

# MŰANYAGOK FELDOLGOZÁSA, ADDITÍV TECHNOÓGIÁK

## A 3D nyomtatás újdonságai a gyógyászatban és a huzalgyártásban

Az additív gyártástechnológia alkalmazása folyamatosan bővül és egyre inkább teret nyer nagyobb szériás gyártási feladatokban is. A HP cég legújabb berendezése már az 1000 db/hét sorozatnagyságnál is gazdaságosan üzemeltethető. A 3D nyomtatást egyre nagyobb mértékben alkalmazzák a gyógyászati implantátumok, protézisek és a regeneratív sebészeti beavatkozások területén. Bionyomtatással szövetek, sőt várhatóan egész szervek is előállíthatók lesznek. A 3D nyomtatásban a műanyagok versenyeznek más anyagokkal is, elsősorban a titánnal. A műanyag-feldolgozó technológiák közül a fröccsöntés számít versenytársnak.

*Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; additív gyártástechnológia; bionyomtatás; egészségügyi alkalmazások; PEEK; titán; PEI; PPE; PC; ABS; PBTP; PPS; PA.*

## A Hewlett Packard cég újdonságai

Az amerikai HP Inc. 3D nyomtatói termék választékának bővítésével növelte jelenlétét az additív gyártástechnológiában. Arra az újságírói kérdésre, hogy lehetségesnek tartják-e e téren elérni a fröccsöntés színvonalát, a cég képviselője pozitív választ adott, de ennek megvalósulását csak a távolabbi jövőre vetítette előre. *A HP cég képviselője 12 ezer milliárd USD nagyságú értékesítést vizionált ezen a területen.*

Az iparágban jelenleg az egyik legfontosabb kérdés az, hogy hogyan lehetne a néhány darabos gyártást több ezerre, illetve több millióra is kiterjeszteni. Felismerték, hogy nem csak a 3D nyomtatási lépés fontos, hanem a teljes, az azt megelőző és következő lépéseket tartalmazó teljes folyamatra is nagy figyelmet kell fordítani.

A HP, amelynek előző évi árbevétele 48,2 milliárd USD volt, számos más iparág vállalataival (pl. BMW AG, Nike Inc., Johnson & Johnson) együttműködve igyekszik beazonosítani a gyártási problémákat, illetve az ezek megoldására alkalmas eljárásokat, amelyek piaci értékek megteremtésére alkalmasak. Ennek legutóbbi példája a cég előző évben piacra dobott *Multi Jet Fusion (többsugaras összeolvasztó)* technológiája. E technológia két 3D nyomtatót alkalmaz, mégpedig a *HP Jet Fusion 3D 3200 és 4200* modelleket, két szinkronizált eszköz, a gyors hűtéssel ellátott *HP Jet Fusion 3D Processing Station (feldolgozó állomás)* és a *3D Build Unit (építő egység)* használatával.

A *3D Build Unit* teszi lehetővé a folyamatos gyártást és a nagy kihozatali sebességet, ami jó tökemegtérülést eredményez. A *3200-as* modell ideális eszköz az ipari prototípusok és alkatrészek elkészítéséhez a 130–299 db/hét, míg a *4200-as* modell a 300–699 db/hét tartományban.

Természetesen nem könnyű egy olyan erőteljes technológiával versenyezni, mint amilyen a fröccsöntés, de ha a hagyományos termékfejlesztési ciklust megvizsgálják, és a fejlesztőkkel konzultálnak, más megoldások is felmerülnek. A 3D nyomtatás segítségével például olyan, fröccsöntéssel nem megvalósítható geometriai kialakítások is lehetségesek, amelyek az adott célnak jobban megfelelnek, jobb minőséget, reprodukálhatóságot, nagyobb méretstabilitást és kihozatalt eredményeznek. Az optimális kialakításnál ügyelni kell a helyes építési irány megválasztására, kerülni kell a nyomtatási sík területének hirtelen megváltoztatását és figyelembe kell venni az építendő termék tömörítettségét.

