

Változó gyártási paraméterek hatásainak vizsgálata, 3D fémnyomtatással készített mintákon

Investigation of the effects of varying production parameters on samples made by 3D metal printing

CSITKÓ Zsolt

Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft.
Mérnöki Divízió H-3519 Miskolc, Iglói út 2.
e-mail: zsolt.csitko@bayzoltan.hu

Abstract

3D metal printing is an additive manufacturing technology in which progressive layers of material are built on top of each other to create the desired shape. In this article, the investigations of simple model geometries made by Laser Metal Deposition (LMD) are presented. The model geometries were made with the same material composition and varying manufacturing parameters. With the help of the above series of comparative studies, we draw conclusions about the effects of different production parameters on the product.

Keywords: 3D metal printing, Laser Metal Deposition, manufacturing technology, different production parameters, additive

Kivonat

A 3D fémnyomtatás egy additív gyártási technológia, melynek során progresszív anyagrétegek egymásra építésével hozzák létre a kívánt alakzatot. Ebben a cikkben 3D fémnyomtatással, lézeres felrakó hegesztéssel LMD (Laser Metal Deposition) – készített egyszerű modellgeometriák vizsgálatai kerülnek bemutatásra. A modellgeometriák azonos anyagösszetétel mellett, változó gyártási paraméterekkel készültek. Az összehasonlító vizsgálatsorozat segítségével következtetéseket vonunk le a különböző gyártási paraméterek termékre gyakorolt hatásairól.

Kulcsszavak: 3D fémnyomtatás, lézeres felrakó hegesztés, gyártási technológia; különböző gyártási paraméterek, additív

1. BEVEZETÉS

Napjainkban a 3D nyomtatás technológiák rendkívüli intenzív fejlődést mutatnak. A fémnyomtatás egy additív gyártási technológia, melynek során progresszív anyagrétegek egymásra építésével hozzák létre a kívánt [1].

A technológiát egyszerűen magyarázva a lézersugár a munkadarab felületén néhány mm³ térfogatú olvadékot hoz létre. A lézersugárral létrehozott tócsába többnyire inert gáz árammal juttatjuk a port. A munkadarabhoz képest haladó lézersugár mentén így egy megváltoztatott kémiai összetételű sáv alakul ki. A részleges átfedéssel kialakított egymás melletti sávokkal már tetszőleges kiterjedésű felületek lézersugaras módosítása is lehetséges [2]. A porral végzett lézersugaras felrakóhegesztés széles körben elterjedt olyan ipari alkalmazásokban, mint a gyors-prototípusgyártás, alkatrészek javítása, felületi bevonatolás és innovatív ötvözetfejlesztés. A két vagy több kémiai összetételében különböző por összekeverésének lehetősége és az egyes poráramok adagolási sebességének változtatása lehetővé teszi a lézersugaras felrakóhegesztés rugalmas eljárását heterogén szerkezeti anyagok előállítására [3].

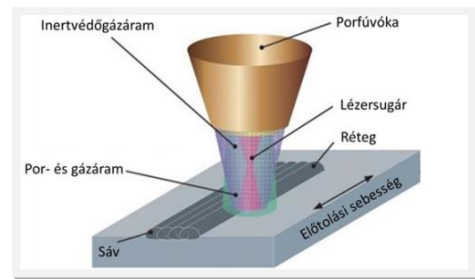
Ez a technológia lehetővé teszi, hogy a felrakóhegesztéssel létrehozott réteg kémiai és anyagszerkezeti jellemzői folyamatosan, céljainknak megfelelően változzanak [4].

A dolgozatban különböző paraméterekkel gyártott minták vizsgálatinak eredményét mutatom be.

