

# Címlapsztori: Rapid Prototyping – Rapid Tooling a gyakorlatban\*

FALK GYÖRGY\*\*  
elnök

BARTHA LÁSZLÓ\*\*\*  
ügyvezető igazgató

KOVÁCS JÓZSEF GÁBOR\*\*\*\*  
egyetemi tanársegéd

Az egyre élesedő és globalizálódó gazdasági versenyben az új termékek piacra juttatási idejének – „Time to Market” – drasztikus csökkentésében a ma már közzismert és a hazai iparban is széles körben alkalmazott, számítógéppel segített tervezési-, szimulációs- és gyártási eljárások (CAD/CAM/CAE) jelentős segítséget nyújtanak. A Rapid Prototyping (RP) – gyors prototípusgyártás – olyan újabb lehetőség, amely tovább gyorsítja a termékfejlesztést, a tervezés korai fázisában elkészülő fizikai prototípusok pontosabbá és egyértelműbbé teszik a termékfejlesztés során felmerülő sokszor ellentmondásos műszaki követelményeket, illetve azok feloldását célzó optimális megoldásokat. A gyors prototípusgyártásból fejlődött ki a gyors szerszámkészítés – Rapid Tooling (RT) – eljárás, amely sokféle technológiával valósítható meg. A cikk ezen technológiákból az SLS eljárás gyakorlati alkalmazhatóságába enged bepillantást.

Minden egyes gyors prototípusgyártási módszernek van egy közös sajátossága, hogy a bonyolult, komplex három dimenziós modelleket rétegről rétegre építik fel az adott modell háromszög alakú lapkákból kialakított felületmodelljének (STL modell) „szeletelésével” és a vékony, kb. 0,02–0,15 mm szeletek automatikusan egymásra építésével.

A rétegről-rétegre vékony szeletekből, rétegekből előállítható prototípusok anyagválasztéka mindig az adott eljárás lehetőségeihez igazodik. Az SLS (Selective Laser Sintering) technológia többféle alapanyagból is képes rétegről-rétegre három dimenziós modelleket előállítani. Az eljárás vázlatát mutatja be az 1. ábra.

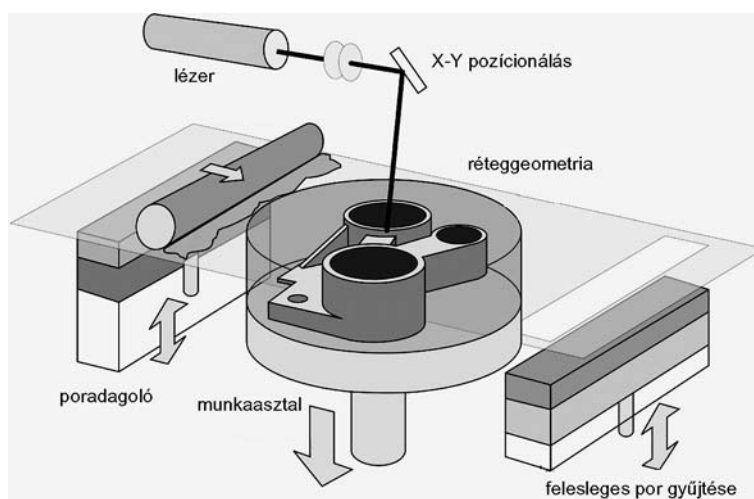
Az SLS technológia legfontosabb ismérve, hogy az automatikusan rétegről-rétegre terített porszemcsék lézer energiával

kerülnek „összeolvasztásra”, minden egyes réteg „szelektíve” csak azon a területen, ahol az adott modell adott magasságban lévő „szeletének” területe megkívánja.

Az SLS eljárásnál először a poliamid porszemcséket használták fizikai modellek gyártására. A poliamid porszemcsék összeolvasztását a pontosan szabályozott lézer energiájával úgy sikerült megoldani, hogy a kész modell szilárdsági paraméterei megközelítik a fröccsöntött poliamid alkatrészek tulajdonságait, azaz nemcsak látványmodellként lehet azokat használni, hanem sokféle fizikai, funkcionális vizsgálat elvégzését, illetve kiértékelését is biztosítják.

