

Aditivní technologie

(aditivní výroba, Rapid Prototyping)

Ing. Petr Keller, Ph.D.

Aditivní výroba

Norma ISO/ASTM 52900 uvádí schválené kategorie a názvy procesů aditivních technologií, které jsou uvedeny v následujícím seznamu:

- vytlačování (extrudování) materiálu – proces aditivní výroby, ve kterém je materiál selektivně dávkován tryskou nebo otvorem,
- tryskání materiálu – proces aditivní výroby, ve kterém jsou selektivně nanášeny kapičky stavěného materiálu,
- **tryskání pojiva – proces aditivní výroby, ve kterém je kapalné pojivo selektivně nanášeno pro spojení práškového materiálu,**
- laminování deskového materiálu – proces aditivní výroby, ve kterém je pro vytvoření součásti spojován deskový materiál,
- fotopolymerizace – proces aditivní výroby, při kterém je kapalný fotopolymer v nádobě selektivně vytvrzován polymerizací aktivovanou světlem,
- **spojování prášku ve vrstvách teplem – proces aditivní výroby, při kterém tepelná energie selektivně spojuje oblasti ve vrstvě prášku,**
- **řízená energie natavování – proces aditivní výroby, při němž je tepelná energie soustředěna na spojení materiálů tavením v okamžiku nanášení.**

Starší dělení dle stavu vstupního materiálu

Kapalina (fotopolymery):

- Stereolithography Apparatus (SLA)
- Digital Light Processing (DLP)
- Polyjet printing

Prášek:

- Selective Laser Sintering (SLS)
- Selective Laser Melting (SLM, DMLS)
- Three Dimensional Printing (3DP)
- Multi Jet Fusion (MJF)
- Directed Energy Deposition (DED, Laser Cladding, MPA,...)

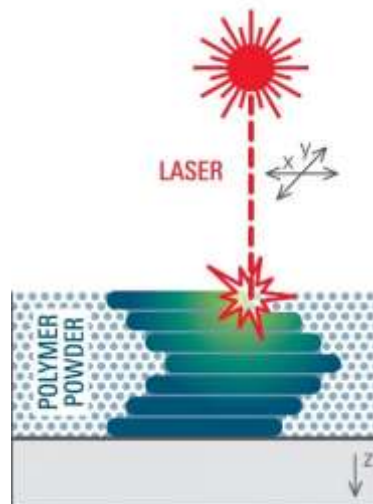
Pevný:

- Fused Deposition Modelling (FLM, FDM, FFF)
- Laminated Object Manufacturing (LOM)
- Drop on demand, Thermoplastic Ink Jet (DOD, TIJ)
- ARBURG Plastic Freeforming (APF)
- Directed Energy Deposition (DED, MIG/MAG navařování)

Aditivní technologie

– spojování prášku ve vrstvách teplem

- spojování prášku ve vrstvách teplem – proces aditivní výroby, při kterém tepelná energie selektivně spojuje oblasti ve vrstvě prášku
- powder bed fusion – an additive manufacturing process in which thermal energy selectively fuses regions of powder bed

