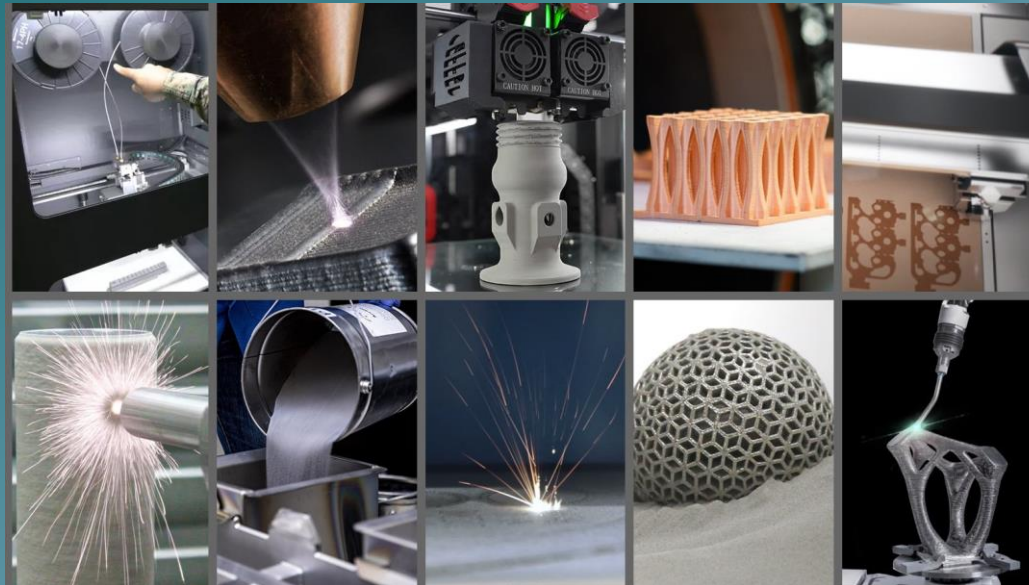
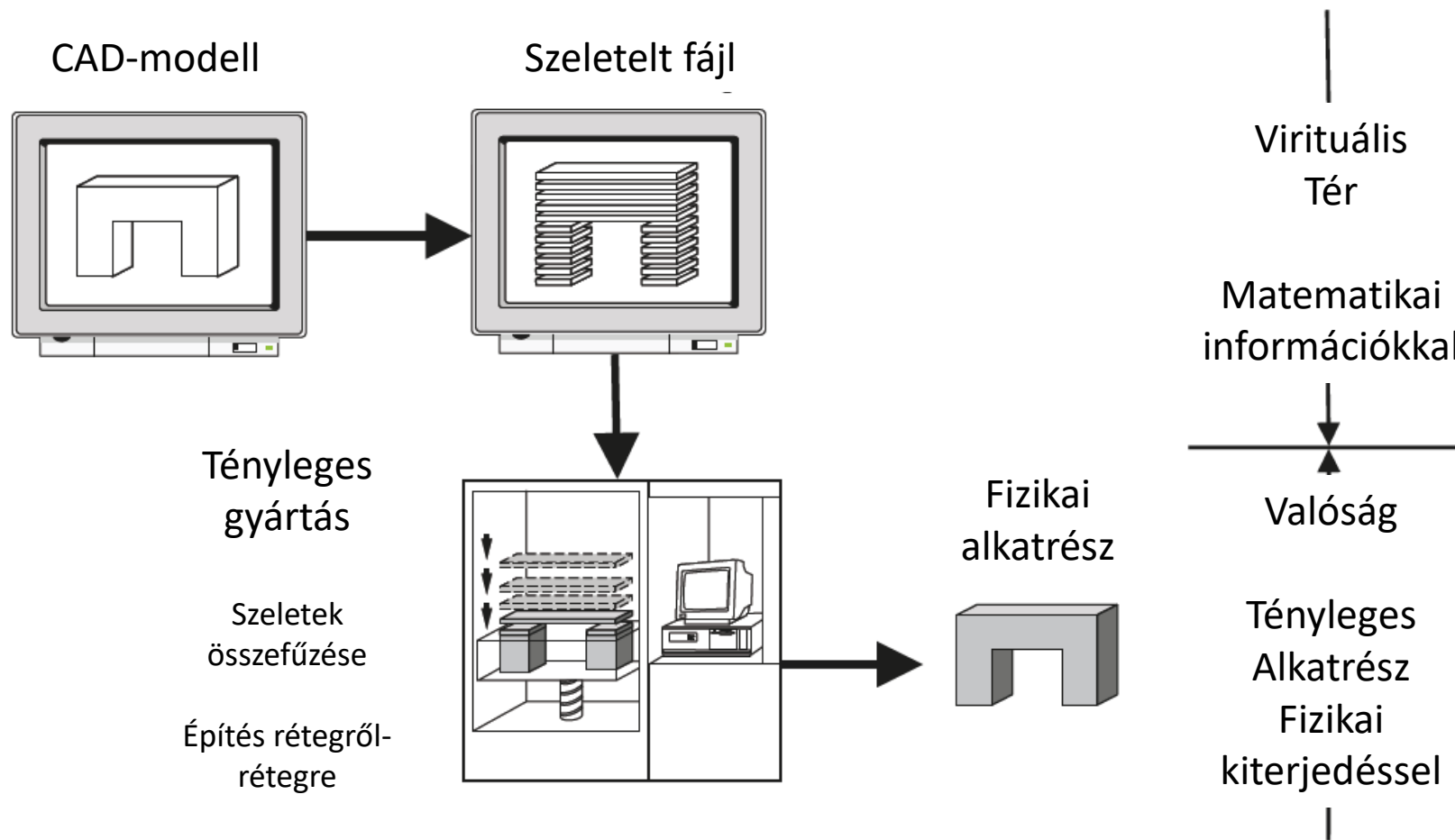


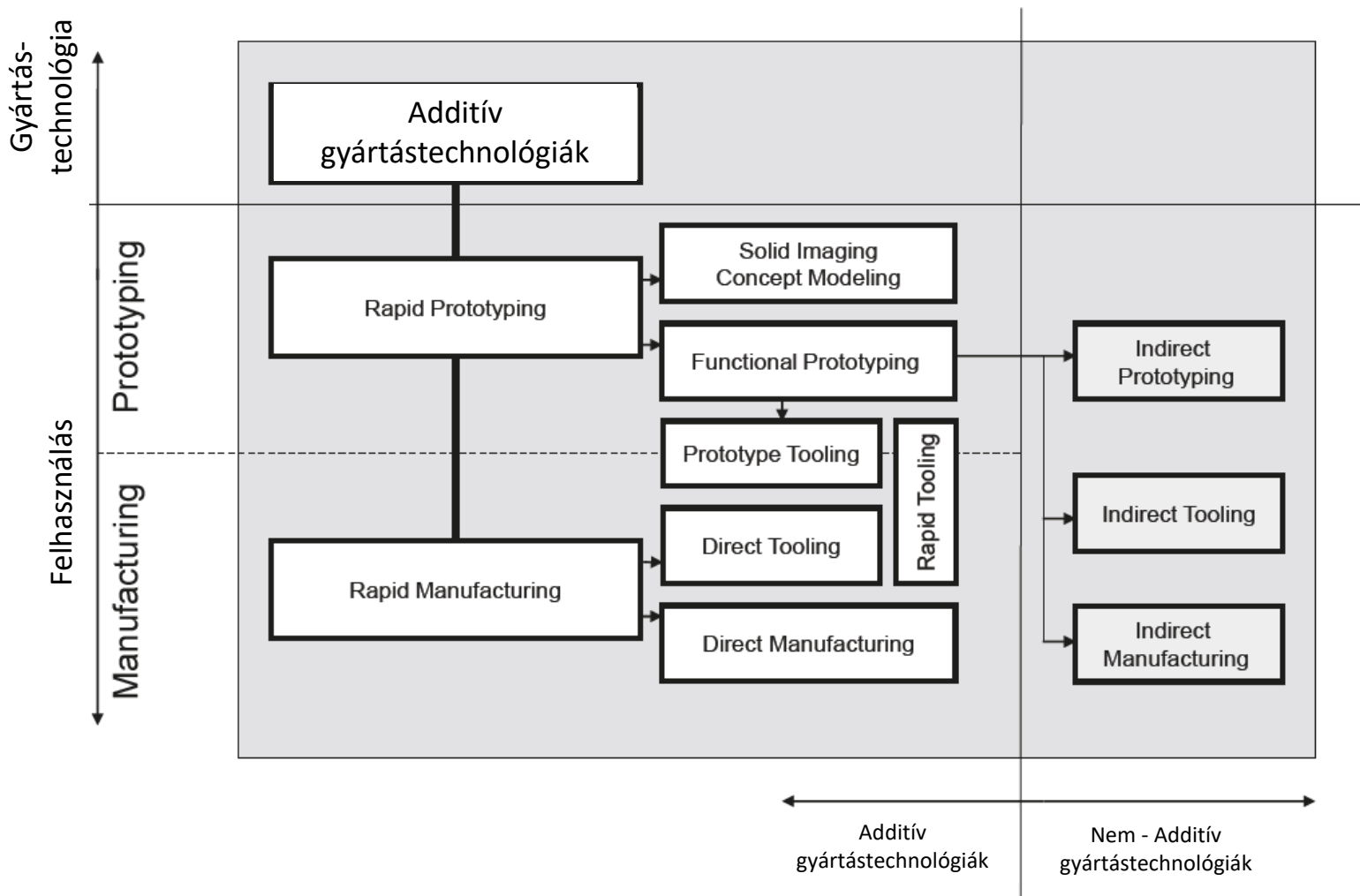
# Fémek Additív Gyártástechnológiája



- Additív gyártás fogalma, általános folyamata
- Additív gyártástechnológiák felhasználási területei
- Additív gyártástechnológiák csoportjai
- AM termék gyártási életútja
  1. Geometria
  2. Technológia
  3. Gyártás
  4. Quality
- Safety, biztonsági előírások az additívgyártásban

Additív gyártás (AM – Additive Manufacturing), olyan folyamat amely során a valós tárgy 3D-s modell adatak alapján, rétegről rétegre, alapanyagok összekapcsolásával jön létre, ellentétben a szubtraktív és formaadó gyártási módszerekkel





## Koncepció

## Funkció





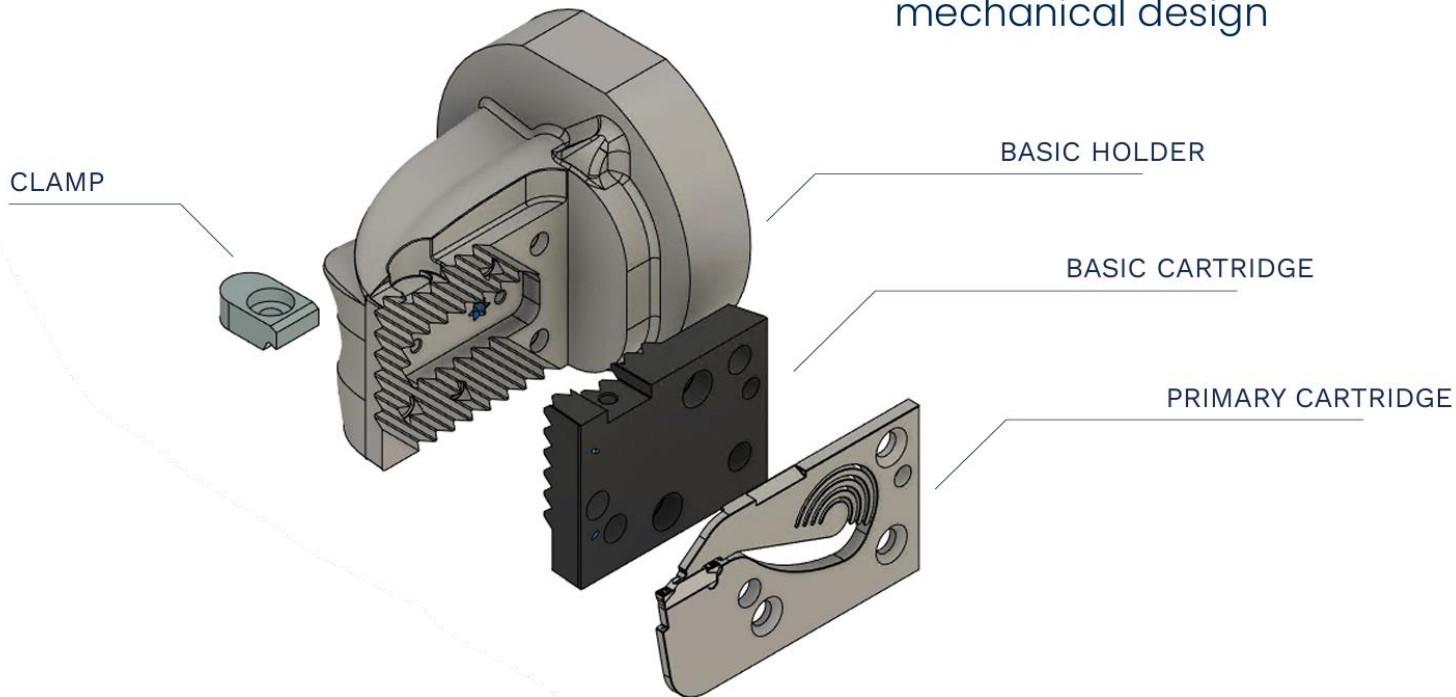
Repülőgépben használt teherhordó alkatrész a topológiai optimalizálás előtt (fent) és után (lent)



Hidak a nyomtatás után közvetlenül (balra) és az utómunkálatok után (jobbra)

