Ipari fémnyomtatás

Alapanyagok

Szoftveres megoldások

Berendezések

Pammer Dávid
Ügyvezető igazgató
PaB Kft.

www.pab.hu

A prezentációban található tartalmak engedély nélküli felhasználása, másolás és megosztása jogi következményeket von maga után!

PaB Kft. bemutatkozás

A PaB Kft. célja, hogy egy **független, ügyfélközpontú additív gyártástechnológiai támogatást** tudjon kiemelt szolgáltatásokon keresztül biztosítani az ügyfelei számára.

„a jó nem elég, csak a tökéletes!"

Alapfogalmak

MSZ EN ISO/ASTM 52900-es terminológiákra vonatkozó szabvány a következő módon határoz meg: **Additív gyártás (AM – Additive Manufacturing), olyan folyamat, amely során a valós tárgy 3D-s modell adatok alapján, rétegről rétegre, alapanyagok összekapcsolódásával jön létre, ellentétben a szubtraktív és formaadó gyártási módszerekkel.**

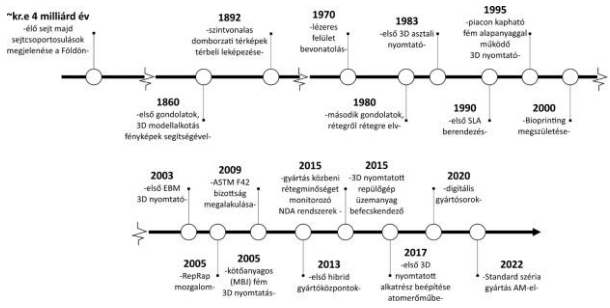
Az additív gyártás révén a továbbfejlesztett forma, funkcionalitás és megbízhatóság segíti a felhasználókat, hogy eleget tudjanak tenni **a költség, minőség** és **idő** hármas egységnek. A felhasználóknak el kell fogadniuk, hogy az additív gyártás egy a **hagyományostól eltérő irány**, amely akkor tud sikeres lenni, ha az ahhoz tartozó **új mérnöki és gazdasági szemléletmódot** alkalmazzák, és **nem konkurens eljárásként**, hanem **integrált rendszerként** tekintenek rá. Napjainkban a szubtraktív és additív eljárásoknak **egymás kiegészítéseként kell**, hogy működjenek. **Tévhit, hogy az additív technológia kiszorítja a meglévő eljárásokat.**

Additív gyártás alkalmazhatósága

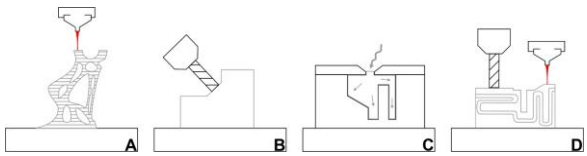
- A 3D nyomtatás a következőkre nyújt megoldást:
  - Visszamodellezett alkatrészek gyártása (Reverse Engineering)
  - Új fejlesztésekhez prototípusok készítése
  - Végfelhasználásra szánt funkcionális alkatrészek gyártása
  - Egyedi, kis és nagy széria gyártás
  - Digitális raktár
  - Direkt gyártás
  - Anyagfejlesztés
  - Struktúrák és egyéb extrém geometriák fejlesztése
- Mi kell ehhez?

ÚJ MÉRNÖKI SZEMLÉLETMÓD
(Think Additive)

AM történet



Különböző gyártási eljárások



A – Additív technológiák

B – Szubtraktív technológiák

C – Formaadó technológiák

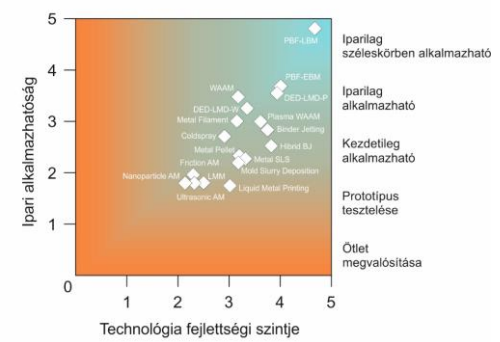
D – Hibrid technológiák.

