

3D nyomtatáshoz használt fémporok alapvizsgálata újrahasználhatóság szempontjából

Basic examination of 3D printing metal powders for reusability

Dr. HUDÁK Henrietta¹, BUDAVÁRI Imre¹, FERENCZI Tibor¹, KÉRI Zoltán¹

¹Miskolci Egyetem, Anyag- és Vegyészmérnöki Kar, Fémelőállítási és Öntészeti Intézet, 3515 Miskolc-Egyetemváros,
henrietta.hudak@uni-miskolc.hu, imre.budavari@uni-miskolc.hu,
tibor.ferenczi@uni-miskolc.hu, zoltan.keri@uni-miskolc.hu

Abstract

In the course of our research work, we performed a basic test of three different types of metal powder which is distributed for 3D printing in terms of reusability. Our examination covers sieve analysis and other basic powder metallurgical tests. We measured the bulk and tapped density of the powders; as well as their fluidity using several methods. The results were compared before and after the use of metal powders.

Kulcsszavak: 3D, fémnyomtatás, fémporok, újrahasználhatóság, granulometria

1. BEVEZETÉS

Az additív gyártástechnológia (AM – Additive Manufacturing) az elmúlt időszak egyik leggyorsabban fejlődő és egyre szélesebb körben elérhető iparága. A köznyelv általánosan csak 3D nyomtatásnak nevezi ezt a technológiát. Manapság egyre többen vásárolnak otthoni felhasználás céljából 3D nyomtatót. Az első berendezések már az 1990-es évek elején kereskedelmi forgalomban kaphatók voltak [1, 2].

A 3D nyomtatás hatalmas sikerét annak is köszönheti, hogy a gyors prototípusgyártás (RPT – Rapid Prototyping Technologies) egyik eszköze a tartós formába történő alakadás és az anyageltávolításos eljárás mellett. Ez az anyaghozzáadásos prototípusgyártó technológia az 1980-as évek végétől jelent meg. Mára az additív gyártástechnológia alkalmazási területei jelentősen bővültek; már nemcsak prototípus, hanem szerszám és sok más funkcionális alkotóelem elkészítésére is alkalmazzák [3, 4].

Az additív gyártástechnológiákat többféle szempont szerint lehet csoportosítani, leginkább elfogadott a felhasznált alapanyagok szerinti csoportosításuk. A 3D nyomtatás alapanyagait tekintve alapvetően két nagy csoportra lehet bontani: fémes és nem fémes anyagok.

2. 3D FÉMNYOMTATÁS

Maga az eljárás hasonló a többi additív gyártástechnológiához. A 3D fémnyomtatás egy olyan területe az additív gyártástechnológiának, amely rétegről rétegre építkezik; a terített fémporos réteget olvasztja össze egy koncentrált nagy energiájú, pásztázó lézernyaláb felhasználásával. Minden egyes rétegnél csak azon a területeken történik a fémpor szemcsék összeolvadása, ahol a modell adott magasságban lévő szelete azt megkívánja [5].

2.1. A 3D fémnyomtatás alapanyaga - fémporok

Fémről vagy fémvegyületekből sokféle módszerrel lehet porokat gyártani. Az alkalmazandó technológiát elsősorban a gyártandó jellemzői, a vele szemben támasztott követelmények és a gazdaságosság határozza meg. A választott módszertől függ a gyártott porok szemcsenagysága, a szemcsék méreteloszlása, alakja, halomtömege, kémiai összetétele és belső szerkezete stb. [6]