## Modular grooving system

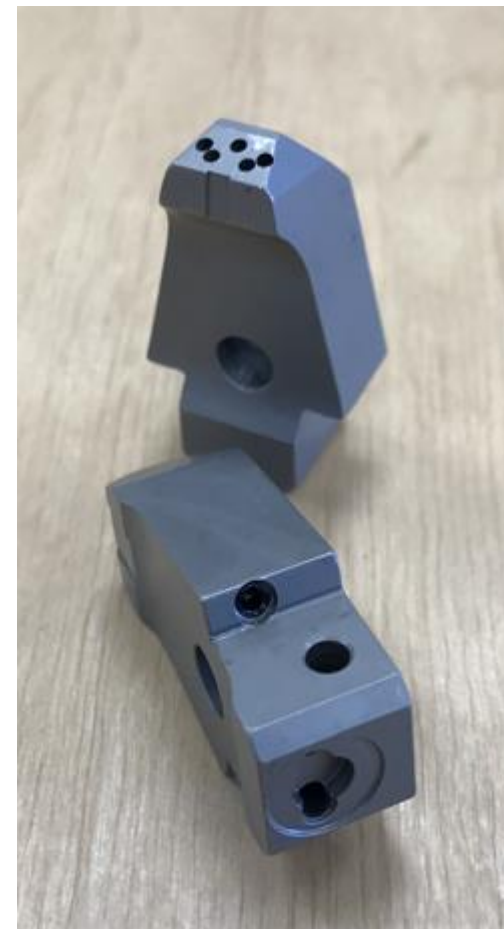
Advantages of system and  
mechanical design



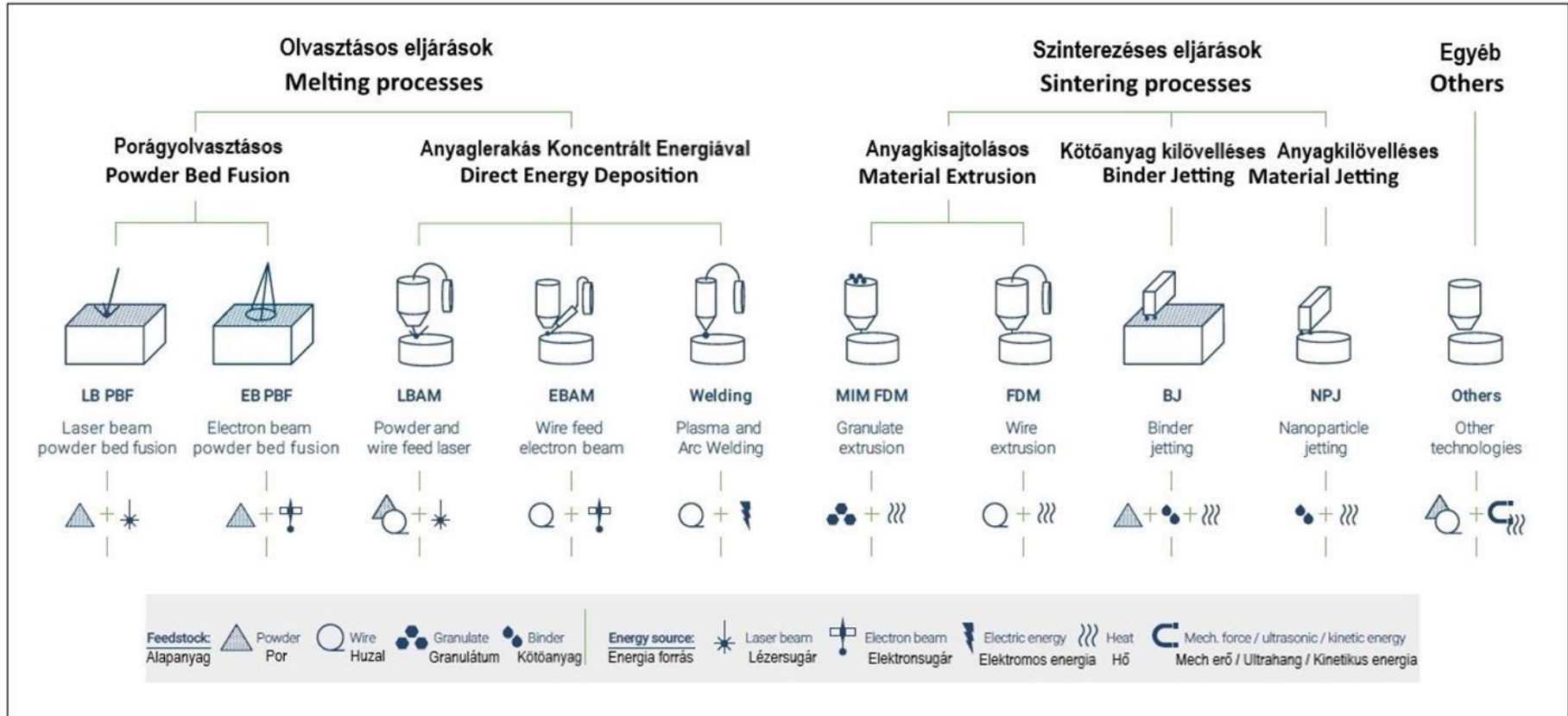
- Csökkentett tömeg → olcsóbb gyártás
- Optimalizált Hűtő-Kenő folyadék csatornák → Hosszabb szerszám élettartam
- Moduláris szerszám

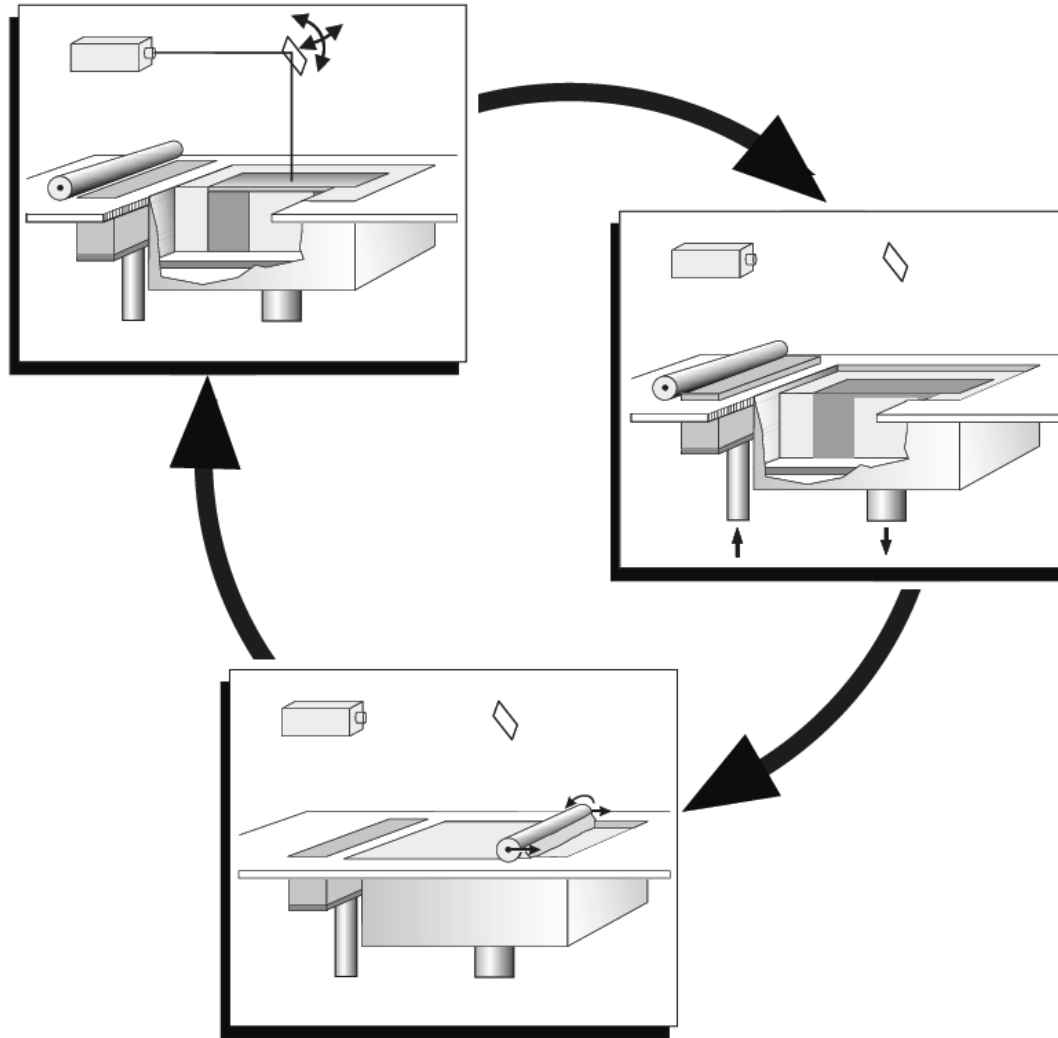


Öntő szerszám hűtőcsatornáinak az optimalizálása



# Gyártástechnológiák





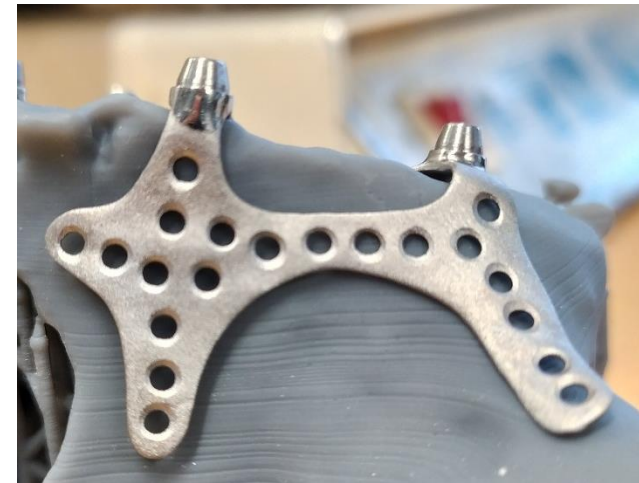
- Fejlesztési állapot:
  - Kiforrott konstrukciók, széles körű ipari használat
- Alkalmazható anyagok:
  - Al, Ti, és azok ötvözetei, Nikkel és CoCr ötvözetek, acél
- Utómunka igény:
  - közepes
- Gyártási költség:
  - magas
- Gépgyártók:
  - Trumpf, SLM, DMG Mori, Renishaw, EOS

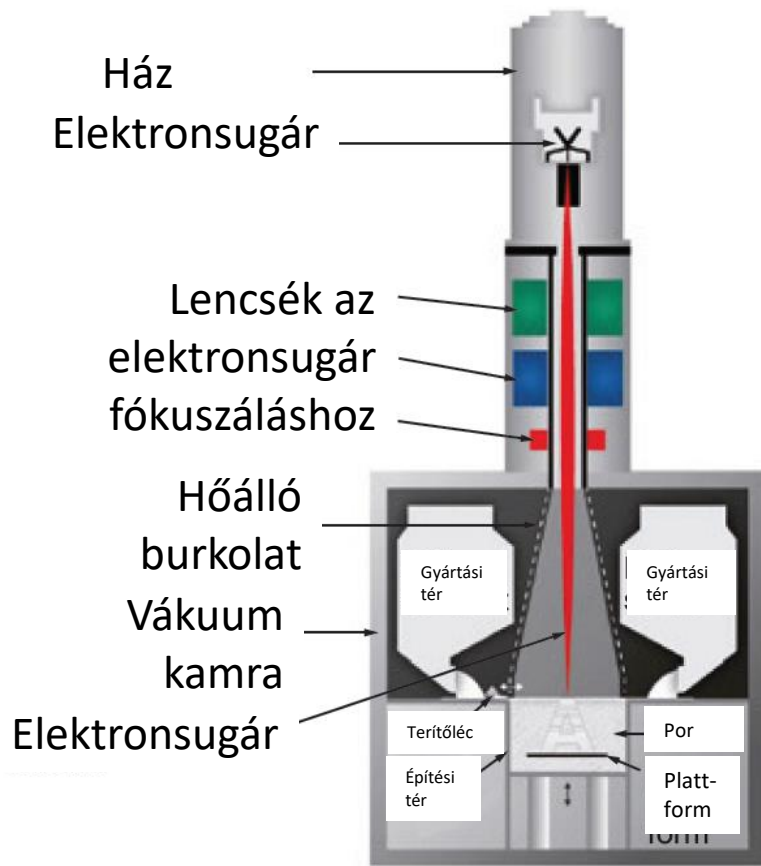
## Előnyök (többi AM tech.-hez képest)

- „kötetlen” alkatrész formák
- Jó alak, geometriai hűség,
- Kis porozitás
- Fémpor újra hasznosításnak / újra használásának lehetősége
- Autonóm folyamat felügyelet
- Homogén anyagszerkezet
- Apró szemcse méret
- Relatív könnyen forgácsolható

## Hátrányok (többi AM tech.-hez képest)

- Alacsony építési sebesség
- Költség
  - Por
  - Védő gáz
  - Platform
- Támasz anyag alkalmazásának szükségessége a legtöbb esetben
- Gyártás előkészítése nehézkes, sok idő vesz igénybe
  - Atmoszféra létre hozása
  - Por kezelése, szitálása





- Fejlesztési állapot:
  - kiforrott technológia, de nem elterjedt
- Alkalmazható anyagok:
  - Al, Ti, és azok ötvözetei, Nikkel és CoCr ötvözetek, acél
- Utómunka igény:
  - jelentős
- Gyártási költség:
  - jelentős
- Gépgyártók:
  - Arcam