AM eljárások

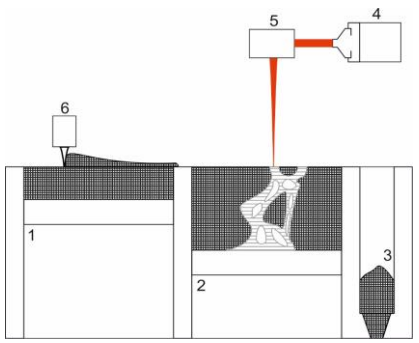
Eljárás típusok						
Binder Jetting (BJT)	**Direct Energy Deposition (DED)**	**Material Extrusion (MEX)**	**Material Jetting (MJT)**	**Powder Bed Fusion (PBF)**	**Sheet Lamination (SHL)**	**Vat Photo-polymerization (VPP)**
Binder Jetting (BJ) F,P,K,C	Laser Engineering Net Shape (LENS) F	Fused Deposition Modeling (FDM) P	Multi Jet Modeling (MJM) P	Multi Jet Fusion (MJF) F,P	Layer Laminated Manufacturing (LLM) F,P,C	Stereolithography (SLA) P
	Electron Beam Additive Manufacturing (EBAM) F	Composite Extrusion Modeling (CEM) F,P,C	Nano Particle Jetting (NPJ) F,K,C	Selective Laser Sintering (SLS) P	Laminated Object Manufacturing (LOM) F,P,C	Continuous Liquid Interface Production (CLIP) P
	Wire Arc Additive Manufacturing (WAAM) F	Paste Extrusion Modeling (PEM) E	Drop on demand (DOD) F,P,K,C	Laser Beam Melting (LBM) F	Ultrasonic Additive Manufacturing (UAM) F,P,C	Digital Light Processing (DLP) P
	High Velocity Oxygen Fuel (HVOF) F		Poly Jet Modeling (PJM) P	Electron Beam Melting (EBM) F	Friction Stir Additive Manufacturing (FSAM) F, P	Hot lithography (HL) P
						Lithography-based metal manufacturing (LMM) F

Megjegyzés: Alapanyag típusok: fém (F), polimer (P), kerámia (K), kompozit (C), egyéb (E)

AM eljárások



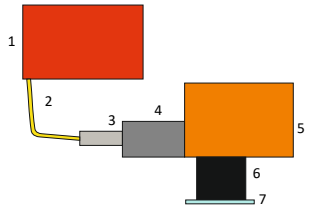
AM-PBF-LBM

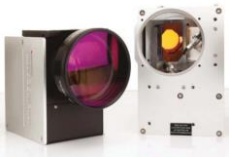


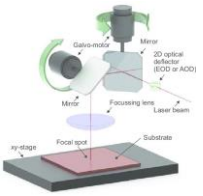
1-porkamra, 2-építőkamra, 3-túlfolyókamra, 4-lézerforrás, 5-szkenner, 6-terítőegység.

PBF eljárásnál alkalmazott lézerek és szkennerek

- Általános rendszer felépítés





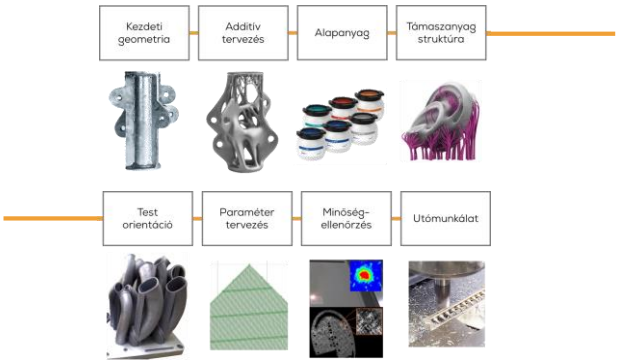


1. Lézer forrás
2. Optikai kábel
3. Kollimátor
4. Széttartó optika
5. Szkenner fej
6. F-Theta optika
7. Védő üveg

PBF-LBM eljárás

AM folyamat

AM folyamat

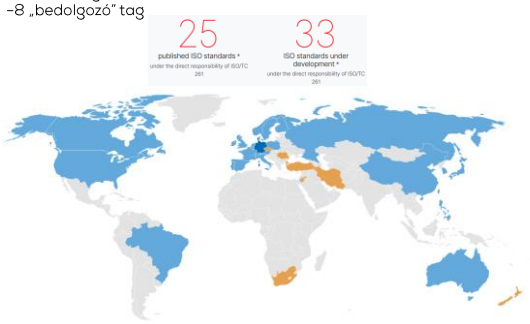


Világ AM helyzete

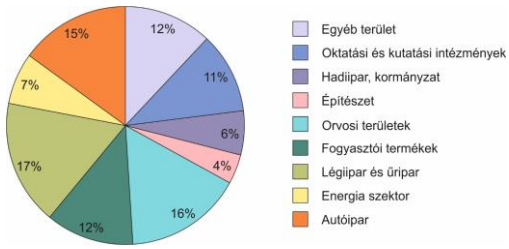
Világ AM helyzete

Világ AM helyzete

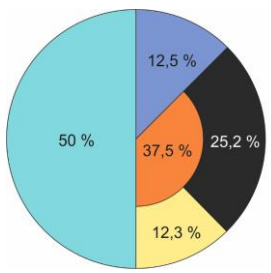
ISO/TC 261 tagországok
- 27 aktív tag
- 8 „bedolgozó” tag



