

Rohamosan terjed a 3-D nyomtatás gyártástechnológiája

Az additív gyártástechnológia, vagy közismertebb nevén a 3-D nyomtatás forradalmasítja a termékek előállításának módját. Olyan termékkialakítást is lehetővé tesz, amely a korábbi eljárásokkal nem volt gazdaságosan megoldható. Különösen az egyedi és kisszériás gyártás terén kínál előnyöket, de kisebb anyag- és energiafelhasználása, illetve hulladékmentessége következtében jelentősek környezetvédelmi előnyei is. A helyben végzett gyártás csökkenti a logisztikai kiadásokat és a szállítás ideje is megtakarítható. Előnyeinek maradéktalan kihasználásához a terméktervezők új gondolkodásmódja szükséges.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; 3D nyomtatás; ABS; PLA; PE-HD; PVA; PA; LSR; additív gyártástechnológia.

A 3-D nyomtatás olyan eljárás, amelyben egy szilárd tárgyat úgy állítanak elő, hogy egy CAD digitális modell vezérli a „nyomtatót”, és ez több száz vagy több ezer egymásra rakódó vékony rétegből (filamentekből) felépíti a kívánt tárgyat. Ez gyökeresen eltér az eddig hagyományosan alkalmazott szubtraktív (forgácsolási) eljárásoktól, amikor egy nyersanyagtömbből, annak felesleges részeit eltávolítva „faragták ki” a terméket, illetve a különböző öntési technológiáktól, amelynek során a (költséges) öntőformába folyadék formájában juttatták be a nyersanyagot, amely ott megszilárdult, majd a forma szétnyitása után kiemelhetővé vált.

A 3-D nyomtatás vagy általánosabb besorolása szerint az *additív gyártástechnológia* mára kilépett a modellkészítés és az egzotikumok kategóriájából, sőt egyes részterületeken forradalmasította a termékgyártást. A felhasznált anyagok között a műanyagok mellett megtalálhatók a fémek, kerámiák és a kompozitok is. Újsághírekből sokan ismerik a 3-D nyomtatással előállított pisztoly és az emberi testbe beépíthető protézisek történetét. Ma már azonban a módszert alkalmazzák az építőiparban, a belsőépítészetben, a repülőgép- és autóiparban, a szerszámgyártásban és még számos területen, különösen az egyedi és a kisszériás termékek gyártásában, mivel számos előnyös tulajdonsággal rendelkezik:

- nagy formaszabadságot nyújt, egyedi formákat is megenged,
- bonyolult belső üregeket lehet létrehozni, és ezáltal megtakaríthatóak az összeszerelés költségei,
- a termék a helyszínen előállítható, megtakaríthatóak az ellátási lánc hosszadalmas és drága elemei,

- a nyersanyagot csak ott használják, ahol arra szükség van, ezért gyakorlatilag nincs hulladék, gyakran helyben rendelkezésre álló anyaggal is lehet dolgozni,
- a gyártás munkaigénye kicsi. Azon esetek kivételével, amikor bizonyos utómegmunkálásra is szükség van, az „indítsd el és felejtsd el” módszer alkalmazható az operátorok számára.

Szálak (filamentek) fejlesztése

A műanyagok közül leggyakrabban az extrudált ABS és a politejsav (PLA) szálakat (filamenteket) használják, amelyek azonban eléggé drágák, a standard $\varnothing 1,75$ mm filamentek ára 34 USD/kg, vagy e feletti érték. Az anyagok különböző színekben kaphatók, megfelelő berendezésekkel többszínű termékek is nyomtathatók. Számos cég gyárt ilyen szálakat, egyesek speciális alkalmazásokra alkalmasakat is. Így például az igus Inc. (East Providence) jó tribológiai jellemzőkkel (alacsony súrlódási együtthatóval) rendelkező terméket forgalmaz műanyag csapágyakhoz. Terméke 50-szer kopásállóbb, mint a hagyományos 3-D nyomtatáshoz használt szálak. A cég 45 műanyag típusú „iglide” filamentet gyárt kifejezetten siklófelületek számára, és további 100 speciális alkalmazáshoz szolgáló terméket is. Ezek a termékek lehetővé teszik, hogy a tervezőmérnökök egyedi csapágy-geometriákat alkalmazzanak és a cég STL formátumú 3D modelleket is kínál a nyomtatáshoz.