A 2. ábrán két SLS eljárással készült prototípus látható, a baloldali alkatrész poliamid porból míg a jobboldali alkatrész alumíniumporral erősített poliamid por összesütéséből keletkezett. Az alumíniumporral erősített poliamid porból készült modellek fizikai paraméterei igen meggyőzőek (1. táblázat).

Természetes törekvésnek tekinthető olyan új, lézerrel szilárdítható anyagok, illetve kompozitok fejlesztése,



1. ábra. Szelektív lézer szinterezés elvi elrendezése

\*A Gépipari Tudományos Egyesület XIV. Mechanoplast konferenciáján Gyulán, 2005. március 9-én elhangzó előadás szerkesztett változata

\*\*Varinex Rt.

\*\*\*Karsai Plast Kft.

\*\*\*\*BME Polimertechnika Tanszék

**1. táblázat.**  
**Alumíniumporral erősített poliamid porból**  
**készült modellek fizikai paramétere**

Mechanikai tulajdonságok		
Húzó modulusz	DIN EN ISO 527	3800±150 N/mm <sup>2</sup>
Húzószilárdság	DIN EN ISO 527	46±3 N/mm <sup>2</sup>
Szakadási nyúlás	DIN EN ISO 527	3,5±1%
Hajlító modulusz	DIN EN ISO 178	3000±150 N/mm <sup>2</sup>
Hajlító szilárdság	DIN EN ISO 178	74±2 N/mm <sup>2</sup>
Charpy ütőszilárdság	DIN EN ISO 179	29±2 kJ/m <sup>2</sup>
Charpy hornyolt ütőszilárdság	DIN EN ISO 179	4,6±0,3 kJ/m <sup>2</sup>
Shore D keménység	DIN 53505	76±2
Termikus tulajdonságok		
Lágyuláspont	DIN 53736	172–180°C
Hőalakállóság	ASTMD 648 (0,45 MPa)	177,1°C
Vicat lágyulási hőmérséklet	DIN EN ISO	169°C
Hővezetőképesség (170°C)	izzódrótos	0,5-0,8 W (mK) <sup>-1</sup>



2. ábra. SLS eljárással készült prototípusok

amelyekből készített prototípusok fizikai tulajdonságai megegyeznek a fröccsöntött alkatrészek tulajdonságaival. Ez a törekvés azonban korlátos, mivel az SLS eljárásnál a poliamid por csak részlegesen kerül „átolvasztásra”, azaz a porszemcsék a felületükön olvadnak össze. Ennek az az oka, hogy a teljes átolvasztás alkalmazása kizárja a szelektív porösszeolvasztás lehetőségét.

A poliamid alapanyagú SLS eljárás alkalmas kis sorozatok gyártására is anélkül, hogy bármiféle szerszámozási- és fröccsöntési költséggel kelljen számolnunk. Az eljárást ilyenkor *Rapid Manufacturing*-nak nevezik és a



3. ábra. SLS eljárással készített alkatrészek

felmerülő igényeknek megfelelő mennyiséget akkor gyártják le az adott termékből, amikor arra szükség van – „Manufacturing-on-Demand”. A 3. ábrán olyan kábelrögzítő termék látható, amely korábban 25 különálló alkatrész összeszerelése után állt csak rendelkezésre. Az SLS eljárással az összeállítás alkatrészeinek száma ötre csökkent, és ezek is egyszerre készülnek rétegről-rétegre, beleértve a csapokat és egyéb kapcsolódást biztosító elemeket is – más szavakkal: rétegről-rétegre „benszüllött” konstrukciókat is le lehet gyártani. Ez a megközelítés a gyakorlatban teljesen újnak számít.

