

3D Fémnyomtatott minták rétegződésének változása, különböző gyártási paraméterek esetén

Change in layering of 3D metal printed samples, in the case of different production parameters

CSITKÓ Zsolt

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

Abstract

Nowadays LMD (Laser Metal Deposition) technique is one of the most developing additive manufacturing method. During the manufacturing process, by overlay welding of different layers, the required geometry of products can be created. This article deals with the effects (formality, material discontinuities and whole geometry of products) of different layers on each other, in case of one line width, multilayer products. Inspected model products were produced from same base material, but with different production parameters, so differences detected during inspections might give additional information for further optimisation process of production.

Keywords: Laser Metal Deposition, laser overlay welding, 3D metal printing, manufacturing technology, additive manufacturing

Kivonat

Napjainkban az LMD (Laser Metal Deposition) technológia egyik legnagyobb fejlődést mutató additív gyártástechnológiai eljárás. A folyamat során felrakó hegesztéssel az anyagrétegek egymásra építésével kívánt alakzatot, termékeket hozhatunk létre. Ez a cikk, az egy sor szélességű, több rétegű minták esetén, az egymás fölé helyzet rétegek, egymásra gyakorolt hatását, (alakiságot, anyagfolytonossági hiányokat) illetve a teljes minták geometriai alaktartását vizsgálja. A vizsgált modellminták azonos anyagösszetétel, de eltérő gyártási paraméterek mellett készültek, így a vizsgálatok során látható eltérések, a további gyártás optimalizálás során, fontos további információt adhatnak.

Kulcsszavak: LMD, lézeres felrakó hegesztés, 3D fémnyomtatás, gyártási technológia, additív gyártás

1. Bevezetés

A 3D fémnyomtatás (LMD) gyártástechnológia napjainkban rendkívül nagymértékű fejlődést mutat. A lézeres fémnyomtatás egy olyan additív gyártási eljárás, amelyek során fémporokból, nagy teljesítményű lézergusár segítségével anyagrétegeket építhetünk egymásra, így létrehozva a kívánt formát. Az LMD technológia folyamatosan fejlődik, és alkalmazása egyre elterjedtebbé válik az iparban.

Az újabb lézer technológiák és a számítógépes vezérlés lehetővé teszik, hogy az eljárás még pontosabbá váljon, és számos előnyt kínáljon, mint például az idő és költséghatékonyság, mely leginkább a prototípus gyártási területén rendkívül fontos. Az LMD technológia segít a termelékenység növelésében, a minőség javításában és akár az alkatrészek javításában.

Röviden áttekintve az LMD technológia, lézergusaras felrakó hegesztésen alapul, ahol a lézergusár a munkadarab felületén néhány mm³ térfogatú olvadékot hoz létre. Az így létrehozott tócsába inert gáz árammal juttatjuk a fémport, mely a munkadarab felületén kialakítja a kívánt sávot. A lézergusár haladási stratégiájának vonalában, egy megváltozott kémiai összetételű sáv alakítható ki. A technológia lehetővé teszi részleges átfedéssel, a sávok egymás mellé, illetve egymás fölé helyezését, ezáltal tetszőleges kiterjedésű felületek

kialakítása lehetséges. [2][3]. A technológia rugalmas, heterogén szerkezeti anyagok előállítására is alkalmazható, mivel lehetővé teszi a kémiai összetételében különböző porok összekeverését, és ezeknek az összetevők poráramainak adagolhatóságát, illetve sebességének változtatását. [4].

Így elmondható, hogy az LMD technológia előnyei közé tartozik, hogy lehetővé teszi a felrakott rétegek kémiai és anyagszerkezeti jellemzőinek folyamatos változtatását, és hogy a technológia széles körben alkalmazható az iparban, mint például, felületi bevonatozás, prototípus készítés és innovatív ötvözetfejlesztés. [5].

A cikkben növekvő sorokból álló így eltérő magasságú minták vizsgálatinak eredményei kerülnek bemutatásra.

