

Utóműveletek a 3D nyomtatásban

A 3D nyomtatás esetében a legtöbb közlemény magának a nyomtatási technológiának a részleteiről szól, itt azonban olyan műveleteket, technológiákat tárgyaló cikkeket szemlélünk, amelyek a nyomtatott tárgyak felületminőségét, esetenként mechanikai jellemzőit javítják.

Tárgyszavak: additív gyártás, támaszték eltávolítás, felületsimítás, festés, lakkozás, utótérhálósítás, temperálás

A 3D nyomtatásról rendszerint az jut eszünkbe, hogy „kész” darabokat vehetünk ki a gépből, legfeljebb a támasztó részeket kell eltávolítani, amelyek a hátrametszett szerkezeti elemek miatt szükségesek. A 3D nyomtatás vagy „additív gyártás” megszokott lépései a következők: (1) a 3D modell elkészítése, (2) a modell átírása STL (sztereolitográfias) fájlba, (3) a modell „szelektelése” és a 3D nyomtatási paraméterek beállítása, (4) nyomtatás, (5) utóműveletek. Noha a legtöbb 3D nyomtatott termék közvetlenül felhasználható, az ipari alkalmazásoknál szükség lehet felületkezelésre vagy egyéb utóműveletekre, amelyek nemcsak a felületminőséget, vagy a méretpontosságot javíthatják, hanem számos más jellemzőt is. 300 megkérdezett vállalattól beérkező válasz alapján arra a következtetésre jutottak, hogy kb. 70%-uk prototípus gyártásra használja, 80% új célok megvalósítására, és 90%-nak pozitív véleménye van a jövőbeli alkalmazásokkal kapcsolatban. A rétegenkénti felépítés (additív gyártás) olyan szerkezetek előállítását is lehetővé teszi, amit a szubtraktív (anyageltávolítással járó) módszerek nem.

Az utóműveleteket két csoportba lehet sorolni: elsődleges (primer) és másodlagos (szekunder) műveletekbe. Az elsődleges műveletek közé tartozik a támasztékok eltávolítása vagy a felületminőség javítása/tisztítás, a másodlagos műveletek nem feltétlenül tartoznak közvetlenül és elengedhetetlenül a gyártáshoz, de felhasználási igények miatt el kell végezni őket. Ilyen lehet pl. a festés vagy a felület szerves gőzökkel való simítása. A felület módosítása pl. nedvesedés, csillogó felület, karcállóság, vegyszerállóság, elektromágneses árnyékolás stb. szempontjából szükségessé tehet további műveleteket. Hogy milyen jellegű és mértékű utókezelésre van szükség, az a felhasznált nyersanyagtól és a nyomtatás módjától (pl. sztereolitográfia – SLA, szelektív réteg-szinterezés – SLS, vagy ömledék nyomtatás – FDM) is függ.

Ebben a közleményben a 3D nyomtatás fő típusairól és a felhasznált anyagokról nem írunk részletesebben, mert azok elég széles körben ismertek és megtalálhatók a hivatkozott irodalomban, csak az utóműveletekre koncentrálnak.

Az elsődleges utóműveletek közül a leggyakoribb a támasztékok, a por, a gyantafelesleg eltávolítása, amely időigényes folyamat. Léteznek olyan nyomtatási eljárások, amelyek rácsszerű szerkezetekre épülnek, ahol nincs szükség támasztékokra. Ugyancsak elég elterjedt (különösen a hőre vagy fényre keményedő, térhálós gyantákat használó módszerek esetében) az utópolimerizáció a már alaktartó terméken további fény- vagy hőkezelés segítségével. Ez természetesen növeli a mechanikai szilárdságot, a felületminőséget, a hőállóságot, időjárásállóságot is. Az utókezelés lehet kézi vagy automatizált, szakaszos vagy folyamatos.

