

Egyre népszerűbb a 3D nyomtatás

Az FLM technológiával végzett 3D nyomtatásnál fontos a tárgyasztal és az első polimer réteg jó tapadása. Ezt a tárgyasztal és a polimer anyagának típusán túl elsősorban a tárgyasztal hőmérséklete befolyásolja. Az alapanyagok fejlesztésénél két irányzat észlelhető, az egyik a csak a saját nyomtató típuscsaláddal feldolgozható anyagokat fejleszti, a másik pedig arra törekszik, hogy az alapanyagot minél több nyomtató típussal fel lehessen dolgozni. A 3D nyomtatás fejlődését a nyílt hozzáférési anyagok tudják igazán felgyorsítani.

*Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás, additív gyártástechnológia, alapanyagok
3D nyomtatáshoz, PLA, PA, PEI, TPU, PVDF, PEEK, PEKK PPSU, PC,
PBT, PET, PET-G, PA12.*

A 3D nyomtatásként is emlegetett additív gyártástechnológia mintegy 30 éve van jelen az ipari gyakorlatban és az utóbbi években a gyors prototípus készítés mellett már gyakran műanyag- és fémtermékek kisebb sorozatainak gyártására is használják. Ennek egyik előfeltétele volt az a műszaki fejlődés, amely napjainkban is zajlik, különösen a műanyag huzalok megolvasztásán és összehegedő cseppek formájában rétegeket alkotó lerakásán alapul (angol elnevezésének rövidítése: FLM), amellyel viszonylag nagy precizitással és reprodukálhatósággal lehet dolgozni.

E technológiánál elsősorban amorf műanyagokat használnak, mivel ezek feldolgozása egyszerűbb és zsugorodása is jóval kisebb, mint a részlegesen kristályos polimereké. Azonban az alkalmazások körének rohamos bővülése szükségessé tette a részlegesen kristályos polimereket, mint a poliamidok és az ún. nagy teljesítményű műszaki műanyagok, mint pl. a poli(éter-éter-ke-ton) (PEEK) használatát. A hagyományos alapanyaggyártók mellett önálló vállalkozásként jelentek meg a (különböző adalékanyagokkal dolgozó) önálló huzalgyártók.

Technológiai kérdések: a tárgyasztal és a polimer tapadása

A növekvő anyagkínálat szükségessé teszi a technikai egységesítést és a különböző technológiai egységek, mint pl. a tárgyasztalok tulajdonságainak a termékek minőségére gyakorolt hatásának beható vizsgálatát. A 3D nyomtatás során kialakított első rétegnek tapadnia kell a tárgyasztalhoz, hogy a termék alapja ne mozduljon el a gyártás során fellépő különböző erőhatások következtében. Ilyen erőhatás pl. a tárgyasztal mozgatásánál fellépő gyorsulások kiváltotta erők, az ömledéket érő nyíró-erők. Ugyanakkor a gyártási folyamat végén a terméket le kell emelni a tárgyasztalról, ezért kerülni kell a túl erős tapadást is, mivel ez deformálhatja, sőt akár roncsolhatja is a darabot.

E két ellentétes irányú követelmény egyensúlyát kell megtalálni, ezért fontos, hogy megismerjük a különböző alapanyagú és érdességű tárgyasztalok tapadását a különböző, az FLM eljárásnál használatos polimerekhez. E kérdés vizsgálatára fejlesztettek ki a német SKZ intézetben egy vizsgálati módszert és berendezést, amellyel a különböző anyagokból készült tárgyasztalokon mérhető az egyes 3D nyomtatású műanyag próbatestek lefejtési tapadása.

