

Gyors prototípus vákuumformázó szerszám kifejlesztése
Deák T., Kovács J. G.

Accepted for publication in Műanyag és Gumi
Published in 2006

DOI:

Gyors prototípus vákuumformázó szerszám kifejlesztése

DEÁK TAMÁS*

okleveles gépészmérnök

KOVÁCS JÓZSEF GÁBOR*

egyetemi tanársegéd

1. Bevezetés

Melegalakítás alatt a termoelasztikus állapotban lévő, hőre lágyuló műanyag lemezek, fóliák alakítását értjük. A módszer legnagyobb előnye abban rejlik, hogy a lágy műanyag kis erővel, nagy mértékben alakítható. Többnyire olyan vékony falú, alámetszés nélküli 3D-s termékek gyárthatók így, amelyek jelentős anizotrópiával rendelkeznek. A gyors prototípusgyártás sok új lehetőséggel kecsegtet ezen a területen is, hiszen számos eljárás – egyebek között az FDM (Fused Deposition Modeling), amely műszaki műanyagokból, elsősorban ABS-ből készült prototípusok előállítására képes – alkalmas lehet arra, hogy közvetlenül melegalakító (vákuumformázó) szerszám készítésére használjuk. Az FDM technológia alkalmazását a termékek jó mechanikai tulajdonságai és hőállósága indokolják. További előnye lehet, hogy porózus szerkezete miatt a szerszámban nem kell levegő elvezető csatornákat kialakítani. A gyors prototípusgyártás révén lehetséges olyan bonyolult formák kialakítása, ami hagyományos megmunkálási eljárásokkal nagy nehézségekbe ütközne. Az ilyen szerszámok prototípusok vagy kis sorozatok gyártására lehetnek alkalmasak.

Kísérleteink célja egy FDM prototípus vákuumformázó szerszám megtervezése és elkészítése, illetve gyakorlati kipróbálása volt. Szerettük volna felmérni, hogy az így előállított szerszám alkalmas-e vákuumformázásra, illetve milyen mértékben és milyen hosszú távon képes rendeltetésének betöltésére.

2. Hőre lágyuló műanyagok melegalakító szerszámainak anyaga

A vákuumformázás a legelterjedtebb melegalakítási eljárás, annak köszönhetően, hogy a gyártmányok mérete, anyaga, vastagsága és geometriája igen széles határok között változtatható. Fő előnyei a viszonylag alacsony szerszámköltség, az egyszerű, könnyen kezelhető gép és a rövid ciklusidő.

A szerszám anyagának megválasztása elsősorban a gyártandó darabszámtól és a termékkel szemben támasztott követelményektől függ. Műanyagok csak akkor alkalmazhatók, ha hőalakartósságuk megfelelő. Többnyire

hőre keményedő gyantákat használnak, amelyek legfőbb hátránya a kis hővezető-képességből eredő lassú hűlés. Mechanikai tulajdonságainak és jó hővezető-képességének köszönhetően gyakori szerszám-alapanyag az alumínium. Az alumíniumszerszám forgácsolással és öntéssel egyaránt elkészíthető. A fémszerszámokat gyakran látják el hűtőcsatornákkal, közülük az acélszerszámok biztosítják a leghosszabb élettartamot. A faszerszámok könnyen és olcsón előállíthatók, de alkalmazásuk nem előnyös nagyobb sorozatok gyártásakor. Legnagyobb hátrányuk, hogy könnyen deformálódnak és felületi minőségüket is nehéz biztosítani [1].

3. A gyors prototípusgyártásról általában

A gyors prototípusgyártás olyan technológiák közös elnevezése, amelyek 3D-s fizikai modellek előállítására szolgálnak közvetlenül számítógépes CAD modell alapján. A kívánt formát az alapanyag hozzáadásával, rétegről rétegre építik fel, alakítják ki. Az ún. additív (hozzáadó) technológiáknak számos előnye van a hagyományos szubsztraktív (anyagleválasztó) módszerekkel szemben, így pl. tetszőleges bonyolultságú és akár üreges testek is előállíthatók egy darabban, szerelés nélkül. Ma már széles körben használják ezeket az eljárásokat, hogy lerövidítsék a különböző termékek fejlesztési idejét, kézzelfogható formában megjelenítsék azokat, illetve megkönnyítsék a tervezési folyamatban résztvevők közötti kommunikációt, emellett nagyon lényeges a szerepük a szerszámkészítésben is. A gyors prototípusgyártás segít a tervezési hibák és utólag szükségessé váló konstrukciós változtatások számának csökkentésében is. A tervezési folyamat gyorsításának fontos eszközei a közbenső ellenőrzések, amelyek alapját a prototípusok jelentik. A prototípusok készítésének alapvetően három fő oka lehet:

1. A vizualizáció, amikor a termék vagy alkatrész megjelenését, külsejét szeretnénk megnézni, más változatokkal összehasonlítani, amire a formatervezés során van szükség.

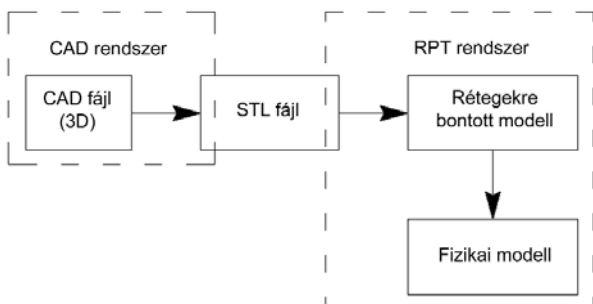
2. A funkcionális modell a funkció vizsgálatára szolgál, ami magában foglalja az alak, az illeszkedés és a méretek ellenőrzését is. Ebben az esetben, a prototípus

*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék

megjelenésén túlmenően, annak fizikai tulajdonságai (szilárdság, merevség) is fontosak lehetnek. Sok esetben követelmény az is, hogy a modell anyaga egyezzen meg a tervezett termék anyagával.

3. A harmadik esetben a prototípus alapján készítik el az adott terméket előállító szerszámot. Ez többnyire kissorozatú gyártásra alkalmas és általában további prototípusok előállítására szolgál, ugyanakkor készterméket előállító szerszámok alapját is képezhetik, pl. precíziós öntés esetében [2].

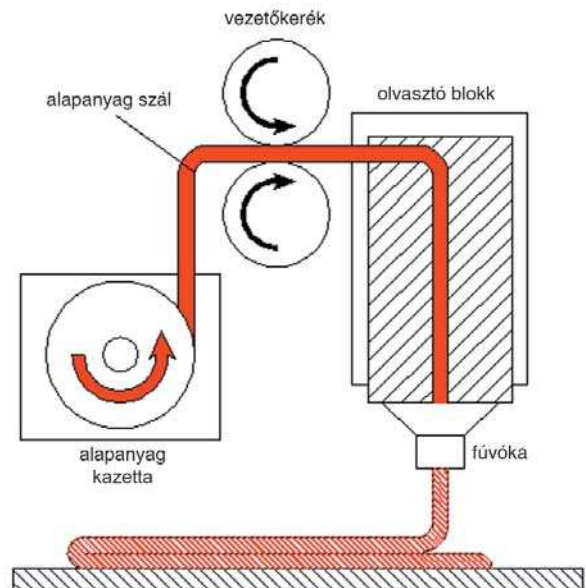
Minden gyors prototípusgyártási technológia kiindulási pontja egy 3D-s CAD modell, amely általában valamilyen tervezőrendszerből (pl. *ProEngineer*, *Catia*, *SolidWorks*, *Mechanical Desktop*) származik. A CAD fájlt át kell alakítani STL (sztereolitográfiai) formátumú fájlra. Ezután a minden géphez rendelkezésre álló speciális szoftver segítségével a modellt el kell helyezni a prototípusgyártó berendezés munkaterében és meg kell határozni az alátámasztások elrendezését, amennyiben ezt az adott technológia megköveteli. A modellt ezt követően automatikusan egyenlő vastagságú rétegekre bontják és megtervezik a berendezés fejének az egyes rétegekhez tartozó pályáját, míg végül a fizikai modellt állítják elő rétegről-rétegre a prototípusgyártó berendezésben [3] (1. ábra). A folyamat végén a prototípust kivesszük a gépből, majd eltávolítják róla az alátámasztásokat és elvégzik a szükséges utókezeléseket.



