

## Az orvosi célú csövek gyártásának optimalizálása

Egyre növekvő mennyiségben használnak műanyagcsöveket az orvosi eszközök gyártásában. A csövek minősége szempontjából különösen fontos az extrudálási folyamat és a szerszám optimalizálása. Ennek egyik eszközeként mutatja be a cikk a Compuplast cég szimulációs VEL szoftverjét, amellyel sikerült a folyamatot és a szerszámot optimalizálni, ezzel a csőminőséget javítani.

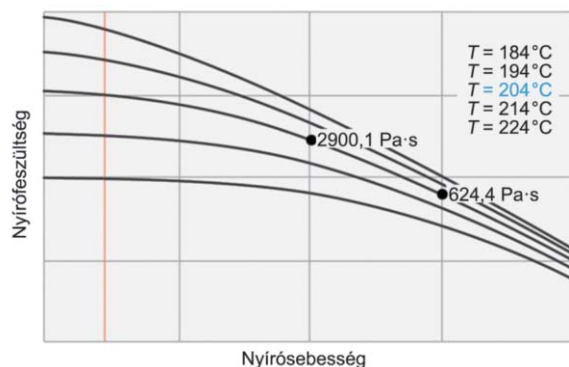
*Tárgyszavak: extrudálás, műanyagcső, folyamatszimuláció, szerszámtervezés*

Nagyon sokrétű a műanyagcsövek használata az orvosi gyakorlatban, és a csövek minőségén gyakran életek megőrzése múlhat. A különböző műanyagcsöveket tartalmazó orvosi eszközök használóinak biztosnak kell lenniük abban, hogy az eszközök abszolút biztonságosak. Ezért az orvosi célú csövekkel szemben rendkívül magas minőségi, köztük tisztasági követelmények érvényesülnek. A csövek minősége részben az anyag helyes megválasztásától, részben az előállítás, azaz az extrudálás optimális lefolyásától függ. Az extrudálásnál kulcskérdés a degradáció elkerülése, a folyamat stabilitása, a szerszám tervezése, a sorjaképződés elkerülése.

### Az extrudálás optimalizálása szimulációs szoftverrel

A kanadai **Windsor Industrial Development Laboratory Inc.** extrudálási szimuláció alkalmazását javasolja az előállítási folyamatban előforduló hibák megelőzésére. A kutató laboratórium egy feldolgozótól kapott megbízást a cég orvosi csövek gyártására irányuló projektjének felülvizsgálatára és optimalizálására. A cég a projektben 18 és 25 mm átmérőjű extrudereket használt 24:1, illetve 30:1  $L/D$  aránnyal, és speciálisan a projekt céljaira tervezett egy új szerszámot. A projekt első kísérleteiben azonban jelentkezett a polimer degradációja, ennek minden következményével együtt. A problémák okainak feltárására az eredetileg csehországi alapítású, de ma már Kanadában és az USA-ban is aktív **Compuplast VEL** (Virtual Extrusion Laboratory) szimulációs szoftverét használták, amely az alapanyag és a technológiai paraméterek alapján szimulálja az extrudálás folyamatát és kiszámítja a minőséget meghatározó legfontosabb fizikai jellemzőket a folyamatban.

A szimulációban először a cég által használt paramétereket használták (1,5 kg/óra teljesítmény, 18 és 25 mm-es csigák) kétféle hőmérséklet profil mellett: 190, 190, 205, 205, és 210, 210, 205, 205 °C). A csőgyártásra használt anyag egy termoplasztikus poliuretán (TPU) volt, amelynek a nyírósebesség növelésének hatására bekövetkező nyírófeszültség változását az 1. ábra mutatja különböző hőmérsékleteken. A nyírófeszültség alakulása az extrudálásnál a legfontosabb kritikus jellemző. A fémfelületeken fellépő nyírófeszültség



1. ábra. Az alapanyag nyírási görbéi.