1. ábra Tipikus 3-D nyomtató műanyag termékek gyártásához

A Michigan Technological University nemrég olcsó, energiahatékony módszert publikált, amely szerint 3-D nyomtatáshoz alkalmas szálakat lehet előállítani elhasznált PE-HD tejespalackok újrafeldolgozásával. Szintén komoly környezetvédelmi hatása lehet a Purdue University diákjai által kifejlesztett szójabázisra, tehát megújuló nyersanyagra épülő szálnak.

3-D nyomtatás alkalmazása az építőiparban

Az eljárást az építőiparban is használják. A kilencvenes években Hollandiában létrehozott Möbius ház kitűnő példa a formaszabadság demonstrálására. Nagy-Britanniában kereskedelmi forgalomban vannak olyan építőipari 3-D nyomtatók, amelyek képesek *6x6x6 méteres szerkezeteket létrehozni* úgy, hogy homokrétegekbe kötőanyagot injektálnak a digitális modellnek megfelelő területeken és ennek megkötése során márványszerű szilárd anyag jön létre. A kötőanyag nélkül maradó homok támasztja meg a szerkezetet a kötés ideje alatt. Ez a nem-megkötődő homokmennyiség természetesen újra felhasználható. A rendszer előnyei:

- pontosság: 5–10 mm pontosság érhető el,
- sebesség: a hagyományos eljáráshoz képest négyszer gyorsabb,
- formaszabadság: a szerkezet komplexitása és stílusa nem befolyásolja a költségeket,
- költségek: a kötőanyag költsége ellenére a portlandcement használatához képest 30–50%-kal olcsóbb,
- biztonság: miután nincs szükség építőmunkásokra, a munkahelyi balesetek elkerülhetők.

Egy kínai cég szintén „nyomtat” házakat homok, beton és üvegszál felhasználásával, a nyersanyagokat építőipari hulladékokból nyeri. A cég adatai szerint a könnyű, de a hagyományos szerkezetekhez képest ötször szilárdabb házak a helyszínen állíthatók elő, vagy pedig a gyárban nyomtatott falakat is össze lehet ott szerelni. Mindkét esetben az üreges, betonvas elemeket tartalmazó falakat a munkások betonnal öntik ki. Egy nap alatt tíz ilyen házat készítettek kevesebb, mint 5 ezer USD/db költséggel. Azonban az üvegszál alkalmazása egészségügyi kockázatokat rejt magában, amelyek csak további, hosszú távú vizsgálatokkal számszerűsíthetők.

Egy másik projekt során a napenergiát használják a homok lézerszinterezésével előállított építőipari szerkezetek gyártásához. Ez környezetbarát jellege mellett különösen hasznos lehet az energiaszegény fejlődő országokban olcsó házak elállításához.

A 3-D nyomtatással előállított szerkezetek alkalmazása előnyös lehet mind az irodák, mind a lakóházak energetikai megoldásánál is. A tervezőmérnökök kihasználhatják az eljárással előállított berendezések alacsony energiaigényét mind a fűtés, mind a hűtés terén. A kisebb anyagfelhasználás minimalizálja az energiaveszteséget, és a légcsatornák komplex, optimalizált alakja javítja a légáramlást. A belsőépítészek komplex világítótesteket és térelválasztókat állíthatnak elő az anyagok széles körének felhasználásával.

3-D nyomtatás a repülőgépiparban és az űrhajózásban

Az űrhajózásban is előnyös lehet a 3-D nyomtatásos módszer, ezért a NASA is érdeklődik iránta az űrhajók fedélzetén, illetve a más égitestek felszínén szükséges tárgyak előállítása céljából.

A GE gyártási eljárásokért és az anyagokért felelős műszaki vezetője szerint a 3-D nyomtatás forradalmasítja a termékgyártást, ha a tervezők szakítani tudnak a hagyományos eljárásokhoz kötődő gondolkodásmódjukkal. Ez a módszer ugyanis lehetőséget ad a digitális és a fizikális világ egyesítésére és annak az óriási tömegű információknak a hasznosítására, ami a gyártási folyamatok során keletkezik. Az ipari adatok száma kétszer olyan gyorsan növekszik, mint az átlagos adatforgalomé. A jövő gyárainak képesnek kell lenniük integrált rendszerben kezelni a termékek egyedi, hozzáadott tulajdonságait, előállítani gyártószerszámait és kijavítani a hibás gyártmányokat.