A tervezői gyakorlat, folyamatosan tanulva a korábbi sikertelenségekből, egyre jobb eredményeket szolgáltat. Például a japán eredetű, az autóiparban elterjedten használt „just in time” termelési modell alkalmazásakor – ismerve a 3D nyomtatás termelékenységét – az alkatrészigényekhez igazíthatják az építési üzemcsarnokot. A százalékos nagyságrendű alkatrészgyártás megvalósítása azonban még a jövő feladata.

A HP nemrég jelentette be egy új 3D nyomtató, a *HP Jet Fusion 3D 4210* gyártásának beindítását, amely alkalmas (110 000 db-ig versenyképes) nagyüzemi termelésre, és termékeként 65%-os költségcsökkentést eredményez más 3D berendezésekkel összehasonlítva. Ez a berendezés ideális megoldás olyan gyártási körülmények között, ahol az alkatrészigény 700–1000 db/hét között mozog.

### **3D nyomtatás alkalmazása a gyógyászatban**

Noha a 3D nyomtatás a még gyorsan fejlődő, kezdeti stádiumban lévő technológiák gyűjtőneve, árbevételük már ma is eléri az 5 milliárd USD értéket, amelyből az egészségügyi alkalmazások mintegy 15%-ot, azaz 750 millió USD értéket képviselnek. Ezen belül a legfontosabbak közé tartoznak azok a testreszabott implantátumok, amelyeket az ortopéd-, gerinc- és más sebészeti rekonstrukciós eljárásoknál használnak. E technológia segítségével olyan megoldásokat lehet alkalmazni, amelyek a hagyományos gyártástechnológiákkal egyáltalán nem, vagy csak elfogadhatatlanul magas költségek mellett volnának kivitelezhetők.

Az implantátumok teljes piaca együttesen mintegy 30 milliárd USD, amelyből kb. 9 milliárd USD a gerincimplantátumok, 8 milliárd USD a térd-, 7 milliárd USD a csípő- és 2 milliárd USD a kéz- és lábfej, illetve 1 milliárd USD az arc- és koponya-implantátumok részesedése.

3D nyomtatással a rekonstrukciós implantátumok pórusmérete, kapcsolódási jellemzői és porozitása széles határok között változtatható, továbbá nagyon bonyolult geometriájú kialakítások is lehetségesek. A termék magába foglalhat csatornákat, hálós szerkezeteket és organikus alakzatokat, amelyek a hagyományos öntési, forgácsozási technikákkal nem kivitelezhetők. Az ilyen termékkialakítás lehetővé teszi a meg-

növelt porozitást és olyan felületi érdesség létrehozását, ami növeli a csontnövekedés aktivitását, javítja a sejterjedést, csontosodást, miáltal felgyorsul a gyógyulási folyamat, és javulnak a beteg gyógyulási esélyei.

Az így előállított implantátumok nagyobb csont-hozzáépülést eredményeznek, mint a hagyományos megoldások, miközben megnövelik az érintkezési felületet és nem gátolják a beépített implantátum képalkotó módszerekkel végzett ellenőrzését.

Az utóbbi években számos vállalat kezdett forgalmazni additív gyártástechnológiákkal készülő implantátumokat. A gerincimplantátumok területén például a K2M 2015-ben mutatta be *Lamellar 3D Titanium Technology* és *CASCADIA* elnevezésű termékeit, amelyeket titán fémporból készítenek 3D nyomtatással. Az Orthofix International 2016-ban vezette be *FORZA PTC Spacer System* termékét, amely PEEK-et és 3D nyomtatással feldolgozott titán véglemezeket kombinál porózus közdarabokkal. A Spineart cég is 2016-ban jelent meg *JULIETTI* márkanévű ágyék-csigolyaközi rendszerével, amely felhasználja a vállalat *Ti-LIFE* 3D nyomtatású mikropórusos vázrendszerét, és amely a csont szivacsos szerkezetét utánozza le.