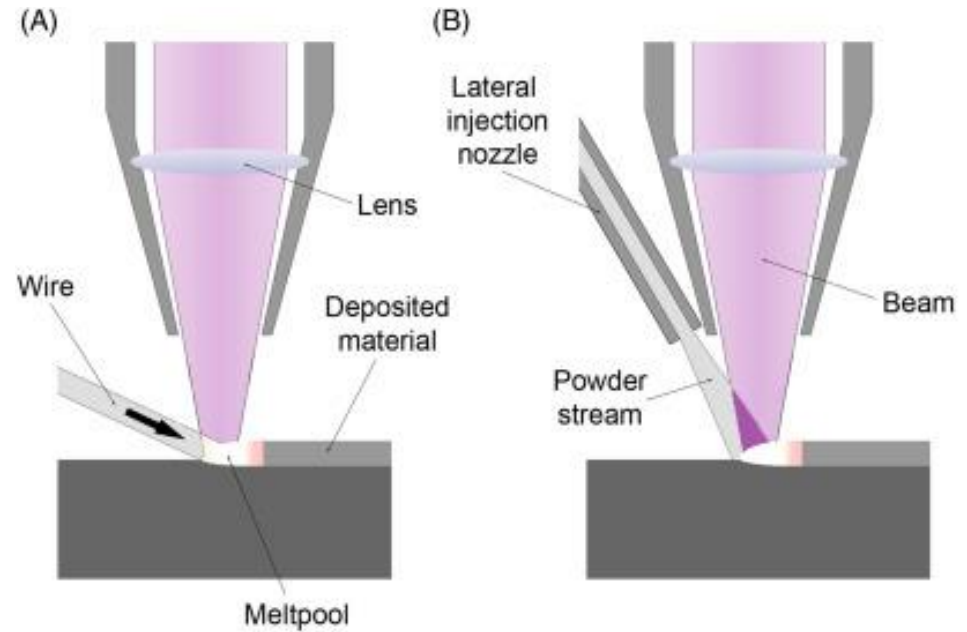
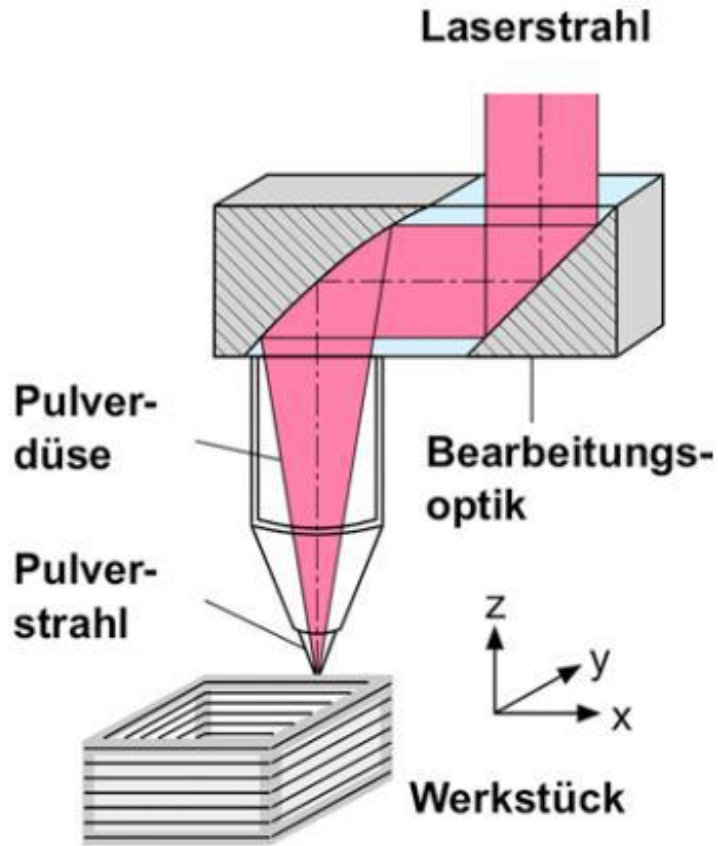
### Előny

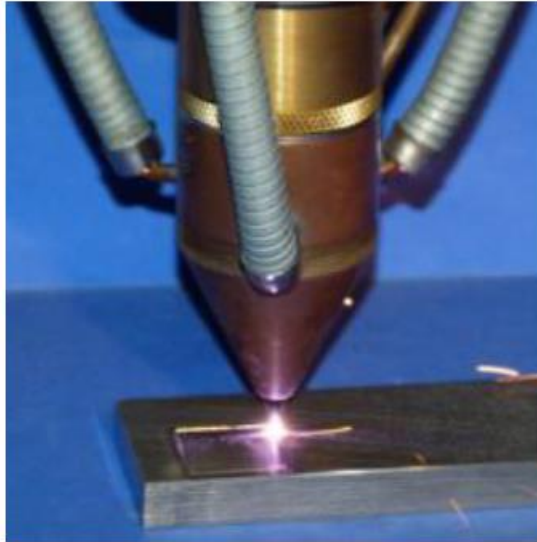
- „Kötetlen” alkatrész formák
- Jó alak, geometriai hűség,
- Kis porozitás
- Fémpor újra hasznosításnak / újra használásának lehetősége
- Autonóm folyamat felügyelet
- Homogén anyagszerkezet
- Apró szemcse méret
- Relatív könnyen forgácsolható

### Hátrány

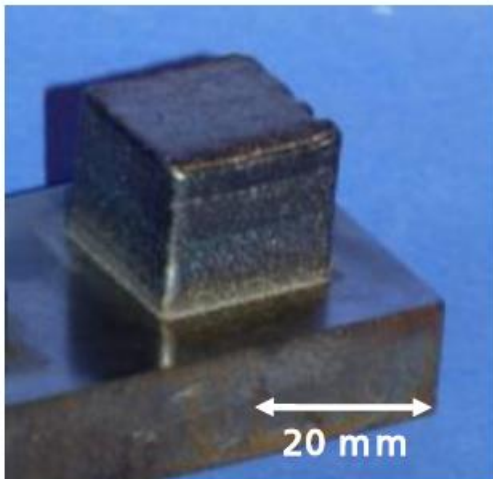
- Alacsony építésisebesség
- Költség
  - Por
  - Védő gáz
  - Platform
- Támasz anyag alkalmazásának szükségessége a legtöbb esetben
- Gyártás előkészítése nehézkes, sok idő vesz igénybe
  - Atmoszféra létre hozása
  - Por kezelése, szitálása
- Nem elterjedt







- Fejlesztési állapot:
  - Előre haladott fejlesztés
- Alkalmazható anyagok:
  - Al, Ti, és azok ötvözetei, Nikkel ötvözetek, acél
- Utómunka igény:
  - magas
- Gyártási költség:
  - alacsony
- Gépgyártók:
  - Trumpf, DMG Mori, Mazak

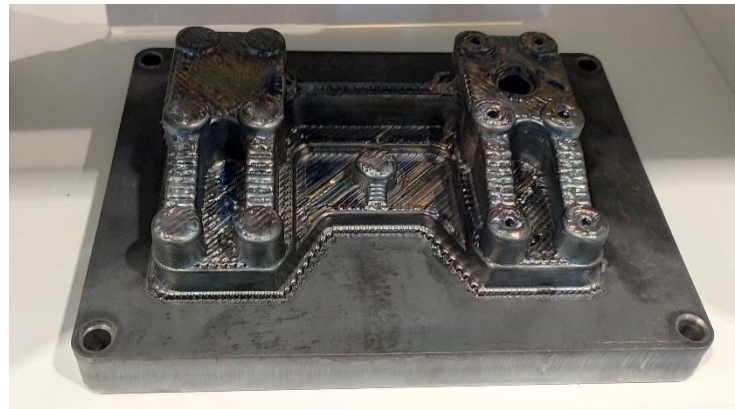
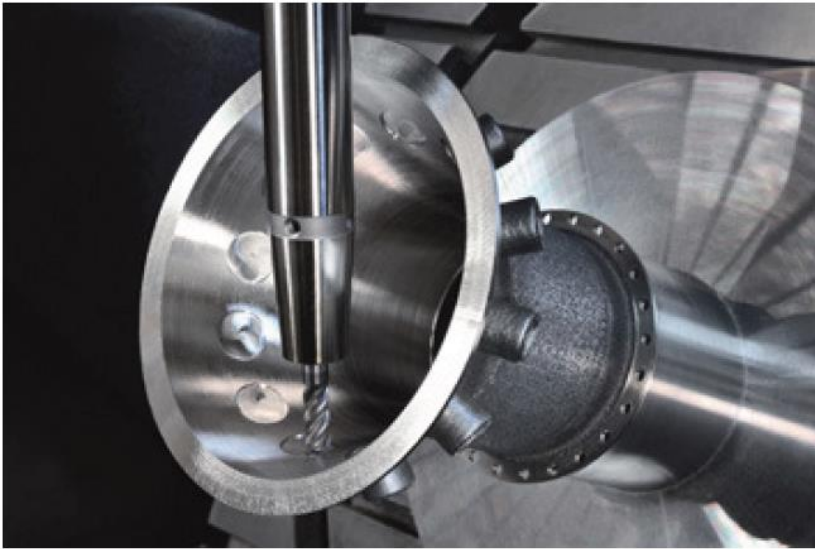


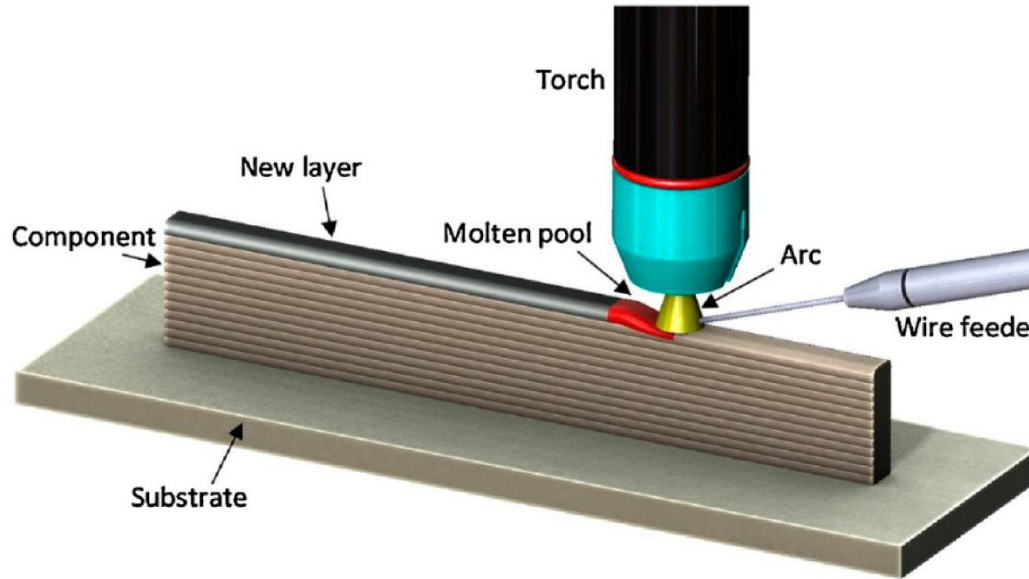
## Előnyök

- Magas építési sebesség
- Alacsony bekerülési költség
- Előgyártmányra történő építés
- Hibrid gyártás lehetősége
- Nyílt adatformátum
- Gyártás során könnyeb módosítható paraméterek

## Hátrányok

- Egyszerűbb geometriájú darabok gyárthatóak vele
- Speciális tervezési szemléletet igényel
- Hibrid gyártás lehetőségét magában hordozza
- Inhomogén anyagszerkezet
- Nagy méretű szemcsék
- Nehezen forgácsolhatóak





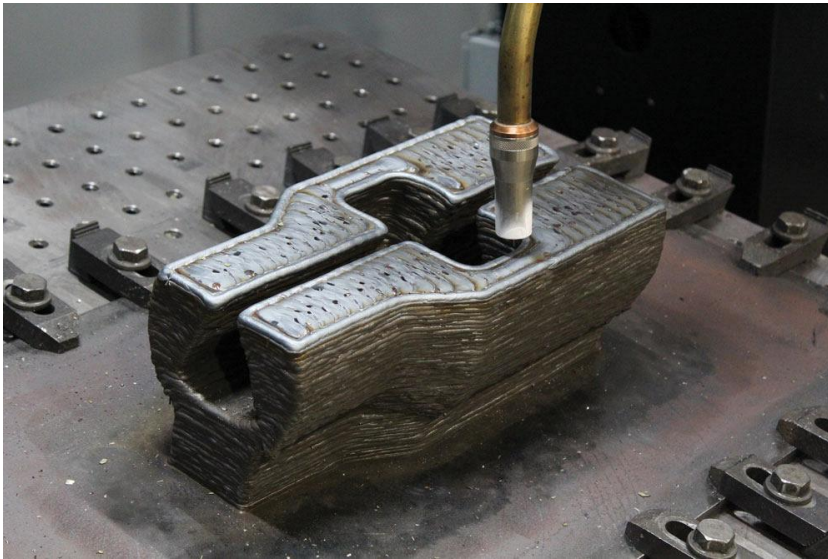
- Fejlesztési állapot: kiforrott konstrukció
- Alkalmazható anyagok: ugyan azok mint a védőgázal ív hegesztési eljárásoknál
- Utómunka igény: jelentős / magas
- Gyártási költség: alacsony
- Gépgyártók: minden hegesztő robot gyártó lényegében