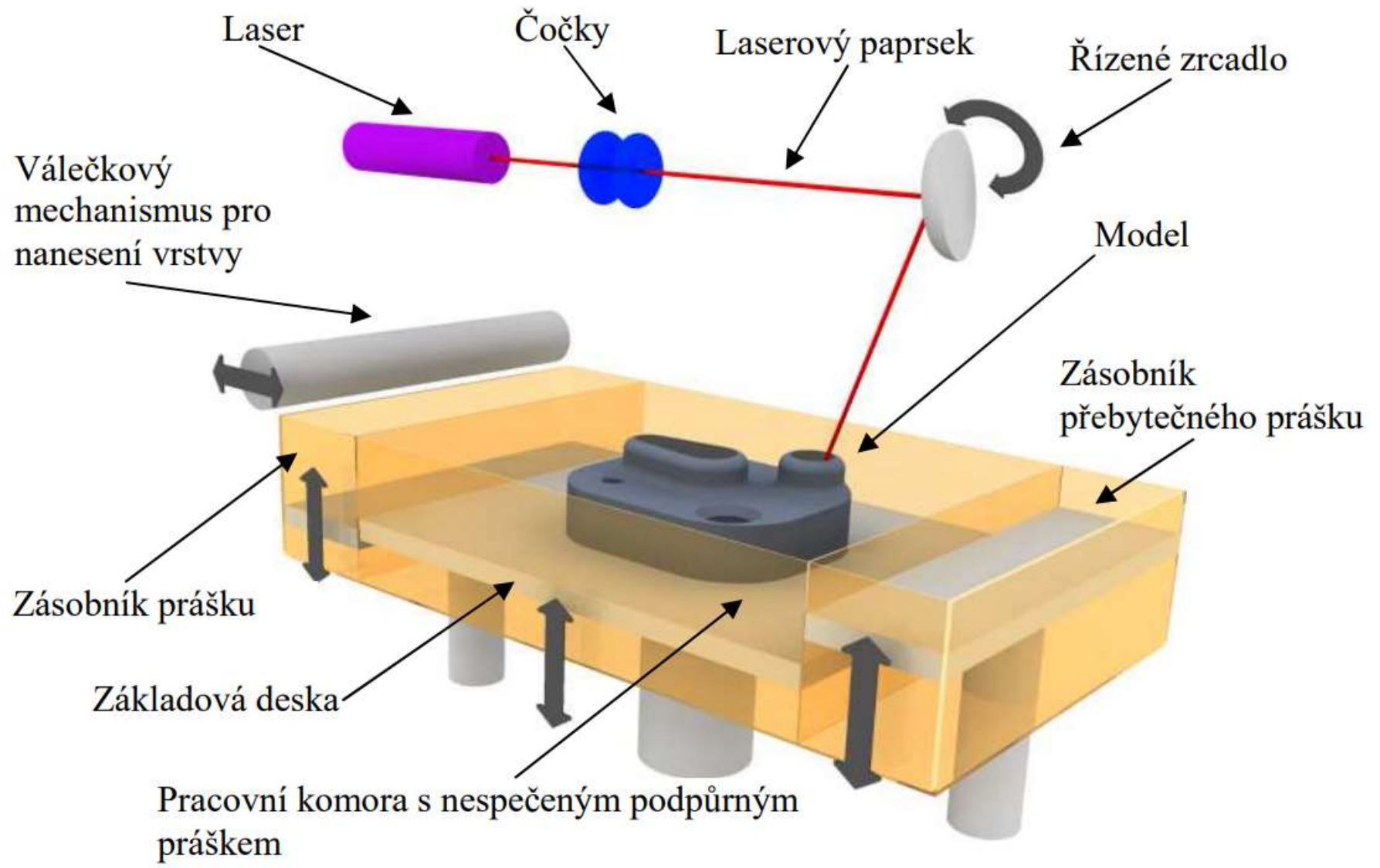


Proces sintrování

- je proces zhutňování a vytvoření pevné hmoty materiálu teplem a / nebo tlakem bez jeho roztavení až na bod zkapalnění
- atomy v materiálech difundují přes hranice částic, spojují částice dohromady a vytvářejí jeden pevný kus



Selective Laser Sintering

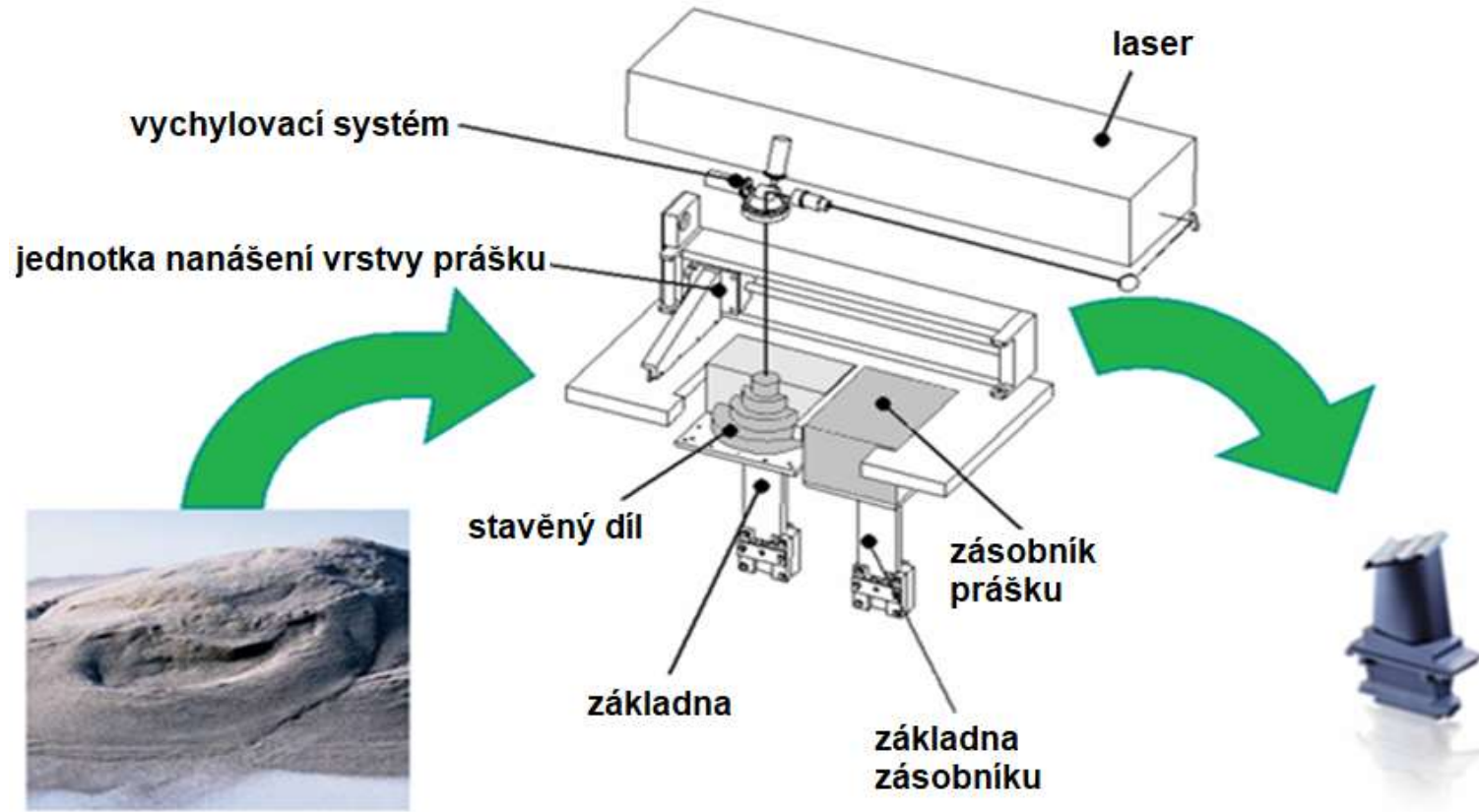


Selective Laser Sintering



	Selective Laser Sintering (SLS)
Použití	Ideální pro trvanlivé, funkční díly pro nejrůznější aplikace. Možnost vyrábět odolné díly s pohyblivými částmi. Teplo a chemicky odolné.
Velikost pracovního prostoru	710 x 480 x 480 mm
Tloušťka vrstvy	0.1 mm
Volby materiálů	polyamid, sklem plněný polyamid, Durable Nylon
Doporučená minimální velikost detailu	0.75 - 1.00 [mm]

