

ADDITÍV FÉMNYOMTATÓ SZERSZÁMGÉPEK

Kiss Lotár László

*gépészmérnöki szakos MSc hallgató, Miskolci Egyetem
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: lotar@skylan.hu*

Absztrakt

A 3D-nyomtatás, mint újszerű gyártási módszer egyre inkább terjed, és borítottja fel a megszokott ipari konvenciókat. Míg eddig leginkább műanyag alkatrészek gyártásában kapott főszerepet, jelenleg egyre jobban terjednek a fém alapanyagú verziók is. Neves szerszámgép gyártók, mint pl. a DMG Mori, vagy a GE szállnak versenybe egymással, hogy a technológiát megvalósító berendezéseket alkossanak az ipar számára, ahol pedig egyre növekvő piaca van az ilyen gépeknek. Cikkem igyekszik választ adni arra a kérdésre, hogy hol van a helye ezeknek az eszközöknek az iparban, tekinthetőek-e szerszámgépeknek és alkalmazhatóak-e rájuk a szerszámgépek felépítését leíró/feltáró eljárások.

Kulcsszavak: *fémnyomtatás, 3D nyomtatás, szerszámgép, definíció, morfológia, funkcióblokk-vázlat*

Abstract

The 3D printing, as a modern manufacturing method, is becoming more widespread and overrides the usual industry conventions. While it was mainly known in the production of plastic parts, nowadays metal-based versions are also becoming more widespread. Reputable machine tool manufacturers such as DMG Mori or GE compete with each other to create equipment for this technology for the industry, where there is a growing market for such machines. My article seeks to answer the question of where these tools have a place in the industry, whether they can be considered as machine tools, and decide that the procedures describing the construction of machine tools could be applied to them.

Keywords: *metal printing, 3D printing, machine tool, definition, morphology, function block sketch*

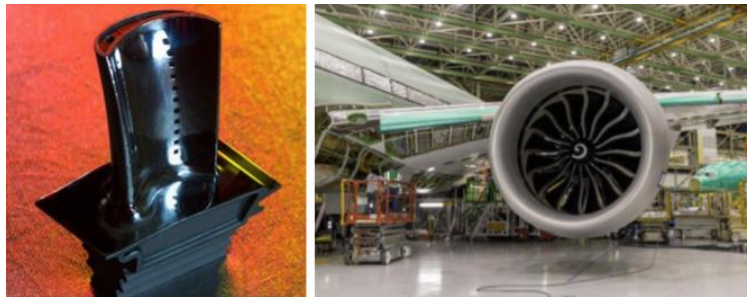
1. Bevezetés

A fémnyomtató eljárások, hasonlóan a műanyagos változatokhoz, az RPT (rapid prototyping, gyors prototípusgyártó) eljárásokból származtathatóak, és ezek az alapok a jelenleg iparban használt gépeken is felfedezhetőek. Habár az elnevezések sok esetben eltérnek, de alapvetően a legtöbb megvalósítás a DED (direct energy deposition, lézeres felrakóhegesztés), és a PBF eljárás (powder bed fusion, porágyas összeolvasztás) valamelyik alváltozatoként kezelhető.

Míg a lézeres felrakóhegesztés esetében a munkadarabot lehet bővíteni további geometriákkal, akár egy CNC forgácsoló szerszámgépbe szerelt plusz fej segítségével (hibrid megmunkálás), addig a PBF esetében fémporból, rétegenként, egy lézer energiájának segítségével épül fel a teljes munkadarab. Mivel ez utóbbi tekinthető önálló eljárásnak és berendezésnek, ezért a továbbiakban a cikk erre a technológiára, és ezt a technológiát megvalósító megmunkáló berendezések vizsgálatára korlátozódnak. Cikkünkben röviden kitérünk a fémnyomtató berendezések felhasználási területeinek ismertetésére, vázoljuk szerszámgépek területén jelenleg elfogadott pozícióját, struktúraelrendezéseit, funkciókból fakadó strukturális megkötéseket, részegységek összevető vizsgálatát, valamint valós struktúraváltozatokat is bemutatunk.

2. Az ipari fémnyomtatás gyakorlati alkalmazásai

A fémnyomtató eljárásokat kutatva felmerülhet a kérdés, hogy miért van az egész technológiára szükség egyáltalán. Számptalan olyan munkadarab létezik, amelyet hagyományos technológiákkal nem, vagy csak nagyon nehezen lehet megvalósítani – ilyen pl. az alkatrész belsejében futó hűtőcsatornák esete, a nagy elforgácsolandó anyaghányaddal rendelkező alkatrészek esete, vagy a nehezen megmunkálható anyagminőségek és bonyolult geometriák kombinációja.