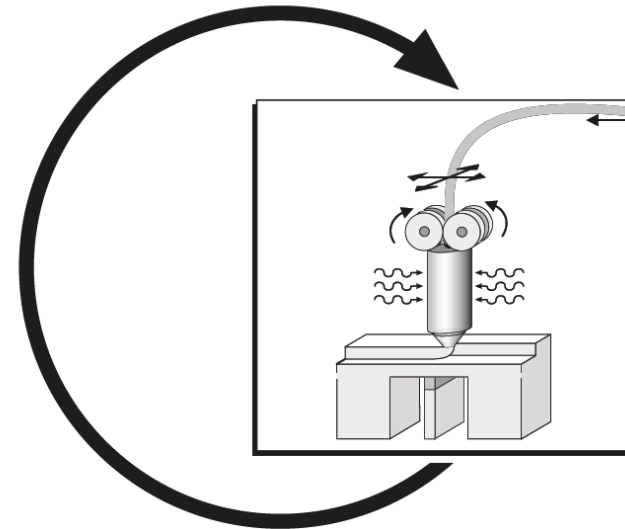
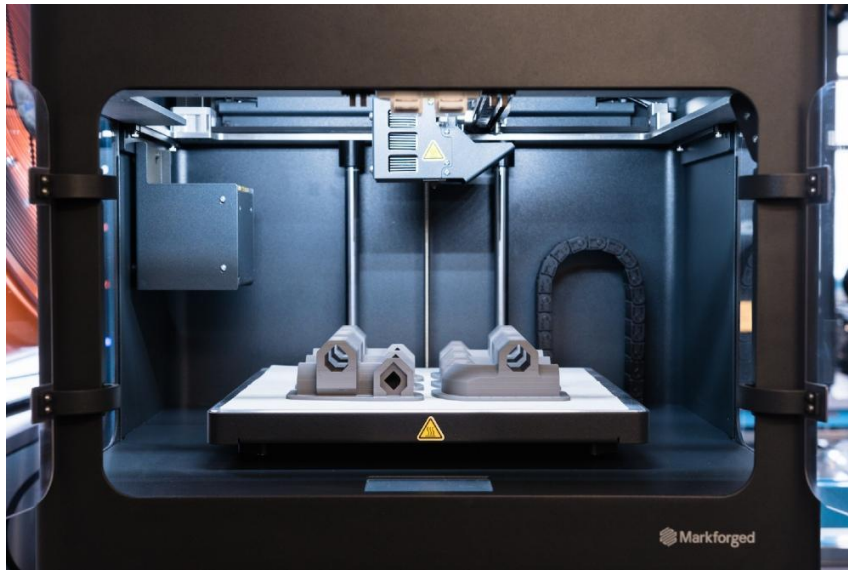
## Előnyök

- Költséghatékony
- Kiforrott technológia
- Magas építési sebesség

## Hátrányok

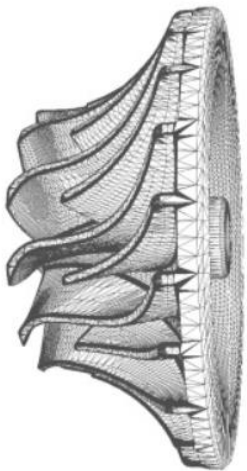
- Egyszerű geometriájú alkatrészek gyárthatóak vele
- Magas utómunka igénye van
- Durva szemcse szerkezet
- Inhomogén anyagszerkezet
- Nehezen forgácsolható





- Fejlesztési állapot: Kiforrott
- Alkalmazható anyagok: Rozsdamentes és szerszámacél; Inkonel, Réz
- Utómunka igény: Magas
- Gyártási költség: Alacsony
- Gépgyártók: Markforged

1 Design ..... 2 Print ..... 3 Wash ..... 4 Sinter ..... 5 Use



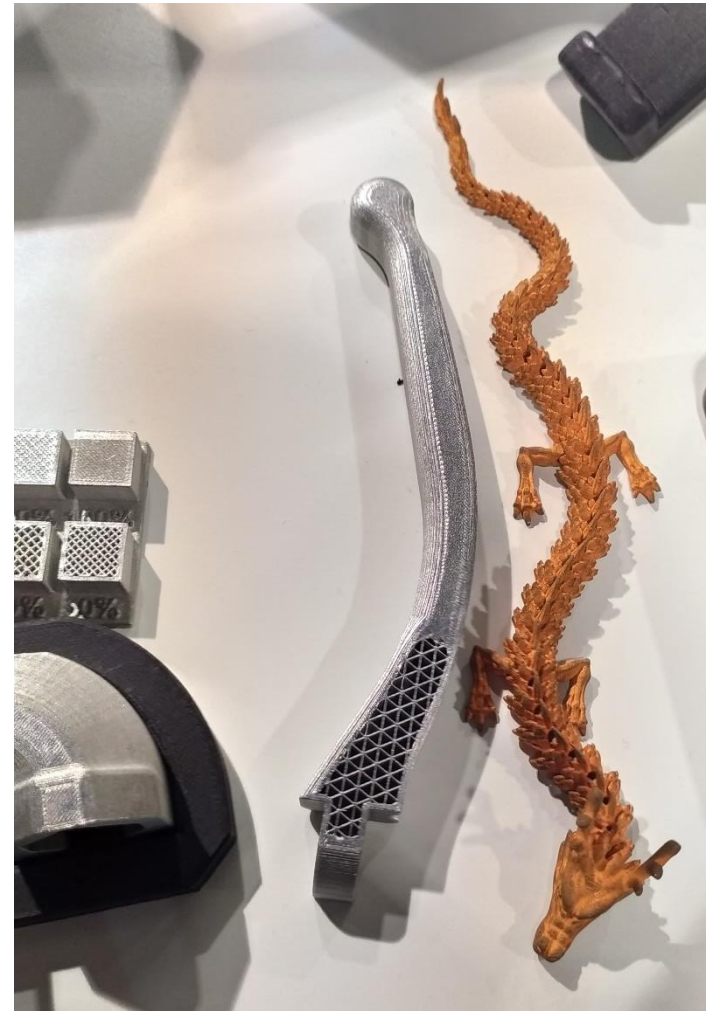
Fém szál kisajtolásos Additív gyártás egyszerűsített lépései

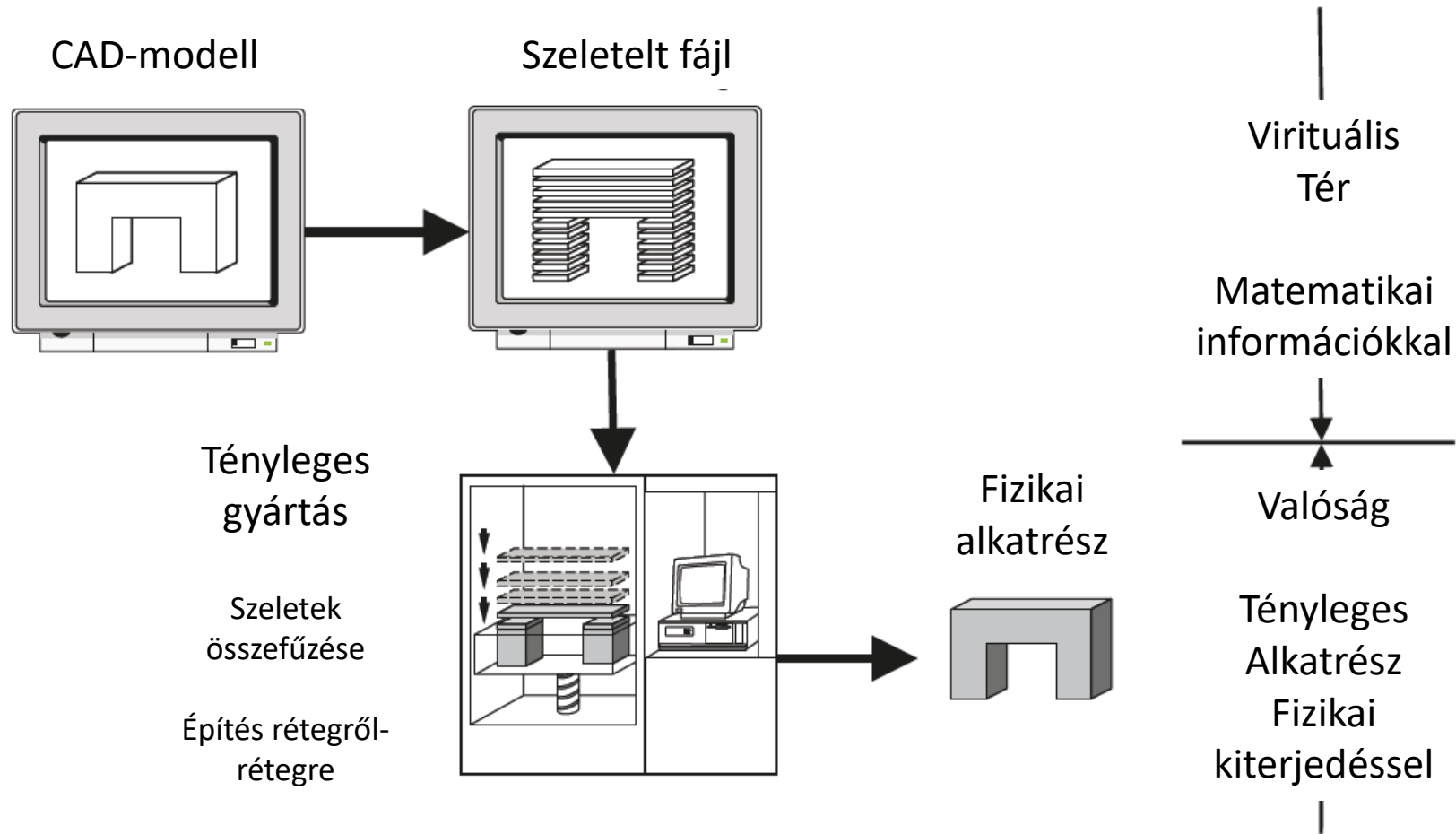
### Előnyök

- Kiforrott technológia
- Magas építési sebesség
- Költség hatékony
- Bonyolult geometriájú alkatrészek is gyárthatóak vele
- Nem igényel speciális atmoszférát
- Fémhuzalt használ

### Hátrányok

- Nagy utómunka igénye van
- Zsugorodás



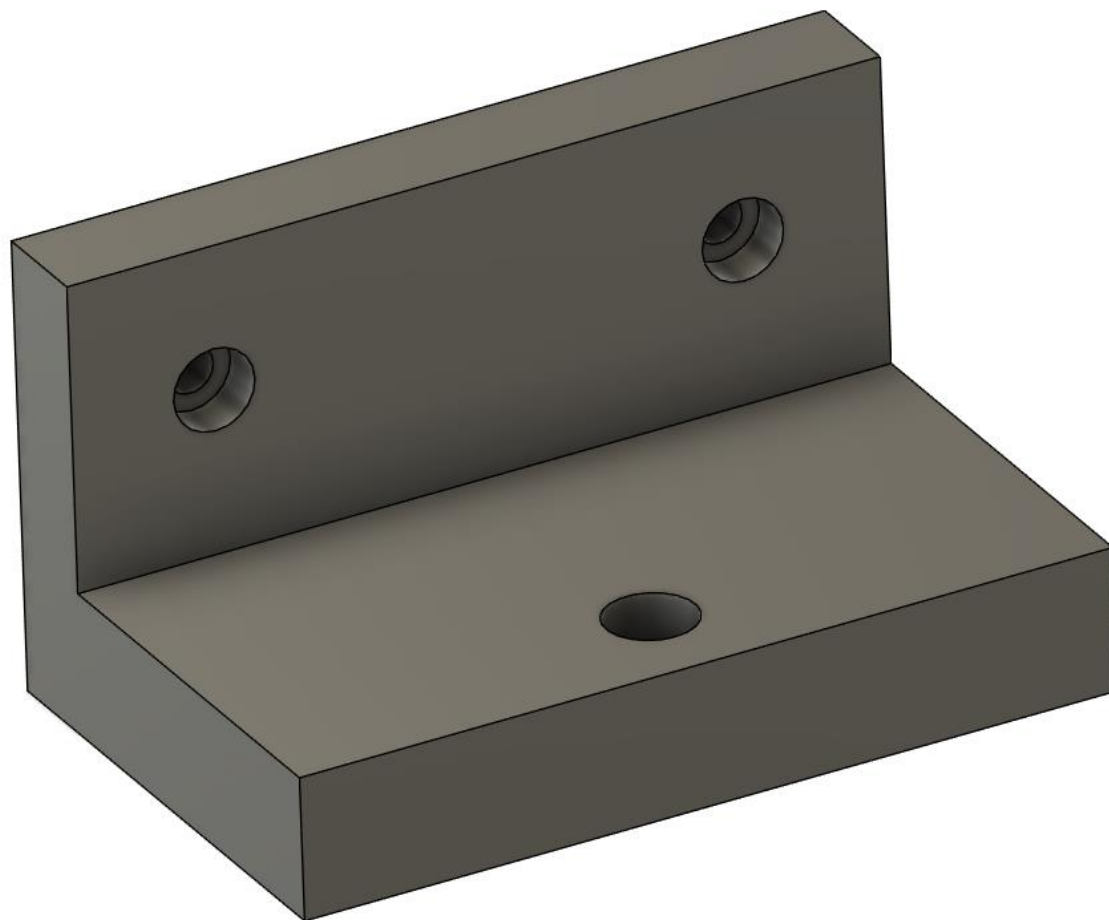


# Additív termék gyártási életútja

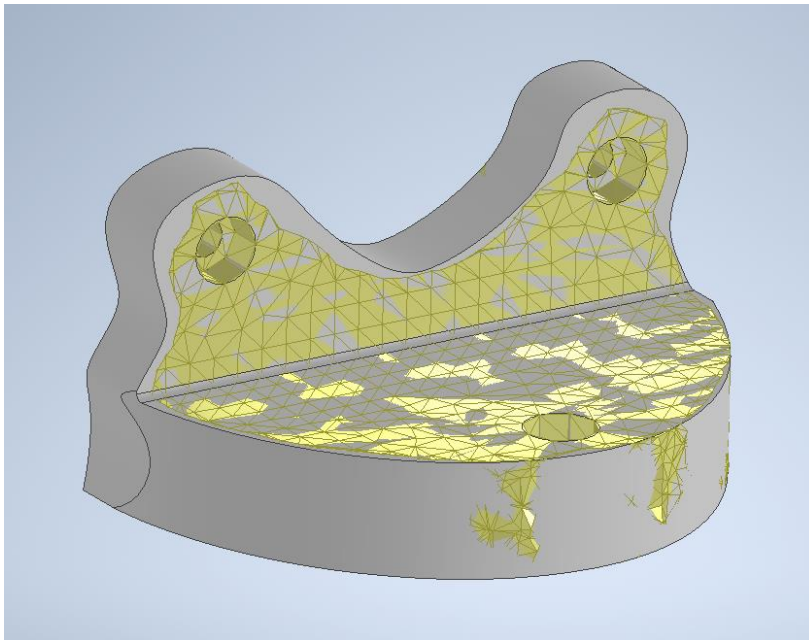
1. Geometria Optimalizálása
2. Technológia Meghatározása
3. Gyártás
4. Minőség ellenőrzés

# 1. Geometria Optimalizálása

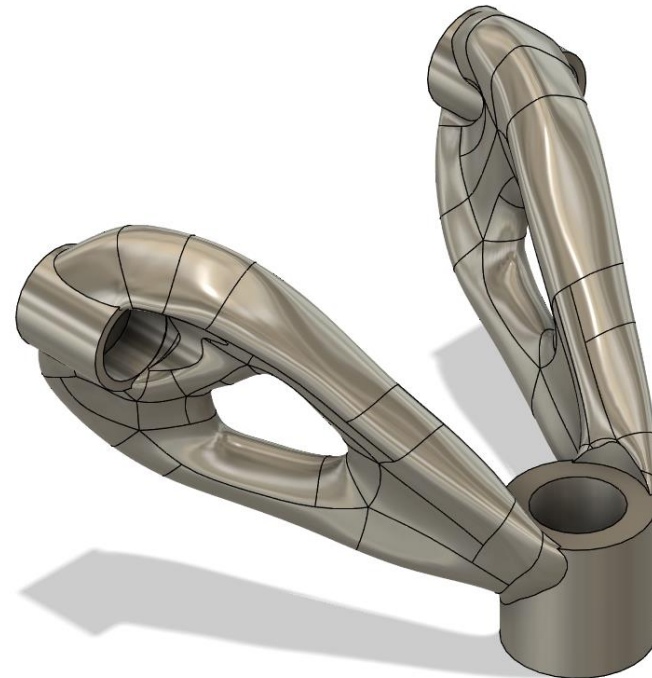
Generatív tervezés vagy Alakoptimalizálás?



