

## Modellezés szerepe igényes műszaki műanyag termékek előállításánál

A műanyagok széles választéka és változatos feldolgozási technológiai lehetővé teszik különleges termékek gyártását, amelyek az optikában üveget, az orvostechikában fémet helyettesítenek. Ilyen termékek tervezésénél a modellezés fontos szerepet kap, hogy a termékkel szemben támasztott követelményeket minél rövidebb idő és minél kisebb ráfordítással teljesítsék.

*Tárgyszavak: optika; gyógyászat; fröccsöntés; poliamid; fémhelyettesítés; poli(metil-metakrilát); modellezés; végeelem-analízis.*

### Optikai elemek műanyagból

A 21. század egyik kulcstechnológiája a nagy pontosságú optikai elemek előállítása műanyagból. Jelentős versenyelőnyt jelenthet számos biológiai, orvosi, informatikai, távközlési és autóipari alkalmazásban, de egyéb gyártástechnológiákban is. A műanyagoptikák megtalálhatók a kamerákban, mérőrendszerekben vagy pl. vetítőrendszerű TV-készülékekben. A műanyag optikai elemek alkalmazása fényszórókban, fényforrások burkolatában hagyományos leképező és fényvezető funkciójuk révén ugyancsak előnyös. A műanyag optikai elemek a megfelelő üvegelemekkel versenyeznek, amelyekkel szemben több előnyük is van:

- a funkcionális optikai felületek szinte tetszőleges alakíthatósága,
- az egyéb funkciók integrációjának lehetősége,
- kisebb anyagár,
- kisebb tömeg.

*A megmunkálásban elsősorban a fröccsöntés és a fröccsprézelés jön számításba, mert ezekkel a technológiákkal elég nagy pontossággal és reprodukálhatósággal állíthatók elő az optikai elemek. Ahhoz, hogy megfelelő minőségű termékek készüljenek, az egész gyártási folyamatot át kell gondolni, és gondosan kézben kell tartani a tervezéstől és a konstrukció megválasztásától kezdve a feldolgozáson és annak folyamatos ellenőrzésén keresztül az utólagos minőség-ellenőrzésig és szerelési technológiáig.*

### *Tervezési szabadság az optikai felületek alakításában*

A hagyományos optikai elemeknél, amelyek csiszolással készültek, általában valamilyen geometriailag szabályos felületet céloztak meg és állítottak elő. A fröccsön-

tött vagy fröccsprégelt felületek esetében a tervező fantáziája szabadon szárnyalhat, hiszen tetszőleges felületet létrehozhat, olyant is, amely a hagyományos technológiákkal nem lenne elkészíthető. Ez jelentősen növeli a tervezési lehetőségeket. Az adott fényúthoz tartozó felület könnyen megtervezhető és előállítható, aminek segítségével szinte a teljes fényerő veszteség nélkül irányítható, nincs szükség blendékre és egyéb elemekre. A kedvező élettartamú és gazdaságosan üzemeltethető LED-ek elterjedésében is fontos szerepet játszhatnak a műanyagból készült optikák. A LED-ek a szórazótató elektronikában már a technika mai állásához tartoznak, de várható, hogy meg fogják hódítani az autóiipari és a lakásvilágítási piacot is.

### *A műanyag optikai elemek gyártásával szembeni követelmények*

A gyártás a tervezéssel kezdődik, amelyet 3D szimulációk előznek meg. A fény-sugár útját a beesési szög határozza meg, de kiterjedt fénynyaláb esetében oda kell figyelni a felület görbületére is, mert a párhuzamos fénysugarak ettől függően válnak össze- vagy széttartóvá. Ez utóbbi fényességigadozást okoz a képsíkon. A tervezés-kor az okoz nehézséget, hogy igen sokféle lehetséges megoldás közül kell választani, és gondosan meg kell vizsgálni a leképezési hibákat is. Természetesen hagyományos megmunkálással, így nagy pontosságú esztergával is elő lehet állítani „szabadon alakít-ható” (tehát nem forgásszimmetrikus) felületeket, de ehhez bonyolult és finom folya-matvezérlés szükséges. Ilyen megmunkálásra mindenesetre szükség van a szerszám előállításakor. Ha fröccsöntéssel gyártják az optikát, általában az igen jól és reprodu-kálhatón vezérelhető teljesen elektromos fröccsgépeket használják.