2. gyártási paraméterek, kísérleti minták előállítása

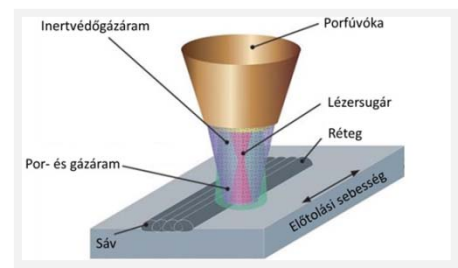
A vizsgálati minták előállítása egy TruLaser Cell 7020 típusú berendezéssel történt, amelyet egy 4 kW dióda sugárforrás szolgál ki. Az MSO 70 típusú LMD fejet használtuk a minták kialakításához. A gyártás során SO12 LMD fűvóka fejet használtuk. A minták gyártása során Metco 41C rozsdamentes ausztenites acélpor örlemény került felhasználásra, argon védőgáz használata mellett.

A korábbi tapasztalatok, illetve kísérletek alapján a minták létrehozása, egy 8 mm falvastagságú előmelegítés nélküli S235 típusú vastábla felületén történt (1. ábra).

A 3D fémnyomtatás során, 2 részben eltérő gyártási paraméterrel, 10-10 darab mintát hoztunk létre, melyeket a minta előkészítés után összehasonlítottunk. A minták sorainak számát az egymást követő darabokon 1-1 réteggel növeltük, így az eltérő magasságú minták alaktartását, illetve sorok egymáshoz viszonyulását vizsgáltuk. Továbbá anyagfolytonossági hibákat, szerkezeti és homogenitási eltéréseket kerestünk. [3]

A gyártás szemléltetése az alábbi képen látható, illetve, a legfőbb gyártást befolyásoló tényezők a következők:

- 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 mozgatás stratégiája
- Lézersugár foltátmérője (mm)



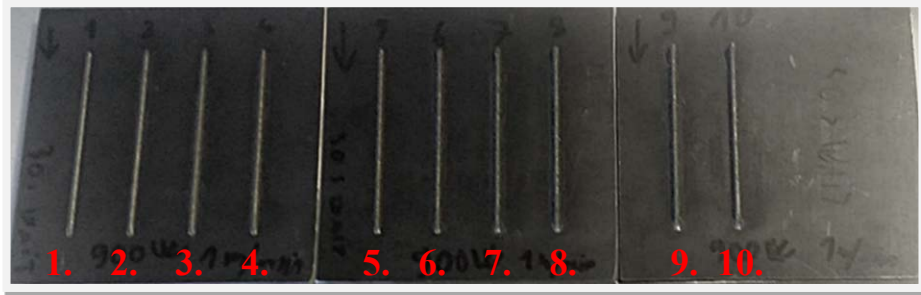
1. ábra. Gyártási elrendezés [6]

A kísérleti minták létrehozásakor korábbi munkám kapcsán megállapított legmegfelelőbbnek talált paraméterekkel történt a gyártás.

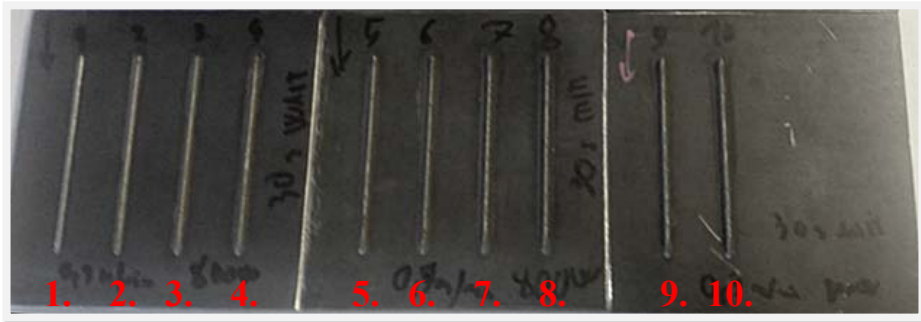
Az egyik paraméter a lézersugár teljesítménye volt, amelyet 900 W-os teljesítményen, és 1 m/min előtolási sebességgel használtunk, illetve a másik mintasorozat 800 W-os teljesítményen 0,7 m/min előtolási sebesség mellett készült. A fenti paraméter párosok használatával, több mintát gyártottunk a rétegeket egymásra helyezve emeletük az egyes minták magasságát 1-10 réteg magasságig. Az így kapott 20 db minta előállítása során, a további paramétereken nem változtattunk. A poradagoló fordulatszáma állandó volt, 3 rpm-nél, ez 6,5 g/min portömegáramot eredményezett. A porvivő gáz térfogatárama állandó 7,5 l/min volt, míg a munkagáz térfogatárama 8 l/min. A lézersugár folyamatosan működött, és egy 100/400 μm -es DualCore optikai szálon keresztül jutott ki a felületre, ahol 2 mm-es foltátmérőt hozott létre.