A vizsgálatok során alkalmazott tárgyasztalok és polimerek típusait az 1. és 2. táblázat mutatja be. A 3D nyomtatással előállított próbatestet egy pneumatikus, erőmérővel felszerelt szerkezettel fejtették le a tárgyasztalról. Az eredményeket digitális formában rögzítették. A kísérletekhez az SKZ által kifejlesztett Triple F Solid ömledék adagolót („extrudert”) használtak 0,8 mm fúvóka átmérővel, 30 mm/s huzal sebességgel és 0,2 mm rétegvastagsággal az előmelegített tárgyasztalokhoz. A lehúzási mérésekhez használt próbatestek alapterülete 400 mm² volt, a külső „szoknya” nélkül, amely a huzalfektetés stabilizálását szolgálta, és a lehúzó befogóhoz függőleges részt is tartalmazott. Öt párhuzamos mérést végeztek minden polimer/tárgyasztal párral. A hőmérsékletet termokamerával rögzítették, amely egyúttal a hőmérséklet eloszlás homogenitásának mérését is lehetővé tette. A tapadási erő eredményeket a 3. táblázat mutatja be. A tapadást fizikai) és mechanikai kölcsönhatások hozzák létre.

Jól látható, hogy nagy különbségek vannak az egyes polimer/tárgyasztal párok tapadási szilárdságai között. Így például a GeckoTec *EZ-STIK-Hot* tárgyasztalhoz az ABS alig tapad, míg TPU (hőre lágyuló poliuretán) erősen. A leggyengébb tapadást az üveg tárgyasztalnál mérték, kivéve a PET-G alapanyagot, amely rendkívül erősen tapadt az üveghez, annyira, hogy az 5 párhuzamos mérést követően PET-G anyag maradványok maradtak az üvegen, tehát az termék alja olyan erősen megtapadt, hogy a leemeléskor kissé roncsolódott. Ugyanakkor az ABS gyakorlatilag nem is tapadt fel (2N) az üvegre.

1. táblázat

A vizsgálatoknál használt tárgyasztalok

Tárgyasztal	Gyártó	Anyag	Leírás
EZ-STIK Hot	GeckoTek	–	GeckoTek
Üveg	FilaFarm	Bórszilikát üveg	Üveg
Gyantalemez FilaPrint	FilaFarm	–	gyantalemez
PEI	Lulzbot	Poli(éter-imid)	PEI
Kaptoncsík	3M	Poliimid	PI

2. táblázat

A vizsgálatoknál használt műanyag huzalok

Huzal anyaga	Gyártó	Tárgyasztal hőmérséklet [°C]	Technológiai ablak [°C]
PLA	Gehr	50	195–230
TPU	Extrudr	55	190–230
PET-G	Form Futura	78	215–250
ABS	Herz	110	240–250

A kutatók vizsgálták az FLM technológia paramétereinek hatását is a tapadás erősségére. Olyan tényezőket is vizsgáltak, mint a felületi energia és a felület érdessége, hogy előre jelezni lehessen egy adott polimer/tárgyasztal anyagpár viselkedését. Az ömledék és a tárgyasztal hőmérséklete befolyásolja a felületi energia értékét, de az adott körülmények között ennek hatása nem volt szignifikáns, vagyis az egyes anyagokra szobahőmérsékleten mért felületi energiákhoz képest nem volt jelentős eltérés. Az FLM technológia paramétereinek hatását a tapadási szilárdságra a 4. táblázat mutatja be. Mint látható, az ömledék és a tárgyasztal hőmérsékletének emelése egyaránt növeli a tapadást valamennyi anyagpárnál, azonban a tárgyasztal hőmérsékletének hatása nagyobb, ráadásul a fúvóka hőmérsékletét nem lehet egy határon túl emelni mivel ez már túl alacsony ömledék viszkozitást eredményez.

3. táblázat

A különböző polimerek tapadási ereje (N) a tárgyasztal típusokon

Polimer/tárgyasztal típusa	ABS	PET-G	PLA	TPU
Gecko Tek	8	19	24	45
Üveg	2	57	13	6
PEI	27	42	22	48
PI	19	35	24	24
Gyantalemez	11	36	19	47

4. táblázat

A feldolgozási paraméterek hatása a tapadási szilárdság változására: (++) erősen növeli, (+) növeli, (0) nincs hatással, (-) csökkenti, (--) erősen csökkenti