1. ábra. Az adatok útja a CAD rendszer és a gyors prototípusgyártó (RPT) rendszer között

4. Az FDM (Fused Deposition Modeling) eljárás

Az FDM viszonylag új gyors prototípusgyártási eljárás, segítségével hőre lágyuló polimerekből állíthatunk elő viszonylag jó mechanikai tulajdonságú, nagy szilárdságú és merev prototípusokat [4]. A gép igen kicsi is lehet, akár irodai alkalmazásra is alkalmas, a prototípus nem igényel utókezelést. A szálformájú alapanyagot az x - y síkban mozgatható olvasztófejben (2. ábra) olvadáspontja fölé melegítik, és rétegről-rétegre építik fel belőle a prototípust. Az anyag ömledék állapotba kerülve hozzátapad az előző rétegre, majd néhány tizedmásod-



2. ábra. Az FDM berendezés olvasztófejének vázlatja

perc alatt lehűl és megszilárdul. Az asztal minden réteg elkészülte után egy rétegvastagságnyi mozog lefelé.

Elvileg minden hőre lágyuló polimer alkalmas a felhasználásra, de jelenleg az alábbi anyagokat alkalmazzák: ABS, ABSi (növelt ütészállóságú ABS), PC, PPSU és precíziós öntészeti viasz. Egy modellhez több szín és anyag is felhasználható. A szálal alapanyagokat dobra felcsévélve speciális kazetta foglalja magába, amit egyszerűen el lehet helyezni a berendezésben és a modell építése közben is cserélhető. Az elérhető rétegvastagságok 0,127 és 0,33 mm között változnak. Más gyors prototípusgyártási technológiához hasonlóan, az FDM is igényli a speciális anyagból álló támaszrendszer létrehozását, amely statikailag alátámasztja a prototípust vagy elválasztja annak egyes részeit. A támaszanyag lerakása az alapanyaghoz hasonlóan történik egy párhuzamosan mozgó második olvasztófej segítségével. A támaszanyag igen rideg és törékeny, így kézzel letörhető, vagy leoldható (lemosható) a modelltől [5].

A modelleket kétféle térkitöltéssel lehet megépíteni. Szoros térkitöltésnél a berendezés közvetlenül egymás mellé fekteti le a szálakat, a lehető legnagyobb sűrűségű és szilárdságú szerkezetet hozva létre. Ha csökkenteni akarják a modell tömegét, lehetőség van ritkított térkitöltés alkalmazására. Ebben az esetben a kész darab sűrűsége mindössze egyharmada a szoros térkitöltéssel készült modellének. A ritkított térkitöltésű modell rétegvastagsága változatlan, de rétegeinek szerkezete hálószerű, porózus [6, 7].

5. Mechanikai vizsgálatok

A vákuumformázó szerszámokra ható legfontosabb igénybevétel a nyomás, ami a vákuum és a légköri nyo-

másérték különbségéből ered. Lényeges, hogy a szerszámok az alakítás közben rájuk ható nyomást és magas hőmérsékletet maradó alakváltozás nélkül, hosszú időn keresztül elviseljék. Ezért a szerszám készítéséhez alkalmazott FDM technológiával előállított próbatesteket nyomóvizsgálatoknak vetettük alá.

A mérésekhez két típusú próbatest készült: szoros és ritkított térkitöltésű. A próbatestek átmérője $d=12$ mm, magasságuk $h=30$ mm. A szoros térkitöltésű próbatesteket *S*, a ritkított térkitöltésűeket *R* jelöléssel láttuk el, ezek *Stratasy Dimension* FDM berendezésben (4. ábra) készültek.

A nyomóvizsgálatokhoz *Zwick Z050* univerzális szakítógépet használtunk. A vizsgálati sebesség állandó, 2 mm/perc volt. Az ISO 604:2002 szabvány szerint, a kapott erő-elmozdulás ($F-\Delta l$) görbéből kell meghatározni a feszültség–relatív nyúlás ($\sigma-\varepsilon$) görbét. Ha a görbének több maximuma van, akkor azok közül az első adja σ_M értékét. Minden anyagból 5 párhuzamos mintát vizsgáltunk, majd ezeket a nyomószilárdság szerint rangsorolva, a sorból legnagyobb és legkisebb értéket elhagyva, a fennmaradó 3 próbatest jellemzőinek átlagát és 95%-os konfidencia intervallumra vonatkozó szórását számítottuk ki (1. táblázat).