Világ AM helyzete



Magyarország fém AM helyzete



- Oktatási és kutatási intézmények
- Fogtechnika
- Ipari szereplők, szolgáltatók
- Alkalomszerű használat
- Napi használat
  - Szerszámgyártás
  - Vegyipari alkatrészek
  - Általános gépalkatrészek
  - Orvostechnikai eszközök
  - Design eszközök

Itthon használt eljárások:
- L-PBF
- DED
- BJ
- FDM (kompozit)

Magyarország fém AM helyzete

Kellő tájékozottság nem csak az AM berendezésre vonatkozóan, hanem a teljes gyártási folyamatra, főként:

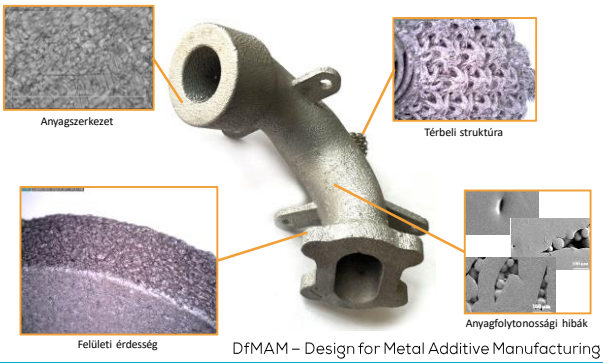
- AM folyamat/rendszer tervezése, környezet kiépítés, karbantartás
- AM-re tervezés
- AM technológiai paraméterek
- Minőség-ellenőrzés és minősítés
- Utómunkálatok

AM felhasználási irányok

AM felhasználási irányok

	Helyettesítés	Adaptálás	Optimalizálás
Idő	✓	Több idő	Több idő
Költség	Költségesebb	✓	Magas
Minőség	Gyenge	Kielégítő	✓

AM tervezés – DfAM



DfMAM – Design for Metal Additive Manufacturing

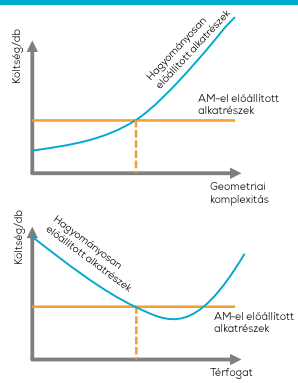
AM hatékonyság

Építési magasság csökkentése

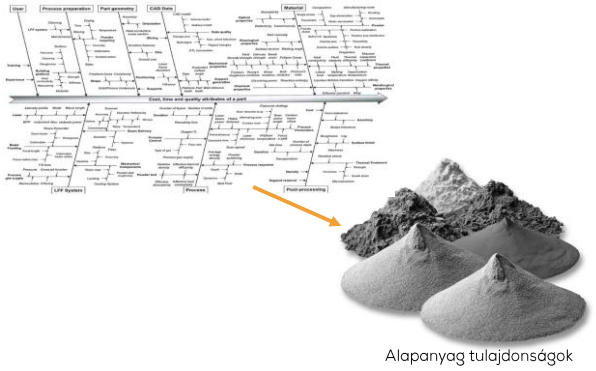
-Építési idő/költség
-Alapanyag felhasználás
-Utómunkálás

Hődeformáció csökkentése ← Minél kevesebb támaszték → Minél bonyolultabb geometria

AM üzleti modell

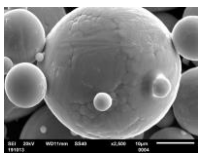
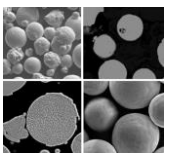
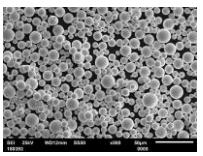
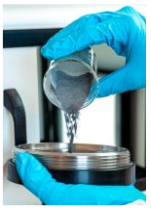
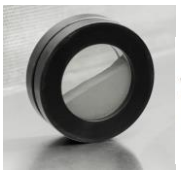


Felhasználható alapanyagok



Alapanyag tulajdonságok

Fémpor alapanyag

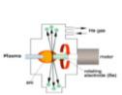
Fémpor alapanyag előállítása

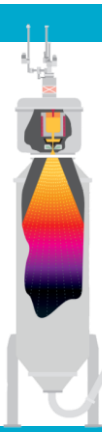
Nyílt-olvasztás

Indukciós olvasztás vákuum térben, inert gáz atomizáció (VIGA)