A hagyományos gyártás lépései (fejlesztés, tervezés, szerszámkészítés, gyártás) egymást követő, „sorba kapcsolt” elemekből tevődnek össze. Az additív gyártástechnológia (3-D nyomtatás) viszont párhuzamos kapcsolásnak felel meg, ami új gondolkodásmódot igényel.

Az új gyártási paradigma a csapatmunkán alapul, nemcsak a cégen belül, hanem azon kívüli erőforrásokat is igénybe véve. Így például a GE nemzetközi pályázatot írt ki repülőgép-hajtómű fémkonzolok additív gyártástechnológiájának kidolgozására. Ezek a teherviselő alkatrészek eddig a gyárthatósági korlátok miatt nem voltak optimálisak sem működésük, sem tömegük szempontjából. A két hét alatt beérkezett 600 pályamű közül a legjobb javaslat 80%-kal könnyebb konstrukciót eredményezett, amelyet a GE tovább vizsgál.

Metaanyagok fejlesztése

Szintén a 3-D nyomtatási technológiát alkalmazták két amerikai egyetem (MIT és LLNL) munkatársai *ultrakönnnyű mikrostrukturált metaanyagok* kifejlesztéséhez.



2. ábra Az ultrakönnnyű anyag szerkezetének modellje

A „megfagyott füst”-nek is nevezett *metaanyag sűrűsége az aerosziléhez hasonló, de merevsége annak tízezerszerese*. Sűrűsége három nagyságrendi tartományban tetszés szerint beállítható. Ennek a szerkezeti anyagnak a legkisebb sűrűségű változata saját tömegének több mint 160 000-szeresét képes megtartani. Rácsos szerkezete következtében pórusos, folyadékok számára átjárható. Az anyag mintegy százszor merevbb, mint az eddig ismert ultrakönnnyű rácsos szerkezetű anyagok.

Az anyag előállításának első lépésében a 2. ábrán látható rácsos szerkezethez hasonló, de miniatűr méretekkel rendelkező műanyag vázat alakítanak ki fotoszenzitív műanyagból (különböző diakrilátokból, mint pl. a 1,6-hexándiol-diakrilát és a polietilén-glikol-diakrilát) mikro-sztereolitográfiát alkalmazva. Az anyag megszilárdulása egy-egy réteg kialakításánál kb. 0,3 másodpercet vesz igénybe. Ezután a polimervázat 200–500 nm vastag fémréteggel vonják be, majd a polimer hordozót hőhatással eltávolítják. A visszamaradó üreges szerkezetű „csöváz” rendkívül könnyű és szilárd. Az eljárást alkalmazták 50 nm vastag kerámiabevonattal is. Egy másik változatnál a műanyagot kerámia nanorészecskékkel keverve alkalmazták, majd hő hatására a polimert eltávolítva a kerámiarészecskék szilárd anyaggá szintereződtek.

Az új metaanyag számos alkalmazási területen hasznosítható. Így például a szívkoszorúér tágításához használatos mikrofémhálók (stents) állíthatók elő belőle, de csontregenerációnál is alkalmazhatók (eddig csak békáknál alkalmazták) és sebek kezelésénél szövettartó „állványzatként”, mivel a tápanyagokat és folyadékokat átengedik. E tulajdonságaikat szerkezeti felépítésüknek és nem kémiai összetételüknek köszönhetik, ezért az adott területen megfelelő anyag kiválasztásával számos alkalmazási terület megnyílhat számukra.

Szilikongumi termékek 3-D nyomtatással



3. ábra 3-D nyomtatóval előállított szilikon orrprotézis

A brit Fripp Design and Research olyan 3-D nyomtatót fejlesztett ki, amellyel a világon először közvetlenül állíthatók elő szilikongumi termékek. Ezzel megnyílt az út a *szintetikus protézisek* széles körű elterjedése előtt, de természetesen más alkalmazások is kínálkoznak.

A 3-D nyomtatás sokkal gyorsabb és olcsóbb, mint a protéziskészítéshez korábban alkalmazott módszer, melynek során keményítőporból készítették el a modellt, amelynek segítségével azután

vákuumformázással alakították ki az orvosi típusú szilikongumból a protézist (3. ábra). A prototípusok sikeres elkészítése után a projekt jelenleg a nagyüzemi gyártás előkészítésének szakaszában tart.