1. táblázat.

A nyomóvizsgálatok eredményei

Térkitöltés	Nyomószilárdság σ_M , MPa	Rugalmassági modulusz E_C , MPa
S (sűrű)	29,73±0,64	1127±10
R (ritkított)	17,13±0,37	567±2

A ritkított térkitöltésű prototípusok elsősorban vizualizációs célra szolgálnak, a jelentős igénybevételnek kitett darabokat pedig szoros térkitöltéssel kell készíteni.

6. A gyors prototípus vákuumformázó szerszám

A kísérletek célja a megvalósíthatóságon túl az volt, hogy felmérjük a termékek minőségét, illetve azt, hogy az FDM szerszám hány termék legyártására lehet alkalmas. A szerszám megtervezésénél azt tekintettük a legfontosabb szempontnak, hogy olyan alakja legyen, amit hagyományos módszerrel (pl. forgácsolással vagy fából kifaragva) nehéz elkészíteni (3. ábra).

A vákuumformázó szerszámok kialakításának egyik fő problémája, hogy sokszor nehéz előre megtervezni a levegőelvezető furatok helyét, gyakran kell azokat utólag módosítani, vagy újabb furatokkal kiegészíteni. A szerszám ritkított térkitöltéssel készült abban a reményben, hogy pusztán az ilyen szerkezet levegőáteresztő képessége elegendő lesz a vákuum biztosítására a szerszám teljes felületén.

A szerszámot *ProEngineer 3D*-s tervezőprogrammal terveztük meg, befoglaló méretei 120×96×44,4 mm. A



3. ábra. A tervezett vákuumformázó szerszám CAD modellje

CAD modellt átalakítottuk STL formátumúvá, ami alapján a PROTOTYPE KFT. *Stratasy Dimension* FDM gyors prototípusgyártó berendezésében (4. ábra), ABS alapanyagból, ritkított térkitöltéssel elkészítették a szerszámot. A kész szerszámot a POLIMERTECHNIKA TANSZÉK *VFP-0705-2SL* vákuumformázó gépén próbáltuk ki. Az alapanyag 0,7 mm vastagságú, átlátszó PVC fólia volt.

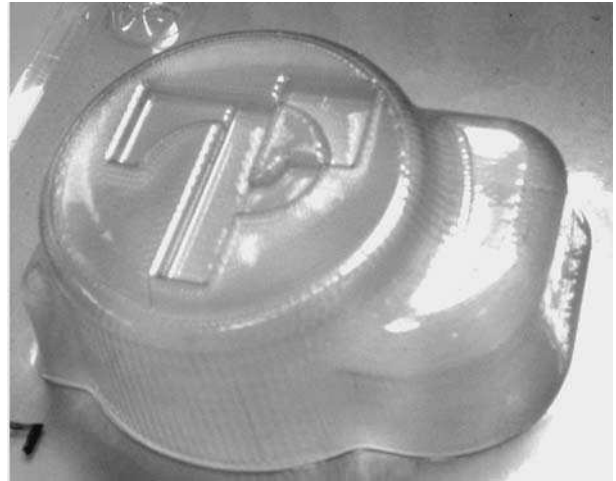
A fólia mindenütt teljes mértékben felvette a szerszám alakját, így jó minőségű, méretpontos termékeket állíthatunk elő. A szerszám és a termékek fényképe az 5. ábrán látható. A szerszámmal összesen 15 terméket gyártottunk, azonban az ötödik terméktől a szerszám felső része elkezdett enyhén behorpadni. A horpadás mértéke minden terméknél fokozatosan, kismértékben növekedett. Az alakváltozás annak következménye, hogy a felmelegedett ABS meglágyult és a vákuum hatására porózus szerkezete összenyomódott. A deformáció a szerszám működését és a termék eltávolítását a szerszámról nem befolyásolta.