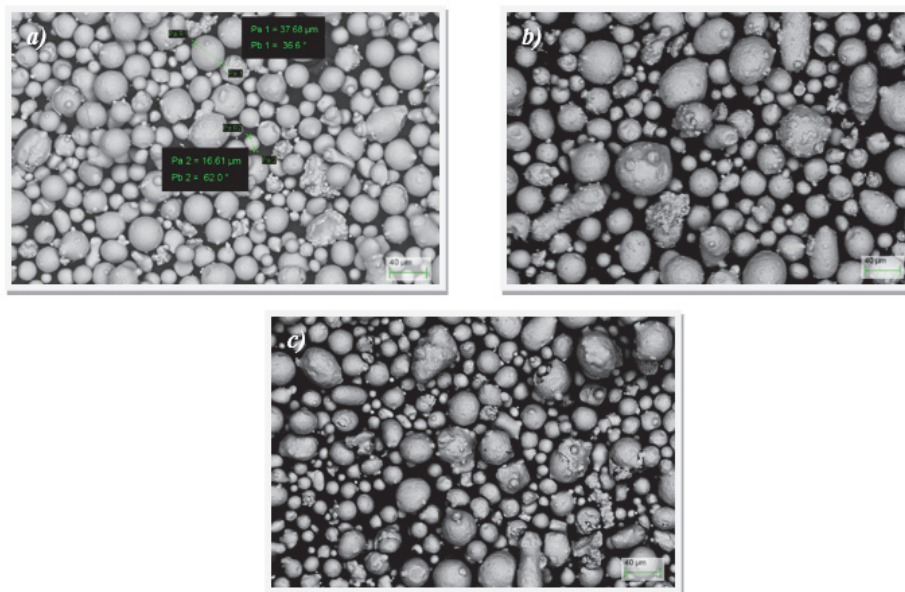
A porok egyik fontos tulajdonsága, hogy a térfogatához képest relatíve nagy felülettel rendelkeznek. A por viselkedése a technológiai folyamat egyes fázisaiban több paraméterrel határozható meg. Minél jobban ismerjük a kiinduló poranyag tulajdonságait, annál pontosabban készíthető el a végtermék, valamint annál kisebb hibát követünk el a termék kívánt tulajdonságai tekintetében.

A fémporokat rendszerint kémiai, fizikai és technológiai tulajdonságuk alapján vizsgáljuk. A kémiai tulajdonságokat a kémiai összetétel határozza meg. Jellemző fizikai tulajdonságok a szemcsenagyság,

szemcseméret-eloszlás, fajlagos felület, szemcsealak, sűrűség és a szemcsék mikrokeménysége. A technológiai tulajdonságokat a por tömörítetlen (öntött) és a rázás utáni sűrűségével, a folyékonyságával jellemezzük [7].

2.2. A fémporok alapvizsgálata – a mérési módszerek bemutatása és eredmények

A vizsgálatainkat forgalomban kapható három különböző összetételű fémponon végeztük el. Elvégeztük a fémporok alaptulajdonságainak vizsgálatát használat előtt és használatot követően is.



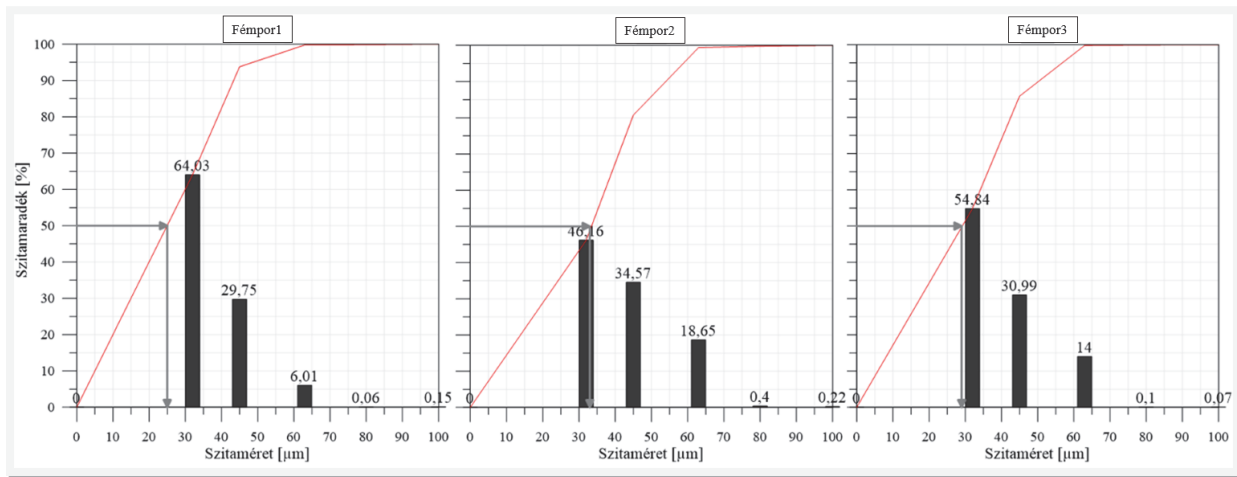
1. ábra. A vizsgált fémporok SEM felvétele 250× nagyításban
a) Fémpor1, b) Fémpor2 és c) Fémpor3