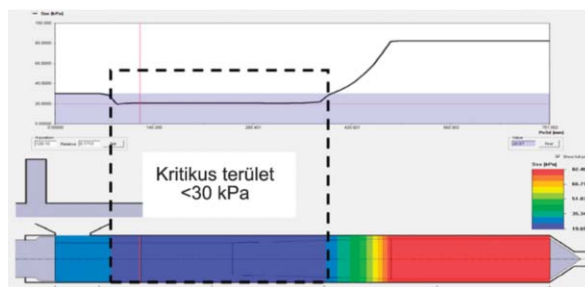
határozza meg, hogy a rendszer öntisztulóvá válik, vagy éppen degradációt okoz azáltal, hogy a túl kis feszültség miatt az anyag egy része stagnál a falnál. A megfelelő fali nyírósebesség esetén elkerülhető a degradáció és ez a minőség javulása mellett hosszú tisztítás nélküli futási időt is eredményez. Az optimális nyírófeszültség természetesen a polimer típusától függ. A gyakorlati alkalmazásoknál általában a következő irányszámokat használják:

- LPDE: 30 kPa
- PVC: 35 kPa
- HDPE: 30 kPa
- LLDPE: 30 kPa
- EVOH: 50 kPa

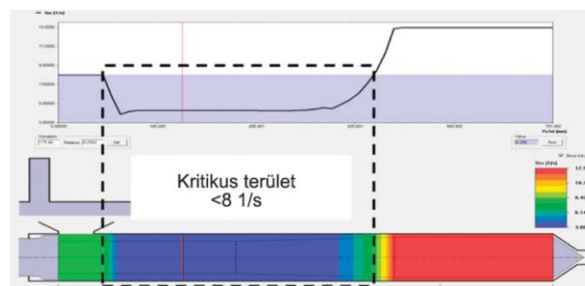
Ezek ún. „tervezési értékek”, amelyek változhatnak a gyártási sebesség függvényében. Az aktuális kritikus értékek általában a fenti értékek 50–70%-át érik el.

A szimuláció eredményét a 2. és 3. ábra mutatja. A 2. ábrán a nyírósebesség, a 3. ábrán a nyírófeszültség értékei láthatók. Mindkét ábra azt mutatja, hogy az extrudálásnál nem véletlenül léptek fel komoly problémák. Az extrudercsiga hosszának ugyanis nagyobb részén mind a nyírósebesség, mind a feszültség a kritikus zónában van. A kritikus értékek, a 8 1/s és a 30 kPa olyan korábbi kísérletekből származnak, amelyekben az extrudercsiga felületén talált degradált anyagmennyiség, valamint a nyírósebesség és feszültség értékei közötti összefüggést vizsgálták.

A szimuláció eredményéből levonható az a következtetés, hogy a gyártó által használt mindkét extruder túl nagy volt a kívánt teljesítményhez képest, és ez okozta a hibákat. A VEL szimuláció lehetőséget ad arra, hogy meghatározzák az optimális paramétereket a kívánt teljesítményhez. A szoftver által kiszámított nyírási értékek az eredetinél kisebb csigaátmérőknél az 1. táblázatban láthatók. A 15 cm-es csiga használatát javasolják.



2. ábra. A nyírósebesség a csiga mentén.



3. ábra. A nyírófeszültség a csiga mentén.

1. táblázat.

Nyírási értékek különböző csigaátmérőknél (szimuláció).

Eredeti átmérő 25 mm	Átmérő [mm]	Fordulatszám [1/min]	Minimális nyírósebesség [1/s]	Minimális nyírófeszültség [kPa]
1. Hőmérséklet-program	18	44,3	9,8	41
	15	78,8	15,8	59,1
	12	121	19,5	79,2
2. Hőmérséklet-program	18	43,1	9,3	39,5
	15	76,4	15	57
	12	132	10,4	65

## Szimuláció a szerszámtervezésben

A vizsgálat során az is kiderült, hogy a szerszám sem volt optimális. A vizsgálat során az anyagáramlást – a nyírósebesség és a nyírófeszültség eloszlását szimulálták és kiszámolták a gyártó által használt oldal-beömlésű szerszámnál. A szimulációval ki tudták mutatni, hogy a szerszámban vannak olyan felületek, amelyekenél vagy a sebesség vagy a nyírófeszültség túl alacsony, aminek következtében a szerszámban is vannak helyek, ahol a polimer lelassul, vagy le is rakódik, és így degradálódik. Vizsgálták az eloszlást spirális elosztó esetén is. Azt találták, hogy a nyomás esése jóval nagyobb, mint az oldal-beömlésnél. A spirális elosztóból való kilépésnél egyenletes sebességet találtak, ami az elosztó jó működését mutatja. Az elosztóban a kritikusan alacsony feszültség főleg a keresztmetszet változásakor lép fel, mint például a spirális elosztónál a hornyok között, vagy a szerszámban a kúpos átmenetnél. Ezeket az alacsony feszültségű helyeket ki kell küszöbölni a szerszám tervezésekor.