Standard utókezelési módszerek

Az **ömledékfeldolgozás** (FDM: Fused Deposition Modeling – ömledéknyomtatásos modellezés) esetében az extrudált zsinór véges átmérője következtében a kész tárgy „lépcsős” felületű lesz, ami különösen a ferde felületeken jól észrevehető. A jelenség valamelyest csökkenthető, ha csökkentjük a zsinór átmérőjét, de teljesen el nem tüntethető. A fröccsöntött darabhoz képest durva felület az FDM 3D nyomtatott modelleket a rövid szállítási idejű prototípusok területén teszi vonzóvá. A támasztékok eltávolítása rendszerint kézi úton történik, csipesz vagy fogó segítségével, majd a felület lesimításával. Ez a tevékenység a termék alakját alapvetően nem változtatja meg. Vannak olyan nyomtatók is, amelyek két extruder fejjel vannak ellátva, amelyek közül az egyik vízdoldható anyagot (pl. polivinil alkoholt) bocsát ki, amely utóbb forró vízben leoldható. (Ez az utóművelet más additív gyártási módszernél is alkalmazott.) Néha a nyomtatás vagy a felhasznált anyag jellege miatt szükség van rések, hiányok kitöltésére. Ez rendszerint valamilyen viszonylag olcsó, de nem túl gyenge anyaggal történik, pl. töltött epoxigyantával. Festésre vagy egyéb bevonásra a felületminőség javítása miatt lehet szükség. Ez történhet kézi felhordással vagy szórással. Ezt a megoldást általában nem teherviselő alkatrészekben használják pl. a kültéri stabilitás vagy a vízállóság javítására. Vannak olyan próbálkozások is, hogy ha a 3D nyomtatás textilekre történik, az adhézió javítására a textilt polimer oldattal vagy ömledékkel kezelik a nyomtatás megkezdése előtt. A felületminőség javítása érdekében a keményebb polimerek esetében, mint amilyen a PC, PET vagy PLA, célszerűbb egy, vagy kétkomponensű bevonatokat használni, más esetekben viszont (PS, ABS, ASA) inkább az oldószeres simítást alkalmazzák, de esetenként dörzsvásznas vagy papíros csiszolást is használnak, ami egyenletesebb, de nem sima felszín eredményez. Az AMT cég *PostPro SF* (Surface Finishing) berendezése azzal újította meg a szerves gőzökkel történő felületsimítást, hogy kevesebb vegyszert használ fel, gyorsabbá teszi a folyamatot és hatékonyabb az oldószer visszanyerése is. A kisebbik változat 50 literes kezelőkamrát használ, amelyben 100-nál több alkatrész kezelhető 100 perces ciklusokban. Vannak 100 literes, sőt még nagyobb tartályok is tömegtermelésre.

Az ABS esetében az oldószeres kezelés (pl. acetonnal) akár „hegesztésre” vagy repedések eltávolítására is használható, a feloldott, majd kiszáradt érintkező felületek szilárdsága megegyezik az ABS tömbanyag tulajdonságaival. Ha a 3D nyomtatott darabot olyan oldószer gőzének tesszük ki zárt térben, amely oldja a műanyagot, a felület kisimul és fényesség válik (pl. ABS és aceton kombinációja). Ugyanakkor csökken a méretpontosság és nem lehet pontosan kalkulálni, hogy az oldószeres kezelés mennyi anyagot „mos le” a felszínről. Figyelni kell az oldószer-gőzök gyúlékonyságára és toxicitására is. Az oldószeres kezeléssel olyan felületminőség érhető el az ABS-ből készült tárgyaknál, mint fröccsöntéssel. A kezelés hatására nemcsak a felületminőség javul, hanem a szakadási nyúlás is javul, és a tömörebb felület a tisztítást, esetleges festést, lakkozást is könnyebbé teszi. Ez nagy előny pl. tartályok, csővezetékek, szelepfedelekek, olajteknők esetében.