## Topológiai Optimalizálás



## Generatív Tervezés



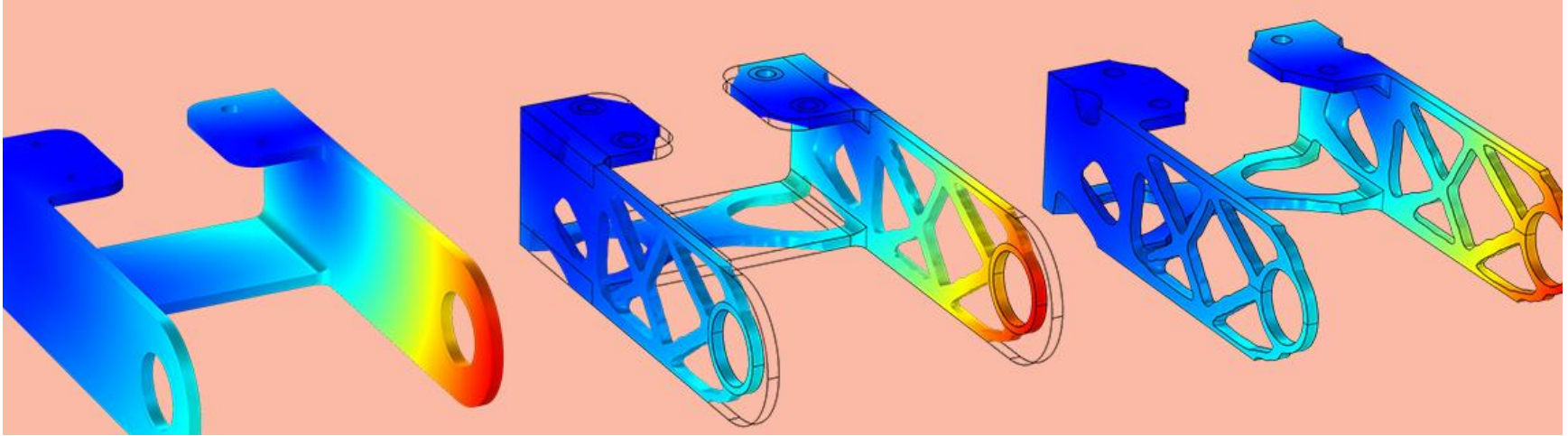
## ***Topológiai (alak) optimalizálása***

- Meglévő CAD modell
- Ismert terhelések
- Ismert kényszerek
- Egy meglévő geometriából vesz el anyagot.
- Nincs „automatizált” tervezés
- Hálót ad eredményül, amit újra kell modellezni.

## **Generatív tervezés**

- NINCS eredeti CAD modell
- Kiindulás: megőrzendő területek
- Mesterséges Inteligencia határozza meg a darab geometriai alakját.
- M.I. optimalizálhatja is az adott geometriát, akár több lépésben

## Topológiai (Alak) Optimalizáció



## Generatív Tervezés



91.4 cm<sup>2</sup>  
90%

89.8 cm<sup>2</sup>  
80%

66.9 cm<sup>2</sup>  
86%

65.5 cm<sup>2</sup>  
86%

58.3 cm<sup>2</sup>  
87.5%

45.5 cm<sup>2</sup>  
90%

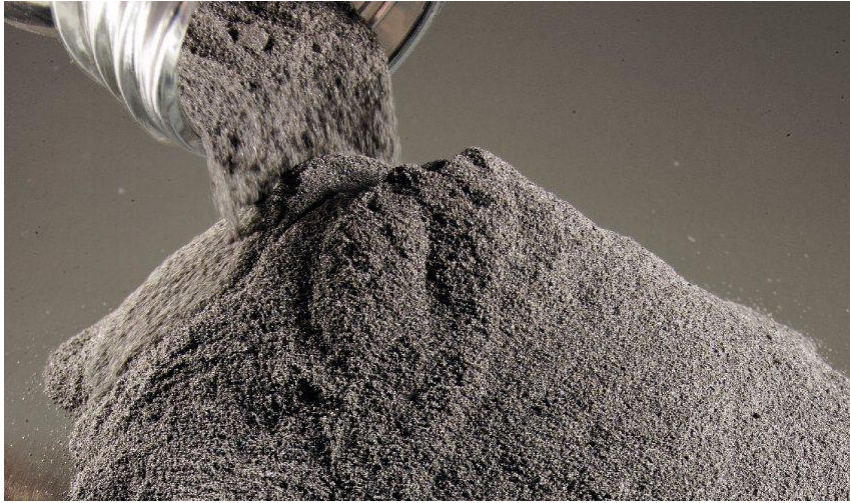
45.0 cm<sup>2</sup>  
90%

44.4 cm<sup>2</sup>  
90%

31.2 cm<sup>2</sup>  
93.3%

# 2. Technológia

Berendezés + Alapanyag + Paraméterek + Támasz + Orientáció

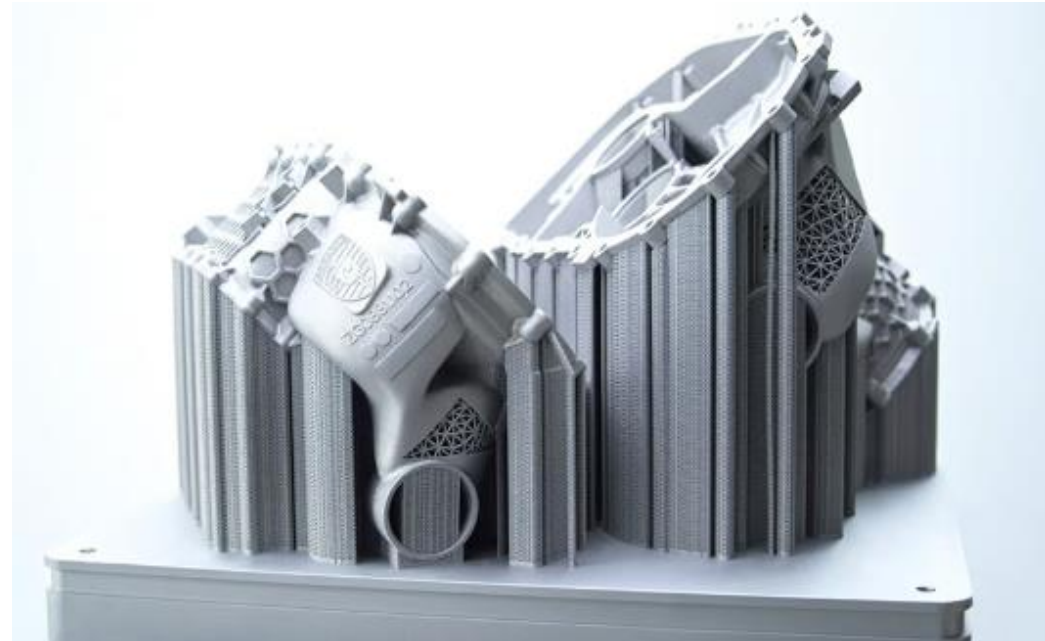


# Alapanyagok

Minden alapanyagnak lehet ekvivalens verziót találni!

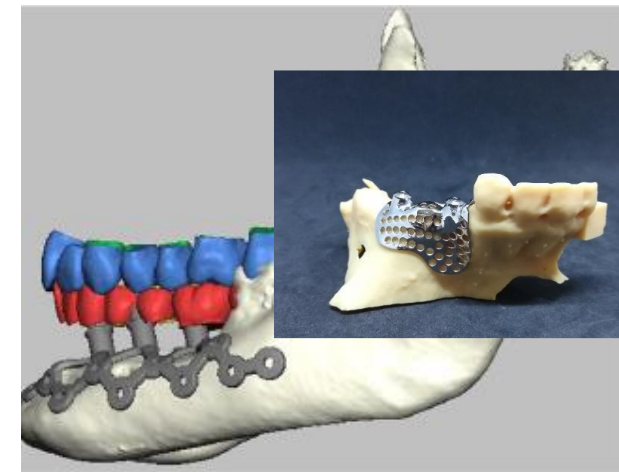
Alapanyag választásnál több több megoldás is lehetséges!

- AM-103 (AlSi10Mg)
- AM-103C (AlSi10Mg)
- AM-6061
- AM-7075
- AM-357
- AM-120
- H-35
- RSA-501 Scalmalloy®  
ALMGSc
- A20X



Porsche: Alumínium fedél elektromos  
autó hajtásláncában

- Biokompatibilis anyag → orvostechnika
- Ti-105 (Ti-6Al-4V)
- Ti-4822 (Ti-48Al-2Nb-2Cr)
- Ti-301 (Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo)

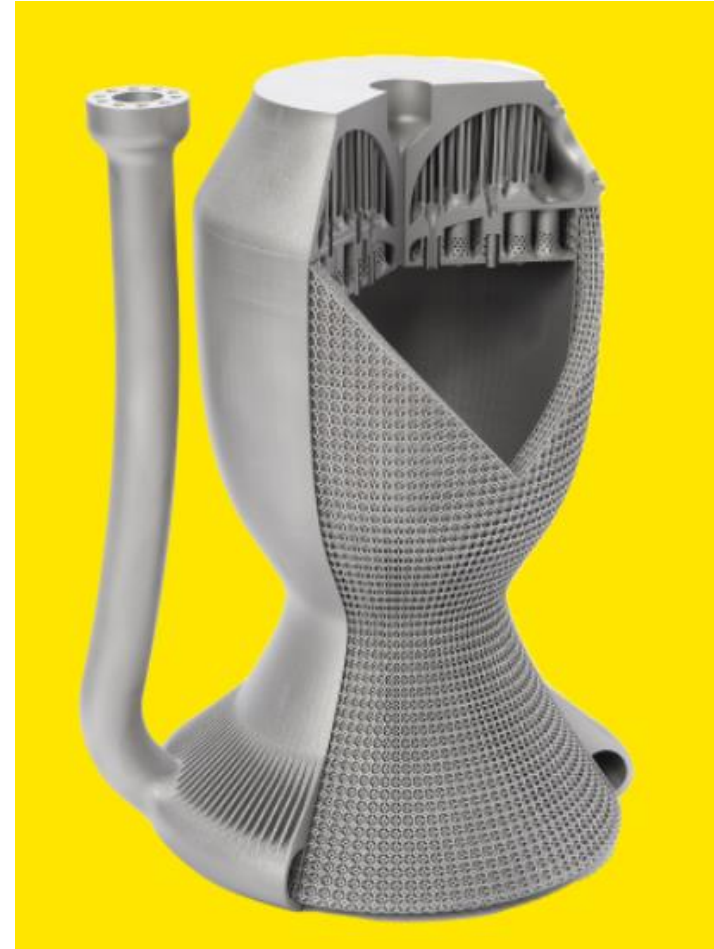


- Biokompatibilis anyag → Orvostechnika (Fogtechnika)
- Co-222 (Co-23Cr-10Ni-7W-3.5Ta)
- Co-538 (Co-28Cr-6Mo-0.2C-0.2 N)