1. ábra. A Boeing hajtóművek 3D nyomtatott Ti-Al ötvözet lapátjai (Blades, Bones, 2013)

Egy konkrét példát mutat az 1. ábra, ahol a Boeing Ti-Al ötvözetű magas hőmérsékleten igénybevett turbinalapátokat alakít ki belső hűtőcsatornákkal. Egy ilyen geometria, ilyen anyagból történő kialakítása hagyományos eljárásokkal nem gazdaságos, és rendkívül körülményes.

A 2. ábra egy másik példát mutat, amely megmutatja, hogy a fémnyomtatás új lehetőségeket ad a tervezés területén is. A két alkatrész terhelhetőség szempontjából azonos merevséget nyújt, mégis látható, hogy az alsó változat töredéke annyi anyagból elkészíthető, mint a forgácsolt verzió.



2. ábra. Egy konzol lehetséges kialakítása forgácsolással, és 3D nyomtatással (GE, 2017)

A két alkatrész geometria teljesen más tervezési megközelítést igényel, míg az elsónél minél egyszerűbb alakzatokat, a szerszámokkal való hozzáférhetőséget kell szem előtt tartani, a másik esetben a funkcionális felület közötti leghatékonyabb térkitöltést és összeköttetést. Ez lehetőséget biztosít pl. az autóiiparban jelenleg trendnek számító tömegcsökkentés kivitelezésére, amit ilyen mértékben hagyományos eljárásokkal nem lehetett eddig megoldani.

3. A fémnyomtató berendezés, mint szerszámgép

Egy fontos, és jelenleg az iparban is vitatott kérdés, hogy tekinthetőek-e ezek a gépek szerszámgépnek. E kérdés eldöntéséhez a szerszámgép (Takács et al., 2009 b)-ban említett definícióját veszem segítségül.

„A szerszám gép tágabb értelemben olyan gép, amely a munkadarabokat a gépbe fogott szerszámokkal az ember által közölt információ szerint, emberi erőfelfejtés nélkül alakítja át.

A munkadarab anyaga szerint fém-, fa-, műanyag- stb. megmunkáló szerszámgépeket különböztetnek meg.”

A definíció tágabb értelmű megfogalmazása mindenféle módosítás nélkül értelmezhető PBF berendezésekre is, ha a munkadarabnak a port, a szerszámoknak pedig a lézert vesszük. Értelemszerűen ezek a gépek a fémmegmunkáló szerszámgépek csoportjába tartoznak.

„Szűkebb értelemben a szerszámgépek fémmegmunkáló gépek, melyek lehetnek forgács nélküli megmunkáló szerszámgépek (sajtók, kalapácsok, hengerlő, hajlító, stb.), és forgácsoló szerszámgépek (esztergák, fűrő-, maró-, gyalu-, véső-, köszörűgépek, fogaskerék-megmunkáló gépek, stb.).

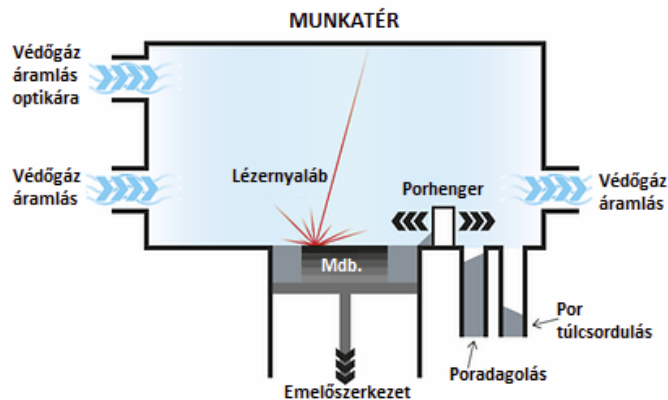
...
Az iparban a legfontosabb gépek a szerszámgépek mert a gépek közül csak a szerszámgépek képesek saját maguk reprodukálására, de bármilyen más gépet is el lehet velük készíteni.”

A szűkebb definícióban ugyan konkrétan nincs ezeknek a gépeknek kategória még, vagy a forgács nélküli gépek közé lehet őket sorolni, vagy megfontolandó hogy későbbiekben a „forgácsoló” szó helyett „anyag elvételével/hozzáadásával” jelenjen meg.