A 3D nyomtatással készülő egészségügyi termékek gyártói gyakran alakítanak ki együttműködést az ilyen nyomtatóberendezések élvonalba tartozó gyártóival, hogy felhasználhassák azok technológiai ismereteit. Így például a K2M cég *Lamellar 3D Titanium Technology* és *CASCADIA* implantátumai a 3D Systems bevonásával készültek, az RTI Surgical cég az Oxford Performance Materials cég *OsteoFab* technológiájának szabadalmát alkalmazza gerincimplantátumaihoz; az LDR Holding (jelenleg már a Zimmer Biomet része) kisebbségi tulajdont szerzett a Poly-Shape cégben, és együttműködést alakítottak ki a Poly-Shape 3D nyomtatási eljárásának alkalmazására.

A DePuy Synthes cég, amely 2017-ben vásárolta fel a Tissue Regeneration Systems eszközeit, saját 3D nyomtatási technológiával rendelkezik. A felvásárlás célja az volt, hogy betegspecifikus, idővel a testben felszívódó implantátumokat készíthessenek ásványi bevonattal az ortopédiai és a fejen (az arcon és koponyán) alkalmazott műtéteknél. A DePuy Synthes 2010 óta működik együtt a 3D nyomtató Materialise céggel a fej- és arcsebészet területén. Együttműködésük újabban kiterjed a virtuális sebészeti tervezésre, az intraoperatív páciensspecifikus eszközökre és a testreszabott implantátumokra a nagyobb pontosság és felgyógyulási esélyek érdekében.

A Johnson & Johnson mintegy 50 stratégiai együttműködést folytatva dolgozik azon, hogy a 3D nyomtatást a jobb gyógyulási esélyek szolgálatába állítsa. Így például nemrég dobták piacra *TRUMATCH* elnevezésű, 3D nyomtatással készülő titánimplantátumaikat az arcreekonstrukciós sebészeti alkalmazásokhoz, amelyet a Materialise céggel kötött megállapodás szerint ez utóbbin keresztül forgalmaznak.

Az első 3D nyomtatású, testreszabott rekonstrukciós implantátumokat, amelyeket az Oxford Performance Materials készített és a Zimmer Biomet forgalmazott, 2013-ban alkalmazták. Az OsteoFab cég koponya- és arcimplantátumait a páciens CT felvételének felhasználásával, számítógéppel segített tervezés (CAD) alkalmazásával készítik a pontos méretek beállítása érdekében. A nyomtatást az OsteoFab lézerszinterező berendezésével végzik. Az implantátumot az élő csonthoz erősítik a közismert sebészeti rögzítő eljárások valamelyikével.

## *Protézisek gyártása*

A 3D nyomtatás már ma is jelentős hatással van a protézisek gyártására, ahol az *ilyen módon készült eszközök tökéletesen illeszkedhetnek a páciens testalkatához*, emellett nagyon könnyűek lehetnek (tömegük általában fele a hagyományos eljárásokkal készült protézisekének), és pontosan követik a bőr színárnyalatát. Fontos előnyük továbbá, hogy mindezek mellett költségeik is jóval alacsonyabbak. Az amerikai amputációs egyesület adatai szerint az USA-ban évente mintegy 185 ezer kéz- és lábamputációt végeznek, az ilyen protézisekkel élő lakosok számát pedig 2 millióra becsülik. Mindez jelentős piacot jelent a protéziskészítő cégek számára, különösen, ha figyelembe vesszük, hogy az ilyen protéziseket általában 3–5 évente cserélni kell.

A rekonstrukciós sebészet és a protézisek piacán a páciensek felgyógyulási esélyeinek növelése mellett a 3D nyomtatás alkalmazása javítja az ilyen eszközöket gyártó vállalatok költséghatékonyságát és nyereségességét is. A 3D nyomtatással készült eszközöket nagyobb árprémiummal lehet értékesíteni, mivel a 3D nyomtatás csökkenti az anyagfelhasználást. Emellett a gyors prototípusgyártás révén jelentősen felgyorsítja és olcsóbbá teszi a termékfejlesztést.

Az anatómiai modellek nyomtatása révén a terméktervezők megállapíthatják, hogyan fognak termékeik működni az emberi testben, és hogy miként lehetséges azokat esetleg továbbfejleszteni. A 3D modellek segítségével a sebészek életszerű körülményeket szimulálva, hasonló módon gyakorolhatják, fejleszthetik a különböző eljárásokat, tervezhetik meg a műtéteket.