FLM nyomtatási paraméter	Csökkentés	Növelés
Fúvóka hőmérséklet	0	+
Tárgyasztal hőmérséklet	-	++
Extrúziós faktor	0	+
Nyomtatási sebesség	+	-
Rétegvastagság	0	-

Alapanyagok fejlesztése

A 3D nyomtatás különböző technológiai számos, az adott gyártási módszerre specifikus követelményt támasztanak az alapanyagok felé. Ezért vannak olyan alapanyagok, amelyeket úgy adalékoltak, hogy csak egy bizonyos gépgyártó adott típusú nyomtatóján használhatók. A polimer gyártó vállalatoknak ezzel ellentétben az érdeke, vagyis az, hogy a polimerjeik felhasználásával kifejlesztett 3D nyomtatási alapanyagok (pl. huzalok, szinterporok) minél többféle 3D nyomtatóval feldolgozhatók legyenek. Ugyanakkor egyes 3D nyomtató gyártók a

polimer előállítóitól független, csak saját technológiai megoldásaikat preferáló anyag-fejlesztéseket folytatnak.

Az Essentium cég nemrég publikálta a 3D nyomtatás jelenére és jövőjére fókuszáló felmérését, amely szerint az ipari termelésben dolgozó vezetők 99%-a hisz abban, hogy a nyílt hozzáférési alapanyagok jelentik a 3D nyomtatás ipari méretű elterjedésének zálogját. A gyártók 85%-a jelezte, hogy az ipari méretű additív gyártástechnológia potenciálisan növelheti tevékenységük profitját, ugyanakkor 22%-uk arról panaszkodott, hogy a jelenleg használt 3D nyomtatási technológiájuk hozzáköti őket egy adott beszállítóhoz, ami tevékenységük flexibilitását rontja.

Ahogy a technológia gazdaságossági, sorozatnagysági, szilárdsági és gyorsasági akadályai elhárulnak, egyre több gyártó kezdi használni a 3D nyomtatást ipari méretű sorozatgyártásra: számuk a tavalyi évhez képest megduplázódott (2019-ben 40%, 2018-ban 21%). A további bővülés előfeltétele a nyílt hozzáférési anyagok előretörése, hogy a gyártók berendezéseikkel szabadon válogathassanak a különböző alapanyagok között.

Műanyag huzalok

A 3D nyomtatás újszerű igényei miatt sok polimer gyártó partner kapcsolatra lépett 3D nyomtatók gyártóival, illetve technológiai és szimulációs szoftvereket fejlesztő cégekkel is. A belga Solvay cég (polimer gyártóként) a nyílt hozzáférési anyagok fejlesztését végzi. Legújabb 3D nyomtatásra alkalmas terméke a *Solef PVDF* (poli(vinilidénfluorid)) huzal, amely számos FLM nyomtatóval feldolgozható. Az új anyag jól illeszkedik a Solvay *KetaSpire* poli(éter-éter-keton) (PEEK) és *Radel* (poli(fenil-szulfon)) (PPSU) típusokhoz, amelyeket a cég még 2018-ban dobott piacra. A Solef PVDF fluoropolimer huzal fontos tulajdonsága, hogy alacsonyabb az olvadáspontja, ami kompatibilissé teszi számos FLM nyomtató típusal. A DVDF vegyszer- és időjárás-állósága alkalmassá teszi a belőle készült szelepeket és tömítéseket az olaj- gáz- és vegyipari alkalmazásokhoz. A PVDF huzal kifejlesztésénél a Solvay becsatlakozott az Ultimaker cég Material Alliance (Anyag Szövetség) programjába. A fejlesztésnél a 3D nyomtatás viszkozitás és méretstabilitási követelményeit igyekeztek kielégíteni, és azt, hogy az anyag feldolgozható legyen az Ultimaker alacsony hőmérsékletű nyomtatóin is. Így az Solef megvásárolható az Ultimaker nyomtatójával, szoftverével együtt csomagban, de önállóan is.