7. Összefoglalás

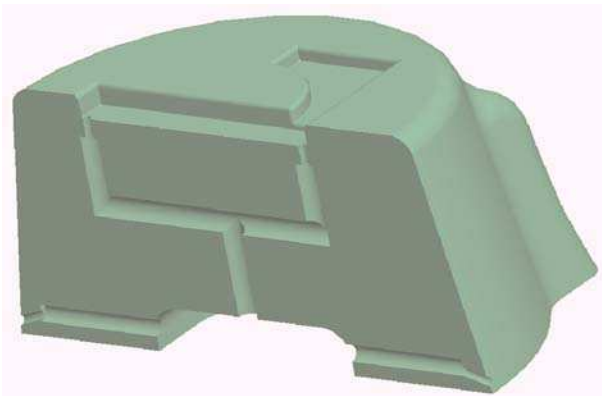
A próbák során bebizonyosodott, hogy az FDM eljárással készült prototípusok közvetlenül alkalmasak vákuumformázó szerszám előállítására. Mivel a ritkított térkitöltésű szerszám esetében a nagyobb vízszintes síkfelületek a hő és a nyomás hatására kismértékben behorpadtak, a szoros térkitöltésű prototípusok alkalmasabbak erre a feladatra. Ekkor valószínűleg elvész a szerszám levegő áteresztő-képességéből fakadó előny, hiszen a szoros térkitöltésű modell egyáltalán nem képes a leve-



4. ábra. *Stratasy Dimension* FDM gyors prototípusgyártó berendezés



5. ábra. A prototípus szerszám (balra) és az előállított termékek egyike (jobbra)



6. ábra. Belső furatokkal ellátott prototípus vákuumformázó szerszám metszete

gő átengedésére, de a szerszámba tetszőleges számú, átmérőjű és elhelyezkedésű furatot lehet tervezni és a szerszámmal együtt elkészíteni (6. ábra). A szoros térkitöltésű szerszámnál az alakváltozástól kevésbé kell tartani, mivel sokkal tömörebb szerkezettel rendelkezik. A ritkított térkitöltésű szerszám a mechanikai mérések és a gyakorlati próbák tanúsága szerint is bírja a vákuum által okozott igénybevételt, azonban hőalaktartósága nem kielégítő.

A szerszám felületi hibái nagyon jól kirajzolódtak a termék felületén. Ha jobb felületi minőséget akarunk elérni, akkor szükséges a felület előkészítése. Ez csiszolást, polírozást vagy valamilyen bevonat alkalmazását is jelentheti.

A módszer alkalmazási lehetőségei elsősorban nem a tipikus vákuumformázott termékek gyártásában rejlenek, mivel a legtöbb ilyen termék viszonylag nagymé-

tű, az ilyen nagyságú FDM prototípusok elkészítésének költségei pedig olyannyira magasak, hogy azokat sem gyártó-, sem pedig prototípus szerszámként nem érdemes alkalmazni. Lehetséges alkalmazási terület lehet a kisszériás gyártás, elsősorban ott, ahol bonyolult geometriájú terméket kell előállítani. A másik lehetőség a gyors prototípusgyártásban rejlik: vákuumformázással, egyetlen FDM modell felhasználásával több prototípus állítható elő, akár különböző színben, anyagból vagy vastagságban.

Irodalomjegyzék

- [1] Stoeckhert, K.; Mennig, G.: *Mold-Making Handbook*, Hanser Publishers, München, 1998.
- [2] Dunai, A.; Macskási, L.: *Műanyagok fröccsöntése*, Lexica Kft., Budapest, 2003.
- [3] Rosochowski, A.; Matuszak, A.: Rapid tooling the state of the art, *Journal of Materials Processing*, 106, 191–198 (2000).
- [4] Gombos, A.: A 3 dimenziós nyomtatás, *Műanyag és Gumi*, 3, 89–93 (2005).
- [5] Kochan, D.; Kai, C. C.; Znaohui, D.: Rapid prototyping issues in the 21st century, *Computers in Industry*, 39, 3–10 (1999).
- [6] Pandey, P. M.; Reddy, N. V.; Dhande, S. G.: Real time adaptive slicing for fused deposition modeling, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 43, 61–71 (2003).
- [7] Thirintulu, K.; Pandey, P. M.; Reddy, N. V.: Optimum part deposition orientation in fused deposition modeling, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 44, 585–594 (1999).