Spojování prášku ve vrstvách teplem – Selective Laser Melting

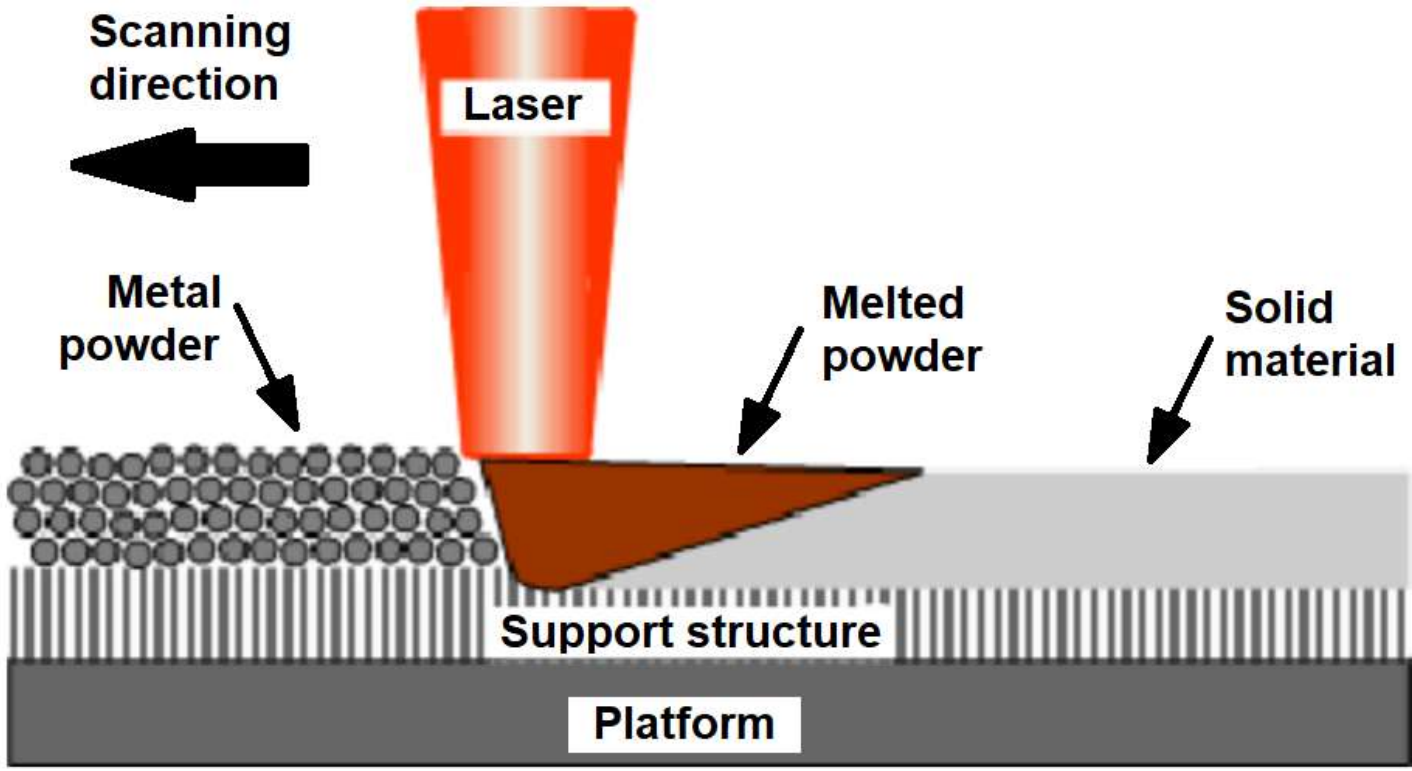


- tavení kovového prášku pomocí výkonného laseru
- proces musí probíhat v inertní atmosféře – kovové prášky snadno hoří (pro oceli a slitiny hliníku stačí dusíková atmosféra, pro titan argon)
- v díle je velké vnitřní pnutí – musí být přivařen pomocí podpor k základně

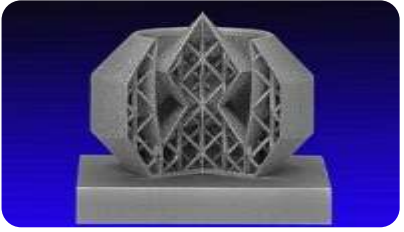
Selective Laser Melting



Spojování prášku ve vrstvách teplem – Selective Laser Melting



princip stavby jedné vrstvy



SLM 280



Pracovní prostor (L x W x H)	280 x 280 x 365 mm snížený o tl. stavební základny
Konfigurace optiky	jeden (1x 400 W), dva (2x 400 W), duální (1x 400 W a 1x 1000 W); jeden (1x 700 W), dva (2x 700 W), duální (1x 700 W a 1x 1000 W) IPG vláknový laser
Výkon stavby modelu	až 55 cm ³ /h
Tloušťka vrstvy	20 μm - 75 μm
Min. velikost detailu	150 μm
Průměr zaostření paprsku	80 - 115 μm
Max. rychlost skenování	10 m/s
Průměrná spotřeba inertního plynu během procesu stavby	2,5 l/min (argon)
Průměrná spotřeba inertního plynu při přípravě procesu	70 l /min (argon)