A Solvay más partnerekkel is együttműködik. A kínai Polymaker céggel két polikarbonát (PC) blendet fejlesztett ki, a Polymaker PC-ABS és PC-PBT huzalokat, továbbá egy égésgátolt típust, a *PolyMax PC-FR* huzalt, amelyből olyan termékek nyomtathatók, amelyek elérhetik a V-0 besorolást az UL-94 teszt szerint. Egy másik együttműködést pedig az e-Xstream céggel folytattak, hogy hozzáférést biztosítsanak a *Digmat* szimulációs csomaghoz. Ugyanis a megfelelő szimuláció nélkülözhetetlen a sikerhez az olyan komplex kialakítású 3D nyomtatású termékek tervezésénél, amelyek részben üreges szerkezete nem hozható létre a hagyományos öntési, vagy forgácsolási módszerekkel.

A Covestro cég a tavalyi év vége-felé piacra dobta 3DP Addigy típuscsaládját. Ezek között megtalálhatók a hőre lágyuló poliuretán (TPU) és a polikarbonát (PC) huzalok (az FFF/FML technológiához), továbbá a TPU szinterporok a szelektív lézer szinterezéshez, vagy más néven a por-ágy összehegedési (SLS/PBF).

Szinterporok

Az Evonik cég is kibővítette termékválasztékát használatra kész szinterporokkal, amelyek kopoliésztereken alapuló hőre lágyuló elasztomerek, fehér és fekete színben. E két színt igénylik ugyanis leggyakrabban a felhasználók. Nincs műszaki akadálya más színű változatok kialakításának sem, azonban a legtöbb, szinterporral 3D nyomtató csak egy színű anyaggal tud egy dolgozni, és tisztításra szorul a színváltás előtt.

A 3D nyomtatásra alkalmas szinterporok kifejlesztése komplex feladat, az anyagot és a technológiát egymáshoz kell hangolni. Az Evonik fejlesztői most elsősorban a nagyobb sorozatban gyártott termékek készítésére is alkalmas porok kialakításán dolgoznak. Idén februárban egy folyamat kiválasztó szoftvert (*3D Screener*) dobtak piacra, amely reményeik szerint segíti a felhasználókat annak eldöntésére, hogy egy adott alkatrész alkalmas-e 3D nyomtatásra, és ha igen, melyik a legjobb technológia és anyag erre a célra. A program, amelyet az izraeli Castor cég fejlesztett ki, elemezi a darab már meglévő CAD fájljait, hogy meghatározza a darabszám gazdaságossági pontját, vagyis azt a legnagyobb darabszámot, amelynél az additív gyártástechnológia még gazdaságos a hagyományos technológiákkal szemben. Az Evonik abban bíz, hogy a 3D Screener használatával kibővül azon termékek köre, amelyet 3D nyomtatással fognak gyártani.

Az Evonik egy másik újdonsága a szabadon „folyó” bio-reszorbálható por, a *Resomer PrintPowder*, amely implantálható gyógyászati termékek gyártására alkalmas az SLS technológia felhasználásával. A por szigorú követelményeknek felel meg és kielégíti az ISO 13485 tanúsítványt igénylő alkalmazásokat. Az Evonik egy GMP beszállító, képes bio-reszorbeálható polimereket előállítani por, granulátum és huzal formátumokban.

A holland DSM cég új 3D anyagai közé tartoznak a nyílt hozzáférési, égésgátolt PA6/66 típusok, amelyek sok típusú berendezésen feldolgozhatók. A DSM arra törekszik, hogy partnerkapcsolatok révén olyan „ökoszisztémát” hozzon létre, amelyben az anyagokat gépekkel és szolgáltatásokkal kombinálják. A Novamid AM1030FR típusjelzésű, nem-halogén tartalmú égésgátlókkal adalékolt műanyag huzal PA6 és PA66 keveréke, és elsősorban autóiipari és elektronikai alkalmazásokra ajánlják. Az új típus elérte a V-0 fokozatot 3,2 és 1,6 mm falvastagságnál, illetve a V-2 fokozatot 0,85 mm-nél. Rendelkezik az UL Blue Card bizonylattal, amely azt tanúsítja, hogy használható egy *Ultimaker S5* nyomtatóval kombinálva, noha a DSM nyílt hozzáférési anyagnak deklarálta termékét.

