös sugárzókkal történő felmelegítéssel érhetjük el, ha ezt a felületet alumínium lemezzel takarjuk be a felmelegítés során (3. példa, 48. ábra, szaggatott vonallal jeölt területe), és a hőformázás csak a környező területeken történik vákuumformázással.

A műanyag öntőmasszákból készült

alakítószerszámokat főként epoxid-gyantákból (EP) állítjuk elő. Előnyös, ha az öntés után nincs szükség forgácsoló megmunkálásra, ill. mértéke elhanyagolható. A műanyag öntőmasszákat használata esetén a következők ajánlottak:

- töltőanyagok hozzákeverése a költségcsökkentés céljából,
- erősítő anyagok beépítése, pl. üvegszál szövetből készült laminátok (a szilárdság javítására),
- fémporok, pld. alumínium por belekeverése a sablon hővezetőképességének javítása érdekében, ami kisebb ciklusidők elérését teszi lehetővé.

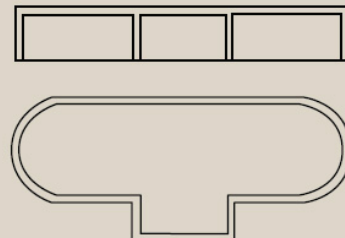
A technikák egész sora létezik, amelyekkel a formaszerszámok különböző követelményeit teljesíthetjük. Az öntőgyanták gyártói a megfelelő információkat megadják. Egyszerű öntőszerszámokat szinte bárki előállíthat, ha figyelembe veszik az öntőgyanta beszállítók előírásait.

Az epoxi-gyanták mellett, léteznek telítetlen poliésztergyanták (UP), melyek használata a formasablonként azzal a hátránnyal jár, hogy a tartós üzemi hőmérsékletük az alakítandó anyag alakítási hőmérsékleténél alacsonyabb, ezért a megmunkálási folyamat során erős szakgépződés mellett, a lágyulási hőmérséklet elérése miatt méretváltozás is fellép.

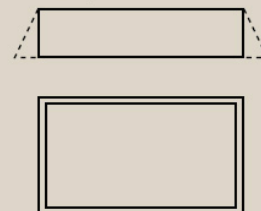
Modellek vagy prototípusok gyártásához **gipszből** készült sablonok is alkalmazhatók.

48. ábra: különféle vázszerszámok

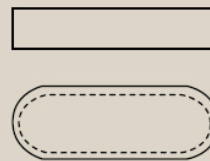
1. példa: audio berendezés burkolat



2. példa: doboz



3. példa: tálca



Csekély mechanikai szilárdságuk miatt ezeket megfelelő erősítő anyagokkal együtt kell önteni. Alakítási segédanyagként az igénybevett területeken használhatunk formazsír, szilikonolajat, talkumot vagy PTFE rétegeket. Ezek a segédanyagok általában az érintett formadarab felületének alapos tisztítását igénylik a jó tapadás eléréséhez, ha utólag további felületképzés pld. lakkozás, ragasztás, GF-UP erősítés szükséges.

7.2 BEFOGÓ SZERSZÁMOK

A meleg megmunkálás céljából a PLEXIGLAS® GS-ből, PLEXIGLAS® XT-ből készült lemezeket a szerszámba szilárdan vagy rugalmasan kell befogni, az alakítási eljárásnak megfelelően. A pneumatikus, ill. vákuumformázó eljárásoknál ezenkívül kielégítő tömítést is kell biztosítani a fúvó/szívótér és az alakítandó anyagszelvény között a befogókeret, vagy a befogófelület segítségével.

Azoknál az alakításoknál, melyeknél csak kismértékű húzóerő hat a befogott anyagra, a befogási felület sík vagy enyhén érdesedett legyen. Nagyobb húzóerők azonban nagy mértékű rögzítő erőt igényelnek. A befogófelületeket az eljárástól függően úgy kell kiképezni, hogy az anyagot az alakítás folyamán lehetőleg csekély befogóelem, ill. befogóerő szükséglettel tudjuk rögzíteni, valamint ahol szükséges, megfelelő tömítettséget is ki kell alakítani. A nagyszámú lehetőség közül néhányat (a befogófelület kialakításához) a 49. ábra szemléltet.

Ábra

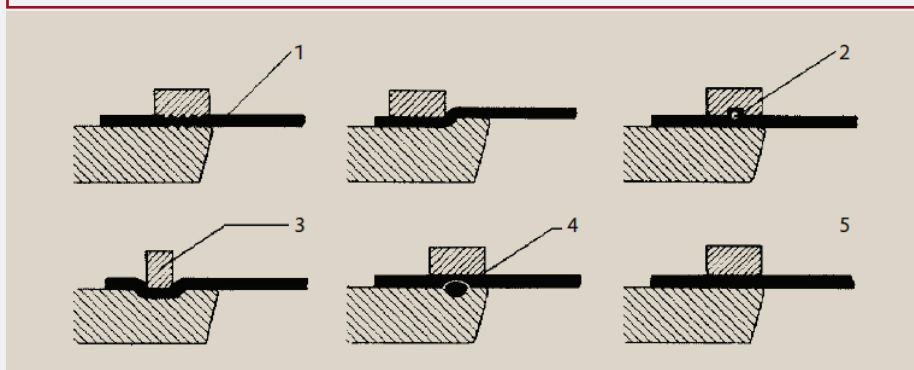
49. ábra: Befogófelületek kiképzése.