A fröccsöntés mellett elterjedt a *fröccsprégelés*, ahol a fröccsöntéssel előállított félkész terméket még utólagos alakításnak vetik alá. Ezzel a módszerrel általában vi-szonylag nagy (pl. 7 cm átmérőjű) lencsék és más optikai elemek készülnek. Ilyen esetben a fröccsdarabot központi beömléssel és elosztókkal fröccsöntik. A lencse vas-tagsága még a peremen is eléri a 6 mm-t, az alakos elemek pozicionálásának pontossá-ga 5 µm. A prégelés a fröccsszerszámon belül, mozgatható betétek segítségével törté-nik. A kellő pontosság elérése érdekében többkörös szerszámtemperálást alkalmaz-nak. Összesen 6 temperáló kör biztosítja, hogy a szerszám megfelelő részeinek hőmér-séklete a konstrukciótól és az alkalmazott műanyagtól függően precízen beállítható legyen.

A műanyag optikák előállításához az egyik leggyakrabban alkalmazott műanyag a PMMA [poli(metil-metakrilát), plexi], amelynek egyik értékes tulajdonsága jó fény-áteresztő képessége. Azért is kedvelik, mert a hőre lágyuló műanyagok között az egyik legkeményebb, ezért karcállósága is viszonylag jó. A PMMA-t nedvszívó jellege miatt nagyon gondosan szárítani kell feldolgozás előtt, mert a nedvesség felhősödést ered-ményez, vagy lokális túlszáradás esetén kismértékű anyaglebomlás léphet fel. Nagyon kell ügyelni az anyag tisztaságára is, mert a legkisebb porszem is fényszórást eredmé-nyez és rontja a végtermék tulajdonságait. A szárítás szorpciós elven működik, a túl-száritás ellen pedig temperálással védekeznek. A megfelelően szárított alapanyagot

olyan szállítórendszerrel juttatják el a fröccsgépbe, amely a pormentesítésről is gondoskodik.

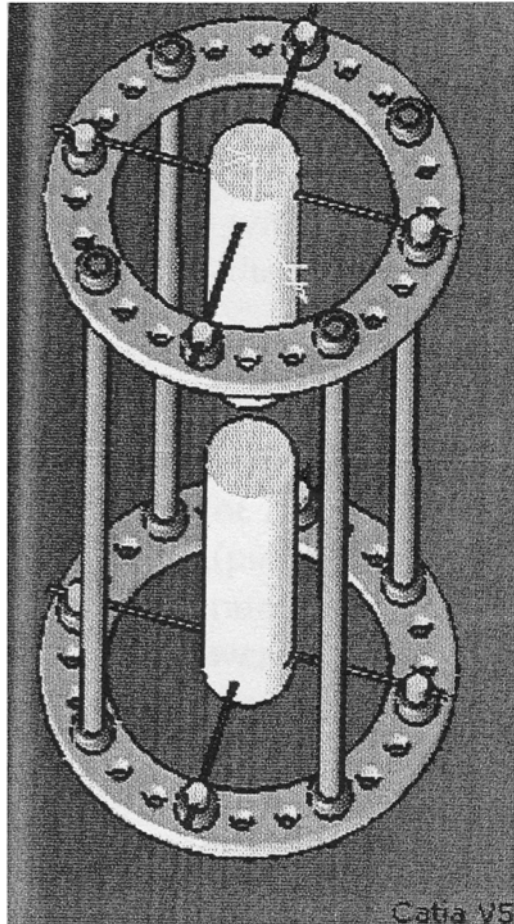
A termék minőségét gondos folyamatellenőrzéssel és vezérléssel biztosítják, az egész gyártási folyamatot on-line módszerekkel figyelik és naplózzák. Szenzorok mérik a hőmérsékleteket, elmozdulásokat és a szerszámnyomást. Az elkészült lencsét optikai padon vizsgálják be, és az eredményeket számítógépes módszerekkel értékelik.

## **Precíziós orvostechnikai eszköz üvegszálás poliamidból**

Törött csontok rögzítéséhez használnak ún. külső rögzítőket, amelyek egyfajta keretből és a csontokat helyén tartó drótokból állnak. Egy ilyen, 1951-ben Ilizarov által kifejlesztett rendszer az ún. *Ilizarov-gyűrű*, amelyet leginkább deformálódott vagy törött csontok és végtagok gyógyítására használnak, és amely az utóbbi időben kezdett csak elterjedni. Ez a módszer a sebészeti és ortopédiai eljárásokat kombinálja, de nem jár olyanfajta rögzítéssel, mint a hagyományos sebészeti megoldások, tehát a beteg a gyógyulás alatt is mozoghat. Ilizarov kb. húszféle egyszerű elemet (gyűrűket, rudakat, drótokat, csapszegetek és zsanérokat) kombinál kb. hatszázféle módon. Egy egyszerű szerkezetet az *1. ábra* mutat be. A külső merevítést általában rudakkal összekötött gyűrűk szolgáltatják. A gyermek- és kisállat-gyógyászatban a gyűrűk átmérője tipikusan 80–150 mm. Ezeket gyakran alumíniumból készítették, de röntgenátlátszósa, kisebb tömege és ára miatt megpróbálkoztak az üvegszálás poliamiddal való helyettesítéssel.