Noha az ABS esetében a legelterjedtebb a gőzökkel történő felületkezelés, PLA tárgyak esetében is elvégezhető, csak itt acetont helyett észtereket, pl. etilacetátot lehet alkalmazni, amelyből viszonylag kevés is elég a cél eléréséhez. Az etilacetát mellett más folyadékokat is kipróbáltak, pl. NaOH oldatot, metilénklorid gőzt stb., de ezek közül az etilacetát a környezetvédelmi szempontból legkedvezőbb, amellyel akár 90%-kal is csökkenthető a felületi érdesség. A PLA-ból nyomtatott tárgyak esetében (akárcsak más, ömledékmódszerekkel feldolgozott PLA termékek esetében) szükség lehet az utólagos hőkezelésre (temperálásra) is, mert a hirtelen lehűlő PLA kristályossága nem éri el az optimális szilárdsághoz szükséges mértéket. A hőkezelést a

üvegesedési hőmérséklet (60–65 °C) és az olvadáspont (173–178 °C) közé kell beállítani, de figyelembe kell venni, hogy az olvadáspont közelében az anyag már lágyul, vetemedik, zsugorodik, tehát kompromisszumokat kell kötni. A hőkezelés hatására a PLA merevsége (modulusa) kb. 25%-kal, szilárdsága 40%-kal javítható.

Ha az a szándékunk, hogy a nyomtatott termék ételminőséggel érintkező minősítést kapjon, a felületkezelést is ennek megfelelően kell elvégezni, pl. mártással, ahol ilyen minősítésű epoxi vagy poliuretán bevonatokat használunk.

A **sztereolitográfia** (SLA) módszerekben rendszerint UV fényel térhálósítható és polimerizálódó akrilátgyantákat használnak, amelyek optimális tulajdonságai gyakran UV- és magas hőmérsékletű utótérhálósítással érhetők el. Az UV utótérhálósítás csak a felületi jellemzőket javítja, a megemelt hőmérséklet viszont az anyag belsejében „befagyott” reakciókat is segít végbemenni, tehát a minta egész vastagságában javítja a mechanikai jellemzőket. Esetenként magába a gyantába kevernek fotoiniciátort és termikus iniciátort is, ahol a termikus iniciátor ki-mondottan az utótérhálósítás során aktivizálódik.

Az SLA módszernél (tekintettel arra, hogy a kiindulási anyag folyadék) simább a felület, mint az ömledéket használó módszereknél. Szükség lehet azonban a felület mosására a nem teljesen megkötött felületi réteg eltávolítására (leggyakrabban izopropil alkoholt vagy vizet használnak). Adott esetben azonban a támasztékok eltávolítása után nedves csiszolást is használnak, amivel sima felület érhető el ugyan komplex geometriák esetében, de ez kevésbé alkalmazható azokon a felületeken, ahol a támasztékok elhelyezkednek, és a víz foltosodást is okozhat. Vannak olyan módszerek is, ahol a durvább felületi egyenetlenséget dörzspapírral távolítják el, majd a sima felületet egy vizes PVA oldat alkalmazásával hozzák létre. Finomabb felületek esetében mikroszálás anyaggal tisztítják a felületet, majd néhány csepp ásványolajat dörögölnek bele – ezzel pl. a foltok eltávolíthatók. Védő akrilrétegek (pl. UV védő felületi bevonat) felhordhatók szórással is.

A **szelektív lézerszinterezés** (SLS) esetben a feldolgozott anyagok többnyire hőre lágyuló műanyag porok, pl. poliamidok. A SLS módszer viszonylag kevés és egyszerű utóműveletet igényel, a maradék port lefűjják, az esetleg ez után is rátapadt port műanyag-szemcsés szórással lehet eltávolítani, ami nem koptatja úgy a felületet, mint a csiszolás. A nyomtatott termékek porozitásuk révén könnyen festhetők festőkádban. Festhetők vagy lakkozhatók is pl. fémfényűre, vagy elláthatók védőbevonattal. A lakkozás gátolja a vízfelvételt, növeli a felületi keménységet. A vízállóságot akrilát vagy szilikon bevonatokkal lehet javítani. Hengeres polírozással javítani lehet a felület simaságát és lekerekíteni az éleket, de ez nem ajánlott bonyolult alakú elemeknél.