Titan



Nástrojová a nerezová ocel



Slitiny hliníku

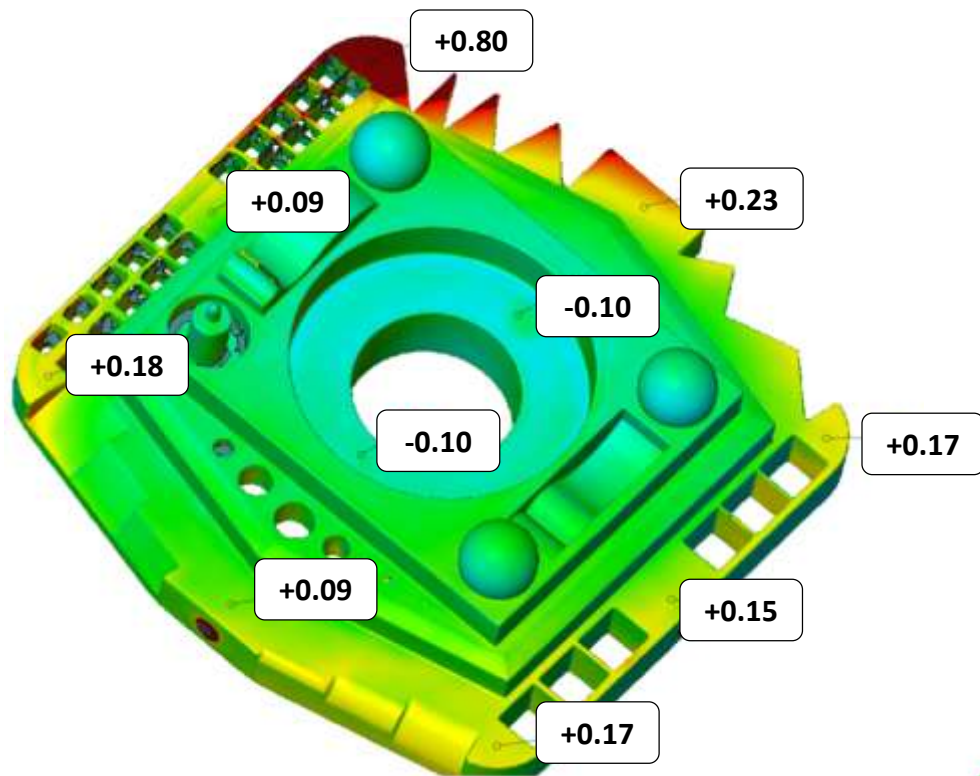


Kobalt-Chrom

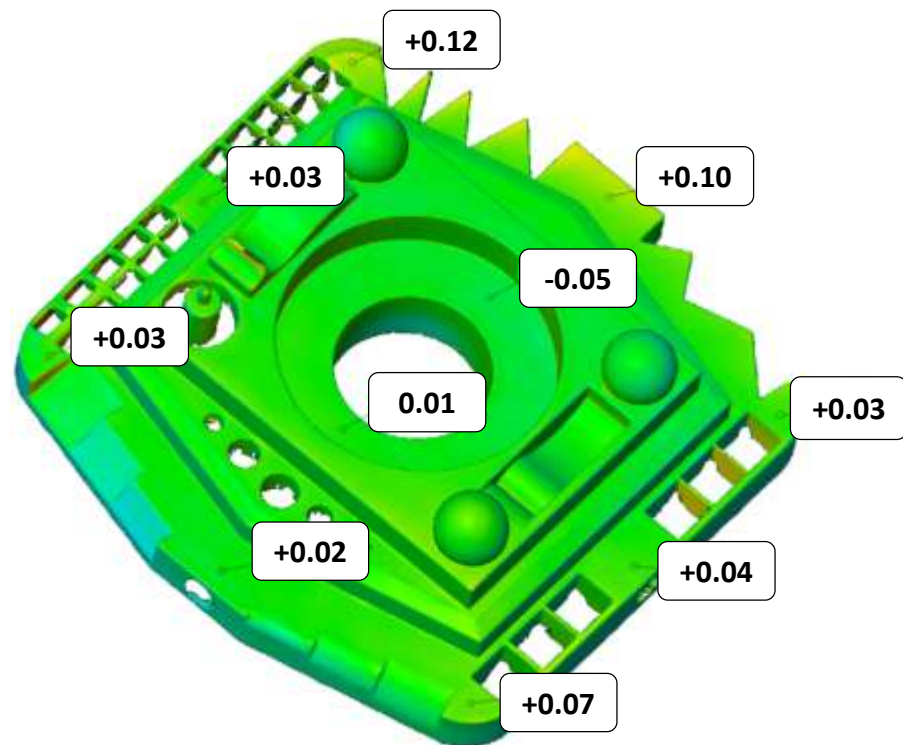


Slitiny niklu





po aplikaci žíhání na odstranění pnutí



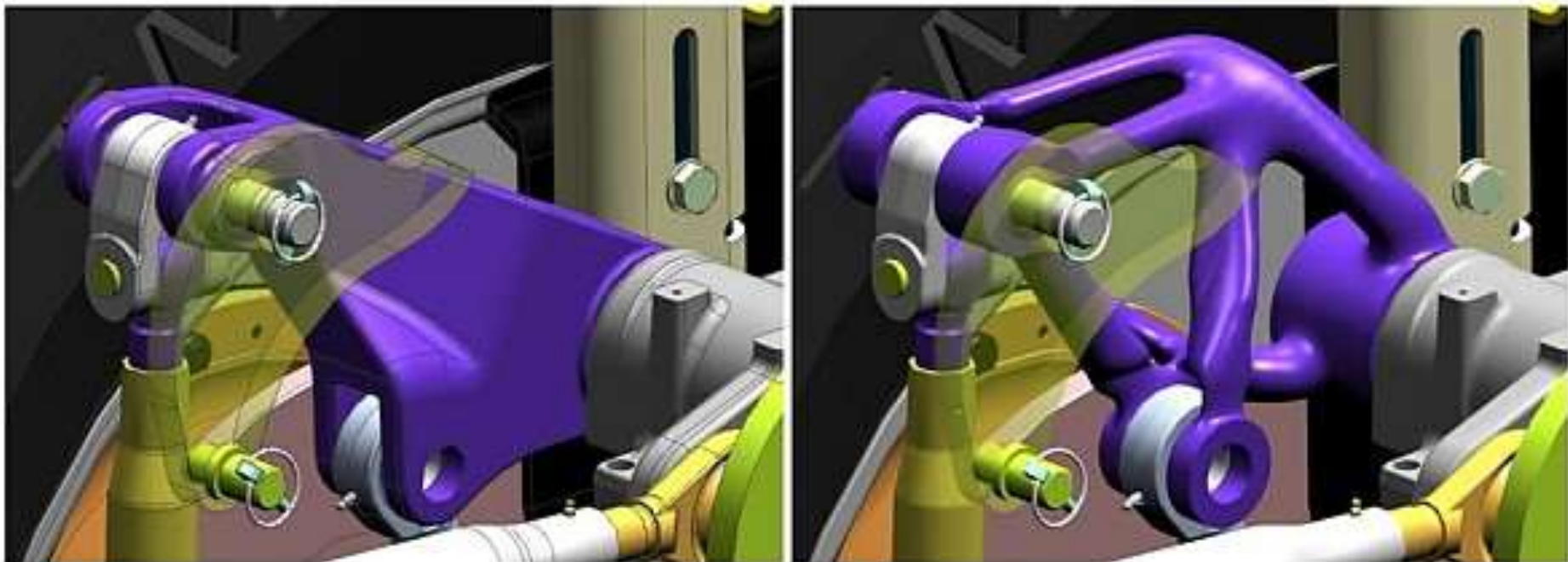
Výhody SLM

- kovové díly
- vysoká kvalita výsledného dílu, porozita $< 0,1\%$
- možné vytvářet odlehčené struktury \leftrightarrow topologická optimalizace dílů (nový směr konstrukce)

Nevýhody SLM

- složitější post-processing – díl musí být přivařen k platformě, jinak by se vlivem vnitřního pnutí zdeformoval \rightarrow odstranění podpor je náročné
- nutné žíhání pro odstranění vnitřního pnutí
- celý proces probíhá v ochranné atmosféře, delší příprava tisku, nároky na filtraci apod.
- prášky jsou rizikové ze zdravotního hlediska, složitější manipulace, nutná speciální výbava (ochranný oblek, respirátor, speciální vysavač, ...)
- drahý tisk

Příklad topologické optimalizace



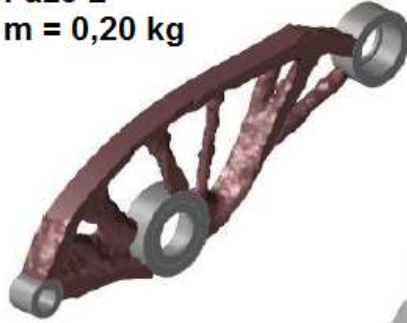
Porovnání standardního návrhu vahadla a jeho bionické konstrukce s úsporou hmotnosti materiálu až 30 %. (Siemens PLM Software)