## *3D bionyomtatás*

A 3D bionyomtatás viszonylag új és izgalmas terület, ahol a 3D nyomtatást arra használják, hogy *működő emberi szövetet hozzanak létre*. Mivel a bionyomtatott szöveteket beépített vázszerkezet vagy hidrogélkomponensek nélkül is létre lehet hozni, az emberi szöveteknek megfelelő sűrűségű, nagymértékű szervezethez mutató sejt-kombinációk állíthatók elő, mint amilyenek a sejtközi szoros kapcsolatok és hajszálérhálózatok. A 3D bionyomtatási módszert jelenleg már használják az orvosi- és gyógyszerkutatásokban új hatóanyagok megtalálása és a kezelési eljárások felgyorsítása érdekében, illetve a költségek visszaszorítása céljából.

Ezen a területen úttörő szerepet játszik az Organovo cég, amely működő, háromdimenziós emberi szöveteket tervez és állít elő orvosi kutatások és kezelések céljaira. Nemrég egy olyan klinikai kipróbálás előtt álló fejlesztés eredményeit mutatták be, amelyben meghosszabbított túlélésű és fenntartható működésű emberi májszövetet hoztak létre, és amelyet beteg állatokba ültettek be. A kísérleti adatok alapján a 3D bionyomtatással készült, májba közvetlenül beültetett szövetdarab talán segítheti majd a szövetpótlások beépülését és integrációját, mert ennek hiánya korábban megakadályozta számos sejt- és génterápiás módszer alkalmazását a máj gyógykezelésében. Az Organovo először a gyermekgyógyászatban ismert, született metabolikus hibákra kon-

centrálva kívánja benyújtani az amerikai egészségügyi hatóságok (FDA) felé terápiás májszövetét bevizsgálásra.

A 3D nyomtatás rétegről-rétegre haladva lehetővé teszi a szervek struktúrájának felépítését egy sejtállványzat létrehozásával, amire azután ráhordhatják a megfelelő sejteket. A Cyfuse Biomedical cég *Regenova* elnevezésű terméke viszont nem igényel ilyen állványzatot, vagyis a nyomtató közvetlenül szövetet hoz létre, azaz elkerülhető az idegen anyagok által esetleg előidézett szennyeződés. A Wake Forest School of Medicine egyetem jelenleg egy olyan projekt második fázisánál tart, ami az égett testfelületekre közvetlenül rányomtatott bőrsejtek alkalmazhatóságát vizsgálja. Ez az intézmény korábban már sikeresen nyomtatott élő fül-, csont- és izomstruktúrákat, amelyek állatokba beültetve működő szövetekké alakultak és vérereket fejlesztettek ki. Az ETH Zurich az év elején bejelentette az első 3D nyomtatással készült lágy műszív létrehozását, amelynek vértovábbító mechanizmusa szilikongumi kamrákat alkalmaz. Noha ezek és más, hasonló alkalmazások jelenleg még csak gyermekcipőben járnak, a 3D bionyomtatással előállított termékek egy nap majd lehetővé teszik erek és szervek elkészítését az egyes páciensek számára, mégpedig testreszabottan, költséghatékonyan és a kilökődés veszélyének minimalizálásával. Mindez olyan kezeléseket tesz majd lehetővé, amelyek ma még elképzelhetetlenek, és drámaian enyhítik a szervátültetés terén mutatkozó nagymértékű szervhiány problémáját.

## Új 3D alapanyagok a Sabictól

A műszaki műanyagok széles körét gyártó Sabic cég igyekszik termékválasztékát a speciális termékek irányába bővíteni. Ennek egyik területét az additív gyártástechnológia alapanyagai jelentik. Az utóbbi három évben a Sabic jelentős lépéseket tett az olyan, additív gyártástechnológiákhoz alkalmazható, tömeggyártásra (akár 3D nyomtatás) is alkalmas alapanyagok fejlesztésében, amelyek magas követelményeket állító iparágak, mint a légi- és úrjárművek vagy az egészségügy számára is megfelelnek.