A csöveknél, mint gyűrűs terméknel természetesen számolni kell egy hegesztési vonallal. A különböző szerszámoknál különböző hegesztési vonalak keletkeznek, ahogy ez a 4. ábrán látható. Megállapították, hogy az olvadék spirális elosztása erősebb kötést ad, és kevésbé hajlamos a „kinking” (csomósodás) jelenségre.

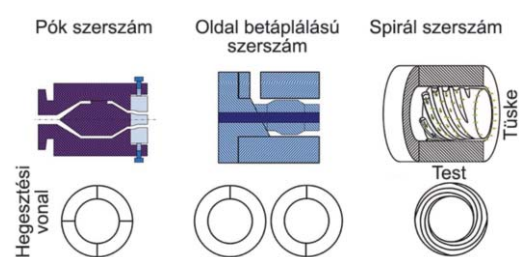
Az orvosi alkalmazásoknál gyakran van szükség egyidejűleg több anyag továbbítására. A több csatornából álló cső külső átmérője általában 5 mm alatt van. A megbízást adó gyártó is készített egy négycsatornás 2,5 mm átmérőjű csövet. A vizsgálat során a cég által használt szerszám alapján szimulálták a folyamatot, amely a gyártónál kifejezetten instabil volt, és az egyes csőátmérők is gyakran kívül estek a megengedett tartományon. A szimuláció során kiszámolták a sebességet a szerszámból történő kilépésnél a négy különböző csatornánál, és ezeket az értékeket összevetették a megadott méretekhez szükséges értékekkel. Megállapították, hogy számolt értékek két helyen is kisebbek a szükségesnél, ami azt jelenti, hogy nem biztosított az előírt méretek teljesítése. Számolták a nyomás eloszlását is a szerszámcsúcsban. A szimuláció 38 MPa maximális nyomásesést hozott ki, ami túl nagy egy viszonylag rövid távolságon.

A szimuláció során kiszámolták az olvadék sebességét a szerszámban történő áramlás három fázisában. A belépésnél a sebesség 7,9 mm/s volt, ez a legkisebb átmérőnél 185 mm/s-ra nő, majd végül a kilépés előtt hirtelen 78 mm/s-ra csökken. Ezek a nagy és hirtelen változások alapján nyilvánvaló, hogy a szerszámban az olvadék hosszirányú deformációjában gyors változások mennek végbe. A hosszirányú deformáció ilyen gyors változásai természetesen függenek az olvadék viszkozitásától, amely tételről tételre változhat, és ez is okozhatja a méretek szórását.

A fentieket összegezve a 2. táblázat foglalja össze az eredeti szerszám értékelését.

Ahogy a táblázat értékelése mutatja, hogy a legnagyobb probléma a nagy hosszirányú deformációk és az egyenetlen áramlás. A nyomásesés nagyobb a szükségesnél, de ez csak azzal jár, hogy az extrudernek nagyobb teljesítményt kell nyújtania. A nagyon alacsony feszültségű helyek már nagyobb problémát jelentenek, mert az adott helyeken lerakódások várhatók. Az elévített szimuláció alapján javasolták a szerszám áttervezését.

Az áttervezésnél a legfontosabb az áramlás egyenletesebbé tétele, vagyis az egyes nyílásokhoz vezető áramoknál az ellenállások kiegyenlítése, például különböző áramlást fékező „tüskék”



4. ábra. Hegesztési vonalak gyűrűs szerszámoknál.

Az eredeti szerszám értékelése

Kritérium	Megállapítás	A probléma mértéke
Hosszanti sebességváltozás	>200 1/s	Instabil folyamat, nehéz szabályozás
Tömegfolyási sebesség eloszlása	>50% eltérések	
Nyomásesés	>35 MPa	Közepes
Hőmérséklet emelkedés	<5 °C	Kicsi
Nyírófeszültség a falaknál	Kis területeken kis nyírófeszültség	Közepes