2. KÍSÉRLETI MINTÁK ELŐÁLLÍTÁSI PARAMÉTEREI

A minták előállítása a TruLaser Cell 7020 típusú berendezéssel, mely egy 4 kW dióda sugárforrással van ellátva. A megmunkáláshoz MSO 70 (f:200mm) típusú LMD fejet használtunk, mely egy SO12 LMD fúvókával volt felszerelve. Az LMD nyomtatás minden esetben Metco 41C rozsdamentes ausztenites acélpor őrlémennyel történt, argon védőgáz használatával. A későbbi hordozó felület melyre a minták létrehozása megvalósult, egy 8 mm falvastagságú előmelegítés nélküli S235 típusú alaplap, vastábla volt (1. ábra). A 3D fémnyomtatás során a minta sorainak magasságát, felületi érdességét illetve a geometria hűsége, az alábbi paraméterekkel, lehet még befolyásolni:

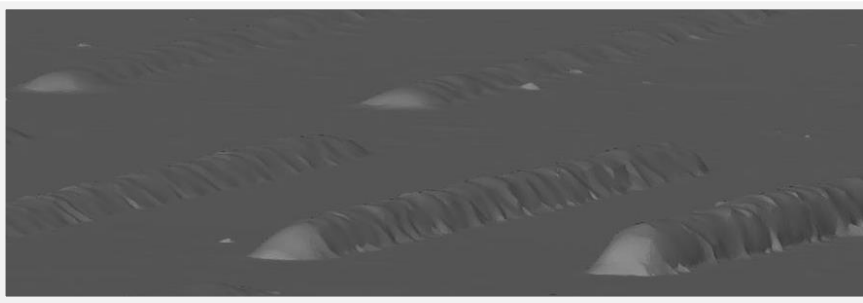
- Sugárforrás teljesítménye (W)
- Előtolás sebessége (m/min)
- Por tömegárama (g/min)
- Porvivő gáz sebessége (l/min)
- Munkagáz sebessége (l/min)
- Lézersugár üzeme (pulzáló/folyamatos)
- Lézersugár folt mozgató stratégiája
- Lézersugár foltátmérője (mm)



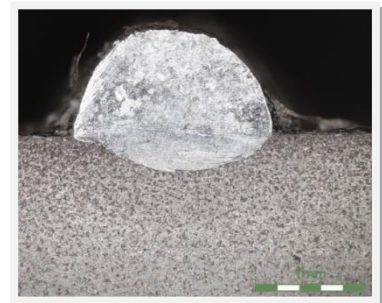
1. ábra. Gyártási elrendezés

Kísérleti minták létrehozása esetén két meghatározó paramétert változtattunk, mely az építést leginkább befolyásolja: A sugárforrás teljesítménye, 1,5 kW értékről 0,1kW-on ként 0,8kW-ig csökkentettük. Az előtolási sebességet pedig 1 mm/min sebességről 0,1 mm/min lépésközzel 0,2 mm/min értékig csökkentettük. A további paraméterek, a poradagoló fordulata 3 rpm, ami a 6,5 g/min portömegáramot biztosít, a porvivő gáz térfogatáram értéke állandó 7,5 l/min, a munkagáz térfogatáram értéke állandó 8 l/min volt. A lézersugár folyamatos üzemben, egy 100/400 μm -es DualCore optikai szál köpenyéből lépett ki, a felületen pedig 2 mm-es volt a foltátmérő.

A próbanyomtatások felületét GOM ATOS nagy pontosságú mérő berendezéssel digitalizáltuk (2. ábra), majd darabolás, csiszolás, polírozás és maratás segítségével, állítottuk elő a vizsgálandó minták keresztmetszeti felületeit (3. ábra).



