

ADDITÍV GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁKKAL KAPCSOLATOS KUTATÁSOK

RESEARCHES ON ADDITIVE MANUFACTURING TECHNOLOGIES

*Dr. Ficzer Péter, egyetemi adjunktus, ficzere.peter@kjk.bme.hu
BME Vasúti Járművek és Járműrendszeranalízis Tanszék*

ABSTRACT. Nowadays, additive manufacturing technologies are used in an increasing number of fields. In order to take advantage of the opportunities offered by this new technology, we need to adopt a new way of thinking at the design stage. This new design thinking needs to be introduced into engineering education. To do this, it is necessary to acquire practical experience in addition to a theoretical background in the technology. This paper is a brief summary of my research and experiences in the field of additive manufacturing.

1. BEVEZETÉS

Az additív gyártástechnológiák terjedése töretlen, melynek köszönhetően egyre több felhasználási területe válik ismertté. Bizonyos területeken történő használata viszont sok elővigyázatosságot igényel. Gyakori kérdés, hogy egészségügyi-, mechanikai- vagy szilárdsági szempontból milyen anyagokat és milyen technológiát érdemes használni. Ugyanígy komoly kérdés, hogy gazdaságilag mely esetekben éri meg ez a gyártási eljárás, ha más módszerekkel is előállítható ugyanez a darab.

Az additív gyártási eljárások használata az iparban egyre inkább mindennaposá vált, így szükséges, hogy a műszaki felsőoktatás képzéseiben is megjelenjen. Megfelelő szintű képzéshez ugyanakkor gyakorlati tapasztalatokra is szükség van. További hozadéka az additív technológiák oktatásba való bevitelének, hogy az új-, érdekes és látványos terület felkelti a hallgatók érdeklődését, ami az ilyen irányú kutatások fellendüléséhez is vezet.

A BME-Vasúti Járművek és Járműrendszeranalízis Tanszékén – korábbi nevén Járműlemek és Jármű-rendszeranalízis Tanszéken- az additív gyártástechnológiákkal kapcsolatos tevékenységeimet 2007-ben kezdtem a PhD kutatásaimon keresztül. Ebben az időben a vizsgálatokhoz szükséges próbatetek gyártásával a Varinex Zrt. támogatta vizsgálataimat.

2015-ben a tanszék beszerzett két FDM eljárással működő nyomtatót is, melynek köszönhetően a lehetőségeim megnöttek, ezáltal a kutatási spektrum is szélesedett. Ekkor már főleg saját készítésű darabokat vizsgáltam.

A vizsgálatokhoz szükséges mérések egy jelentős részét a BME-Polimertechnika Tanszékén, valamint a BME Biomechanikai Kooperációs Kutató Központ mérőlaborjaiban végeztem.

Kutatásaim eredményeit mutatja be ez a cikk.

2. MÓDSZER

A gyártástechnológia megfelelő megismeréséhez sok kísérletezésre van szükség. Ezen kísérletek közben gyakran merülnek fel olyan kérdések, hogy ezt, vagy azt meg lehet-e valósítani ezzel a technológiával. Így a felhasználási területek is bővültek, továbbá meghirdettük, hogy a nyomtatók a hallgatók számára is elérhetőek, ami még több érdekes és sokszor megkérdőjelezhető kimenetelű feladatot jelentett.

Mivel a beszerzett nyomtatók (Prusa i3 és Zortrax M200) nyílt forráskóddal rendelkeznek, így lehetőségem volt a gyártási paraméterek tetszőleges beállítására, valamint az egyes beállítások hatásainak vizsgálatára.

Fontos, folyamatosan vizsgálandó és fejlődő terület a technológia alkalmazhatósági területeinek feltárása is.

3. EREDMÉNYEK

3.1. Pontossággal kapcsolatos vizsgálatok

Különböző alakú, geometriájú próbateteket gyártottam, hogy azok alapján meg lehessen határozni a gép pontosságát, valamint az elérhető felületi minőségeket.

Sajnos a vizsgálatok alapján ezen a téren pontos és egyértelmű számadatok nem határozhatók meg. Kiderült, hogy a pontosságot befolyásolja:

- a nyomtatandó alkatrész geometriája (sík-, vagy görbült felületek, görbület mértéke,

síkok elhelyezkedése (vízszintes-, függőleges-, vagy ferde sík)),

- az eredeti CAD geometriából stl fájlba (nyomtató számára input) történő konverzió tűrései,
- a rétegvastagság,
- a nyomtatási sebesség,
- a nyomtatási hőmérséklet,
- az asztal fűtése,
- az orientáció,
- továbbá eltérő pontosságot kapunk x-y (réteg) irányban és arra merőlegesen (z--rány).