Minthogy a definíció kulcsmondata az, hogy az ilyen gép legyen képes önmaga reprodukciójára, ami maximálisan teljesül ezekre a gépekre, a cikk további részében szerszámgépeknek tekintem a PBF fémnyomtató berendezéseket.

4. Konstruktív megkötések, és sajátosságok

A vizsgálat megkezdése előtt általánosságban érdemes megnézni, hogy milyen kötöttségekkel és sajátosságokkal rendelkeznek a PBF fémnyomtató szerszámgépek, amihez tekintsük a 3. ábra vázlatát.



3. ábra. Additív gyártás szelektív lézeres olvasztással (SLM) porágy esetén (DMG Mori)

Mind az ábra, mind pedig az elterjedt ipari megvalósítások azt mutatják, hogy a PBF gépek működése úgy modellezhető, hogy van egy porágy és egy porhenger, ahol az ágy süllyesztését követően a porhenger elteríti egy rétegvastagságnyi port.

A porréteg elterítése után egy lézernyalábbal végigpásztázzák a munkadarab teljes keresztmetszetét, majd az asztal süllyedését követően a folyamat ismétlődik. Az eljárás működésének menetét vizsgálva az alábbi kötöttségek állapíthatók meg:

1. A por elterítése gravitációs módon a legegyszerűbb, ezért az asztalnak alul, vízszintes helyzetben kell elhelyezkednie.
2. A lézernek a porágy ellenoldalán kell elhelyezkednie, így az felülről fog dolgozni.
3. A lézernek le kell tudnia fedni a teljes munkateret úgy, hogy lehetőleg egy adott határszögnél laposabb szögben ($\sim 45^\circ$) ne essen be, mivel akkor inkább olvaszt oldalra, mint lefele.
4. A védőgáz ellátás lehetőleg lamináris legyen, hogy ne kavargja fel az ágyról a port.

Ez meglepően sok kötöttség egy CNC forgácsoló géphez képest, viszont látható lesz később, hogy a lézer mozgását tekintve így is nagyon sok lehetőség lesz.

A sajátosságok vizsgálata előtt érdemes a (Takács et al., 2009 a) forrás alapján a D-szám definícióját ismertetni, hogy miként értelmezhető ez ilyen szerszámgépek esetén.

„A soros kinematikájú szerszámgépeknél „D”:

az alakítási mechanizmusban lévő azon részegységek száma, melyek valamilyen elemi transzformációt (eltolást, vagy elforgatást) képesek önállóan és egyidőben megvalósítani, a szerszám és a munkadarab közötti relatív mozgás létrehozása során”

A definíció szerint, mivel csak az önálló, és egyidejű mozgás megvalósításokat kell figyelembe venni megállapítható, hogy a PBF szerszámgépek 2D-sek (vagy az ipari konvenciók szerint 2,5D-nek is nevezhető), hiszen az asztal mozgása nem egyidejű a lézer mozgásával, és mindössze csak pozicionáló, léptető szerepet tölt be. Belátható az is, hogy az asztal mozgását, a lézer fel-le mozgása nem tudja helyettesíteni, mivel ez a porterítéshez szükséges.

Korábban a szerszámgép definíciójának újraértelmezése során egy analógia lett felállítva, miszerint a lézer a szerszám, és a por a munkadarab. Ennek megfelelően a továbbiakban, a porasztalra merőleges, a lézertől kifelé mutató tengely lesz a szerszámgép Z+ tengelye, és a többi tengely pedig ennek megfelelően jobbsodratú koordináta-rendszert kialakítandóan megválasztott.

5. A lehetséges szerszámgép struktúrák mozgásmegosztás és rendűség alapján

Habár a korlátok nem adnak arra vonatkozóan előírást, hogy soros, párhuzamos, vagy vegyes kinematikai láncú gépet kell építeni, a továbbiakban a soros megoldások kerülnek vizsgálatra, mivel ezek egyszerűbbek, és jobb munkatér lefedéssel rendelkeznek (Takács et al., 2009 a). A kötöttségek és sajátosságok figyelembevételével a mozgásmegosztás és rendűség alapján megvalósítható szerszámgép struktúrákat a **1. táblázat**. *A lehetséges másodfokú szerszámgép struktúrák*1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. *A lehetséges másodfokú szerszámgép struktúrák*

| | Elsőrendű megoldások | Másodfokú megoldások |
|----|----------------------|----------------------|
| 1. | X(m), Y(m) | X(m,1), Y(m,2) |
| 2. | | X(m,2), Y(m,1) |
| 3. | X(m), Y(s) | X(m,1), Y(s,1) |
| 4. | X(s), Y(m) | X(s,1), Y(m,1) |
| 5. | X(s), Y(s) | X(s,1), Y(s,2) |
| 6. | | X(s,2), Y(s,1) |

A lehetséges variációkat áttekintve két lehetőség közül lehet válogatni – a porasztal, illetve a lézer oldalirányú mozgása. Az első esetben figyelembe kell venni, hogy a porasztal, ha teljesen meg van töltve porral, akár több tonna tömeget is jelenthet, ezért ennek precíz mozgása így nehézkes, és körülményes.