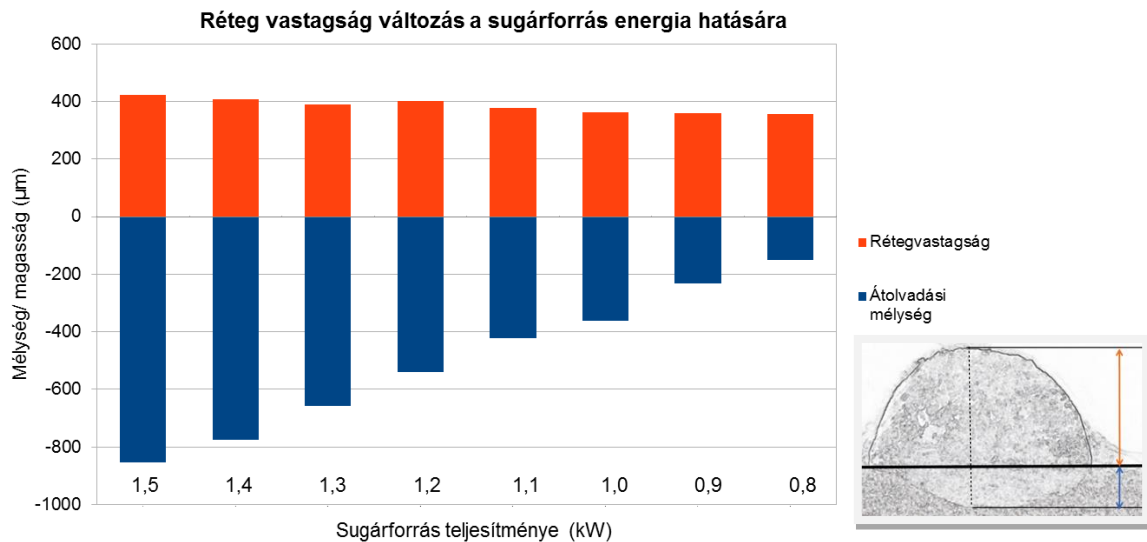
2. ábra. Kísérleti 3D nyomtatott minták digitalizált felvétele



3. ábra. Keresztmetszetei csiszolat

3. GYÁRTÁSI PARAMÉTEREK VÁLTOZTATÁSNAK HATÁSAI AZ EGYSOROS LÉZERNYOMTATOTT MINTÁKRA

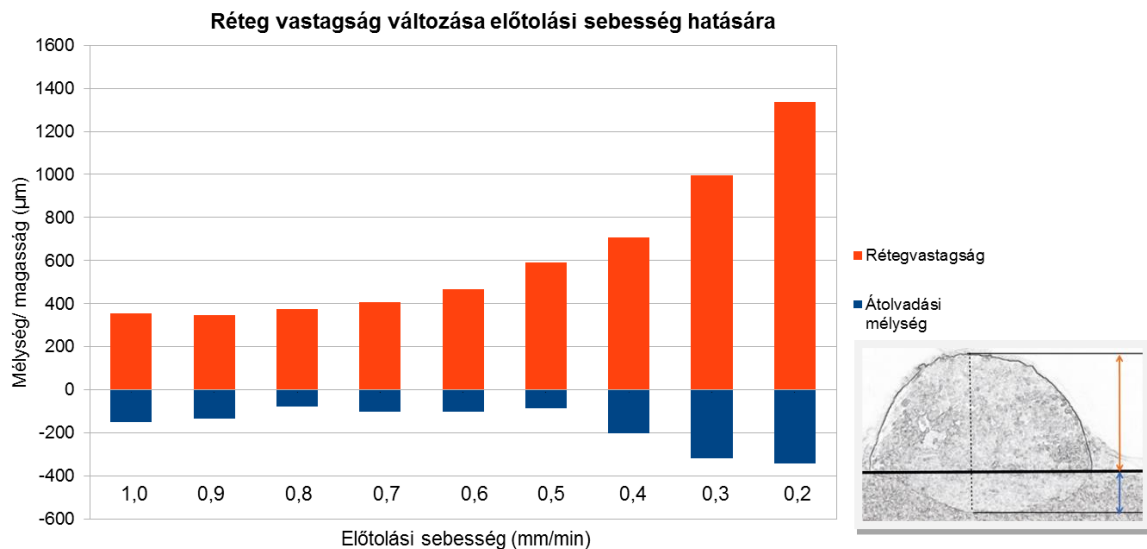
A következő részben a beolvadási mélység, illetve a rétegmagasság viszonyait grafikon segítségével szemléltetem. A sugárforrás teljesítményét változtattuk, az előtolás sebessége mindegyik esetben fix 1 m/min volt. A narancssárga terület a lézer nyomtatott réteg alaplap síkjától mért maximális magassága. A sugárforrás teljesítmény csökkentésével elenyészően kis mértékben csökken, a réteg (dudor) magassága. A kék terület az átolvasztott terület mélysége az alaplap síkjához viszonyítva. Az átolvasztás mértéke az teljesítmény csökkentésével jelentős mértékben csökken. A grafikonon (4. ábra) ábrázolt értékek segítségével megállapíthatjuk, hogy a többlet teljesítmény meghatározó része az átolvasztott területet növeli.