Elektróda indukciós olvasztása vákuum térben, inert gáz atomizáció(EIGA)

Plazma atomizáció


Plazma forgó elektróda atomizáció (PREP)

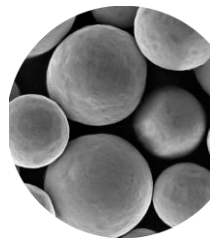


Fémpor alapanyag

- Alapanyag összetétel
- Szemcse méret
- Szemcse geometria
- Por sűrűség
- Por folyóképesség
- Por kontamináció

Fémpor alapanyag tulajdonságok

Alapanyag összetétel



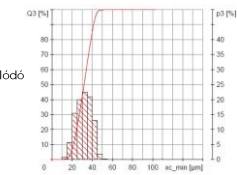
- Anyagában ötvözött
- Kémiai összetétel szemcsénként azonos
- Szennyezők minimális szinten tartása szemcsén belül és szemcsecsoportban

Hatása a nyomtatásra és a nyomtatott végtermékre:

- Anyagfüggő gyártástechnológiai paraméterek alkalmazása
  - Rétegvastagság, lézerteljesítmény, levilágítási struktúra, levilágítási sebesség, terítési sebesség, stb.
- Anyaghoz kapcsolódó inert gáz használata
- Azonos anyagösszetétel az egész testben
- Utókezelés hatására azonos anyagszerkezeti tulajdonságok

Fémpor alapanyag tulajdonságok

Szemcseméret



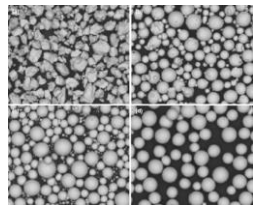
- Gyártástechnológiai paraméterekhez kapcsolódó mérettartományok
- Szemcseméret eloszlás (PSD)
- Tipikus szemcseméretek PBF-hez
  - -45+15 µm; -52+20 µm; -63+20 µm; -100+45 µm

Hatása a nyomtatásra és a nyomtatott végtermékre:

- Szemcseméretnek megfelelő gyártástechnológiai paraméterek alkalmazása
  - Rétegvastagság, terítési sebesség, terítési mennyiség, terítőlapát, lézer teljesítmény, levilágítási sebesség, offset, stb.
- Terítés homogenitása, alapanyag folyási képessége
- Terített por sűrűsége
- Porozitás mentes végtermék
- Egyenletes felületi minőség
- Egyenletes anyagszerkezet közvetlen gyártást követően

Fémpor alapanyag tulajdonságok

Szemcse geometria



- Szimmetrikusság, gömbölyűség
- Repedés, porozitás mentesség
- Ikerszemcse mentesség

Hatása a nyomtatásra és a nyomtatott végtermékre:

- Terítés homogenitása, alapanyag folyási képessége
- Terített por sűrűsége
- Porozitás mentes végtermék
- Egyenletes felületi minőség
- Egyenletes anyagszerkezet közvetlen gyártást követően

Fémpor alapanyag tulajdonságok

Por sűrűség

- A szemcseeloszlásnak köszönhetően lehető legjobb térfogat kitöltés (relatív sűrűség), rázás és egyéb tömörítést elősegítő folyamat nélkül

Hatása a nyomtatásra és a nyomtatott végtermékre:

- Terítés homogenitása, rétegvastagság
- Terített por sűrűsége
- Porozitás mentes végtermék
- Beégés veszélye kisebb
- Egyenletes felületi minőség
- Egyenletes anyagszerkezet közvetlen gyártást követően

Fémpor alapanyag tulajdonságok

Por folyóképesség

- Szemcsék egymáson való elgördülés min. erőhatás következtében
- Folyási sebesség
- Rendelkezésre álló térfogat, rések, anyaghiányos részek maximális kitöltése
- Nedvességtartalom

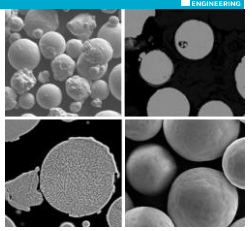
Hatása a nyomtatásra és a nyomtatott végtermékre:

- Terítés homogenitása, rétegvastagság
- Terített por sűrűsége
- Porozitás mentes végtermék
- Beégés veszélye kisebb
- Egyenletes felületi minőség
- Egyenletes anyagszerkezet közvetlen gyártást követően

Fémpor alapanyag tulajdonságok

Por kontaminació

- Idegen anyagok jelenléte a porszemcse felületén illetve belsejében
- Porszemcse belső szerkezetének kialakítása