### *A fémhelyettesítő anyagok jellemzése*

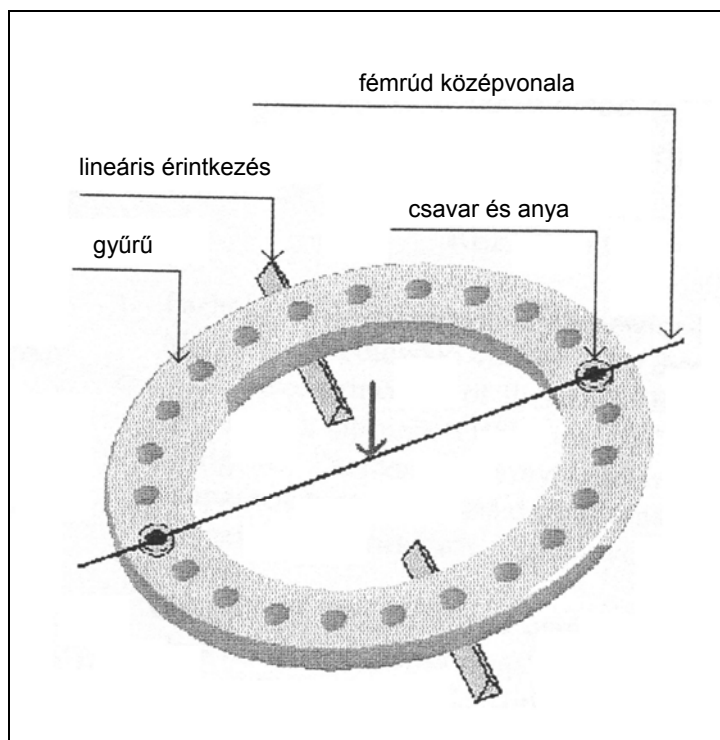
A kísérletekben használt poliamid 6 (PA6) 0–50 % (m/m) 10 µm átmérőjű üvegszálakat tartalmazott. A vizsgálatokhoz szükséges próbatesteket fröccsöntéssel állították elő (hőmérsékletprogram 260–290 °C, szerszámhőmérséklet 80–100 °C, nyomás 90 MPa). Tekintettel arra, hogy a poliamid 6 hajlamos a felhasználás során a vízfelvételre, nemcsak a fröccsszáraz mintákon hajtottak végre méréseket, hanem nedvesen kondicionált mintákon is. A kondicionálást 24 órás vizes áztatással érték el. Ilizarov gyűrűket is fröccsöntöttek 50% üvegszálakat és 50% szénszálakat tartalmazó PA6-ból. A szakítóvizsgálatokat szobahőmérsékleten, 65% relatív nedvességtartalmú levegőben végezték. A gyűrűket hajlítóvizsgálattal jellemezték, amelynek geometriai elrendezését a *2. ábra* mutatja. Az *1. táblázat* a különböző mennyiségű üvegszálakat tartalmazó száraz és nedvesen kondicionált minták modulusát és szilárdságát hasonlítja össze. *Az üvegszálak hozzáadása növeli a szakítószilárdságot és a moduluszt, de csökkenti a szakadási nyúlást.* Ez problémát jelenthet olyan alkalmazásoknál, ahol az anyagnak nagyobb deformációt kell kibírnia, de jelen esetben olyan helyettesítő anyagot kerestek, amely tulajdonságaiban minél közelebb áll a fémekhez, ezért az 50% szállal erősített típust választották a konkrét termékek előállításához.