Természetesen ezek a változók egy, ugyanazon gépen végzett nyomtatásra vonatkoznak, egy másik, más típusú gép esetében más értékeket kaphatunk.

Fontos megjegyezni, hogy a gyártási elvből adódó hibák egy része kiszűrhető a CAD modell előzetes módosításával (szerszám-pálya korrekció), de bizonyos, fejlettebb CAM szoftverek (kódgenerálók) már ezt is elvégzik. Megvizsgáltam továbbá azt is, hogy működő szerelések esetén az egymáshoz kapcsolódó alkatrészekhez milyen méretkorrekcióra van szükség.

3.2. Alkalmazhatósági területek

A terjedelmi korlátok miatt itt csak néhány megvalósult projektet mutatok be, de ezeken felül számos más kisebb feladatunk is akadt, mint pl. a Future Mobility Challenge-re készülő robotautók számára alkatrészek, a táblafelismerés szimulációk számára a közlekedési jelzőtáblák kicsinyített másai (BME-GJT részére), különböző lánckerekek, akkumulátor tartók, egyedi „ékszerek”, díszek, alkatrészek, reprezentációs és marketing anyagok, használati tárgyak, oktatási segédeszközök, stb.

3.2.1.. Alkatrészutánpótlás

Sok esetben egy-egy régebbi eszközben tönkrement alkatrész esetében nincs lehetőség pótalkatrészek beszerzésére. Ilyenkor az adott alkatrészből le kell gyártani egy darabot, különben az adott szerkezet működésképtelenné és ezáltal értéktelenné válik. Pl. veterán járművek esetén különösen nagy szerepe van ennek a technológiának, ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy ebben az esetben kiemelt figyelmet kell fordítani az új módszerrel gyártott alkatrészek igénybevételei által támasztott követelményekre. Itt ugyanis az általunk készített alkatrész nem-megfelelősége

akár a többi pótolhatatlan alkatrészben is kárt tehet.

Több, egyedi pótolhatatlannak tűnő alkatrészt is visszaterveztünk és előállítottunk ilyen módon.

Fontos azt is megjegyezni, hogy manapság az alkatrész utánpótlás tekintetében is egyre többen kalkulálnak ezzel a megoldással, pusztán gazdasági megfontolásból. Egy komolyabb járműipari egység, szerkezet esetén az alkatrészutánpótlást a gyártás leállítása után is még akár évtizedekig biztosítani kell. Előre természetesen nem lehet meghatározni pontosan hány alkatrész cseréjére, pótlására lesz szükség. Emiatt a gyártók sokszor indokolatlanul nagy raktárkészleteket halmoznak fel, melyeknek tárolása rendkívül költségigényes, akár a konkrét alkatrészekre, akár az alkatrészeket gyártó gépekre, szerszámokra gondolunk.

3.2.2. Prototípus fejlesztés

Több prototípust is sikerült kifejleszteni a tanszéken, ezek közül az egyik érdekes feladat volt a gyógyszerek közt ismert kapszula fejlesztése. Mint ismert az ún. retard kapszulák (lágú zselatin, az emberi gyomor savassága oldja) késleltetve fejtik ki hatásukat. A késleltetés és a hatás mértéke is embertől függ, így nehéz az optimális hatóanyag mennyiség megfelelő adagolása. Az alapgondolat az volt, hogy az eredeti kapszulák méreteivel megegyező méretű kapszulákat gyártunk, melyeket különböző méretű, formájú és számosságú furatokkal látunk el. Ezután megvizsgáltuk a módosítások hatását a kioldódás sebességére és mértékére. A vizsgálatokhoz az egyedileg kialakított kapszulákat kinyomtattuk és megtöltöttük adott mennyiségű koffein pellettel.

Könnyen belátható, hogy egy fröccsöntéssel nagy mennyiségben előállított alkatrészhöz módosított szerszámot tervezni, majd a gyártást leállítani, szerszámot cserélni pár darab – a vizsgálathoz szükséges – alkatrész miatt nem költséghatékony megoldás, ami komoly bevétel kiesést is okozhat.

Ugyanekkor a túlzottan kisméretű és könnyű koffein pellett betöltéséhez (komoly nehézséget okozott a mikrogramm pontossággal kis zacskókba kimért mennyiségnek a kapszulákba töltése) pár perc alatt terveztünk és kinyomtattunk egy kisméretű tölcseert is.