A DSM emellett egy, az SLS technológiához alkalmas PBT szinterport is piacra dobott. Az *Arnite T AM1210(P)* típusjelzésű anyag jó dielektromos jellemzőkkel bír, és így alkalmas a nagymértékű villamos szigetelést igénylő alkalmazásokhoz.

A DSM emellett partner kapcsolatokra lépett olyan vállalatokkal is, amelyek a 3D nyomtatott darabok utómegmunkálásánál hajtottak végre fejlesztéseket. Ugyanis a 3D nyomtatás folyamán kialakított réteges felépítés komoly gondokat okoz bizonyos térirányokban pl. a felületi minőségének területén. Így a DSM együttműködik az Additive Manufacturing Technologies (AMT) céggel, amely *PostPro3D* márkanéven kifejlesztett egy automatizált utómegmunkáló berendezést, amely rendelkezik UL tanúsítvánnyal és jelentős költségmegtakarítást eredményez a manuális utókezelési eljárásokkal szemben.

Egy másik együttműködés, a Shapeways céggel, csökkenteni kívánja a belépési gátat a 3D nyomtatást megvalósítani kívánó vállalatok számára, és felgyorsítani a megvalósításhoz

szükséges lépéseket a Shapeways cég 3D nyomtatási kapacitásainak és a DSM alapanyagainak rendelkezésre bocsátásával. A DSM partner kapcsolatot alakított ki az amerikai Juggerbot 3D vállalattal, hogy fejlessze FGF („összehegedő granulátumok”) gyártási módszerét, amely műanyag granulátumok felhasználásán alapul. Ezek a granulátumok akár 50 % töltőanyagot is tartalmazhatnak, ami növeli szilárdságukat, merevségüket és hőállóságukat nagy szerkezeti alkalmazásoknál. Így például, a JuggerBot cég P3-44 3D nyomtatóját úgy alakították ki, hogy képes feldolgozni a DSM üvegszál-erősítésű *Arnite AM8527 (G)* PET granulátumát.

Hőállóság

A 3D nyomtatás egyik kihívást jelentő területe az így elkészített termékek hőállósága. A brit Exeter Egyetem CALM részlege felállított egy EOS P 810 lézer szinterező platformot, hogy kifejlessze a nagy hőállóságú polimerek feldolgozását. A kutatócsoport, amely együttműködik a Victrex-szel abban, hogy 3D nyomtatásra alkalmas poli(aryléter-keton) (PAEK) polimereket és kompozitokat fejlesszenek ki, képes olyan anyagok kezelésére, amelyek olvadáspontja 300 °C körül mozog. A Victrex cég kifejezetten a 3D nyomtatás céljaira fejlesztett már PAEK polimereket.

Az Arkema cég a svájci 9T Labs kisvállalattal működik együtt, amely a szénzál erősítésű kompozit alkatrészek nagyszériás termelésére fókuszál az Arkema cég *Kepstan* márkanéven futó poli(éter-éter-keton) polimerének felhasználásával. A 9T Labs 2018-ban alakult az ETH Zurich-ból kiválva, amely kifejlesztette a 3D nyomtatású termékekben az optimális szál elrendezést kialakítani képes Fibrify szoftvert. 2020 februárjában a 9T Labs bejelentette, hogy partneri kapcsolatra lép az amerikai műszaki szimulációkat végző ANSYS vállalattal, hogy integrált tervezési és szimulációs munkafolyamati megoldásokat legyen képes szolgáltatni. Interfészt hoztak létre az ANSYS Composite PrepPost (ACP) és a 9T Labs cég Fibrify szoftvere között, ami lehetővé teszi a szál-elrendezések beimportálását és konvertálja azokat egy véges-elem elemzési modellbe.