Kutatásunk során összehasonlítottuk a kapott eredményeket, hogy a használt fémporok jellemzői mennyit változtak, valamint a változások újrahaználhatóság szempontjából jelentőséggel bírnak-e. A módszer olyan szitasorra épül, amelyben az egyes sziták ismert szitalyukbőség-méretekkel rendelkeznek.

2.2.1. Szitaanalízis

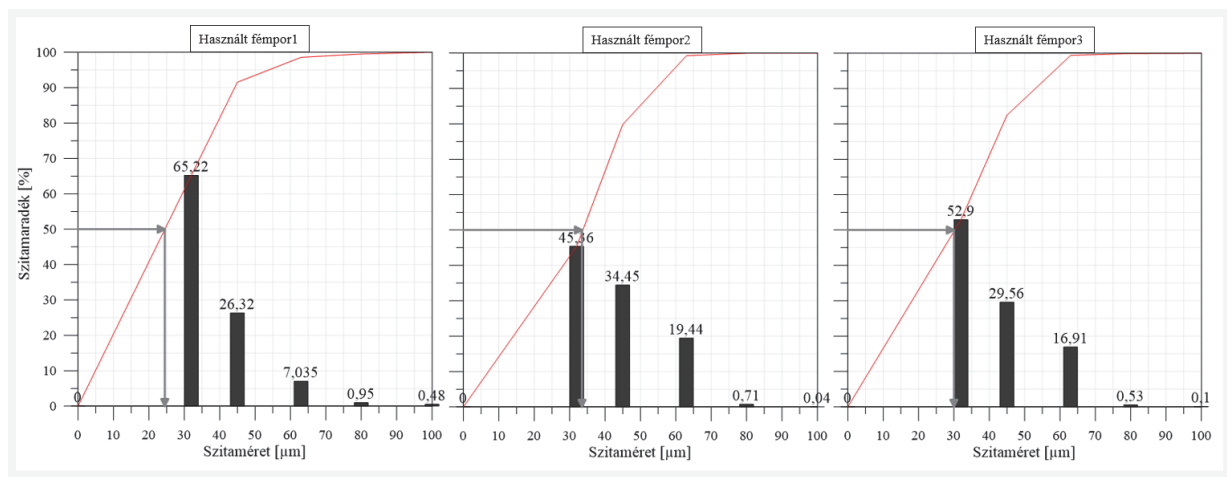
A szemcsés anyagok esetében a szemnagyság és a szemcseméreteloszlás meghatározása az egyik legfontosabb paraméterek. A fémporok szemnagysága általában <1 µm-től néhány 100 µm-ig terjed. A szitaanalízis az egyik legegyszerűbb és leggyorsabb módja, hogy meghatározzuk a szemcseméreteket [7]. A szitálást követően az egyes szitán fennmaradó minta mennyiségét lemérve kéttizedes pontossággal a teljes mennyiség tömegéhez viszonyítva ábrázoljuk oszlopdiagramon, illetve összesített kumulatív görbén. A fémporok szemcseméret-eloszlását Fritsch ANALYSETTE 3 PRO vibrációs szita segítségével határoztuk meg. A vizsgálat során alkalmazott, 80 µm; 63 µm; 45 µm és 32 µm lyukbőségű szitákat alkalmaztunk. A méréshez 100 g fémpor mintákat 2 mm-es amplitúdóval 15 percig szitáltuk.