Hatása a nyomtatásra és a nyomtatott végtermékre:

- Delaminációs problémák megakadályozása
- Beégés veszélye kisebb
- Porozitás mentes végtermék
- Egyenletes hőhatási övezet
- Egyenletes anyagszerkezet közvetlen gyártást követően

AM technológiai paraméterek

Ömledék tulajdonságok
- Folytonosság
- Hőmérséklet eloszlás
- Dermedési arány
- Rétegközi adhéziós kapcsolat

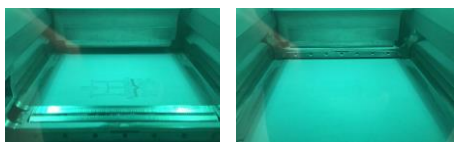
Lézer paraméterek
- Energia
- Lézernyaláb alak
- Levilágítási sebesség
- Levilágítási átfedés

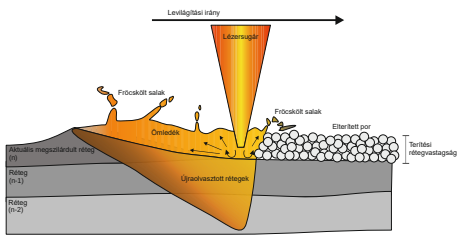
Elterített por tulajdonságok
- Hővezető képesség
- Szabad felületek nagysága

Folyamat optimalizálási paraméterek
- Energia
- Lézernyaláb alak
- Levilágítási sebesség
- Levilágítási átfedés
- Rétegvastagság
- Inertizáció
- Terítési sebesség

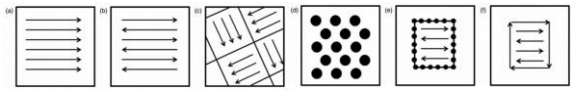
Alapanyag tulajdonságok
- Por homogenitás
- Szemcseméret
- Terítési rétegvastagság

AM technológiai paraméterek



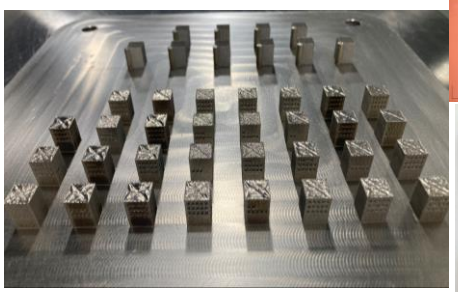


AM technológiai paraméterek



Paraméter fejlesztés alapanyaghoz

- Ügyfél igényeknek és az AM lehetőségeknek megfelelően paraméter fejlesztés adott alapanyaghoz.



Fémpor alapanyag

Al	Aluminium	m4p™ AlSi10Mg
		m4p™ AlSi9Cu3
		m4p™ AlSi7Mg
		m4p™ PureAl
		m4p™ StrengthAl
		m4p™ ResistAl
Cu	Kupfer Legierungen	m4p™ CuNiSiCr
		m4p™ PureCu
		m4p™ CuCrZr
		m4p™ Al-Bronze8,5
		m4p™ CuZn42
		m4p™ Bronze18
Fe	Rostfreie Stähle	m4p™ 316L
		m4p™ Fe-4542
		m4p™ Fe-4828
		m4p™ Fe-4011
		m4p™ Fe-4021
		m4p™ type13-X

Fe	Maraging Stähle	m4p™ C18plus
		m4p™ Fe-2739
		m4p™ MS2
Fe	Verschleißfeste Stähle	m4p™ Fe-2343
		m4p™ Fe-2344
		m4p™ type26
Fe	Vergütungsstähle	m4p™ CH100-Fe
		m4p™ Fe-7225
Fe	Einsatzstähle	m4p™ Fe-7131
Fe	Weichmagnetische Werkstoffe	m4p™ PureFe
		m4p™ FeSi2,9
		m4p™ FeSi6,5%
		m4p™ Fe49Co2V
		m4p™ FeCo50
Ni	Nickel Legierungen	m4p™ PureNi
		m4p™ Ni-718
		m4p™ Ni-625
		m4p™ Ni-X
		m4p™ Ni-247LC

W	Wolfram	m4p™ PureW
		m4p™ Hart12
		m4p™ Hart17
		m4p™ vWC
Ti	titan	m4p™ PureTi
		m4p™ Ti64 grade5
		m4p™ Ti64 grade23
Mo	Molybdän	m4p™ PureMo
Co	Cobalt	m4p™ CoFT75
Ta	tantal	m4p™ PureTa