Egyéb utókezelési technológiák

Vannak a fenténél fejlettebb, bonyolultabb felületkezelési technológiák is, mint például a fizikai vagy kémiai gőzfázisú leválasztás (PVD, CVD), amelyekkel igen vékony fém, kerámia vagy speciális polimer bevonatokat lehet felhordani a nyomtatott tárgyakra. A bevonatok a kopásállóságot, a súrlódást, a hőállóságot, vegyszerállóságot javíthatják. A CVD-vel felhordott fluor-tartalmú bevonatok esetében, mivel a pórusok nem nedvesednek, még az is előfordulhat, hogy egy víznél sűrűbb PLA-ból nyomtatott tárgy úszik a víz felszínén. Ha hidrofil bevonatot hoznak létre (pl. EGDMA-val térhálósított HEMA polimer) akkor viszont ugyanaz a tárgy elsüllyed, mert nedvesedik. Ezekkel a módszerekkel pl. a mikrofluidikában vagy szövetnövesztésnél használt szubsztrátumok (scaffold) esetében ilyen módszerekkel beállítható a kívánt hidrofobitás

vagy hidrofilitás. Akárcsak a fröccsöntött tárgyak esetében, a nyomtatott műanyag termékek is galvanizálhatók akár hagyományos, akár elektródmentes eljárással, ami esztétikus és egyben villamosan vezető bevonatot képez. Ha viszonylag vastag nemesfém bevonatokat hozunk létre (pl. palládiumból), a vegyszerállóság is megnő. Ha a felületen nem akarunk nagy vezetőképességet vagy elektromágneses árnyékolást elérni, csak elektrosztatikus feltöltődés elleni védelmet, kisebb vezetőképesség is elég, de vannak olyan nyomtatószálok is, amelyek már eleve tartalmaznak olyan töltőanyagokat, amelyek megnövelik az anyag vezetőképességét (pl. korom, szén-szál). A táblázatok a különböző felhasznált módszereket, azok alkalmazási területeit, előnyeit és hátrányait mutatják be.

Összeállította: Dr. Bánhegyi György

Rövidítések jegyzéke:

3DP	3 dimenziós nyomtatás	PCL	polikaprolakton
ABS	akrilonitril-butadién-sztirol	PEEK	poliéter-éter-ke-ton
AM	additív gyártás	PEI	poliéterimid
ASA	akrilonitril-sztirol-akril	PET	polietilén-tereftalát
CAD	számítógéppel támogatott tervezés	PETG	polietilén-tereftalát-glikol
CNT	szén nanocső	PLA	politejsav
CVD	kémiai gőzfázisú leválasztás	PS	polisztirol
DIW	direkt tintanyomtatás	PVA	polivinil alkohol
EBM	elektronsugaras nyomtatás	PVD	fizikai gőzfázisú leválasztás
EGDMA	etilénglikol-dimetakrilát	SLA	sztereolitográfia
FDM	ömledéknyomtatásos modellezés	SLM	szelektív lézeres olvasztás
FFF	ömlesztett szál gyártás	SLS	szelektív rétegszinterzés
HEMA	hidroxietil-metakrilát	SM	szubtraktív gyártás
HIPS	ütésálló polisztirol	SS	szelektív szinterezés
MEX	ömledékextrúzió	STL	standard tessellation language file – standard hálózat fájl
PA6	poliamid-6	TPU	hőre lágyuló poliuretán
PBF	porágy olvasztás	UV	ultraibolya
PC	polikarbonát	VSP	viszkózus oldatnyomtatás

Dizon J.R.C., Gache C.C.L., Cascolan H.M.S., Canico L.T., Advincula R.C.: Post-Processing of 3D Printed Polymers – Technologies, 2021, 9.k., 61 (37 oldal), Letöltve 2022.03.01.

AMT Revolutionizes 3D Printing Post-Production with the Launch of New Surface Finishing Systems, <https://amtechnologies.com/news/amt-revolutionizes-3d-printing-post-production-with-the-launch-of-new-surface-finishing-systems/>

How Vapor Smoothing Takes the Surface Quality of 3D Printed Parts to the Next Level, Letöltve 2022.03.01

<https://omnexus.specialchem.com/tech-library>, 2021 június 24,

Lavecchia, F., Guerra M.G., Galantucci L.M.: Chemical vapor treatment to improve surface finish of 3D printed polylactic acid (PLA) parts realized by fused filament fabrication – Progress in Additive Manufacturing, 2022, 7.k., p. 65–75

Ömledék eljárással (FDM) nyomtatott termékek utóműveleti (anyageltávolítás).

(Az 1. forrásból átvéve, leegyszerűsített.