A mérések során azt kaptuk eredményül, hogy a 3D nyomtatáshoz ajánlott fémporok szemcsemérete általánosan kijelenthető, hogy kisebb, mint 63 µm. Átlagos szemnagyság a három fémpor esetében 25 µm és 33 µm értékéig változik, amit a 2. ábra szemléltet.



2. ábra. A vizsgált fémporok szemcseeloszlása oszlopdigramon és kumulatív görbén használat előtt

A szitaanalízis eredményei alapján megállapítható, hogy használatot követően nincs jelentős változás a fémporok mért értékeiben. Összességében mindhárom fémpor esetében igaz az, hogy a durvább frakció mennyisége nőtt meg, melyet a 3. ábrával való összevetés alapján láthatunk. Az átlagos szemnagyság használatot követően 24,5 μm és 33 μm között változik. A fémpor1 esetén kismértékben csökkent, fémpor2 esetén nem történt változás és fémpor3 esetében nőtt az átlagos szemnagyság.



3. ábra. A vizsgált fémporok szemcseeloszlása oszlopdigramon és kumulatív görbén használat után

A szitaanalízis eredményein jól látható, hogy a 32 μm szítaméreten áteső tömeg a fémporok körülbelül fele mennyisége. Fontos lenne, ha az alsóbb méretek esetében tudnánk a szemcseméreteket eloszlását, a finom por mennyiségének megoszlását a különböző fémporok esetében használat előtt és után.

A fémporokat újrahasználatához, valamint további vizsgálatokhoz 63 μm-es szítán átszítáltuk annak érdekében, hogy a használat következtében összetapadt agglomerátumokat eltávolítsuk. Tehát a további vizsgálatokat a leszítált fémporokon végeztük el.

2.2.2. Fajlagos felület

A fajlagos felület egységnyi tömegű anyag szabad felülete. A finom poroknak mind a felületi energiája, mind pedig a felületi aktivitása igen nagy. A porok nagy felületi energiája egyébként nagyon hasznos tulajdonság a szinterelés, valamint a 3D nyomtatás esetében a lézerrel történő pásztázás során a szemcsék összehengedésének és növekedésének az egyik hajtóereje [7].

A fajlagos felület mérésének egyik legpontosabb eredményeket adó adszorpciós módszere az úgynevezett BET módszer (az elnevezés a feltalálók, Brunauer, Emmett, és Teller nevének kezdőbetűiből adódott). A BET módszer alapelve szerint a porminta szemcséinek felületén mono-molekuláris rétegben kötődnek meg az erre alkalmas minőségű gáz molekulái. A BET eljárás a legmegfelelőbb módszer a nagy fajlagos felülettel rendelkező, finom porok mérésére [7].

A vizsgált fémporok mért fajlagos felület értékei

1. táblázat

Megnevezés	BET [m ² /g]	Langmuir [m ² /g]
Fémpor1	0,0466 ↑	0,0698 ↑
Használt fémpor1	0,0498 ↑ +0,06	0,0754 ↑ +0,07
Fémpor2	0,0512 ↑	0,0758 ↑
Használt fémpor2	0,0532 ↑ +0,04	0,0787 ↑ +0,005
Fémpor3	0,0451 ↓	0,0683 ↓
Használt fémpor3	0,0448 ↓ -0,006	0,0668 ↓ -0,02

Az eredmények alapján látható, hogy a fémpor3 esetében csökkent a fajlagos felület értéke a másik két por esetében nőttek a mért értékek. A mért értékek változása nem jelentős mértékű.

Ezt követően minden fémpor mintából 100 g mennyiséget vettünk ki reprezentatív mintaként, így végeztük el a következőkben bemutatott vizsgálatokat. A vizsgálatokat sorban ugyanazon a 100 g mintán végeztük el. A táblázatokban feltüntetett vizsgálati eredmények 3 mérés átlagértékei.