1. ábra Törött csont rögzítésére szolgáló Ilizarov-berendezés vázlata

### *Modellezés végeelem-módszerrel*

A modellezéshez az 1. ábrán bemutatott, viszonylag egyszerű szerkezetet használták, amely két gyűrűből, négy rúdból, négy drótból, nyolc rögzítőelemből áll, amelyek a drótokat a gyűrűkhöz kapcsolják és volt még 32 csavar, amelyek az alkatrészeket rögzítették. A különböző vastagságú gyűrűket a végeelem-számításhoz a vastagság mentén négy elemre osztották. Ezután 3D hálózatot illesztettek, amely természetesen a lyukak mentén volt nagyobb sűrűségű. A modellszámítással a deformációkat egy adott vastagságnál különböző száltartalom mellett, ill. különböző vastagságoknál adott száltartalom mellett határozták meg. A 2. táblázatban bemutatott számításokból világosan kitűnik, hogy 5 mm gyűrűvastagságnál még az 50% üvegszáltartalom sem biztosít kellő merevséget a rendszernek, a deformációk elfogadhatatlanul nagyok maradnak. Ezt megpróbálták kompenzálni a gyűrű vastagságának növelésével (3. táblázat). Mindent összevetve a 8 mm vastagságú, 50% üvegszálat tartalmazó rendszer tűnik a legalkalmasabbnak. A fröccsöntött próbatesteken végzett vizsgálatok megerősítették a számításokat. Ha az üvegszálak helyett szénszálakat használnak (3. ábra), még merevebb, szilárdabb rendszereket kapnak, amelyek már acélgyűrűk helyettesítésére is alkalmasak felnőtt emberek vagy nagyobb sérült állatok gyógyításakor.



2. ábra Fröccsöntött Ilizarov-gyűrű hajlítóvizsgálata

1. táblázat

Üvegszállal (GF) erősített PA6 kompozitok tulajdonságai

Minta	0% GF	25% GF	50% GF
Nedvességtartalom, %(m/m); száraz/nedves	0,2/1,5	0,2/0,9	0,2/0,4
Szakítószilárdság, MPa száraz/nedves	74/55	164/130	232/198
Húzómodulus, MPa száraz/nedves	3100/2450	8200/6570	17000/16400

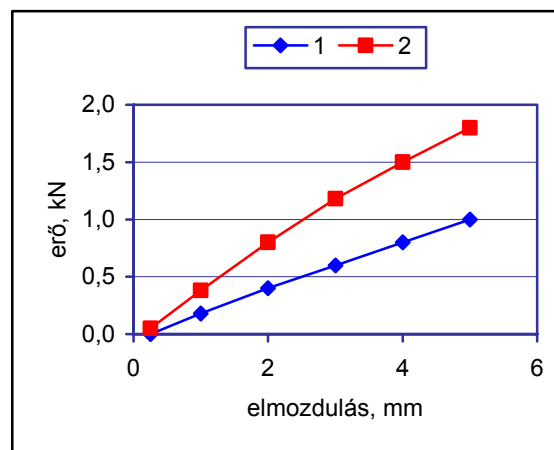
2. táblázat

Az alumíniumból ill. különböző üvegszáltartalmú PA6-ból készített Ilizarov-gyűrűkben számított maximális deformációk, valamint a *von Mises-féle* feszültségek és deformációk 5 mm vastag gyűrűkben

Anyag	Alumínium	PA6/0GF	PA6/25GF	PA6/50GF
Maximális teljes elmozdulás, mm	0,48	13,61	5,08	2,03
Maximális egyenértékű feszültség, MPa	307	306	306	306
Maximális teljes deformáció, %	0,007	0,203	0,076	0,031

Az 50% üvegszáltartalmú PA6-ból készített Ilizarov gyűrűkben számított maximális deformációk, valamint a *von Mises-féle* feszültségek és deformációk 7, 8 és 9 mm vastag gyűrűkben

Vastagság	7 mm	8 mm	9 mm
Maximális teljes elmozdulás, mm	0,78	0,54	0,38
Maximális egyenértékű feszültség, MPa	248	228	124
Maximális teljes deformáció, %	0,025	0,023	0,012



3. ábra Mért erő-elmozdulás görbék a 2. ábrán bemutatott hajlítási kísérlet során  
1 – 50% üvegszállal erősített PA6 gyűrű; 2 – 50% szénszállal erősített PA6 gyűrű

Összeállította: Dr. Bánhegyi György  
www.polygon-consulting.ini.hu

Michaeli, W.; Lettowsky, C.; Neuss, A.; Hessner, S.; Klaiber, F.: Kunststoff kontra Glas. = Plastverarbeiter, 58. k. 10. sz. 2007. p. 108–110.

Cossard, C.; Kuciel, S.; Mazurkiewicz, S.; Liber-Knec, A.: Possibility of using polyamide 6 reinforced with glass fiber for Ilizarov rings. = Polimery, 53. k. 4. sz. 2008. p. 317–320.