4. ábra. Rétegvastagság változása és a lézersugár teljesítmény kapcsolata

A fenti diagram alapján 800W teljesítménnyel készített réteget megfelelőnek találtuk, így ennek a paraméternek a rögzítése mellett az eddigi 1 mm/min előtolási sebességet változtattuk, csökkentettük egészen 0,2 mm/percig. A sebességcsökkentés 0,1 mm/min-es lépésközzel történt.

A grafikonon (5. ábra) ábrázoltak alapján, megállapíthatjuk, hogy a narancssárgával ábrázolt nyomtatott réteg magassága a sebesség csökkentésével fordított arányban egyre nagyobb mértékben növekszik. Továbbá megállapítható, hogy a kék színnel szemléltetett átolvadási mélység 1-0,5 mm/min szakaszban elenyésző mértékben csökken, majd ezt követően emelkedni kezd az átolvadás mértéke.



5. ábra. Rétegvastagság változása és az előtolási sebesség kapcsolata

Mivel a célunk a 3D fémnyomtatás hatékonyságának növelése ezért a továbbiakban, a vizsgált paraméterek közül a optimálisnak vélt 0,8 kW értékű sugárforrás teljesítményt használjuk. A rétegépítésre alkalmazott optimális előtolási sebességet 0,4 mm/min értékre határoztuk meg. Így a gyártási folyamat gyorsul, a rétegépítés hatékonysága is megfelelő, a vizsgált tartományra vonatkoztatva. A vizsgált mintákon felületi érdességet is vizsgáltunk, a mérések alapján megállapítható, hogy az előtolási sebesség csökkentésével az Ra felületi érdesség növekszik; Ra: 4µm- 12µm értékig, a lézersugár teljesítményével egyértelmű összefüggést nem lehet megállapítani.

4. MEGHATÁROZOTT PARMÉTEREKSEL ÉPÍTETT FAL ELEMELK VIZSGÁLATAI

További vizsgálatokhoz több réteg egymásra építésével különböző méretű fal elemeket gyártottunk. Ennek során 6 db kísérleti minta lett kialakítva, melyek 3-6-9-12-15-18 réteggel rendelkeztek. A korábbi kísérleti mintáktól (5. ábra) eltérően ezek a minták, GOM ATOS digitalizáló rendszerrel vizsgálva, megállapítottuk, hogy a geometria alaktartásuk nagymértékben javult. Keresztmetszetek metallográfiai vizsgálat (6. ábra) során a rétegek magasságai egymáshoz viszonyítva összhangban voltak, elcsúszás, illetve egyéb alakiságra ható hiba nem volt megállapítható. A rétegek ideális helyzetben egyvonalban, egymás tetején helyezkedtek el.