2.2.3. Szórt és rázott térfogat

A szórt térfogat meghatározásához a szabadon hulló por, azaz a tömörítetlen fémpor térfogatát mérjük. A szabadon szórt fémpor szemcsék eloszlása az edény térfogatában meglehetősen egyenlőtlen, és üregek maradhatnak azokon a helyeken, ahol a szemcsék átfedik egymást. Ennek csökkentése érdekében rázzák a szabadon szórt port, majd mérik a fémpor rázás utáni térfogatát. A tömörítetlen és rázás utáni sűrűség különbsége a szemcsék alakjától és a felület struktúrájától függ, amelyek a szemcsék között fellépő súrlódás legfőbb befolyásoló tényezői [7].

A vizsgált fémporok szórt és rázott térfogat értékei

2. táblázat

Megnevezés	Szórt térfogat [cm ³]	Szórás	Rázott térfogat [cm ³]	Szórás
Fémpor1	23 ↓	0	21 ↓	0
Használt fémpor1	22,83 ↓ -0,007	0,29	20,5 ↓ -0,02	0,50
Fémpor2	23,50 ↑	0,50	21,33 ↓	0,58
Használt fémpor2	25 ↑ +0,06	0,50	20,50 ↓ -0,04	0,87
Fémpor3	21 ↑	0	18,67 ↑	0,58
Használt fémpor3	23,5 ↑ +0,1	0	20,50 ↑ +0,09	0,50

A 2. táblázatban szemléltetett mérési eredmények alapján a szórt és rázott térfogat értékek a fémpor1 esetében csökkentek, míg a fémpor3 esetében nőttek. A fémpor2 mintának a mért eredményei szórt térfogat estében nőttek és a rázott térfogata pedig csökkent. Általánosságban kijelenthető az értékek változása kismértékű.

2.2.4. Folyóképesség

Ezt a vizsgálatot a szabadon folyó (adhéziómentes) porok összehasonlítására alkalmazzák. A folyékony-ság függ a szemcsék közötti súrlódástól, a por és a tölsér fala között fellépő súrlódástól, a szemcsék tapadásától, a tölsér nyílásának és a szemcsék nagyságának kölcsönös viszonyától, a por sűrűségétől és a tölsér geometriájától. A porok folyékony-ságát azzal az időtartammal jellemzik, amely alatt az adott mennyiségű por (100 g) gravitáció hatására átfolyik egy szabványos tölséren. Rövid átfolyási időtartam a por jó folyékony-ságáról tanúskodik, míg a hosszú idő a szemcsék között fellépő nagy súrlódást jelenti. A szemcsék közötti súrlódást mindenekelelt a fajlagos felület, a felületi érdesség és a felület kémiai összetétele határozza meg. A fajlagos felület növekedésével nő a szemcsék közötti súrlódás, és a por kisebb folyékony-ságot mutat. A folyékony-ságban észlelhető különbségeket a jellemző alak és a felület érdessége is befolyásolhatja [7].

A súrlódási index további megnyilvánulása a rézsűszög. Ez azt az α szöget jelenti, amely a por egy kupacba való öntésekor keletkezik (kúp), ahol a tangens α a kúp magasságának és az alapkör sugarának hányadosával egyezik meg [7].

A vizsgált fémporok folyási sebesség és rézsűszög mérés értékei 3. táblázat

Megnevezés	Folyási sebesség [sec/100g]	Szórás	Rézsűszög [°]
Fémpor1	4,34 ↓ -0,28	0,11	27,64 ↓ -0,03
Használt fémpor1	3,11	0,47	26,88
Fémpor2	5,72	0,24	30,15 ↑ +0,02
Használt fémpor2	5,72	0,12	30,74
Fémpor3	3,74 ↓ -0,07	0,18	26,31 ↓ -0,02
Használt fémpor3	3,48	0,05	25,86

A 3. táblázatban bemutatott mérési eredmények alapján megállapítható, hogy a fémpor1 és a fémpor3 esetében használatot követően csökkent mind a folyási sebesség és a rézsűszög értéke. A fémpor2 esetén a folyási sebesség nem változott a rézsűszög mért értéke növekedett. Összeségében megállapítható, hogy az értékek változása nem számottevő. Megjegyzésként meg kell jegyezni, hogy a fémpor3 mintája a mérés során igen nehezen volt mérhető a folyási sebességet illetően. Többször is nagyon betapadt a minta a tölcserbe, onnan nem folyt ki önmagától.