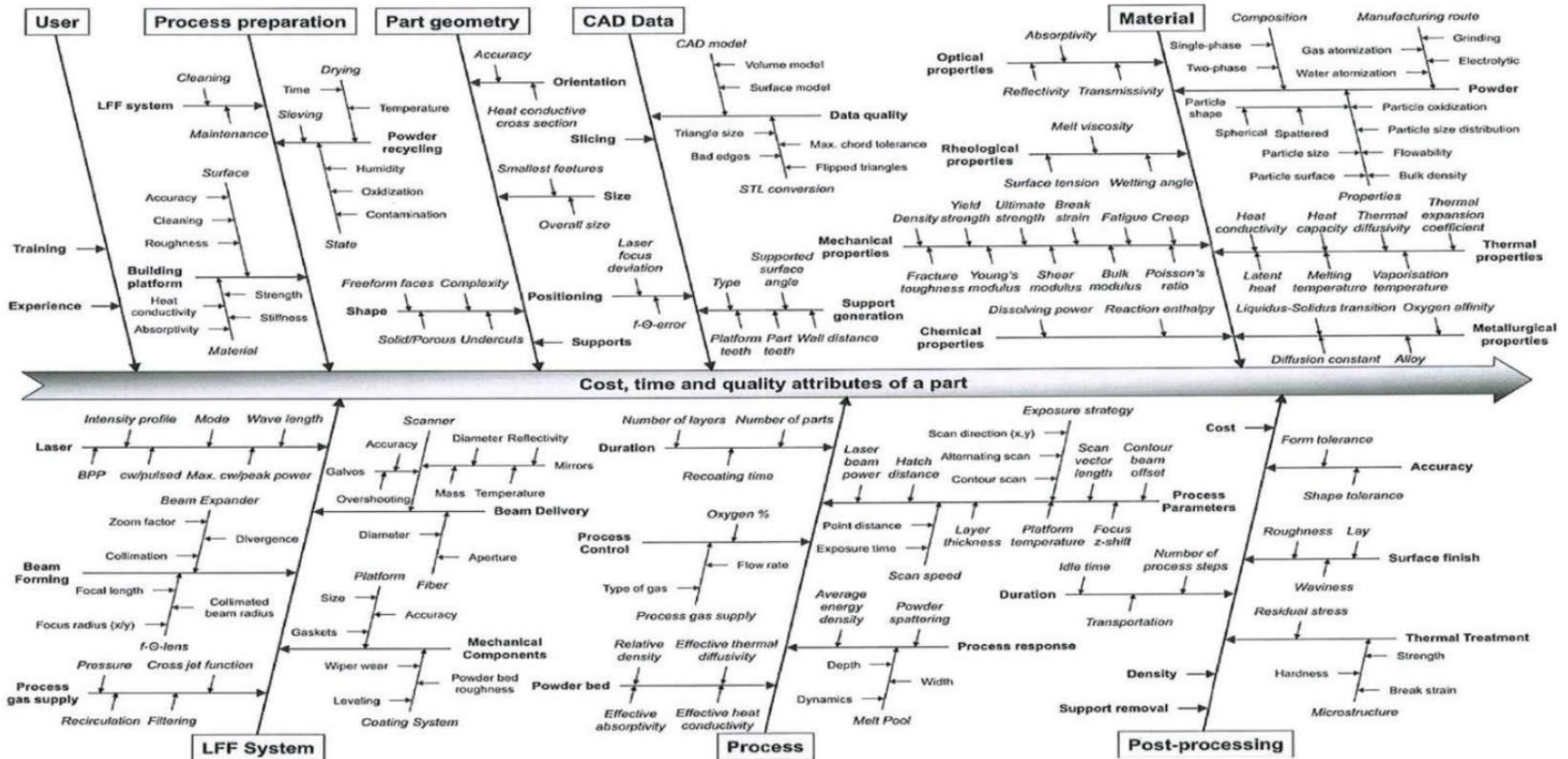




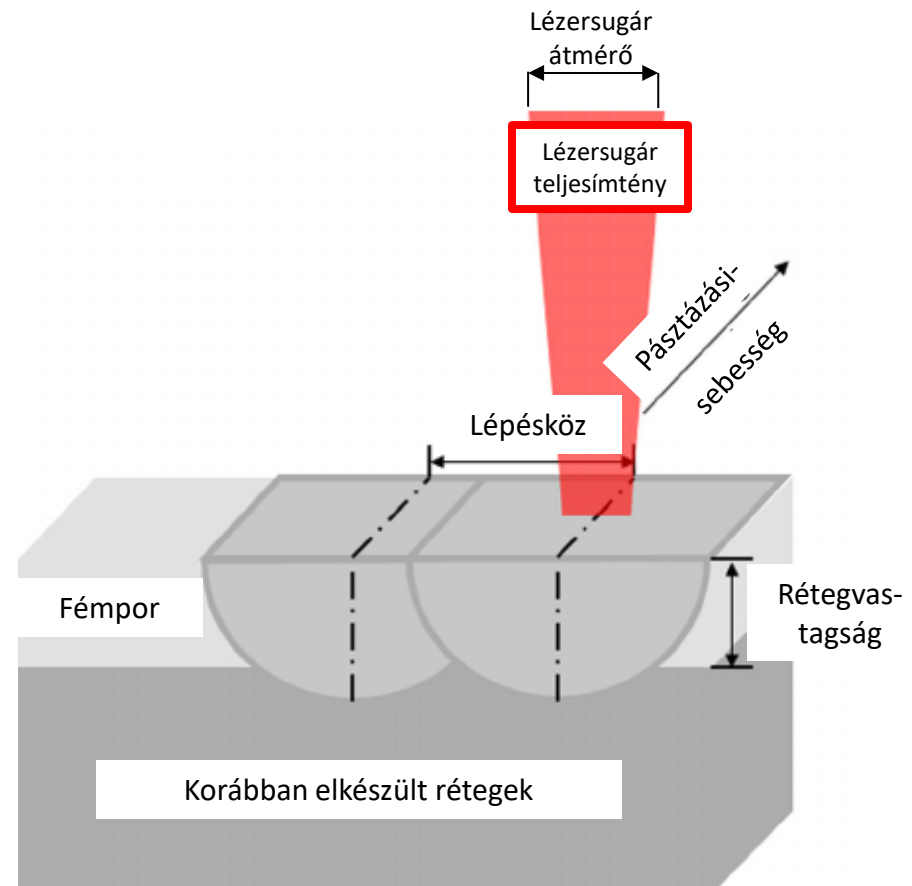
- Ni-111 (HastelloyX)
- Ni-202 (Inconel718)
- Ni-238 (Inconel939)
- Ni-284 (Inconel738)
- Ni-335 (MAR-M-247)
- Ni-365 (Rene142)
- Ni-914 (purenickel)
- Ni-1066 (Inconel617)
- Ni-1111 (Haynes 282)
- Ni-1287 (Haynes 230)



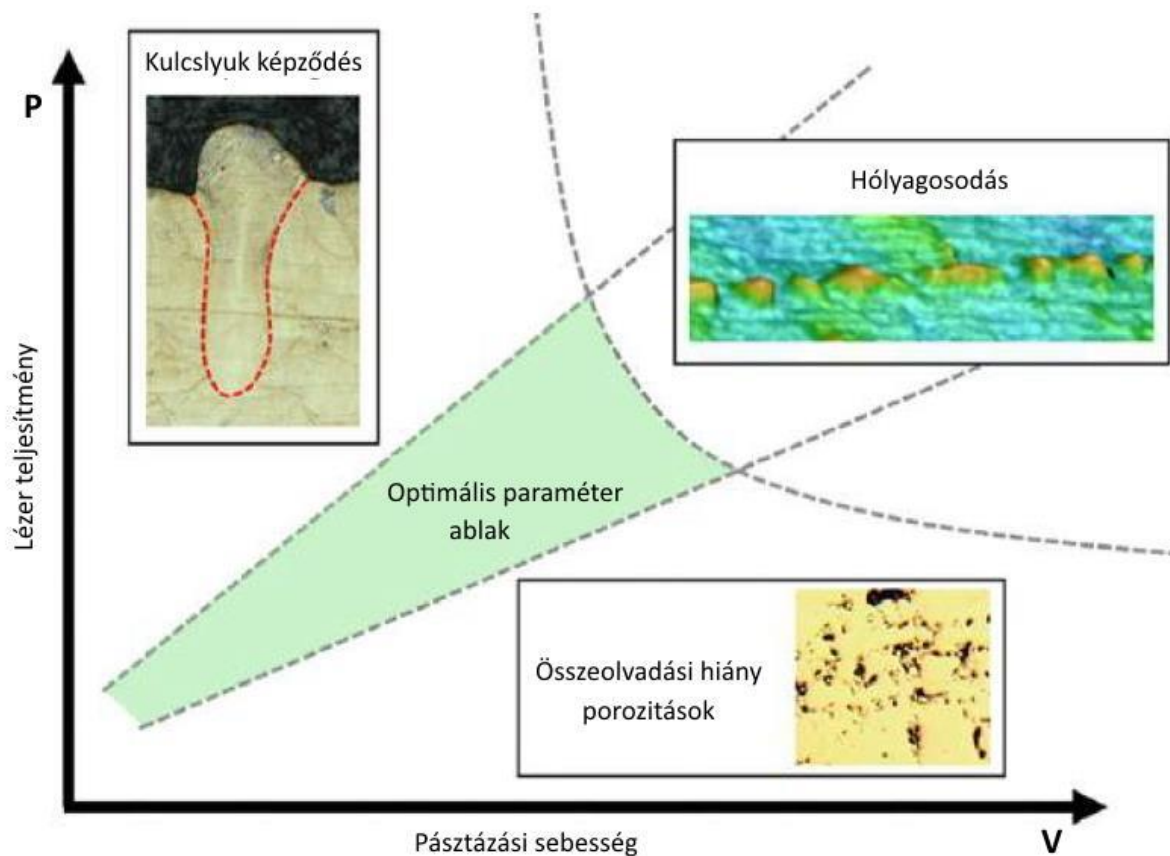
# AM Technológiai Paraméterek



- Lézer sugár teljesítménye  $P$  (kW)
- Pásztázási sebesség  $v$  (mm/s)
- Lépésköz  $b$  (mm)
- Rétegvastagság  $h$  (mm)
- Lézersugár átmérője  $d$  (mm)



- **CÉL: Jósági érték, tökéletes összeolvadás mértékének megtalálása**

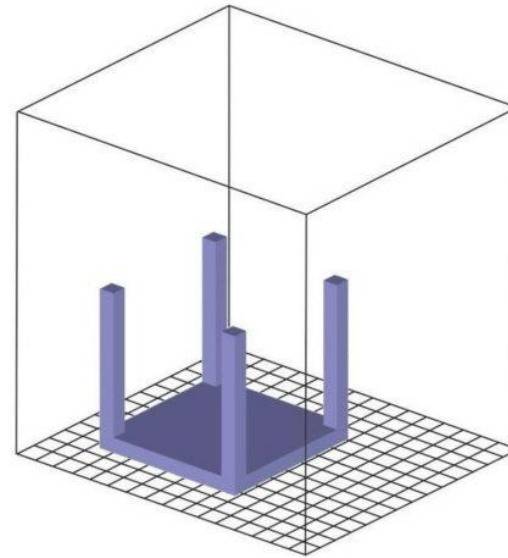
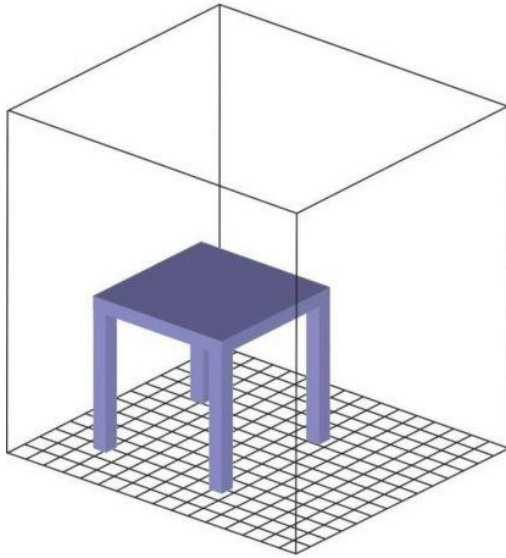


## Energiasűrűség $E$ (J/mm<sup>2</sup>)

$$E = \frac{P}{d \cdot v}$$

Ahol:

- $E$  ( $\frac{J}{mm^2}$ ): az energiasűrűség;
- $P$  (W): a lézersugár teljesítménye;
- $d$  (mm): a lézersugár átmérője;
- $v$  ( $\frac{mm}{s}$ ): pásztázási sebesség;



# Orientáció

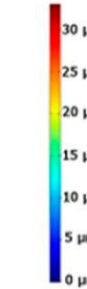
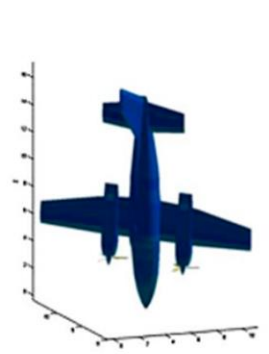
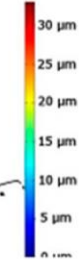
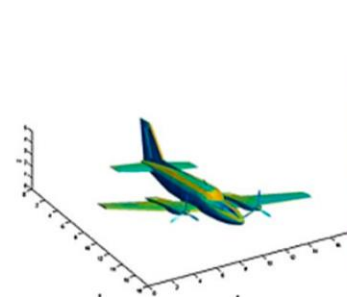
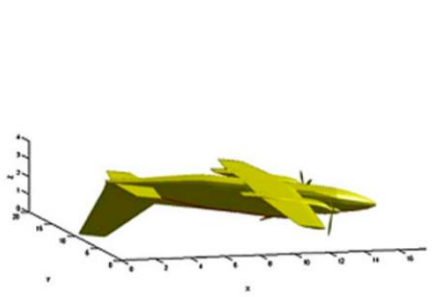
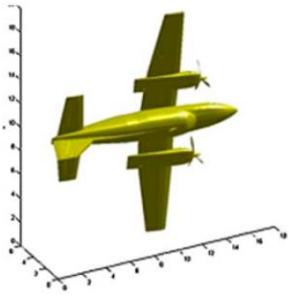
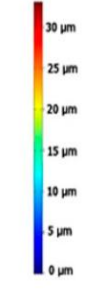
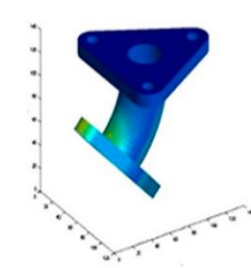
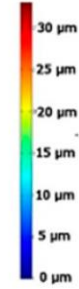
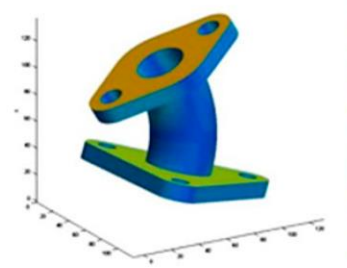
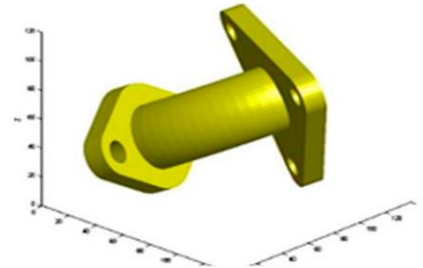
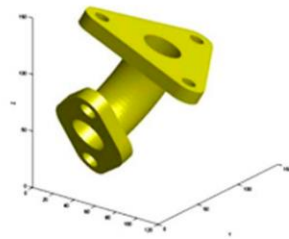
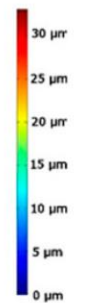
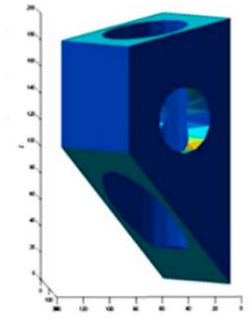
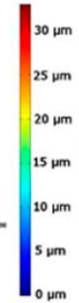
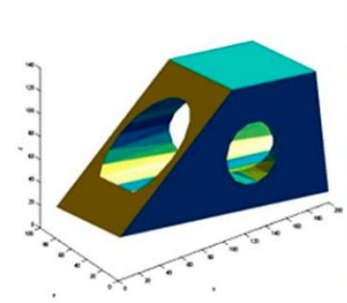
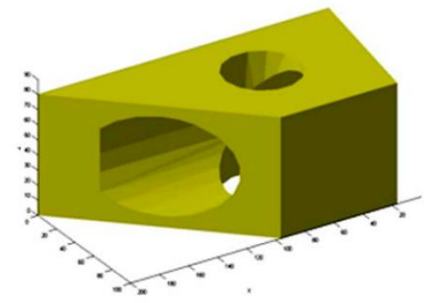
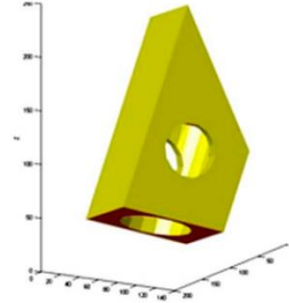
Darab helyzete, térbeli pozíciója a gyártóberendezés munka területén belül.