Příklad topologické optimalizace na TUL

Fáze 1
m = 0,41 kg



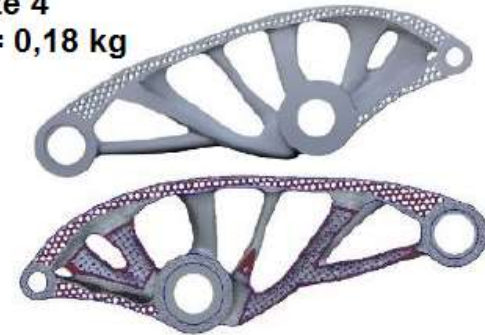
Fáze 2
m = 0,20 kg



Fáze 3
m = 0,20 kg



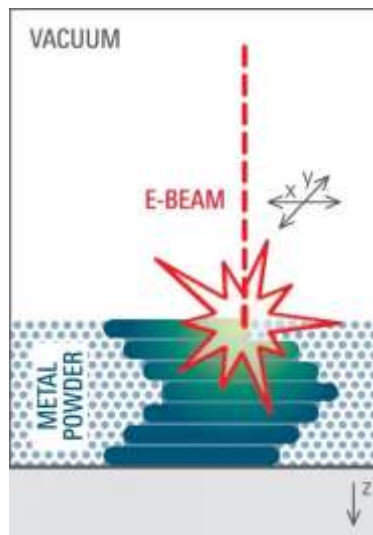
Fáze 4
m = 0,18 kg



Aditivní technologie

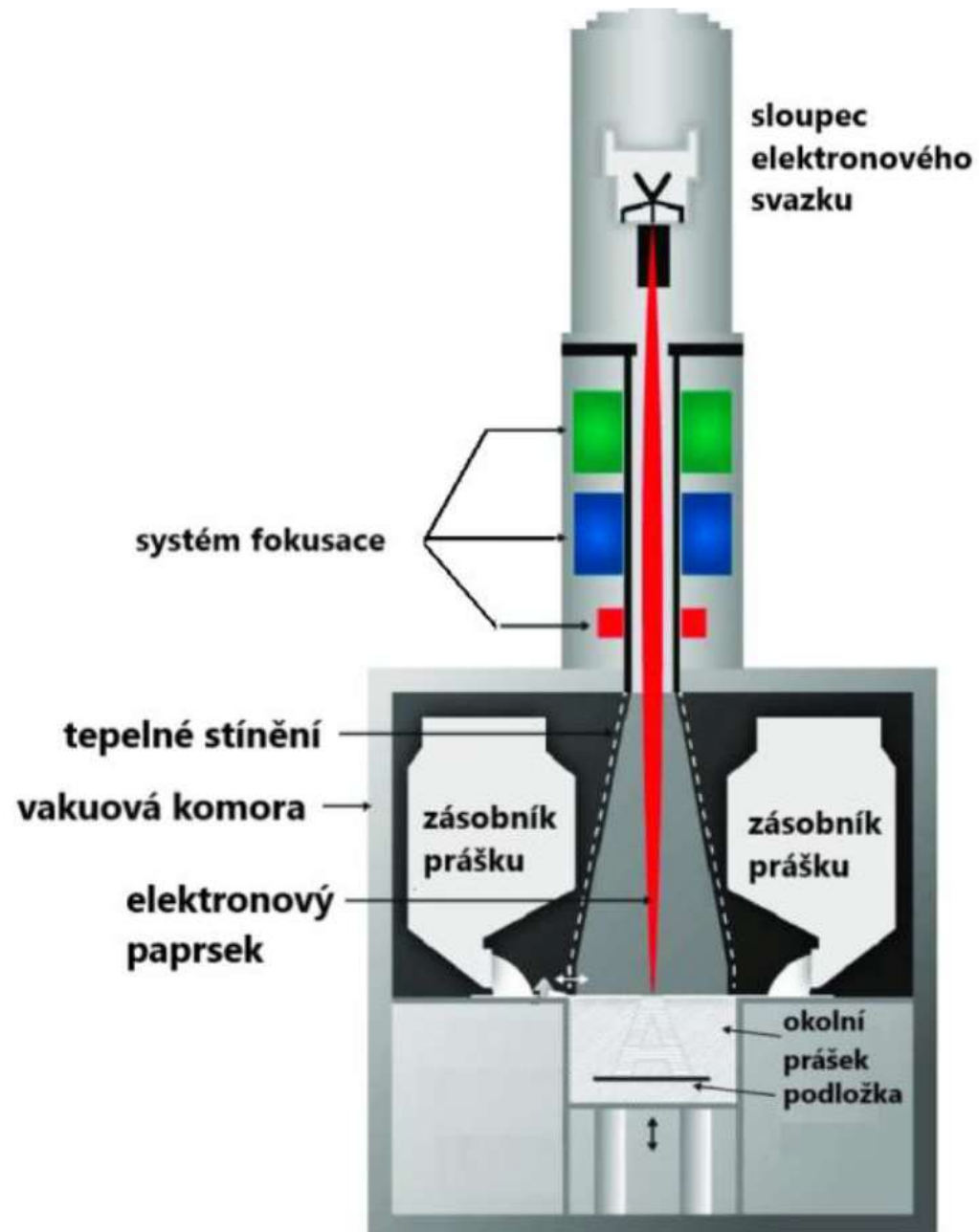
– spojování prášku ve vrstvách teplem

- spojování prášku ve vrstvách teplem – proces aditivní výroby, při kterém tepelná energie selektivně spojuje oblasti ve vrstvě prášku
- powder bed fusion – an additive manufacturing process in which thermal energy selectively fuses regions of powder bed



Spojování prášku ve vrstvách teplem – Electron Beam Melting

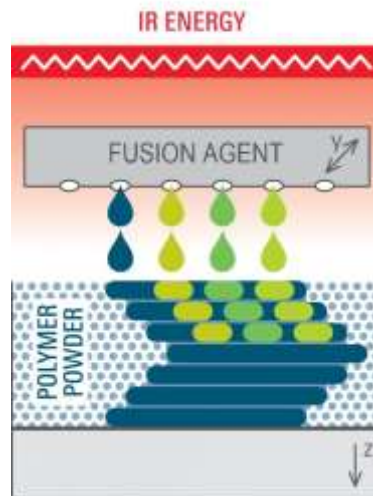
Metoda EBM využívá jako zdroj tepla elektronový svazek, který taví prášek (případně drátový přídavný materiál) v jednotlivých vrstvách. Výroba dílu probíhá ve vakuové komoře pro dosažení vysoké kvality bez nutnosti použití ochranného plynu. Výhodou EBM je, že zdroj tepla dokáže udržovat žíhací teplotu v průběhu výroby. Díky tomu díly vyrobené pomocí metody EBM, nevyžadují následné tepelné zpracování ke snížení vnitřního pnutí oproti metodě SLM. Nevýhodou této metody může být relativně drsný povrch dílu vyžadující povrchové úpravy. I přes vyšší pořizovací cenu vakuového systému se tato metoda využívá například k výrobě titanových dílů v leteckém průmyslu.