Az eljárás nem szorítkozik a szilikonra, noha a fejlesztés elsősorban erre összpontosított. Elvileg bármely térhálós polimer alkalmazható a nyomtatóhoz. A nyomtatóval előállítható termékek főbb jellemzői:

- egyszerre állítható elő lágy és merev anyag,
- lágy, 20 Shore A alatti termékek is gyárthatók,
- lehetséges mágneses és villamosan vezető anyagok feldolgozása is,
- sterilizálható szilikontermékek is előállíthatók 3-D nyomtatóval, amelyek ellenállnak a -30 és a $+250$ °C közötti hőmérsékleteknek,
- a teljes színskála gyártható.

Az eljárás költségei versenyképesek, a CAD file elkészülte után a termék 24-48 órán belül leszállítható, ami hatalmas versenyelőny a hagyományos eljáráshoz általában szükséges 10 héttel szemben. Emellett olyan geometriájú termékek is gyárthatók, amelyek korábbi öntési eljárásokkal nem voltak elérhetőek és egyedi, valóban testre szabott protézisek is megoldhatók.

Szabadalmaztatott eljárások

Sok tekintetben újdonságnak számít az Arburg cég „*Arburg Kunststoff Freiformen*” (AKF) elnevezésű szabadalmaztatott eljárása. Ebben a közönséges műanyag granulátumokat egy, a fröccsöntő gépek plasztikáló csigahengeréhez hasonló, függőleges elrendezésű berendezéssel megömlesztik, és a polimerömléket piezoelektromosan szabályozott fúvóka segítségével apró, 0,2 mm átmérőjű cseppek formájában juttatják a tárgyasztalra, ahol a cseppek lehülve megszilárdulnak és rétegenként felépítik a 3D CAD file formájában (STL file formátum) bevitt geometriájú terméket. A viszonylag kis anyagáramlás miatt a plasztikáló henger kis térfogatú, a csiga 15 mm átmérőjű és viszonylag rövid, speciális kialakítású, hogy elkerüljék a túl hosszú tartózkodási idő okozta termikus degradációt. A fúvóka másodpercenként mintegy 100 cseppet bocsát ki. A hagyományos 3-D nyomtatókkal ellentétben itt a tárgyasztal mozog, a plasztikáló egység fix, függőlegesen rögzített állapotban van.



4. ábra Az AKF berendezés polimer ömlékcseppekből építi fel rétegről rétegre a terméket. A fúvóka fix, a tárgyasztal mozog

A módszer nagy előnye, hogy közönséges műanyag-granulátumokkal dolgozik, amelyek lényegesen olcsóbbak, mint az általánosan használt 3-D nyomtatók filament (vagy a por) formátumú alapanyagai, és prototípusok esetében a nagyszériás gyártással teljesen azonos anyagminőséget használhatnak a funkcionális próbáknál. A tárgyasztal alapkiépítésben 3 tengely szerint mozgatható, de speciális, nagyon bonyolult geometriájú termékek előállításához opcióként 5 tengelyű mozgatást is lehet hozzá rendelni. Kétszínű vagy két eltérő (pl. kemény és lágy) alapanyaggal dolgozó rendszereket is forgalmaznak, amelyek segítségével optikai és/vagy tapintási (haptikai) szempontokból előnyös termékeket lehet gyártani.

A Freiformen eljárással készült termékek mechanikai szilárdsága kb. 70-80%-a a hagyományos fröccsöntéssel készült termékekének. Elvileg bármely polimerrel alkalmazható, a K 2013 kiállításon ABS, PC, PA és TPE mintákat mutattak be. A szálerősítésű típusok gyártása a kis fűvókaátmérő miatt egyelőre nem megoldott, ez képezi a fejlesztések egyik fő irányát. Miután nincs szükség költséges és hosszú átfutási idejű fröccsöntő szerszám készítésére, ez a módszer elsősorban az egyedi és kis szériás termékek gyártásánál előnyös.

Összeállította: Dr. Füzes László

Eaton R.: 3-D printing is revolutionizing construction and design fields = Multibriefs: exclusive, 2014.jún. 9.

Eitel E.: 3D printing filaments better and cheaper and greener every day = Product Design Engineering, 2014. jún. 5.

Sparrow N.: GE Global Technology Director: 3D printing is laying foundation for next industrial revolution = Plastics Today, 2014. június 24.

Sparrow N.: Ultralight and ultrastiff-materials fabricated using 3D printing technology = Plastics Today, 2014. június 23.

Sparrow N.: Direct 3D-printed silicone parts get face time = Plastics Today, 2014. június 8.

Doriat C.: Funktionsfähige Teile aus Kunststofftröpfchen = Kunststoffe, 103. k. 11. sz. 2013. p. 30–31.