A lézernyaláb oldalirányú mozgásának megoldásaként szóba jöhetnek tükrök, illetve maga a lézer egység mozgása – első esetben az optikai eszközök védelme válik kihívássá, míg a második esetben pedig a védelem mellett még pl. az erősáramú kábelek megtörésének veszélye is fennáll.

Figyelembe véve, hogy milyen pontossági követelmények vannak ezekre a gépekre előírva, és hogy a porasztal tömege milyen komoly kihívást jelentene mozgatási szempontból, sokkal egyszerűbb a lézersugár mozgását a megfelelő védelem biztosítása mellett megoldani – így megállapítható, hogy a szerszámra szuperponált PBF szerszámgépek kialakítása a legcélszerűbb.

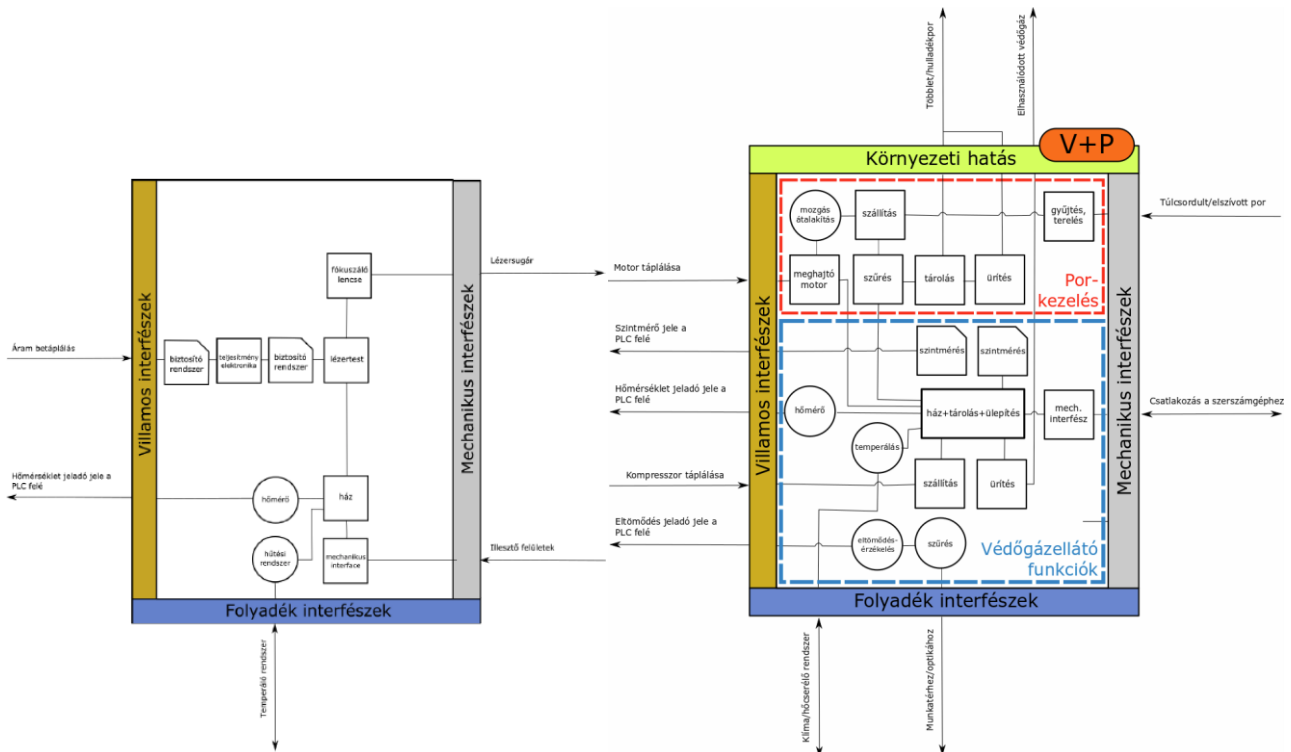
6. A PBF nyomtató fontosabb részegységeinek összehasonlító vizsgálata

Hasonlóan a forgácsoló szerszámgépekhez az iparban alkalmazott PBF szerszámgépek is kereskedelmi, vagy egyedileg gyártott részegységekből épülnek fel. Sok esetben ezek a részegységek, feladatukat, elhelyezkedésüket tekintve megfeleltethetőek a forgácsoló szerszámgépekben alkalmazott egységekkel. Az összevetendő részegységeket a

2. **táblázat** mutatja.