A konkrét hivatkozások az adott irodalomban megtalálhatók.)

Anyag	Utóművelet	Előny	Hátrány
Minden hőre lágyuló anyagra	Támaszték eltávolítása A legtöbb 3D nyomtatásnál használt	Nagyobb tervezési szabadság Kevés eszközt igényel Gyors, egyszerű művelet	Nem polírozott nyomtatási textúra Néha az eltávolítás során megsérül a darab Ha nem sikerül a teljes eltávolítás, romlik a méretpontosság és a megjelenés
	Oldható támaszték eltávolítása Az oldható támasztékot vízbe vagy egyéb folyadékba mártva távolítják el, alig marad nyoma	Bonyolult alakú termékeknel javasolt és használható	Nem megfelelő végrehajtásnál vetemedést, elszíneződést okozhat Nem polírozott nyomtatási textúra A kioldódás kisebb felületi hibákat, üregeket okozhat
	Csiszolás Óvatos, kézi művelet, egyre finomabb csiszolóvászonnal	Rendkívül finom felület alakítható ki Kevés eszközt igényel, olcsó Lehetővé tesz további műveleteket (pl. festést)	Idő és munkaigényes Munkavédelmi igény (porokkal szemben) Nem mindig egyenletes a felületminőség Komplex felületeken nem alkalmazható Nem megfelelő megmunkálásnál méretpontossági problémák
	Polírozás Csiszolás után, néhány csepp olajjal vászonnal történő dörzsölés	Javul a textúra anélkül, hogy bármilyen vetemedés lenne Esztétikus felület Olcsó	Biztonsági előírások szükségesek Polírozás után a festék, lakk nem tapad a felülethez
	Homokszórás Apró részecskék (homok, üveggyöngy, maghéj darabkák) szórása a felület simítására	Gyors, egyszerű	Kisebb, gyenge, bonyolult formájú darabok esetében nem használható
PLA, ABS	Hőlégfúvó Apróbb szálás szennyezések eltávolítása, a fúvóka hőmérséklete széles tartományban változhat	Csiszolás után visszahozza a felület színét	Tudni kell, hogy milyen hőmérsékletig szabad elmenni
PLA	CO ₂ lézervágás	Javíthatja a méretpontosságot	

2. táblázat.

Ömledék eljárással (FDM) nyomtatott termékek utóműveleti (anyag hozzáadása).

(Az 1. forrásból átvéve, leegyszerűsített.

A konkrét hivatkozások az adott irodalomban megtalálhatók.)

Anyag	Utóművelet	Előny	Hátrány
Minden hőre lágyuló anyagra	Rések kitöltése Nyomtatásnál hiányos részek kitöltése pl. karosszéria javítómasszával. Szárítás után szükség lehet a csiszolás ismétlésére	Az epoxik könnyen kezelhetők alapozóval és csiszolhatók Nincs felületi elszíneződés	Néhány massa nem átlátszó száradás után, ami színváltozást okozhat
	Alapozás és festés Először vékony rétegben alapozót viszünk fel, utána jön a festékréteg	Jobb esztétika A vizuális megjelenés szabadon választható	Az alapozó és a festék túl vastag lehet a felületen Viszonylag időigényes Drága lehet a sokféle anyag miatt
	Fémbevonás. Vékony vezető festékkel történő borítás. Néha még utólagos csiszolást igényel	Növeli a darab szilárdságát Ha elég vékony a bevonat, marad a méretpontosság	Viszonylag drága Biztonsági előírások

Bizonyos polimerekből készült, ömledék eljárással (FDM) nyomtatott termékek utóművelete (anyag hozzáadása).

(Az 1. forrásból átvéve, leegyszerűsített.

A konkrét hivatkozások az adott irodalomban megtalálhatók.)