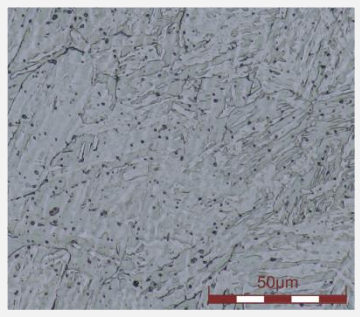
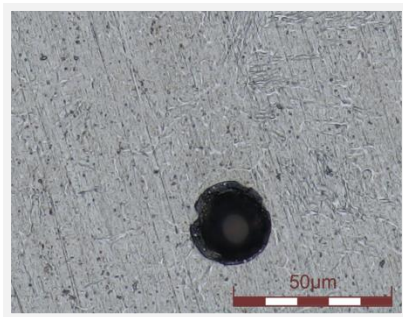
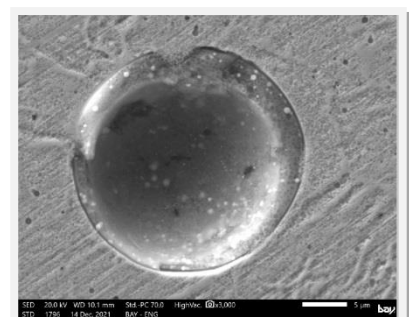


5. ábra. Korábbi hibás mintán, elcsúszott rétegek



6. ábra. Megfelelő, réteg elhelyezkedés a jó mintán

A gyártott mintákon az alaplaptól távolodva minták középvonalában keménység traverzeket vettünk fel, melyek összehasonlítása során nem fedezhető fel érdemi különbség. Ugyanez elmondható a szövetszerkezet vizsgálatra is, mely során megállapítható mindegyik minta esetében, hogy a szövetszerkezet az ausztenites alapanyag, olvadék fázisának megfelelő morfológiájú. Megállapítható hogy mindegyik minta esetén 1-2 μm -os gázzárványok láthatók, (7. ábra) a minta teljes felületén homogén eloszlásban. Fontos megemlíteni, hogy jellemzően a 7-9. réteg magasságát követően a minták keresztmetszetén 3-6 db nagyobb 20-50 μm -os gázzárványok (8. ábra) láthatók, ezek további vizsgálata SEM berendezéssel történt. A gázzárványon egy kéreg rész látható (9. ábra), a vizsgálat során megállapításra került, hogy az üreg belső felszíne O és Si, valamint kis mértéken Al, Mn, és Ti tartalmú.

7. ábra. 1-3 μm -os gázzárványok8. ábra. 25 μm -os gázzárvány

9. ábra. gázzárvány kéregrétege

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Lézersugaras felrakóhegesztéssel (LMD) kísérleti mintákat hoztunk létre rögzített paraméterek mellett. A minták lézersugár teljesítményét, illetve az előtolási sebességet változtattuk. Vizsgálatok eredményei rávilágítottak, hogy a többlet teljesítmény nagy része, a réteg alatti térrész átolvasztásában vesz részt, ezért ennek csökkentése a réteg magasságot nem befolyásolja. Az előtolási sebesség megválasztása is fontos paraméter, a sebesség növelésével jelentősen csökken a rétegmagasság. A felépített, több rétegből álló mintákon megállapítható, hogy sikerült olyan paramétereket találni mellyel stabil, elvárhatóan mérethű fal építhető. További vizsgálatokat szükséges elvégezni, a 7-9. réteg után megjelenő nagyobb méretű gázzárványok kialakulása kapcsán.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Asthana, R., Kumar, A., & Dahotre, N. B. *Powder Metallurgy and Ceramic Forming*. Materials Processing and Manufacturing Science, 167–245. 2006
- [2] Simone Zanzarin: *Laser Cladding with metallic powders*, University of Trento Department of Industrial Engineering, 2015
- [3] „Lézeres felrakóhegesztés (LMD) | TRUMPF” elérhető: https://www.trumpf.com/hu_HU/alkalmazasok/additiv-gyartas/lezeres-felrakohegesztes-lmd/ [Megtekintés: 2022.02.21.]
- [4] Dr. Török Tamás, Ferenczi Tibor, Szirmai Georgina: *Pormetallurgia Poranyagok gyártása és feldolgozása*, Nemzeti Tankönyvkiadó, 2011.