2.2.5. Vibrációs adagolási sebesség

A szabadon folyó porok lassú, de folyamatos és célzott továbbításának idejének mérése egy speciális mérőberendezés segítségével történik. Vibráció segítségével áramlik szabadon a minta az erre kialakított "U" profilú rozsdamentes acélból készült csatornában. Az áramlás sebességét egyénileg lehet szabályozni a vezérlő egységen a rezgés amplitúdójának, energiájának vezérlésével, potenciométer segítségével. Adagoló tölcser hossza: 320 mm. A méréshez alkalmazott rezgés/vibráció: 1-es fokozat volt.

A vizsgált fémporok vibrációs adagolási sebességének értékei

4. táblázat

Megnevezés	Vibrációs adagolási sebesség [sec/100g]	Szórás
Fémpor1	98,92 ↑ +0,21	3,23
Használt fémpor1	125,67	4,79
Fémpor2	91,27 ↑ +0,02	5,03
Használt fémpor2	92,92	3,27
Fémpor3	85,59 ↑ +0,19	4,88
Használt fémpor3	106,06	2,33

A mérési eredmények jól mutatják, hogy mindhárom fémpor minta eredménye nőtt a használatot követően. A fémpor2 minta esetében kisebb mértékben, mint a másik három mintánál. A fémpor3 használat előtti minta esetében tapasztaltuk mérés közben, hogy az alkalmazott amplitúdóval nem folyt le az összes frakció. Körülbelül a minta 5%-a fent maradt a csatornán.

3. ÖSSZEGZÉS

Alapvizsgálatot végeztünk forgalomban kapható három eltérő fémporon. A különböző vizsgálatokat használat előtt és használatot követően is elvégeztük, hogy összehasonlíthassuk a fémporok minőségének változását. Méréseinket használt porok esetében úgy végeztük, hogy a 63 µm feletti frakciót szitálással eltávolítottuk.

A mérési eredményeink azt mutatták, hogy jelentős változás nem jellemző a használt fémporok esetében összehasonlítva a használatot megelőzően.

A továbbiakban pontosabb információhoz szeretnénk jutni a finom frakció összetételét illetően, ezért szükséges a 32 µm alatti szemcseméreteloszlás megismerése. Célunk továbbá a kémiai összetétel vizsgálat, annak érdekében, hogy meg tudjuk állapítani, hogy változik-e a használatot követően a fémporoknak.

4. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők ezúton szeretnének köszönetet mondani Kovács Árpádnak a scanning elektronmikroszkópos felvételekért (ME AVK FKNI) és Halápi Dávidnak (ME AVK FÖI) a vizsgálat során nyújtott jelentős segítségért.

5. IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- 1 E. PEI, M. MONZÓN AND A. BERNARD, 2019: *Additive Manufacturing – Developments in Training and Education*, Springer International Publishing, 235 oldal, Switzerland
- 2 D. BOURELL ET ALL, 2017: *Materials for additive manufacturing*, CIRP Annals - Manufacturing Technology
- 3 B. REDWOOD, F. SCHÖFFER, AND B. GARRET, 2017: *The 3D Printing Handbook*, 3D HUBS, Amsterdam, The Netherlands
- 4 A. GEBHARDT AND J-S. HÖTTER, 2016: *Additive Manufacturing 3D Printing for Prototyping and Manufacturing*, Hanser Publications, 591 oldal
- 5 internetes elérés: <http://www.metalprinting.hu/3d-femnyomtatas/>
- 6 W. SCHATT, K-P. WIETERS, 1997: *Powder metallurgy: processing and materials*, European Powder Metallurgy Association, 492 oldal, Shrewsbury, UK
- 7 DR. TÖRÖK T., FERENCZI T., SZIRMAI G., 2011: *Pormetallurgia, Poranyagok gyártása és feldolgozása*, Nemzeti Tankönyvkiadó, 115 oldal