Az elkészült próbaminaták az alábbi fotókon (2-3. ábra) láthatók, ezek hossza ~25mm.

Az így kapott mintákat a középső harmadában daraboltuk, műgyantába ágyaztuk, és mintánként 3-3 keresztmetszeti csiszolatot készítettünk. A végső polírozást 1 μm gyémánt szuszpenzióval végeztük, és a maratás során, viella reagens marószert alkalmaztunk ~30s-ig. A vizsgálatokat az így kapott 30-30 darab keresztmetszeti csiszolaton végeztük el.



2. ábra. 1. minta sorozat 900W és 1m/min előtolási sebességgel előállítva, rétegmagasság: 1-10

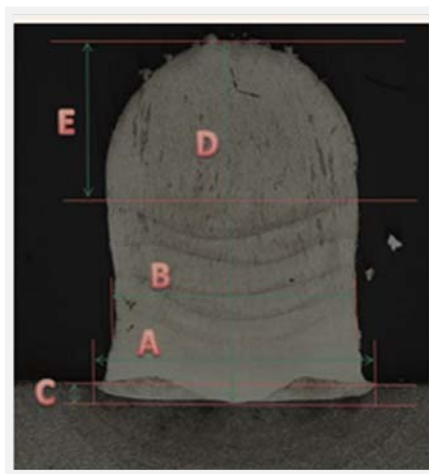


3. ábra. 2. minta sorozat 800W és 0,7m/min előtolási sebességgel előállítva, rétegmagasság: 1-10

3. Sorok rétegződésének hatásai a Többsoros lézernyomatott mintákra

A következő részben a keresztmetszeti csiszolatokon végzett geometriai vizsgálatok eredményét mutatom be. Vizsgálatok során mértük a minták (4. ábra) beolvadásánál mérhető átlagos szélességét ($A_{\text{átlag}}=1850\mu\text{m}$) illetve a minták átlagos szélességét 0,2 mm magasságban ($B_{\text{átlag}}=1645\mu\text{m}$), ezen értékek érdemi eltérést nem mutattak a két mintasorozat között. A minták beolvadási mélysége (C) esetén, a 900 W, 1 m/min mintasorozat átlagosan 205 μm volt, a 800 W, 0,7m/min paraméterekkel gyártott minták, átlagosan 120 μm beolvadási mélységgel rendelkeztek