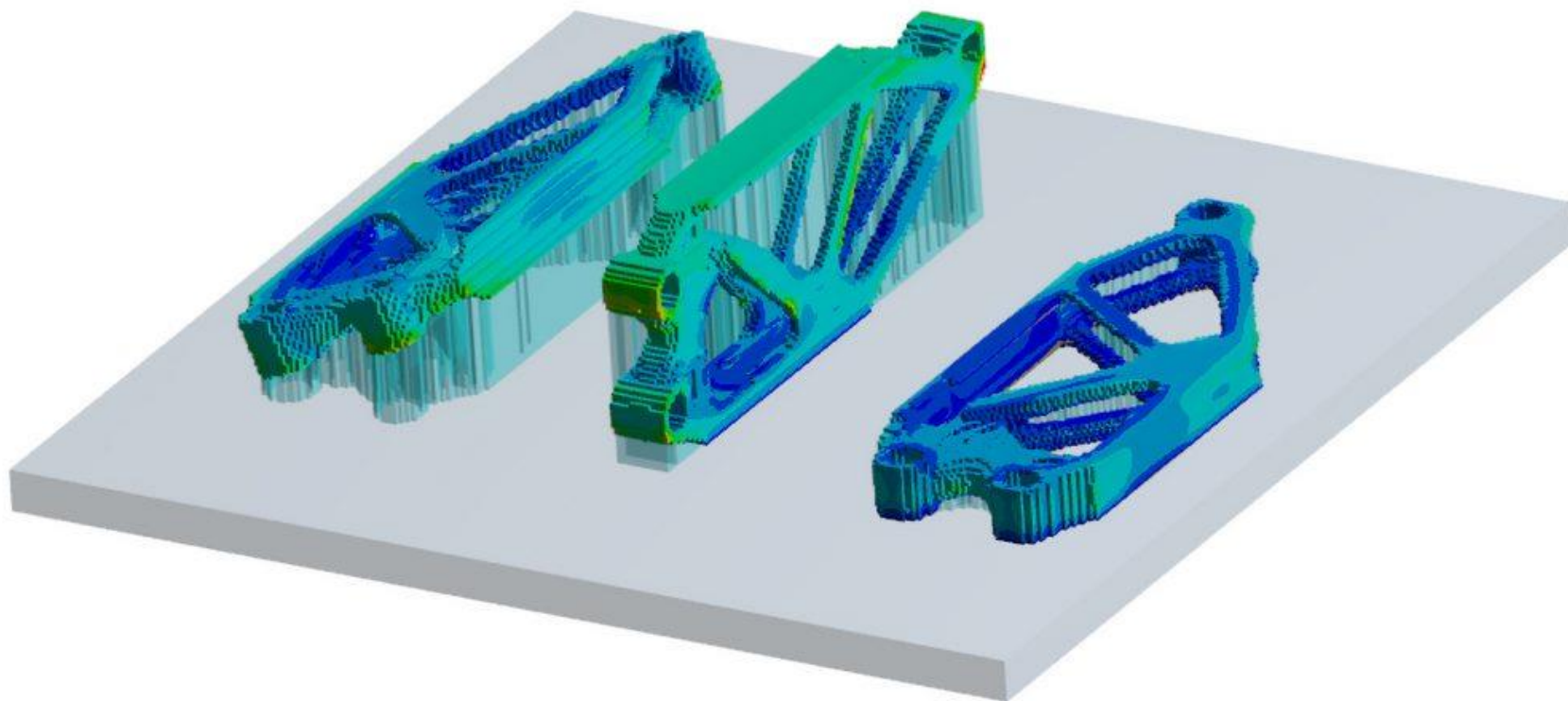
**(a) Worst Orientation**  
(criterion: Cost)

**(b) Best Orientation**  
(criterion: Cost)

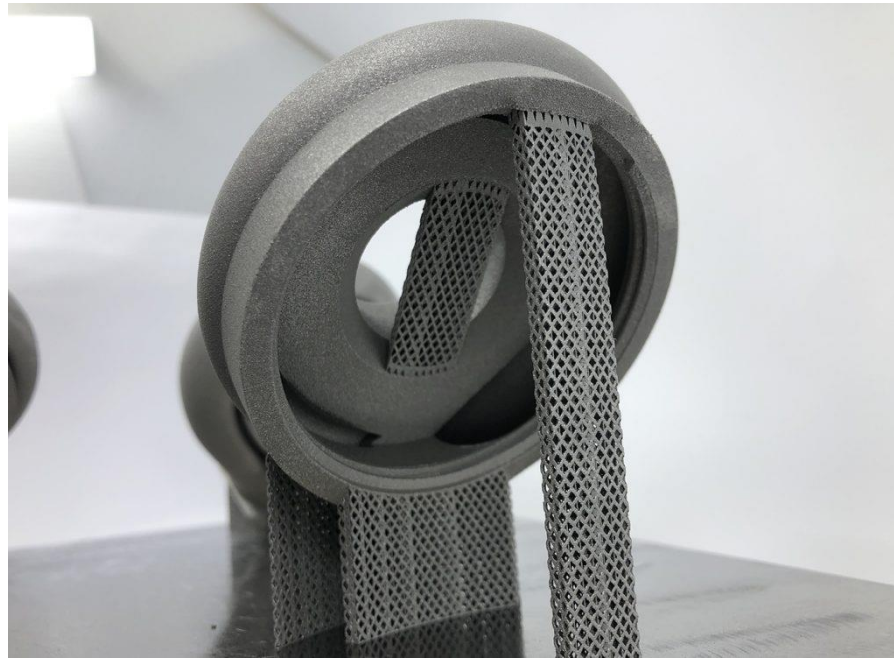
**(c) Worst Orientation**  
(criterion: Quality)

**(d) Best Orientation**  
(criterion: Quality)



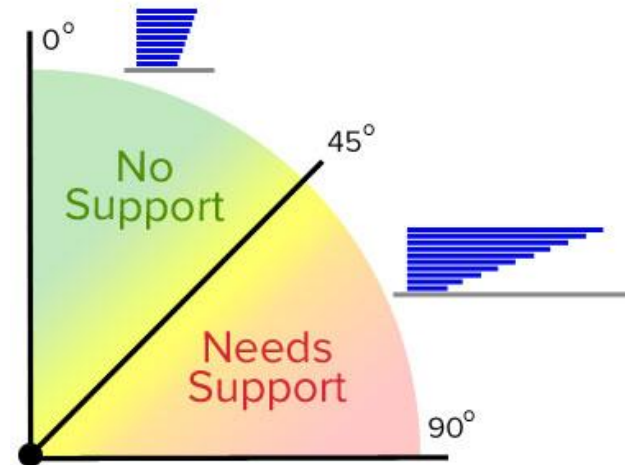
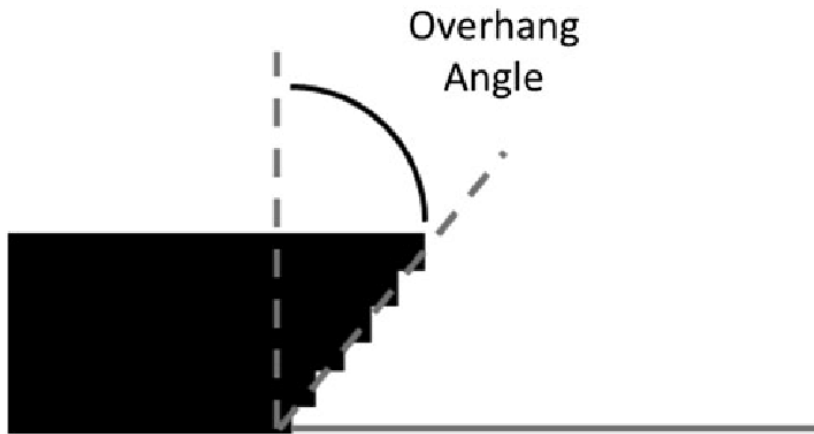
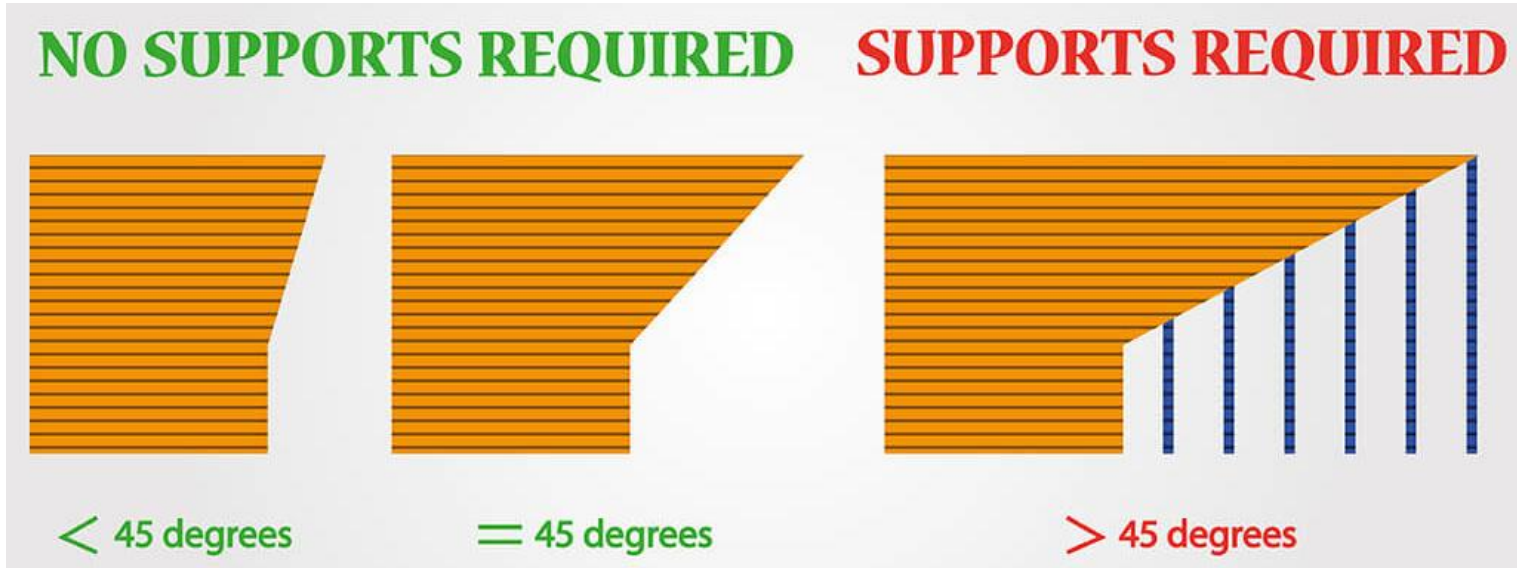


# Támasz / Support



Lézersugaras Porágyolvasztás technológia

1. **Mechanikai stabilizálás** → alkatrész ne mozduljon el a terítő lécz miatt
2. **Hőelvezetés** → Nagy lokális energia bevétel + fémpor rossz hővezető
3. **Platformhoz való rögzítés** → Hőbevétel → maradó feszültség → alakvált. Elkerülése „darab ne tépje le magát a platformról





**3D NYOMTATÁS**



**MARÁS**



**NYOMTATÁS+MARÁS**



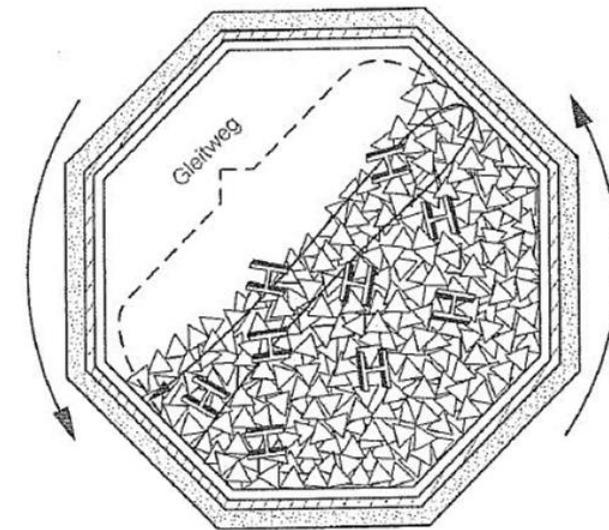
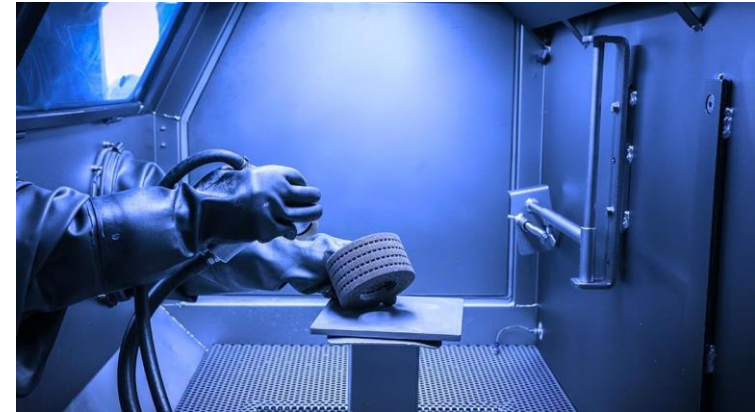
**HIBRID GYÁRTÁSTECHNOLÓGIA**

Az olyan gyártástechnológiákat, ahol a technológia a gyártás során legalább egy nem additív és egy additív gyártástechnológiát összekapcsol.