- Egyéni igény alapján további anyag és AM paraméter fejlesztés
- Általános PSD-k:
  - -63+20 µm
  - -90+45 µm
  - -52+20 µm
  - -45+15 µm
  - -125+45µm
  - <-25 µm
  - -160+53 µm
  - -45+10 µm
  - -150+53 µm

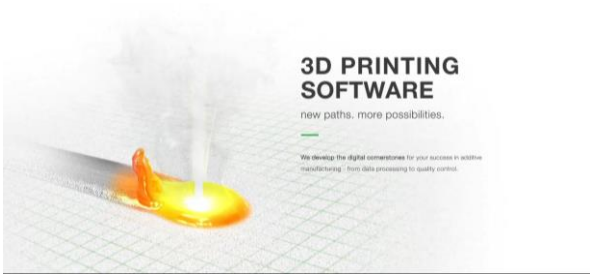
Magyarország fém AM helyzete

Alapanyagok iparágak szerint:

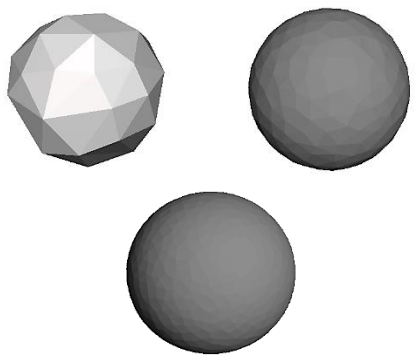
- Fogtechnika
  - CoCr
  - Titán ötövzetek
- Szerszámgyártás
  - 1.2709
  - 1.2343
  - Cxplus
- Vegyipari alkatrészek
  - 1.4404 (316L)
  - C22
  - 904L
- Általános gépalkatrészek
  - 1.4404 (316L)
  - 1.4542 (17-4PH)
  - 1.2709
  - AlSi10Mg
- Orvostechnika
  - CoCr
  - Titán ötövzetek
  - 1.4404 (316L)
- Design eszközök
  - Bronz
  - AlSi10Mg
  - 1.4404 (316L)
- Speciális területek
  - CuNiSi
  - CuCrZr
  - Tantál
  - Volfrám
  - Kobalt

Mindig lehet ekvivalens anyagot találni

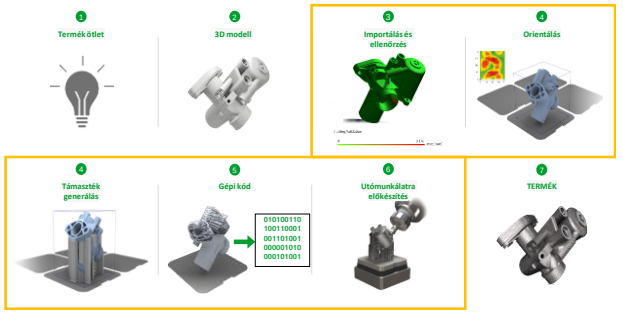
Előkészítő szoftver



CAD modell

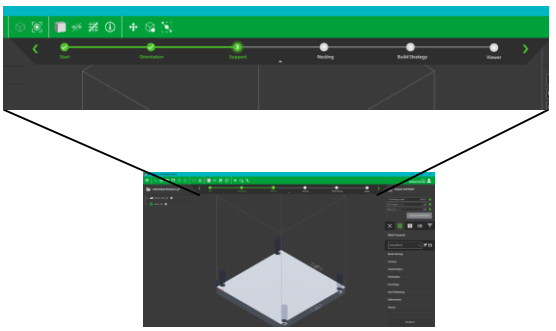


AM folyamat

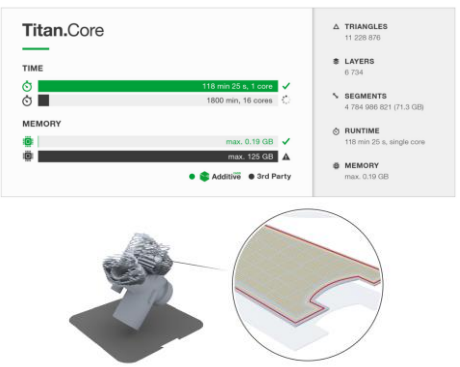


AM vonalvezetés

AM-STUDIO



Motor



Támaszték struktúrák

Additive.Support

Alap támaszték rendszerek:

RÚD
- » Különálló egységek, kúpos végződéssel
- » Csőszerű, nincs teljes térfogat kitöltés