Természetesen, az anyagában pontosan megegyező prototípusokat szerszámban lehet az igényeknek megfelelően előállítani, az ismert technológiák alkalmazásával. Ezek közül a legfontosabbak a műanyagok fröccsöntése, préselés- és vákuumformázása, különböző fémek nyomásos- és kokilla öntése, poliuretánok habosítása, a precíziós, kerámia öntéssel előállítható termékek viaszmintáinak előállítása és fémlemez alakítása mélyhúzással, sajtolással vagy hajlítással.

Ennek megfelelően a legfontosabb *Rapid Prototyping – Rapid Tooling* fejlesztési irány az olyan szerszámok gyors előállíthatóságának kidolgozása, amelyek funkcionalitásukban hasonlítanak a hagyományosan alkalmazott, forgácsolt, szikraforgácsolt, hőkezelt és köszörült acélszerszámokéhoz, de az acél helyett más anyagokkal és az ezekhez igazodó gyártási technológiákkal állítják elő a szerszám kívánt alakadó betéteit.

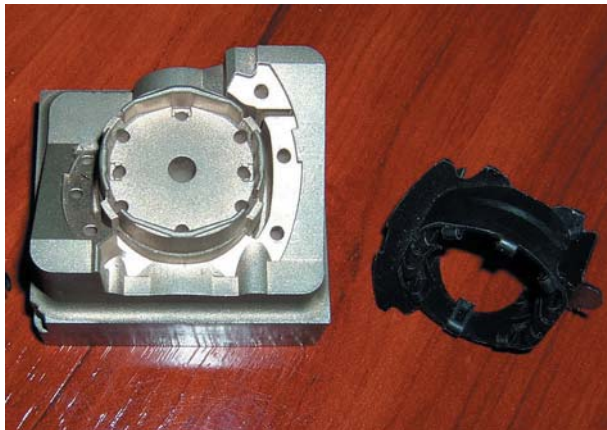
A gyors prototípusgyártásból kialakuló gyors szerszámkészítési eljárások egyik fő csoportja, az ún. *Direct Rapid Tooling* azokat az eljárásokat fogja össze, amelyek segítségével közvetlenül állíthatunk elő szerszámokat, illetve azok alakadó betéteit. A magasabb hőmérsékletű alakításhoz (pl. műanyagok- és fémek nyomásos öntése) a közvetlen gyors szerszámkészítésnél a szerszámbetéteket a gyors prototípusgyártáshoz hasonlóan rétegről-rétegre, fémpor „összesítésével” hozzák létre. Az eljárásnál a szelektív lézer szinterezésnél megszokott poliamid por helyett különböző fémporokat (pl. bronz, 4. ábra) olvasztanak össze, természetesen nagyobb energiát (legalább 200 W) biztosító lézer segítségével. Az eljárást megvalósító berendezéseket a német EOS GMBH gyártja már 20 mikronos fémpor alapanyaggal is, amely finom felbontású, 0,02 mm vékony rétegek kialakítását is lehetővé teszi.

A legújabb fejlesztések eredményeképpen ma már acélport is lehet SLS eljárással rétegről-rétegre felépíteni. A 2. táblázat a ma elérhető porokból épített modellek, illetve szerszámbetétek mechanikai tulajdonságairól ad áttekintést.

2. táblázat.

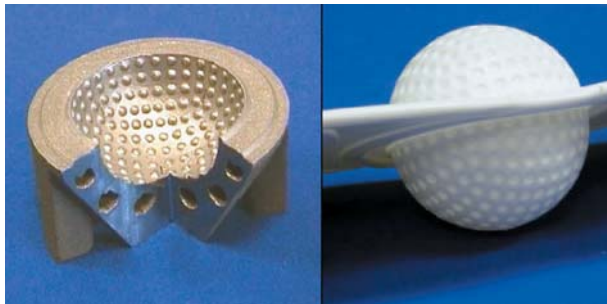
Fémporral készített SLS modellek mechanikai tulajdonságai