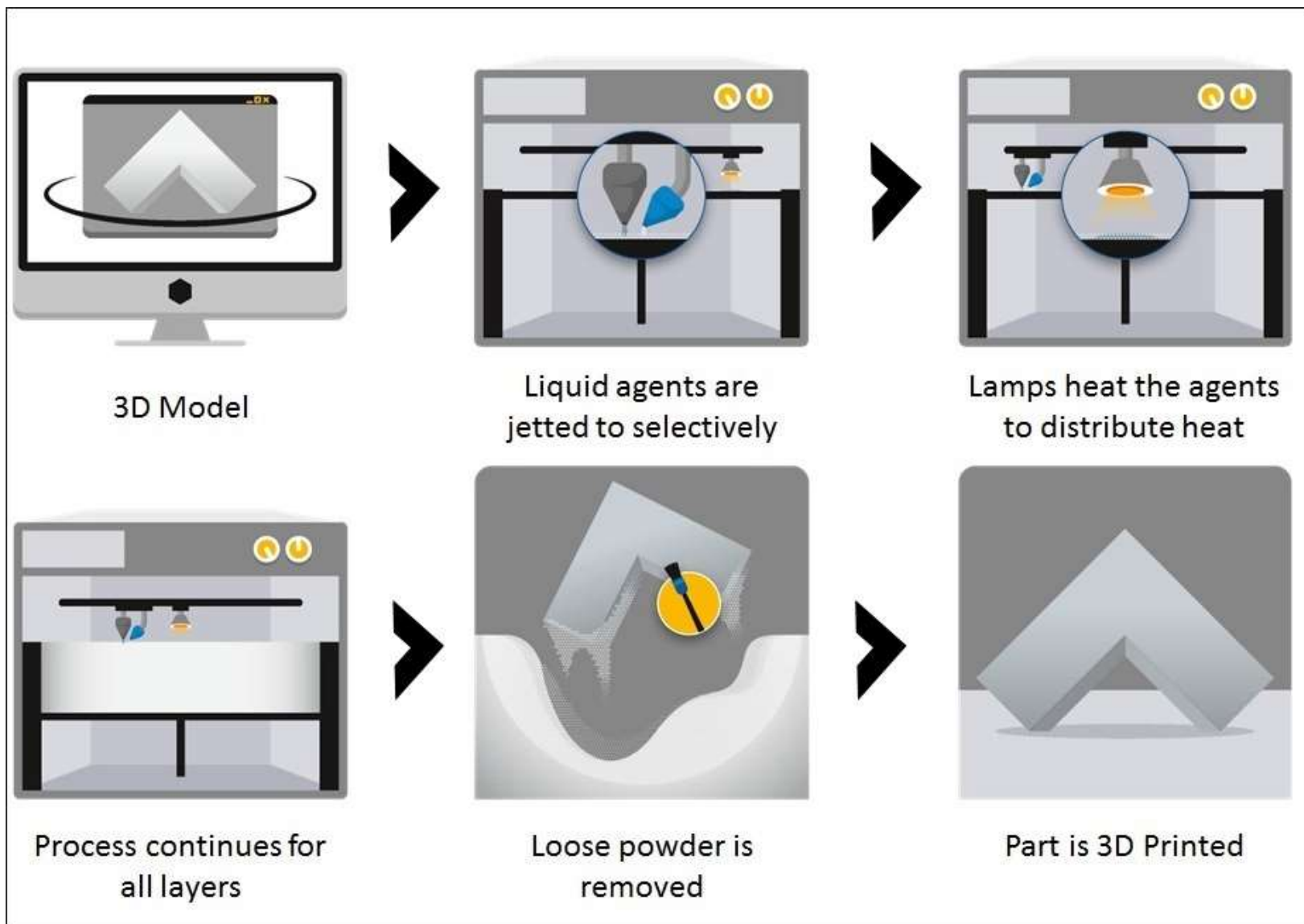
Aditivní technologie

– spojování prášku ve vrstvách teplem

- spojování prášku ve vrstvách teplem – proces aditivní výroby, při kterém tepelná energie selektivně spojuje oblasti ve vrstvě prášku
- powder bed fusion – an additive manufacturing process in which thermal energy selectively fuses regions of powder bed