Anyag	Utóművelet	Előny	Hátrány
ABS	Galvanizálás Vékony fémréteg (pl. arany, ezüst, nikkel, króm) kiválasztása a nyomtatott felületre. A felület fényesebb, vízálló lesz	Javítja a tárgy megjelenését, tapintását Sok alvállalkozó van, akiknek ki lehet adni a munkát	Drága, összetett és nagy gyakorlatot kíván
PLA, ABS	Nyomtatás szövetre A megömlesztett polimert textilre nyomtatják	Jelentősen javul az adhézió a textil és a polimer között	
PLA, ABS	Kétkomponensű epoxi oldattal történő bevonás A gyanta és a térhálósító összekeverése után kézi felhordás	Fényes, sima bevonat, javítja a tárgy szilárdságát és tartósságát	
PLA	Epoxi bevonás A nyomtatott tárgyat 20–25 percre a folyékony epoxiba merítjük, ami elég ahhoz, hogy a gyanta beszívódjon a résekbe	A képződő bevonat oldószerálló, tartós és szívós	
PLA, PETG	Kémiai galvanizálás Réz és NiP bevonat készítése a tárgy felszínén a polimerek üvegesedési hőmérsékletéhez közeli hőmérsékleten	A bevonatok jól tapadnak a szubsztrátumhoz	PETG esetében különösen jó tapadásra van szükség ahhoz, hogy ne lépjen fel delaminálódás (különösen rugalmas tárgyak esetében)
PCL	Bevonás cellulóz nanoszálakkal Nyomtatott scaffold (gyógyászati „állványzat”) bevonása cellulóz nanoszálakkal a felületi tulajdonságok javítására	Javul a sejttapadás, a szaporodás és a csontképző differenciálódás	Drága, bonyolult tisztítási eljárás
PLA, PA6, PET, kopoliészter, HIPS, PEI, ASA, ABS	Élelmiszerrel érintkező bevonatok (epoxi vagy poliuretán) Bemártással készülő baktériumgátló bevonatok	Csökkenti a fertőzés veszélyét és a részecskemigrációt	Hosszú idejű felhasználás esetében nem mindig biztosítható az élelmiszerbiztonság

4. táblázat.

Ömledék eljárással (FDM) nyomtatott termékek utóműveleti (egyéb műveletek).

(Az 1. forrásból átvéve, leegyszerűsített.

A konkrét hivatkozások az adott irodalomban megtalálhatók.)

Anyag	Utóművelet	Előny	Hátrány
ABS	„Hideg hegesztés” Két, előzőleg acetonnal megkent felületet összeszorítunk a kötéshez	Az aceton nem változtatja meg a tárgy felszínének színét, kinézetét Erősebb tapadás, nagyobb szilárdság	Estenként gyengébb kötés Túl sok aceton feloldhatja a tárgy bizonyos részeit
	Mikrohullámú kezelés Vezető adalékot (CNT) tartalmazó minta esetén a vezető anyag körül megolvad az ABS, javul az adhézió	Erősebb tapadás a rétegek között	
	Vegyszeres utókezelés (aceton, észter, klórozott oldószer)	Javul a felületi megjelenés	A párolgási sebesség különbségei miatt esetenként deformálódhat a tárgy
	Acetonos felületi simítás A tárgyat aceton vagy más oldószer telített gőzébe helyezzük	Jobb felületi megjelenés, tapadás Olcsó	Befolyásolhatja a méretpontosságot Csökkentheti a hőállóságot
PETG	Temperálás Különböző idejű és hőmérsékletű hőkezelés	Növeli a rétegek közti tapadást és modulust, szakadási nyúlást	
PLA	Temperálás Különböző idejű és hőmérsékletű hőkezelés	Növeli a rétegek közti tapadást és modulust, szakadási nyúlást	
	Ragasztás A 3D nyomtatott alkatrészek összeragaszthatók	Egyszerű és viszonylag olcsó	Nem túl erős kötés
PEEK	Temperálás. Különböző idejű és hőmérsékletű hőkezelés	Növeli a rétegek közti tapadást és modulust, szakadási nyúlást	

Sztereolitográfias eljárással (SLA) nyomtatott termékek utóműveleti.

(Az 1. forrásból átvéve, leegyszerűsített.

A konkrét hivatkozások az adott irodalomban megtalálhatók.)