A cég olyan anyagokat fejleszt, amelyek különböző gyártástechnológiákhoz alkalmazhatók, mint amilyen az összeolvasztott cseppek (FDM), az összeolvasztott szálak (FFF), a szelektív lézerszinterezés (SLS) és a nagy méretű additív gyártástechnológia (LFAM).

A Sabic műszaki műanyagaira alapozva olyan különböző cégeket lát el alapanyaggal, amelyek az FDM gyártástechnológiához gyártanak műanyag huzalokat. *Ultem* márkanévű PEI alapanyagát például az amerikai Stratasys cég alkalmazza *Fortus* ipari FDM nyomtatóihoz.

2014-ben a Sabic bővítette ilyen jellegű tevékenységét, amikor beszállt az akkor kialakulóban lévő LFAM technológiába. Ennek keretében szponzorálták a Local Motors, az Oak Ridge National Laboratory és a Cincinnati Inc. közötti együttműködést, aminek eredményeként kinyomtatták a *Strati* elektromos járművet a 2014-es chicagói IMTS kiállításon.

2017-ben a Sabic piacra dobta az LFAM technológiákhoz alkalmas *Thermocomp AM* termékcsaládját. Az anyagok gyártási paramétereit és mechanikai jellemzőit a cég

saját nagy területű additív gyártóberendezésén (BAAM) kinyomtatott próbatestek segítségével határozták meg. A szén- vagy üvegszálakkal erősített új anyagok sikeresen alkalmazhatók a szerszámgyártásban, a repülőgép- és űrhajóiparban, az autóiparban és katonai eszközök készítéséhez. Az első nyolc *Thermocomp AM* típus a Sabic amorf műszaki műanyagai, az ABS, PPE ötvözet, PC és PEI felhasználásán alapul. Ezek ugyanis a részlegesen kristályosodó polimerekhez képest kisebb feldolgozási zsugorodást, hőtágulást, illetve nagyobb méretstabilitást mutatnak.

2018-ban folytatódni fog az új termékek kibocsátása, ezen belül a *Thermocomp AM* család bővítése. A fejlesztési célok közt szerepel, hogy olyan részben kristályos polimerek, mint a PBTP, PA, PPS és PEEK alkalmazását is lehetővé tegyék az LFAM technológiában a nagyobb vegyszerállósági és merevségi igények kielégítésére.

Bővítenek az SLS technológiát alkalmazó cégek irányába is, különböző műszaki műanyag porok kifejlesztésével. Itt általában részben kristályos polimereket használnak, de a Sabic megpróbálkozik egy speciális polikarbonát (PC) forgalmazásával, amelynek segítségével teljesen amorf termékek lesznek gyárthatók.

Az FDM/FFF területén a Sabic *Lexan* (PC) és *Ultem* (PEI) alapú huzalokat kíván készíteni az egészségügyi alkalmazások számára, amelyek kielégítik az *ISO-10993* szabvány szerinti biokompatibilitási követelményeket, továbbá a hozzájuk tartozó megfelelő támasztóanyagokét is. A múlt évben dobták piacra a fröccstípusaikkal megegyező összetétellel rendelkező PEI, ABS és PC huzaljaikat.

A Sabic huzalok névleges átmérője  $1,79 \pm 0,05$  mm, tekeresméretük  $1510 \text{ cm}^3$ , jellemzőik a következők:

- az *Ultem AM9085F* huzalt nagy teljesítményű *Ultem 9085* PEI műszaki műanyagból készítik; ennek nagy a hőállósága és a mechanikai szilárdsága, 1,5 és 3 mm falvastagságnál megfelel az *UL 94V-0* éghetőségi követelményeknek, továbbá a *FAR 25.853* és az *OSU 65/65* követelményeknek, alacsony FTS (láng, füst, toxicitás) fejlődés mellett. Fekete és natúr színekben kapható,
- a *Cycolac AMMG94F* huzalt az általános célú *Cycolac MG94* jelű ABS alapanyagból gyártják; számos alkalmazási területen felhasználható, 3 mm falvastagságnál eléri az *UL 94HB* éghetőségi fokozatot, fekete, fehér és natúr színben kapható,
- a *Lexan AM1110F* általános célú polikarbonát (PC) huzal, amelyet *Lexan 1110* alapanyagból készítene; hőállósága nagyobb, mint az ABS huzaloké, 3 mm falvastagságnál eléri az *UL 94V-2* éghetőségi fokozatot, fehér színben kapható.