	DirectMetal 20	DirectSteel 20	DirectSteel H20
<b>Keménység, HB, HV, HRB</b>			
Lézer szinterezett	110 HB, 115 HV, (≅65 HRB)	220 HB, 225 HV, 94 HRB	350–420 HV, 35–42 HRC
Mikro kovácsolás után			350–420 HV, 38–42 HRC
Kemény bevonás után	>2000 HV	>2000 HV	>2000 HV
<b>Felületi érdesség, μm</b>			
Utómegmunkálás nélkül	R <sub>a</sub> 9 R <sub>z</sub> 40–50	R <sub>a</sub> 10 R <sub>z</sub> 50	R <sub>a</sub> 10 R <sub>z</sub> 40–50
Kovácsolás után	R <sub>a</sub> 3 R <sub>z</sub> 15	R <sub>a</sub> 4 R <sub>z</sub> 15	R <sub>a</sub> 5 R <sub>z</sub> 25
Csiszolás után	R <sub>z</sub> ≤1	R <sub>z</sub> ≤1	R <sub>z</sub> ≤1



4. ábra. Bronzporból készített SLS szerszámbetét

A *DirectMetal 20* típusú por alapanyaga bronz, míg a *DirectSteel 20* porok alapanyaga acél. A rétegről-rétegre felépített szerszámbetéteknél megoldható a fröccsöntő szerszámoknál egyre inkább fellépő igény is, hogy a hűtőcsatornákat térben is ki lehet alakítani. „Kanyar-furatokat” a hagyományos szerszámkészítési eljárásokkal nem lehet kiképezni, pedig a fröccsöntési szimulációs eljárások – pl. *Moldflow* – gyakran adnak olyan „tanácsot”, hogy az egyenes hűtőcsatornák helyett a térbeli hűtőcsatorna jobb eredményeket biztosítana a szerszámelettartam, kopás, ciklusidő és a fröccsöntött termék zsugorodása, illetve vetemedése szempontjából is.



5. ábra. Térbeli hűtőcsatorna

Az 5. ábrán olyan szerszámbetétet látható a megfelelő kimetszéssel, amely ilyen térbeli hűtőcsatornát ábrázol. Ezt a szerszámbetétet *DirectSteel 20* acélporból építették fel úgy, hogy a térbeli hűtőcsatorna járatok geometriájának megfelelően az acélpor összesütését a berendezés kihagyta. A kész szerszámbetétből a nem kívánt (nem összesütött) acélport csak ki kell „szórni” és máris rendelkezésünkre áll a kívánt 3D-s, térbeli hűtőcsatorna. Az ilyen, ún. „conformal cooling” megoldással olyan mértékben lehet a fröccsöntés hatékonyságát növelni, hogy a képen látható golfabdából az adott szerszámbetéttel 5 millió darabot lehetett kifröccsönteni az SLS szerszámbetét mérhető kopása nélkül.

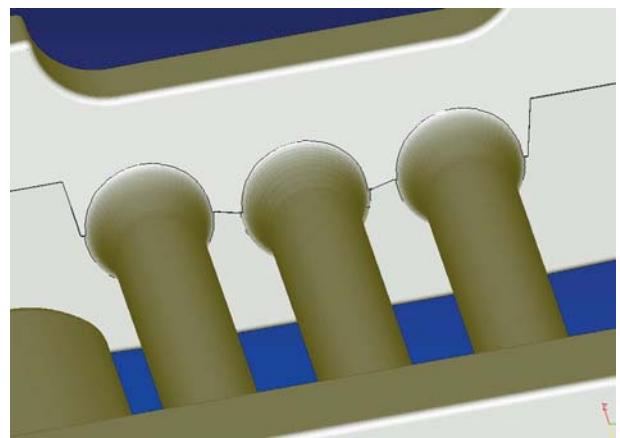
Hazánkban is készült már *DirectSteel 20* acélporból SLS eljárással épített szerszámbetét.