A vizsgálathoz az ún. funkcióblokk-vázlatok kerültek elkészítésre (formátumukat a (Takács et al., 2009 b) forrás tartalmazza), melyek jól áttekinthető grafikus formátumban megmutatják, milyen funkciókat kell megvalósítaniuk a részegységeknek, és összehasonlíthatóságot biztosítanak eltérő megoldások között.

Példaként a **4. ábra** bemutatja a lézer és védőgáz- és porkezelő alrendszer funkcióblokk vázlatát. Ha a forgácsoló gépek ábráit vesszük alapul a (Takács et al., 2009 b) forrást felhasználva látható, hogy a lézer-orsómotor kapcsolatnál komoly eltérések, míg a másik esetben komoly hasonlóságok vannak.



4. ábra. A lézer (bal), és a védőgáz/porkezelés (jobb) funkcióblokk-vázlata (Kiss, 2020)

2. táblázat. Az összehasonlítandó szerszámgép részegységek

| Forgácsoló sz.gép. | PBF szerszámgép |
|----------------------------|-------------------------|
| Orsómotor | Lézer |
| Hűtő-kenő rendszer | Védőgáz ellátó rendszer |
| Forgácskezelő rendszer | Porkezelő rendszer |
| Burkolatok | |
| Szánrendszerek | |
| Munkadarab-ellátó rendszer | Poreltávolító rendszer |
| Tartóelemek, állványok | |
| Szerszám-ellátó rendszer | - |
| - | Porhenger |

7. Egyes gyártók konkrét megvalósításai

A piacon kapható jelenlegi ipari megvalósításokat áttekintve megállapítható, hogy a dolgozat korábbi megállapításai alkalmazhatóak ezeknek a vizsgálatok is. Definiálhatóak olyan fogalmak ezekre a gépekre is, mint munkatér, megmunkálási pontosság, és fellelhetőek a korábban ismertetett részegységek, és sajátosságok is.

A gépeket egy terjedelmes tudás-mátrixba összefoglalva (Kiss, 2020) megállapíthatóak olyan átlagos paraméterek, amelyek körül mozognak a jelenleg piacon levő szerszámgépek, és később további tervezési feladatokhoz alkalmazhatóak. Ilyen értékek például a 350 x 350 x 350 mm-es munkatér méret, vagy a $\pm 0,03$ mm-es pozícionálási pontosság, melyek a legtöbb gépre illeszthetőek.

8. Összefoglalás

A cikk bemutatta a korszerű additív fémnyomtató eljárásokat, azok lehetőségeit, és iparban való elterjedtségüket. A szerszámgépek definíciójának újraértelmezésével megállapítható, hogy ezek a gépek igenis tekinthetőek szerszámgépeknek, és ezt alátámasztandó, ismertetésre került, hogy miként lehet a szerszámgép morfológiai, és a funkcióblokk-vázlatok segítségével vizsgálni ezeket a korszerű szerszámgépeket. A jelenleg piacon kapható berendezéseket tudás-mátrixban számba véve megállapíthatóvá váltak átlagos paraméterek, amelyek a funkcióblokk-vázlatokkal együtt alapot szolgáltathatnak PBF fémnyomtató szerszámgépek tervezéséhez.

Irodalom

- [1] Blades and Bones (2013, September). *The many faces of 3D printing*. www.ge.com
- [2] (2017, June). *3D-printed 'bionic' parts could revolutionize aerospace design*. www.ge.com
- [3] Takács, Gy., Zsiga, Z., Szabóné Makó, I., Hegedűs, Gy. (2009). *Gyártóeszközök módszeres tervezése*. Nemzeti Tankönyvkiadó. TAMOP 4.2.5
- [4] Takács, Gy., Szilágyi, A., Demeter, P., Barak, A. (2009). *Forgácsoló szerszám-gépek*. Nemzeti Tankönyvkiadó.
- [5] *DMG Mori LASERTEC 30 SLM* hivatalos specifikációi. en.dmgmori.com
- [6] Kiss, L. (2020). *Additív fémnyomtató szerszámgépek*. Tudományos diákköri dolgozat. Miskolc