3.2.3. Szerszám, öntőminta készítése

Az alkatrészek anyagával szemben sok esetben komoly elvárásokat támasztanak amiket nem feltétlenül lehet megvalósítani minden additív

technológiával. Ilyen eset amikor pl. egyedi öntvényeket kell készíteni. Egy oldtimer motor hengerének újbóli legyártásához öntőminta is készült a tanszéken. Első lépésben kellett hozzá egy 3D CAD modell, mely alapján FDM eljárású nyomtatóval, ABS alapanyagból kinyomtatásra került a minta, aminek segítségével készült el (és később beépítésre is került (működőképes)) az öntött darab [1].

3.2.4. Orvosi implantátumok, segédeszközök gyártása

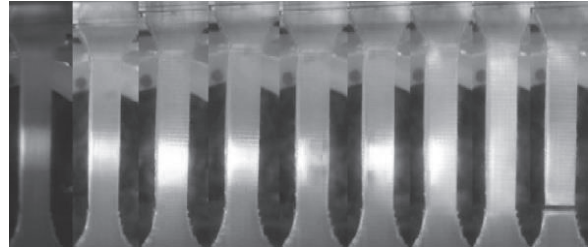
Az egyik leginkább felkapott terület, amitől a legnagyobb előrelépést várják az additív gyártás területén a gyors és személyre szabható orvosi implantátumok és segédeszközök előállítása. Ezekben az esetekben az adott implantátum geometriának tökéletesen illeszkednie kell az adott személy ép testrészeihez, ami igen komoly igényeket támaszt az adott modell formai kialakításával szemben.

Ugyanakkor ezen darabok esetében a mechanikai szilárdság szempontjából is meg kell felelni az adott ember adott csontjának merevégéhez. A tanszéken több ilyen irányú kutatás is zajlott.

Egy human metacarpale esetében pl. a CT felvételekből kellett visszamodellezni a geometriát. Megmértük a valós csont merevségét, majd a visszamodellezett 3D CAD geometriával rendelkező modellhez rendeltük a 3D nyomtatás során adódó anyagjellemzőket és alakoptimalás segítségével addig változtattuk a belső geometriát, míg a nyomtatott darab rugalmassága tökéletesen meg nem egyezett az eredeti csont merevségével.

3.3. Feszültségoptikai vizsgálatok

Lehetőség van átlátszó (áttetsző) anyagokból is nyomtatni. Ez megfelelő vastagság és minőség esetén lehetőséget biztosít számunkra, hogy a feszültségoptikai vizsgálatokhoz szükséges bevonatot (bonyolult geometriák esetén nehézkes és időigényes) egyszerűen kinyomtassuk. Ezzel rengeteg időt és energiát spórolhatunk. Ennek a módszernek további előnye, hogy lehetőséget biztosít számunkra ahhoz, hogy a gyártás során kialakuló maradó feszültségeket is feltárhassuk, meghatározhassuk [2].



1. ábra Maradó feszültségek a szakítópróbatestekben [2]

3.4. Gazdaságossági vizsgálatok

Az egyes alkatrészek nyomtatása során hamar megtapasztalja az ember, hogy milyen nagy mértékben befolyásolja a gyártási költségeket a munkadarabok előállítása során:

- a választott eljárás,
- a gyártási idő, a nyomtatási sebesség,
- az elhelyezés a munkatérben,
- a pozíció, az orientáció,
- a támaszanyag mennyiségi igénye,
- a támaszanyag típusa,
- a kitöltés százalékos mennyisége,
- a kitöltés típusa,
- a rétegvastagság,
- az anyagválasztás,
- a gyártandó darabszám.

Több gazdaságossági számítást is végeztünk, melynek során igyekeztünk feltárni azokat a területeket, ahol a technológia valós előnyöket biztosít más eljárásokkal szemben.

Megvizsgáltuk továbbá azt is, hogy a fent említett paraméterek hogyan hatnak a gyártási költségekre akár közvetett, akár közvetlen módon.

3.5. Anyagvizsgálatok

Az additív gyártástechnológiák sajátossága, hogy a tetszőlegesen bonyolult, belül akár üreges geometriával rendelkező darabokat rétegről-rétegre építi fel. Ennek köszönhetően feltételezhető, hogy a rétegek egymáshoz való kötése más, mint a rétegen belüli kötészilárdság. Ez a feltételezés bizonyítást nyert több esetben is.