Anyag	Utóművelet	Előny	Hátrány
Tartós, általános célú gyanta	Támaszték eltávolítása	A felületminőség kontrollálható Az alakállandóság biztosított	Néha nem szép és gyakorlat kell a sima felület eléréséhez
	Támaszték nyomainak eltávolítása dörzsöléssel	Felületi egyenetlenségeket elfedő felületminőség	Néha nem egyenletes a textúra (nem egyforma dörzsölés) Színtelen gyantánál nem mindig esztétikus
	Nedves dörzsölés	Kitűnő felületminőség Komplex felületekhez kitűnő	Megtámasztott oldalon kevésbé pontos Világos foltokat okozhat a felületen
	Ásványolajos felületkezelés	Áttetsző réteg alakul ki átlátszó gyantákon	Lehet, hogy a festék nem ragad jól a felülethez
	Szórt festés (UV védőlakk)	Átlátszó felületi réteg bonyolult alakú átlátszó tárgyakon UV védelmet biztosít	„Narancsbőr” kialakulása Méretpontossági és reprodukálhatósági problémák Nem alkalmazható mozgó alkatrészek
	UV utókezelés	Javítja a mechanikai jellemzőket (teljesebb térhálósodás) A magasabb hőmérsékleten végzett	
	Mikrohullámú térhálósítás		Kis hatással van a mechanikai jellemzőkre
	Hőkezelés	Nagyobb szilárdságnövekedést okoz, mint az UV vagy mikrohullámú utókezelés	
	Rezgő tartályos koptató felületkezelés	Szép felület rövid idő alatt	
	Ultrahangos koptató felületkezelés	Javítja a felületminőséget	
	Gépi felületmosás	Automatizált felületmosás	
Formamosás / Formatérhálósítás	Automatizált felületmosás / térhálósítás		
Somos gyanta	UV és/vagy termikus utótérhálósítás	Optimális termikus, mechanikai és villamos jellemzők	
Átlátszó gyanta	Átlátszó felületre polírozás	Átlátszó felület (üveghez hasonló) Sima felszín	Munkaigényes Nem alkalmazható bonyolult felületeken
Standard átlátszó gyanta	UV utótérhálósítás	A kialakuló mechanikai jellemzők 73%-áért felel	Különböző gyantákhoz más és más hőmérséklet ajánlott

6. táblázat.

Por alakú kiindulási anyagból szelektív lézerszinterezéssel (SLS) vagy 3D nyomtatással (3DP) előállított termékek utóműveleti.

(Az 1. forrásból átvéve, leegyszerűsített.

A konkrét hivatkozások az adott irodalomban megtalálhatók.)

Anyag	Utóművelet	Előny	Hátrány
SLS anyagok (poliamid)	Standard felületkezelés	Sima felület Alakpontosság és reprodukálhatóság Olcsó	Korlátozott színválaszték
	Vibrációs polírozás / tumbler (buktató) polírozás	Több tárgy is kezelhető egyszerre Kitűnő felületminőség Eltávolítja az éles kiszögelléseket	Változhat a termék geometriája
	Festés (oldatból, diszperzióból)	Többféle színválasztási lehetőség Nem befolyásolja a méretet Több termék festhető egyszerre Olcsóbb más festési lehetőségeknél Nagyon jól alkalmazható bonyolult alakú tárgyakkal	A festék behatolása kb. 0,5 mm Nem fényes a felszín
	Festés szórással, lakkozás	Javítja a mechanikai jellemzőket Fényes átlátszó vagy színes felületet eredményez Javítja az UV állóságot	Munkaigényes, ha sok tárgyat kell festeni
	Vízszigetelés	Tovább javítja a vízállóságot Javítja a mechanikai szilárdságot	A bevonat általában vastag, befolyásolhatja az alaktartást, reprodukálhatóságot
	Fémbevonat	Új funkciót ad, növeli a szilárdságot Eszztétikai érték (fémes fény) Villamos vezetőképesség Kitűnő felületminőség	Növeli a szállítási időt, költséges, gyakorlatot kíván Korlátozott a felhasználható fémek választéka
	Vibrációs csiszolás	Nem bonyolult tárgyak esetében jól alkalmazható	
	Szinterezés	Javíthatja a mechanikai tulajdonságokat	Gyakran zsugorodás lép fel
	Infiltráció (átítatás)	Elkerülhető a zsugorodás. Nagyobb sűrűségű tárgyak állíthatók elő	