Egy Magyarországra települt nemzetközi vállalat olyan új kéziszerszámot fejlesztett ki, amelynek egyik kulcsalkatrészével szembeni műszaki követelményeket csak POM alkalmazásával lehetett kielégíteni. Természetes igényként merült fel néhány tucat prototípus elkészítése is, amelyet csak szerszámban lehetett fröccsönteni. A kívánt két hetes átfutási idő gyakorlatilag kizárta a hagyományos szerszámkészítési eljárásokat, így az acélporos SLS-re esett a választás.

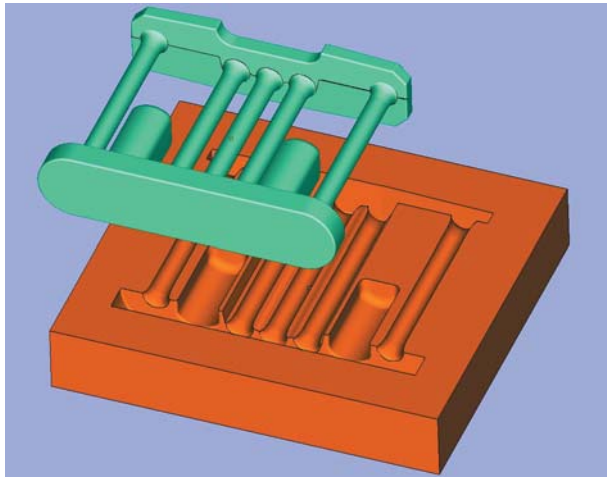
Első lépésben a kívánt termék osztását kellett kis mértékben módosítani annak érdekében, hogy az ideiglenes szerszám osztása is egyszerűvé váljon (6. ábra).

Az osztás meghatározása után készültek el az ideiglenes szerszám alakadó betéteinek 3D-s számítógépes modelljei STL formátumú felületmodellben, amelyek közvetlenül felhasználhatók az acélporos SLS *Rapid Tooling* eljárás lefolytatásához. A 7. ábra egy betétet ábrázol a termékkel együtt.

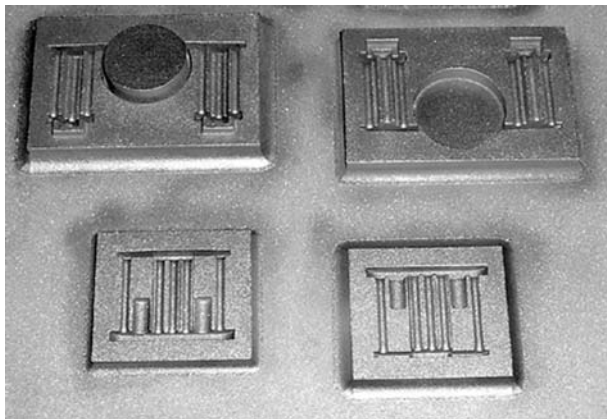
A projekt keretében két termék ideiglenes gyártását