Megvizsgáltam, több gyártási eljárásban, különböző anyagok esetén, hogy különböző irányú fekvő és állított próbatestek anyagjellemzői hogyan viszonyulnak egymáshoz, kimértem a szakítógörbéket a kitüntetett irányokban:

- Polyjet eljárással előállított Fullcure720 típusú anyag
- FDM eljárás és PLA alapanyag
- FDM eljárás és ABS alapanyag
- SLS eljárás és PA12 alapanyag

- FDM eljárás és Soft PLA (rugalmas műanyag)
- FDM eljárás és HT PLA (hőálló műanyag) esetén.

Mivel az eredmények azt mutatják, hogy az SLS eljárástól eltekintve mindenütt orthotrop anyagmodellel írható le az additív módon gyártott alkatrészek viselkedése, így a megfelelő anyagi jellemzők kimérése is összetettebb feladat. Nem elég egy db. E Young modulus és egy ν Poisson-tényező meghatározása, ráadásul a G nyíró rugalmassági modulusokat is ki kell mérni.

Természetesen az anyagmodellek és anyagi jellemzők szakítógépben történő meghatározása után az eredményeket validálni is szükséges, aminek módszerét is kidolgoztam.

Az egyes gyártási paramétereknek a szilárdságra gyakorolt hatásait is meghatároztuk, továbbá ennek okait is feltérképeztük.

3.5.1. Dinamikai anyagvizsgálat

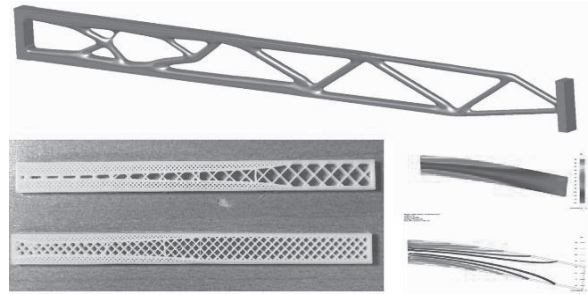
Mivel bizonyos alkatrészek dinamikus igénybevételnek is ki vannak téve, így szükséges az ilyen eljárásokkal gyártott darabok vizsgálata dinamikai igénybevétel esetére is. Ezt a vizsgálati módszert is kifejlesztettük. Az FDM eljárással gyártott PLA anyagból készített darabokon a vizsgálatokat elvégeztük.

3.5.2. Anyagi jellemzőket befolyásoló módosítási lehetőségek

Megvizsgáltunk több olyan lehetőséget is, amelyekkel a mechanikai szilárdsági paramétereket befolyásolni tudjuk. Ilyenek pl. az aktív hűtés, a hőkezelés hatása (publikálás folyamatban), valamint az ironing (publikálás folyamatban).

3.6. Kitöltés hatásának vizsgálata

Megvizsgáltuk továbbá azt is milyen lehetőségek vannak kvázi egyenszilárdságú alkatrészek olyan jellegű gyártására, ami csökkenti a nehézkes és hosszadalmas posztprocesszálsági műveleteket is. Egy ilyen módszer a belső kitöltésnek az igénybevételeknek megfelelő módosítása [3]



2. ábra Nehezen és könnyen gyártható egyenszilárdságú tartó [3]

3.7. Generatív design additív gyártástechnológiák számára

Jelenleg is vizsgáljuk az olyan mesterséges intelligencián alapuló tervezési módszereket, melyek segítségével különböző szempontrendszer szerint alakítható ki a többnyire csak additív eljárással gyártható geometria. (publikálás folyamatban)

4. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozom Falk Gyögynek (Varinex Zrt.), aki mind nyomtatással, mind pedig szakmai tanácsaival nagyban elősegítette kutatásaimat.

Köszönettel tartozom Dr. Lovas Lászlónak, aki tanszékvezetőként felismerte a 3D nyomtatásban rejlő kutatási lehetőségeket és beszerezte a nyomtatókat a tanszék számára, valamint folyamatosan biztosította a szükséges alapanyagokat a vizsgálataimhoz.

Köszönettel tartozom Dr. Szebenyi Gábornak, aki biztosította számomra az anyagvizsgálatok elvégzését.

5. IRODALOM

- [1] Lovas L.: Öntőforma készítés 3D nyomtatással, GÉP 67: 7-8 pp. 13-16, (2016)
- [2] Ficzer P., Borbas L., Szebenyi G.: Reduction possibility of residual stresses from additive manufacturing by photostress method, MATERIALS TODAY: PROCEEDINGS 4: 5 pp. 5797-5802., (2017)
- [3] Ficzer P., Lukács N.: Examination of possibilities of the strength modification in the case of fdm/fff manufacturing technology, DESIGN OF MACHINES AND STRUCTURES 10: 2 pp. 27-34., (2020)