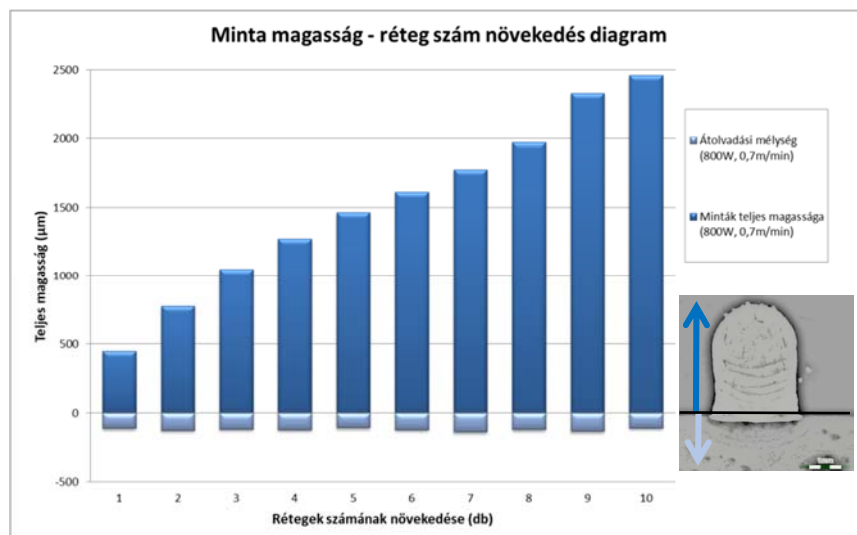
A minták teljes magasságát (D), a teljesség kedvéért a beolvadási mélységgel (C) együtt, az alábbi diagramokkal mutatom be (5-6. ábra). Továbbá a záró sor magasságának ($E_{\text{átlag}}=860\mu\text{m}$) értékei között nem lehetett érdemi változást felfedezni.



4. ábra. Keresztmetszeti mintán vizsgált területek bemutatása

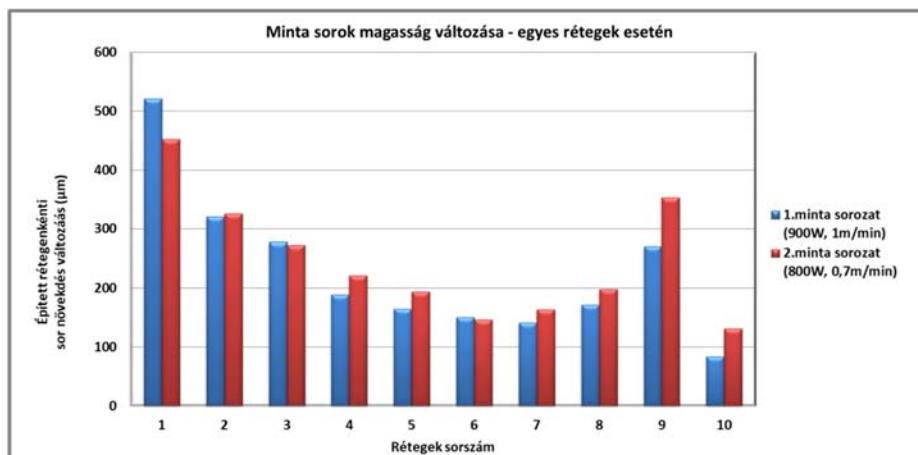


5. ábra. Minta magasság –rétegszám növekedés diagram 900W, 1m/min gyártási paraméterű minta esetén



6. ábra. Minta magasság –rétegszám növekedés diagram 800W, 0,7m/min gyártási paraméterű minta esetén

A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy a nagyobb teljesítményű mintasorozat esetén a kezdeti anyagvastagság nagyobb volt, de a 10. sornál a teljes magasság elmaradt a kisebb teljesítményű, de lassabb gyártással készített mintákhoz képest, utóbbi esetben a kezdeti beolvadási mélység is kisebb mértékű. Még jobb szemléltetés céljából a következő diagramon (7. ábra).



7. ábra. Minta sorok magasságának változása, adott sorszámú sorok esetén

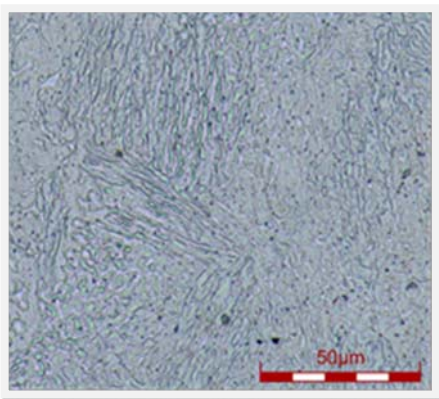
Ezek alapján a megállapítható, hogy mindkét gyártási paraméterek esetén a 6.-7. sorkörnyezetében a legkisebb a rétegnövekedés mértéke. Az utolsó sornál tapasztalható rendkívül kismértékű növekedés okának meghatározása további vizsgálatokat igényel.