PLEXIGLAS® (1), beforrasztott acéldrót (2), befogókeret (3), kör keresztmetszetű gumiprofil (4), főként húzó-nyomó alakításra, melynél az anyagnak el kell csúsznia (5).

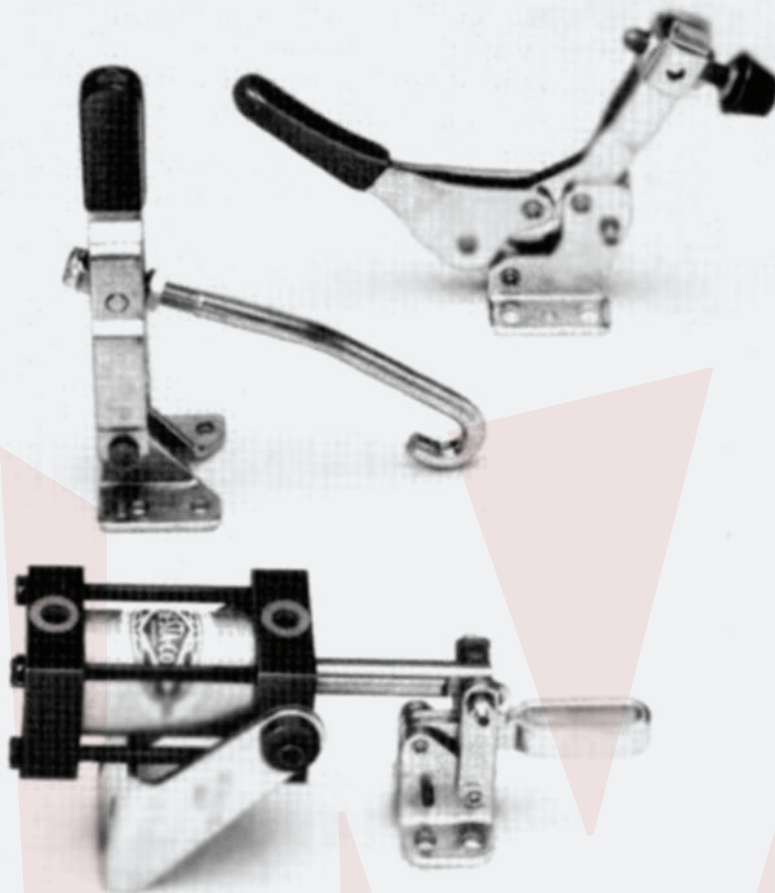
A szükséges feszítőerőket vagy hidraulikus présekkel, vagy mechanikus, pneumatikus/hidraulikus befogóelemekkel közvetítjük (50. ábra).

Mélyhúzás esetén (lásd 5.3), illetve néhány kombinált formázási folyamatnál, rugalmas megfogási pontok kialakítása szükséges. Ezeknek lehetővé kell tenniük az elvárásoknak megfelelő rögzítőerő szabad beállítását, melyet több lépcsőben, különböző rugóerővel rendelkező rugók előfeszítésével, vagy elektronikus szabályozással lehet elvégezni.

49. ábra: rögzítési felületek kialakítása. PLEXIGLAS® (1), beforrasztott acéldrót (2), befogókeret (3), kör keresztmetszetű gumiprofil (4), tömítő szalag, főként mélyhúzás esetén, amikor a formázandó anyagnak a szerszámba be kell csúsznia



50. ábra: rögzítőeszközök mechanikai és pneumatikus, vagy hidraulikus működéshez





A fenti információkat és alkalmazástechnikai tanácsainkat szóban és írásban, valamint kísérletekkel alátámasztva legjobb tudásunk szerint adjuk, ezek azonban kötelezettség nélküli utalások esetleges harmadik személy jogait illetően. A tanácsadás nem mentesíti Önöket aktuális utasításaink - különösen biztonsági adatlapjaink és műszaki információink - valamint termékeink az Önök által kívánt célra és eljárásra való alkalmassága tekintetében történő vizsgálatától. Termékeink alkalmazása, felhasználása,

megmunkálása és a mi alkalmazástechnikai tanácsaink alapján az Önök által előállított termékek kívül állnak az ellenőrzési lehetőségeinktől, ezért ezek kizárólag az Önök felelőségi körébe tartoznak. Termékeink eladása a mindenkor érvényes általános kereskedelmi és szállítási feltételeink előírásai szerint történnek.