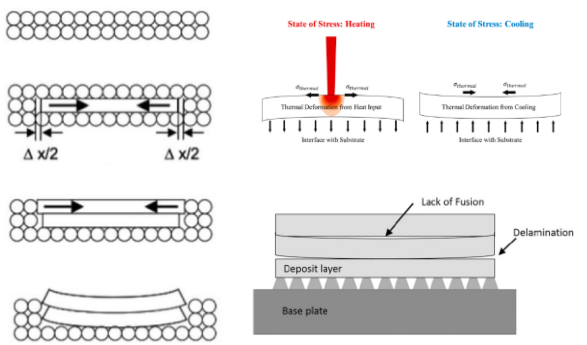
VONAL
- » Komplex vonaltámaszték, amely alkalmas, fa és hurok megtámasztáshoz is
- » Fogazás és perforáció is lehetséges

BLOKK
- » Kitölti a kontúr által határolt területet négyzetráccsal
- » Egyik legstabilabb támaszték struktúra

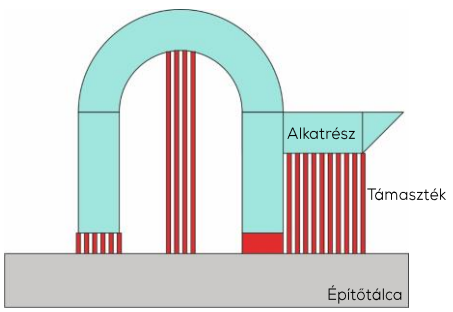
HEARTCELL
- » Blokkhoz hasonló
- » Sejtszerű kialakítás, anyagtakarékosság
- » Kellően stabil, kevesebb támasz is elegendő

FA
- » Sűrűség eloszlás alapú
- » Első fémre összpontosított fa geometria

Miért van szükség támaszték struktúrákra



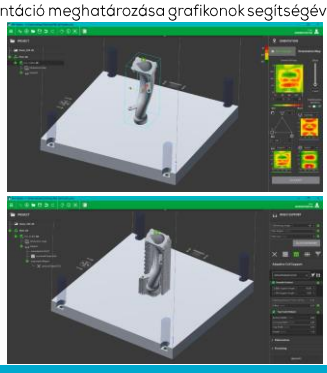
Miért van szükség támaszték struktúrákra

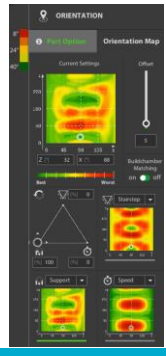


Orientációs térkép

Orientáció meghatározása grafikonok segítségével

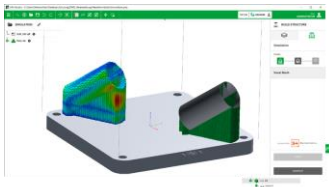
Additive. Optimo





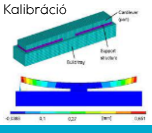
Előminősítés szimulációval

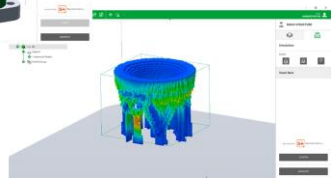
FE – Deformáció meghatározása, hogy elsőre megfelelő minőségű legyen a gyártás.



- SIMUFACT által támogatott
- IS módszer (Eigen-, Inherent Strain)

- Kalibráció

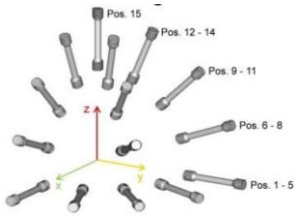


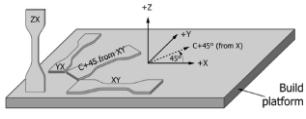


AM anyagszerkezeti tulajdonságok

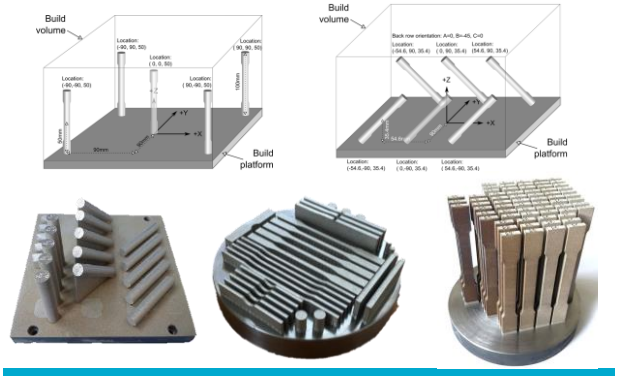
ASTM F3122-14 – Standard Guide for Evaluating Mechanical Properties of Metal Materials Made via Additive Manufacturing Processes

ISO 17296-3 – Additive manufacturing – General principles – Part 3: Main characteristics and corresponding test methods