6. ábra. Osztás módosítása

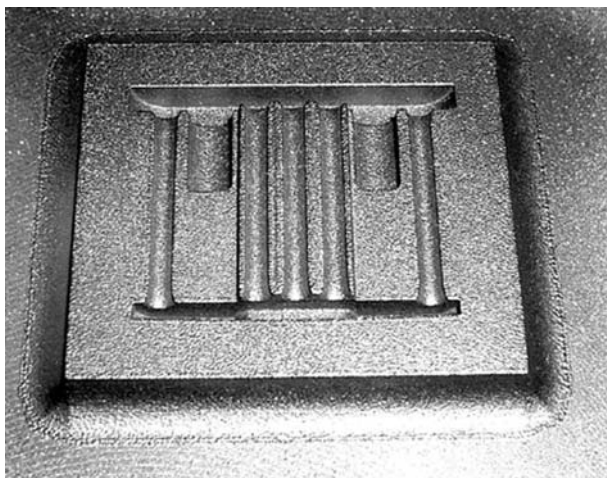


7. ábra. 3D-s szerszámbetét modell a termékkel



8. ábra: Közös acéllapra felépített szerszámbetétek

kellett megoldani acélporos SLS *Rapid Tooling* eljárásal, ezért a két termék összesen négy különféle szerszámbetétjét egy acéllapon egyszerre lehetett megépíteni (8. ábra), csökkentve az átfutási időt és így költséget is meg lehetett takarítani. A közös acéllapra azért van szükség, mert a lézer magas teljesítménye nem teszi le-



9. ábra. Acélporos SLS betét felülete

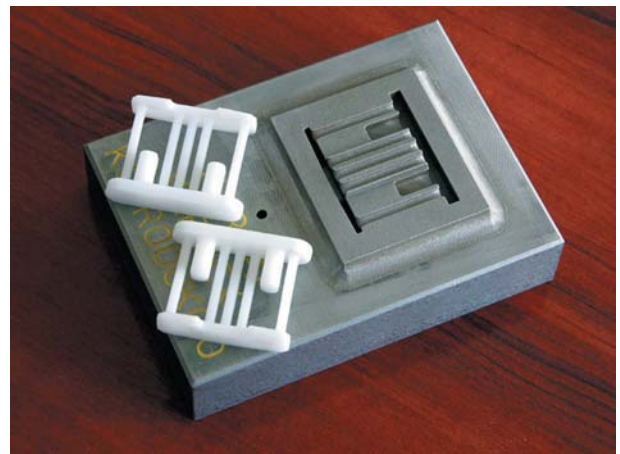
hetővé az SLS berendezés „asztalán” történő acélpor összeolvasztást.

A közös acéllapra épített betéteket huzalos szikraforgácsolással lehetett kivágni a kívánt méretnek megfelelően. Ha közelebbről szemléljük a szerszámbetéteket, akkor jól láthatóak a 20 mikronos porszemcse méretéből adódó felületi egyenetlenségek (9. ábra), amely felületminőség gyakorlatilag megegyezik a szikraforgácsolásnál megszokott felületminőséggel.

Jó volt tapasztalni, hogy az acélporos SLS eljárással felépített szerszámbetétet ugyanúgy lehetett polírozni mint a szikraforgácsolással készített betéteket, sőt az ultrahangos polírozás művelete sem igényelt különleges megközelítést. A szerszámkészítés további lépéseinél sem jelentett extra fejtörést az acélporos SLS betét alkalmazása, gyakorlatilag nem kellett a megszokottól eltérő megoldást alkalmazni.

A két ideiglenes fröccsöntő szerszám határidőre – és nem utolsósorban a megrendelő legnagyobb meglepetésére – elkészült. A szakmai részleteken túl megemlítjük, hogy ezzel a gyors megoldással a megrendelő bizalmát olyan mértékben sikerült megnyerni, hogy a végleges szerszámokat is megrendelte a több évre vonatkozó nagyszorozatú termékgyártással együtt, és az acélporos SLS *Rapid Tooling*-al készülő szerszámok a fejlesztés „napi gyakorlatának” részévé váltak.

A gyorsan készíthető ideiglenes szerszámokkal – amelyeknek költségszintje kb. egyharmada a végleges fröccsöntő szerszámok árának – egy másik cél is megvalósítható. Nevezetesen a nemzetközi vállalatoknál természetes igény a termékgyártás folyamatos fenntarthatósága érdekében az ún. „havaria” szerszám megléte is. Az ideiglenes, *Rapid Tooling* eljárással készített szerszámok ezt az igényt automatikusan biztosítják, azaz különálló, második „havaria” szerszám gyártása feleslegessé válik. A 10. ábrán bemutatjuk az acélporos SLS eljárással készült szerszámbetétet a kész fröccsöntött termékkel együtt.



10. ábra. Acélporos SLS szerszámbetét termékekkel