4. többrétegű minták további mikroszkópos vizsgálatai

Mindkét mintasorozatot 1500X-os nagyítás mellett vizsgáltuk, megállapítható volt, hogy 15 μ m-nél nagyobb gázzárványt a vizsgált keresztmetszeteken nem láttunk, anyagfolytonossági hiánytól mentes homogén, az LMD eljárásra jellemző szövetszerkezetet mutatott (8. ábra).

A legmagasabb 10 sorból álló mintákról hosszirányú csiszolatok is készültek, ezek a felvételek, a sorok folytonosságát és egyenletes, állandó magasságú rétegeket mutattak. (9. ábra).

Keménység vizsgálatok is készültek, melyek egyik minta esetén sem mutattak jelentős eltérést, a mért HV10 értékek 166 és 189 között változtak.



8. ábra. Metelografiai felvétel 1500x



9. ábra. Egyenletes sormagasság szemléltetése

5. Összefoglalás

3D fémnyomtatásos eljárással (LMD) kísérleti mintákat gyártottunk, melynek során korábban kísérlet sorozattal megállapított paraméterekből, kettő került változtatásra, a többi rögzítettük. A változtatott paraméterek által egy nagyobb teljesítményű és gyorsabb (900W, 1m/min) gyártást alkalmaztunk, illetve egy kisebb energiával rendelkező lassabb (800W 0,7m/min) eljárást. A legyártott mintadarabokon a sorok magasságát 1-10-ig növeltük. Ezen mintadarabok keresztmetszeti csiszolatait vizsgáltuk, és geometriai méréseket végeztünk. Megállapíthattuk, hogy a nagyobb energiával, nagyobb sebességgel gyártott minta kezdeti sorépítése, illetve a beolvadási mélysége nagyobb, de néhány sort követően a kisebb energiával és lassabb sebességgel rendelkező gyártás tűnik hatékonyabbnak. A teljes gyártási magasságot tekintve, ez utóbbi eljárás magasabb mintát épít. Továbbá egyértelműen megfigyelhető, hogy a beolvadási mélység kedvező irányba módosul, kisebb mértékű.

A kezdeti sormagasságtól a 6.-7. sorig megfigyelhető folyamatos csökkenés, ezután a rétegek magassága ismét folyamatos emelkedést mutat. A 10. sornál fellépő visszaesés okának meghatározása, további vizsgálatokat igényel.

A szövetszerkezetet minden esetben a fémnyomtatásra jellemző, jellegzetes ausztenites alapanyag olvadék fázisára jellemző morfológiát mutat, mindkét gyártási eljárás esetén. A keresztmetszeti csiszolatokon látható gázzárványok mérete és mennyisége a korábbi kísérletekhez képest jelentősen csökkent. (<15 μ m). A hosszirányú csiszolatokon homogén szerkezet, és egyenletes sormagasságok láthatók. A gyártott minták középvonalában több ponton keménységmérést végeztünk, az eredmények összehasonlítása alapján, nem fedezhető fel érdemi különbség.

4. 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 Zanzerin: *Laser Cladding with metallic powders*, University of Trento Department of Industrial Engineering, 2015
- [3] Csitkó Zs: *Változó gyártási paraméterek hatásainak vizsgálata 3D fémnyomtatással készített mintákon*. XXX. Nemzetközi Gépészeti Találkozó, 2022.
- [4] „Lézeres felrakóhegesztés (LMD) | TRUMPF” elérhető: https://www.trumpf.com/hu_HU/alkalmazasok/additiv-gyartas/lezeres-felrakohegesztes-lmd/ [Megtekintés: 2022.012.19.]
- [5] Dr. Török T., Ferenczi T., Szirmai G.: *Pormetallurgia Poranyagok gyártása és feldolgozása*, Nemzeti Tankönyvkiadó, 2011.
- [6] Kiss L., Juhász G., Csitkó Zs.: *LMD technológia modellezési lehetőségei*, Anyagvizsgálók Lapja 2022/1