A 9T Labs márciusban dobta piacra Red Series szolgáltatását, ami kombinálja a szoftvert, a 3D nyomtató berendezést és a műszaki támogatást, továbbá az alapanyagokat is, köztük az adalékoltatlan polimer huzalt és a kompozitok kialakításához szükséges erősítő szálakat. Így megvalósítható a szénzál erősítésű kompozitok 3D nyomtatása az FML/FFF technológiával. Jelenleg a cég „végtelen” szénzálakat forgalmaz PA12 és PEKK huzalokban, de polimer kínálatát később bővíteni fogja. Ez a technológia csökkenti a szénzálás kompozitok költségeit, ami jelenleg a fémalkatrészek helyettesítésének egyik nagy akadálya.

A 3D nyomtatókat gyártó Stratasys cég több új magas hőmérsékletű alkalmazásokhoz használható és vegyszerálló hőálló polimerrel egészítette ki anyagkínálatát FDM nyomtatóihoz. Az Antero 840CN03 egy PEKK polimert használ az Arkema cégtől és a Stratasys *Fortus F900* 3D nyomtatóján dolgozható fel, amely szikraforgácsolásra alkalmas a repülőgép- és ipari alkalmazásokhoz. A *Diran 410MF07* egy poliamid, amelyet a Stratasys F370 3D nyomtatójához fejlesztettek ki, és amely jó szívósságot alacsony súrlódási tényezőt és ellenállást mutat. Kifejlesztettek egy ABS alapú szikraforgácsoláshoz használható anyagot, az ABS-ESD7 típust is, a szerszámgyártáshoz. Ezt korábban csak a Fortus nyomtatókon lehetett használni, de ma már az F370 3D nyomtató is megfelelő. A koronavírus járvány kitörését követően a Stratasys több mint 150, 3D nyomtatással foglalkozó céget szervezett be arcvédő pajzsok

gyártására (1. ábra) a kórházak és más egészségügyi szervezetek számára. Együtt, már az első héten 5000 pajzsot készítettek el, a másodikon 11 ezret, a harmadikon pedig már 16 ezret.



1. ábra A Stratasys 3D nyomtatójával gyártott koronavírus elleni arcvédő pajzsok keretei

A Hewlett Packard cég Digital Manufacturing Network (Digitális Gyártási Hálózat) 2019-es beindítása a HP stratégiai szövetségeseinek bővítésével járt, az új partnerek közé tartozik a BASF, a Materialise és a Siemens. A HP piacra dobta a HP Jet Fusion 5200 családot, amely tartalmaz rendszereket, adat intelligenciát, szoftvert, szolgáltatásokat és alapanyagokat. Képes feldolgozni az *Ultrasint* hőre lágyuló poliuretán (TPU) port, a *TPU01-et*, amit a BASF fejlesztett ki, és amely kizárólag csak a Jet Fusion 5200 családdal, illetve más HP Multi Jet Fusion nyomtatókkal dolgozható fel. Az Ultrasint TPU01 autóalkatrészek, cipőtálpak, komplex rácsos szerkezetek, energiaelnyelő szerkezetek, csövek, kerekek és légcsatornák gyártására is alkalmas. A HP emellett más hőre lágyuló szinterporokat, mint a PA12 és PA11 is kínál.

Az amerikai polimer disztribútor M Holland cég 3D alapanyag szállítási megállapodást kötött az Owens Corning, 3DXTECH és BASF cégekkel még 2018-ban, majd pedig kibővítette ezt 3D nyomtatási kapacitás felállításával pennsylvaniai K+F központjában és illinoisi székhelyén.

Összeállította: Dr. Füzes László

Heuzeroth I, et.al.: Haftunngisiken im 3D-Druck = Kunststoffe, 2. sz. 2020. p.64–67.

Markarian J.: Developing 3D print plastics = COMPOUNDING WORLD, máj. 2020. p.29–36.

Caliendo H.: Survey: Open Ecosystem is Important to Advance 3D Printing at Scale = 1/23/2020 | Plastics Technology 2020 jan

<https://www.ptonline.com/blog/post/survey-open-ecosystem-is-important-to-advance-3d-printing-at-scale->