(pins) beépítése a szerszám megfelelő helyein. Ez azonban nehézkes lett volna, és a szimuláció is azt mutatta, hogy ésszerűbb teljesen új szerszámot tervezni. Az új szerszámot háromszekciósra tervezték. Az elsőben egy „kiegyenlítő tárcsa” (balanced plate) szolgál az olvadékáram egyenletes elosztására. E szakasz hosszát úgy határozták meg, hogy ebben a szakaszban legyen a legnagyobb ellenállás. Ennek megfelelően ennek a szakasznak van a legnagyobb befolyása az olvadékáramlásra. A következő szakaszban egy rövid, elkeskenyedő lemez vezeti át az olvadékot a kimenő lemezhez. Ezen a lemezen a furatok a végső alaknak felelnek meg, méretük meghatározásánál ötszörös nyújtással számoltak. Az új szerszám szimulációjával ismét kiszámolták a kilépő áramok sebességét, és megállapították, hogy a sebességek eltérése a megadott értéktől nem haladta meg az 5%-ot. A nyomásesés kiszámított értéke 32 MPa, amely az eredetinel kisebb. Hasonlóan csökkent a hosszirányú deformáció is. Az újonnan tervezett szerszám értékelését a 3. táblázat foglalja össze.

Az új szerszám értékelése

Kritérium	Megállapítás	A probléma mértéke
Hosszanti sebességváltozás	<30 1/s	Kicsi
Tömeg-folyásisebesség eloszlása	<5% eltérés	Nincs
Nyomásesés	<36 MPa	Kicsi
Hőmérsékletemelkedés	<5 °C	Nincs
Nyírófeszültség a falaknál	Nincs sehol alacsony nyírófeszültség	Nincs

A szimuláció alapján tervezett szerszámot legyártották. Az első kísérletek után a termék-specifikáció miatt kisebb változtatásokat végeztek. Az így elkészített szerszámmal a gyártás indítása gyors volt kevés hulladékkal. A folyamatos gyártás nagyon stabil lett, és kevésbé volt érzékeny az alapanyag változásra. A minőségbiztosítás szempontjából fontos CPK érték >2,0. A szimulációval segített tervezés előnyeit persze akkor lehet még jobban kihasználni, ha a szimuláció a fejlesztési projekt kezdeti szakaszában történik.

## Új továbbfejlesztett extruder orvosi csövek gyártására

A **Davis-Standard** több mint 50 éve vezető szereplője a profilok és csövek gyártásának. Valamennyi alkalmazási területre gyárt csöveket beleértve az orvosi célú csöveket is. Válaszolva az orvosi célú csövek iránti folyamatosan növekvő igényre a Davis-Standard a közelmúltban jelentkezett új MEDD extruderével, amely képes a legkülönbözőbb orvosi csőfajták – nagyon kis átmérők, többnyílású csövek stb. – precíz gyártására. Az új extruder előnyei közé tartozik a kis

helyigény, a könnyen cserélhető henger, a cserélhető betápláló egység és a Windows alapú vezérlés. A berendezés a műanyagok széles palettájának feldolgozására képes, beleértve a magas hőmérsékleten olvadó termoplasztokat is.

Az új extrudert a cég a korábbi modell bonyolultabb változatának nevezi. A fejlesztés magában foglalja a jobb kábelrendezést, kábelvezetést. Könnyítették a tisztítást és egy lenyíló ajtó teszi könnyebbé a kezelést és a javítást. Különösen nagy előny, hogy nagyon gyorsan és könnyen lehet a hengert cserélni, ami gyorsítja az anyagváltást vagy a más okból történő tételváltást. A levegő cirkulációját kétirányú tetőventilátor javítja.

Az extruder három típusa három különböző csőátmérő tartományhoz tartozik: 0,75–1 coll (1,9–2,54 cm), 1–1,25 coll (2,54–3,18 cm) és 1,25–1,5 coll (3,18–3,81 cm).



5. ábra. Az új MEDD extruder képe.

Összeállította: Máthé Csabáné dr.

Couchaoui, B.: Medical tubing: Use Simulation to Troubleshoot, Optimize Processing & Dies – Part 1. – Plastics Technology 2021.07. és

<https://www.ptonline.com/articles/medical-tubing-use-simulation-to-troubleshoot-fine-tune-processing-optimize-dies>

Couchaoui, B.: Medical tubing: Use Simulation to Troubleshoot, Optimize Processing & Dies – Part 2. – Plastics Technology 2021.07. és

<https://www.ptonline.com/articles/medical-tubing-use-simulation-to-troubleshoot-fine-tune-processing-optimize-dies>

Upgrade adds sophistication to medical tube production – Pipe & Profile Extrusion 2021 november és [www.pipeandprofile.com](http://www.pipeandprofile.com)