## Mechanikai felületkezelések

- Gépi megmunkálás
- Szemcseszórásos
  - Homok
  - Üveggyöngy
- Polírozás
  - Gépi
  - Kézi



## **Kémiai felületkezelések**

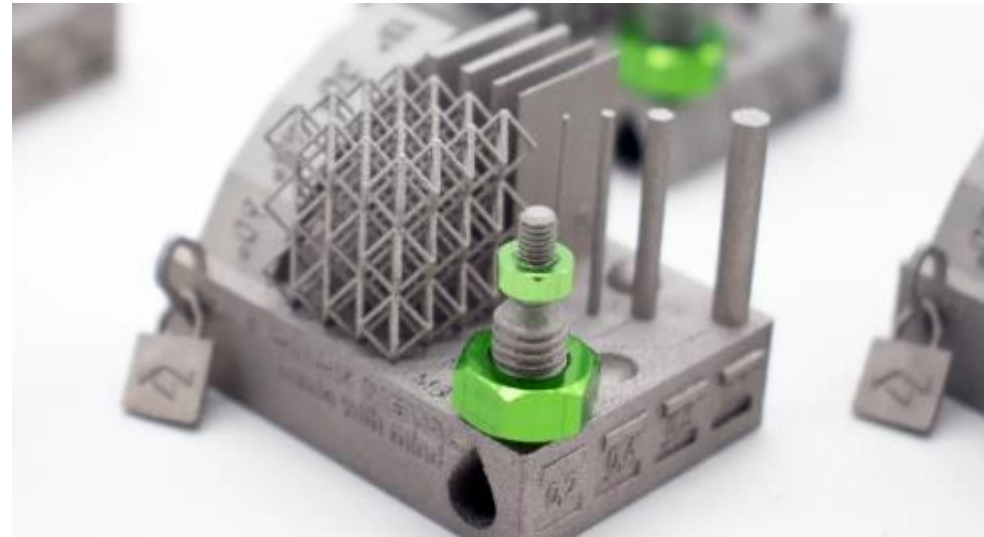
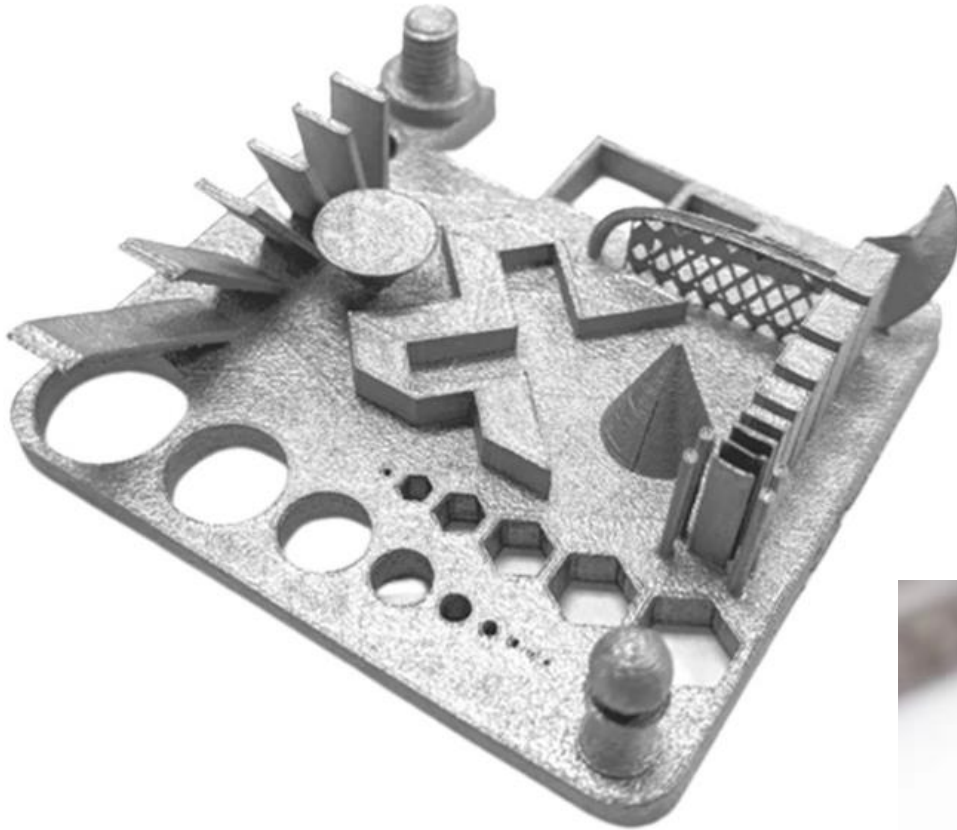
- Maratás

## **Elektrokémiai felületkezelések**

- Anodizálás
- Elektropolírozás

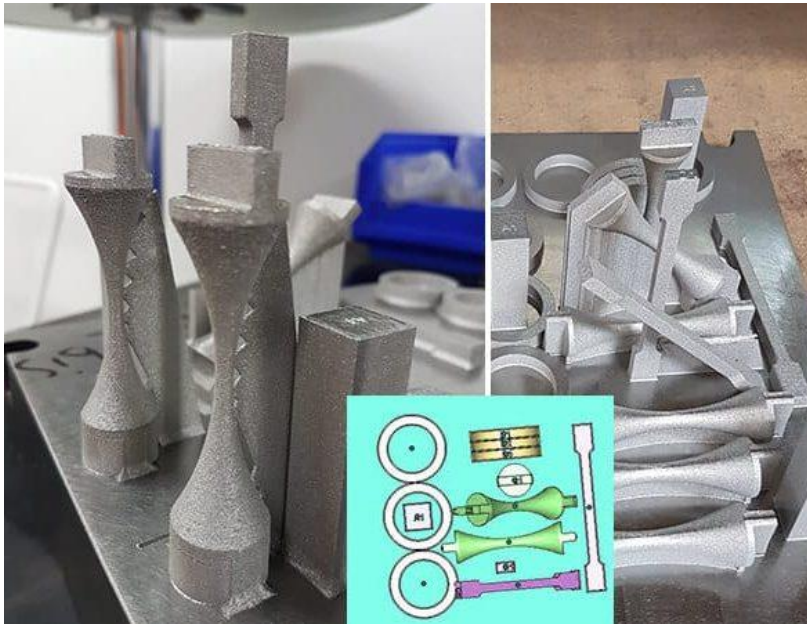
## **Plazma felületkezelések**

# Minőségbiztosítás



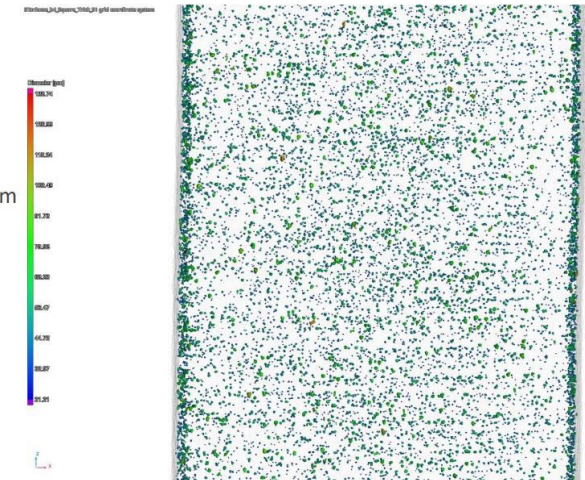
## Roncsolásos Anyagvizsgálat

## Roncsolásmentes Anyagvizsgálat - CT



„SAMPLE 1“

- VS: 5  $\mu\text{m}$
- ROI height: 7,5 mm
- Porosity: 0.11 %
- No of defects: 11166
- Avg pore diameter: ca. 42  $\mu\text{m}$



Törvényi előírás a gyártás technológiáknak erre a területére Magyarországon még nincs!

Metal AM gyártó berendezés → magyar nyelvű kezelési karbantartási utasítással kell forgalmomba hozni!

Veszélyforrás:

- Fémpor
- Lézersugár
- Védőgáz

- Tűz és robbanás veszélyes!



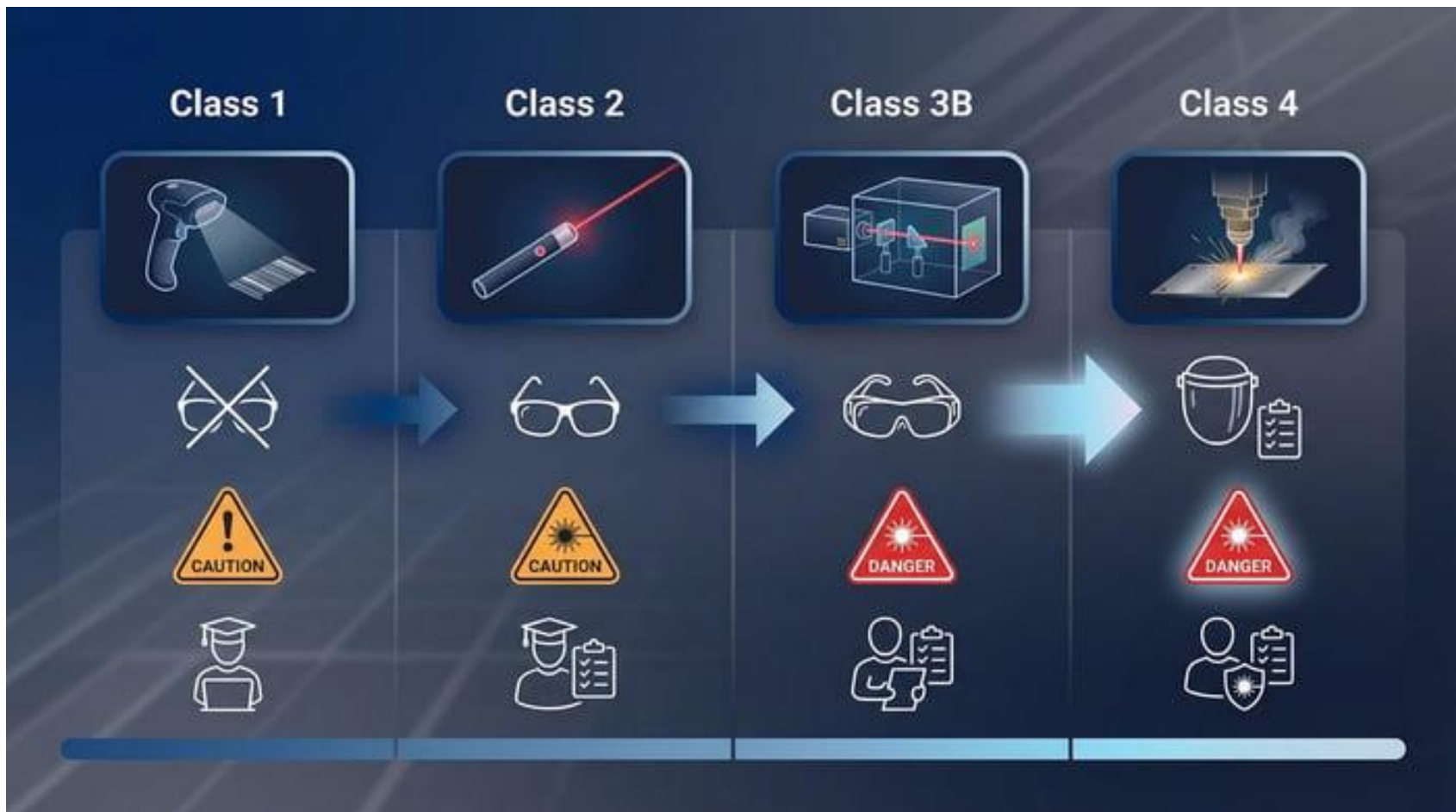
## Eseti, rendszertelen használat



## Rendszeres, használat



LMPF + LMD → Class4!





- Felkeltettem az érdeklődésed a fém additív gyártásirány?
- **Fémek Additív Gyártástechnológiája**
  - **BMEGEMTBVAG**
  - Szabadonválasztható tantárgy
  - 2026/27/2 (tavaszi félév)
  - Online, TEAMS-es felületen
  - Hetente 2x45 perc
  - Követelmény:
    - Jelenlét
    - Házi Feladat



Köszönöm a megtisztelő  
figyelmet!

Várom a kérdéseket!