A múlt évben *Lexan EXL AMHI240F* típusjelzéssel bevezetett huzaljuk *Lexan EXL* jelzésű, polikarbonát/sziloxán kopolimeren alapuló huzal, amelyet a Stratasys cég FDM nyomtatóihoz fejlesztettek ki, de más, hasonló jellemzőkkel bíró 3D nyomtatókhoz is használható. A hagyományos PC alapanyagokéhoz képest ennek a kopolimernek négyszer nagyobb hornyolt próbatesten mért Izod ütésállósága szobahőmérsékleten és háromszor nagyobb  $-30 \text{ °C}$ -on; HDT értéke  $140 \text{ °C}$ , ami magasabb, mint az általánosan alkalmazott ABS huzaloké. Fekete, fehér színekben is kapható, további színeket fejlesztenek. Éghetősége mind fekvő, mind élen álló helyzetben kielégíti az *UL 94V-0* kritériumait 3 mm falvastagságnál.

A Sabic mind az alapanyagok, mind a 3D nyomtatókhoz használható huzalok tekintetében jelentős fejlesztéseket végzett és végez. Emellett több kontinensen rendelkezik saját additív gyártástechnológiai kapacitásokkal FDM/FFF, SLS és LFAM és más berendezések formájában. Az ilyen berendezésekhez alapanyagokat alakít át huzalok és porok formájára, meghatározza az optimális nyomtatási paramétereket és kiterjedt vizsgálatokat végez a kinyomtatott termékek tulajdonságainak meghatározásához.

## **Fémhatású színezékekkel ellátott 3D huzalok**

A speciális optikai hatású pigmenteket gyártó Schlenk Metallic Pigments GmbH, a 3D nyomtatók huzalainak készítésére szakosodott Herz GmbH és a mesterkeverék-specialista Gabriel-Chemie GmbH közös fejlesztéssel piacra dobott olyan 3D nyomtatóhuzalokat, amelyekből csillogó, fémhatású termékek állíthatók elő. Alapanyagként *glikollal módosított PET kopolimert (PET-G)* alkalmaznak, amely egyesíti a 3D nyomtatókhoz általában használt ABS és PLA polimerek kedvező tulajdonságait, nagy átlátszóság és alacsony viszkozitás jellemzi. A mély, selymes színhatású pigmentek mérete nagyon kicsi, így nem jelennek meg a felületen egyedi, csillogó részecskék. Jelenleg öt standard metál szín kapható:

- óceán kék (Ocean Blue Metallic Gloss),
- nyugodt vörös (Calm Red Metallic Gloss),
- ágyúfém fekete (Gunmetal Black Metallic Gloss),
- barna (Brown Metallic Gloss),
- fenyőfa zöld (Fir tree Metallic Gloss),

de további színek kifejlesztésén is dolgoznak, illetve lehetőség van egyedi színek rendelésére is.

A fémhatású pigmentek már kis koncentrációban is tökéletes hatást nyújtanak, jó hőállóságuk következtében magas, 240 °C-ig terjedő hőmérsékleteken is feldolgozhatók. A Gabriel-Chemie termékeit *ISO 9001* minőségbiztosítási rendszer alkalmazásával gyártják.

Összeállította: Dr. Füzes László

LaForest, A.: HP goes after injection molding with boosted efforts in 3D printing = 3-D Printing Product News, Dec. 4. 2017.

3D Printing = Europe Meditec 2018.

Sherman L.M.: Engineering resins maker focuses on 3D printing materials = Plastics Technology, [www.ptonline.com](http://www.ptonline.com), jan. 23. 2018.

Metallglanz für 3D-Druck = [www.kunststoffe.de](http://www.kunststoffe.de), febr. 13. 2018.