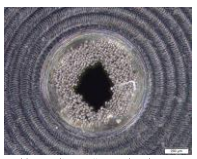




AM anyagszerkezeti tulajdonságok

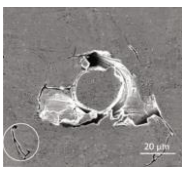


AM anyagszerkezeti tulajdonságok

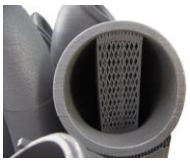


Nem teljesen összeolvadt por szemcsék

Delaminációs probléma a tálca síkjában és magában a nyomtatott darabban



Anyagon belül a nem megfelelő összeolvadásnak köszönhető, anyagfolytonossági hiba



„Tanú-vonalak" a nyomtatás közbeni deformációkról

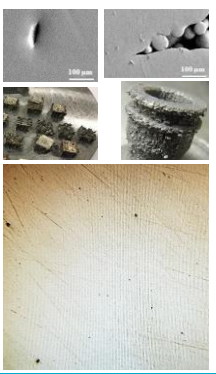
Túlvilágitott/beégett részek, porterítési és hőelvezetési hiba

Nem AM-re optimalizált geometria, rossz hőelvezetés

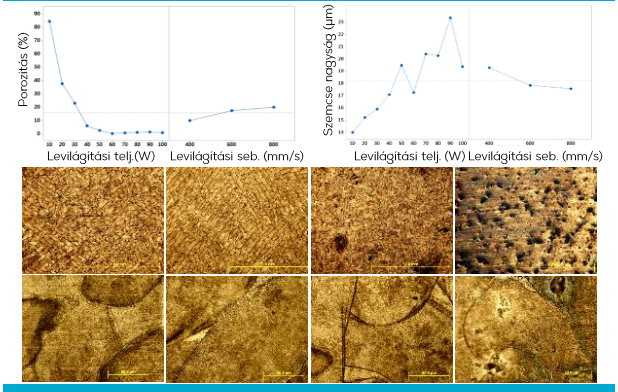
AM anyagszerkezeti tulajdonságok

A következő hibákat eredményezheti:

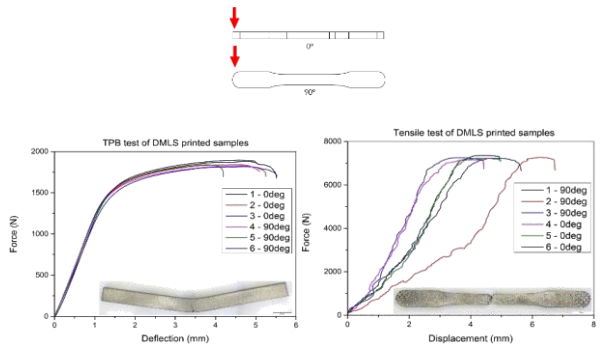
- szinterezési hibák
- porozitási hibák
- felületi hibák
- repedések
- zárványok
- deformációból adódó hibák
- túlzott energia besugárzásból származó hibák
- támaszanyag struktúra hiba
- geometriai hiba
- rétegződési hiba



AM anyagszerkezeti tulajdonságok



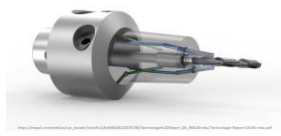
AM anyagszerkezeti tulajdonságok



Ipari példák

- Hagyományos szerszámok

- Tokmányok



- Egyedi megoldások

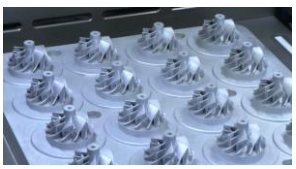
Ipari példák

FIT AG

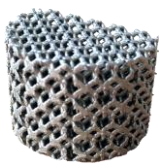
Mercedes-Benz Trucks' first metal AM spare part (Courtesy Daimler AG)

3D printed T25 sensor enclosure unit produced by GE Aviation and certified by FAA; Jet engine nozzle 3D printed by GE

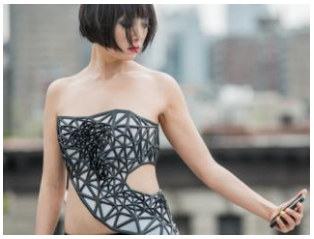
Ipari példák



Ipari példák



Ipari példák



Ipari példák

Partnerek:

m4p Additive CADS ONE CLICK METAL

Köszönöm a megtisztelő figyelmet!

„A jó nem elég, csak a tökéletes”

Pammer Dávid
PaB Kft. – Ügyvezető

david.pammer@pab.hu
+36 20 519 00 29

www.pab.hu