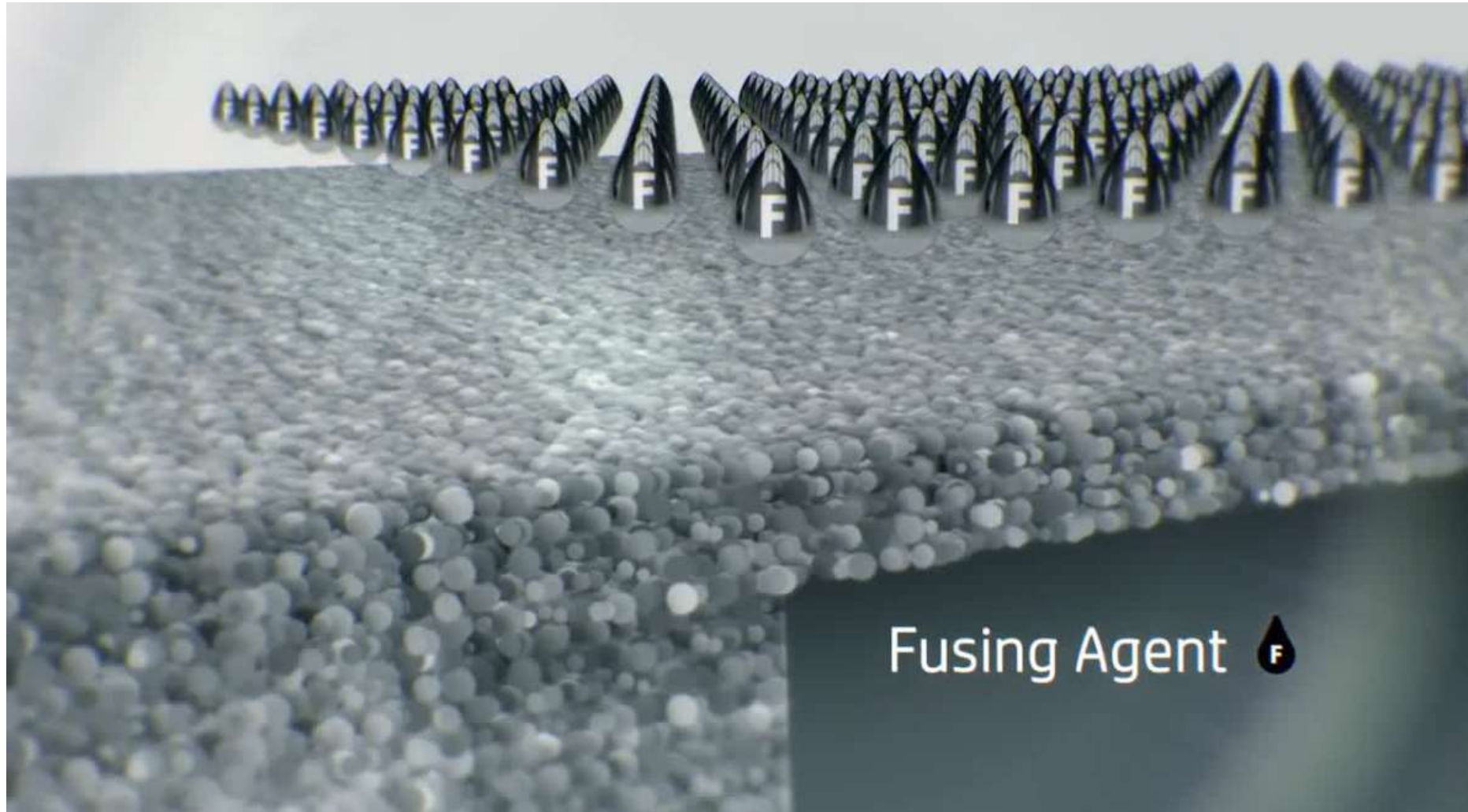


HP MultiJet Fusion



3D tisk z polyamidu bez použití laseru

HP MultiJet Fusion



	HP MultiJet Printing
Použití	Funkční díly z PA nebo TPU se srovnatelnými vlastnostmi jako u dílů vstříkovaných do forem.
Velikost pracovního prostoru	256 x 340 x 360 [mm]
Tloušťka vrstev	0.08 [mm]
Standardní přesnost	± 0,3 mm
Materiálové možnosti	PA12, TPU
Doporučená minimální tloušťka stěny	1.0 mm, u TPU 0,5 mm
Struktura povrchu	Díly bez povrchové úpravy mají obvykle hladký povrch bez viditelných vrstev a kamenně šedou barvu. Díly vyrobené technologií Multi Jet Fusion lze pískovat a obarvit nebo impregnovat.

Výhody technologie MJF

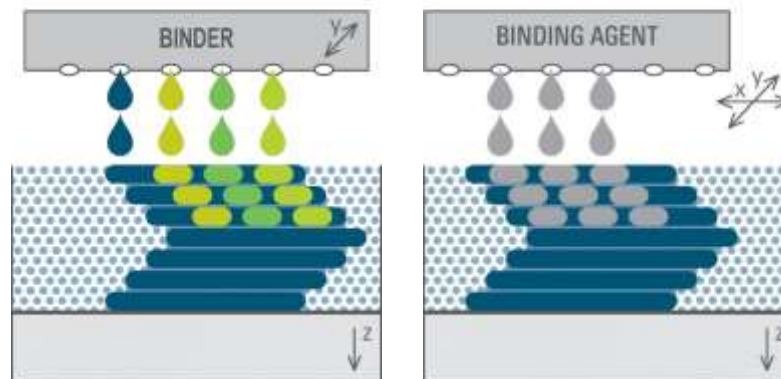
- Krátká doba výroby
- Nízká pórovitost
- Malé vnitřní pnutí
- Homogenní díly
- Vynikající kvalitu povrchu
- Díly s mechanickými vlastnostmi srovnatelnými s vlastnostmi dílů vyrobených vstřikováním do formy
- Série malých komponent jako nákladově efektivní alternativa vstřikování do formy

Nevýhody technologie MJF

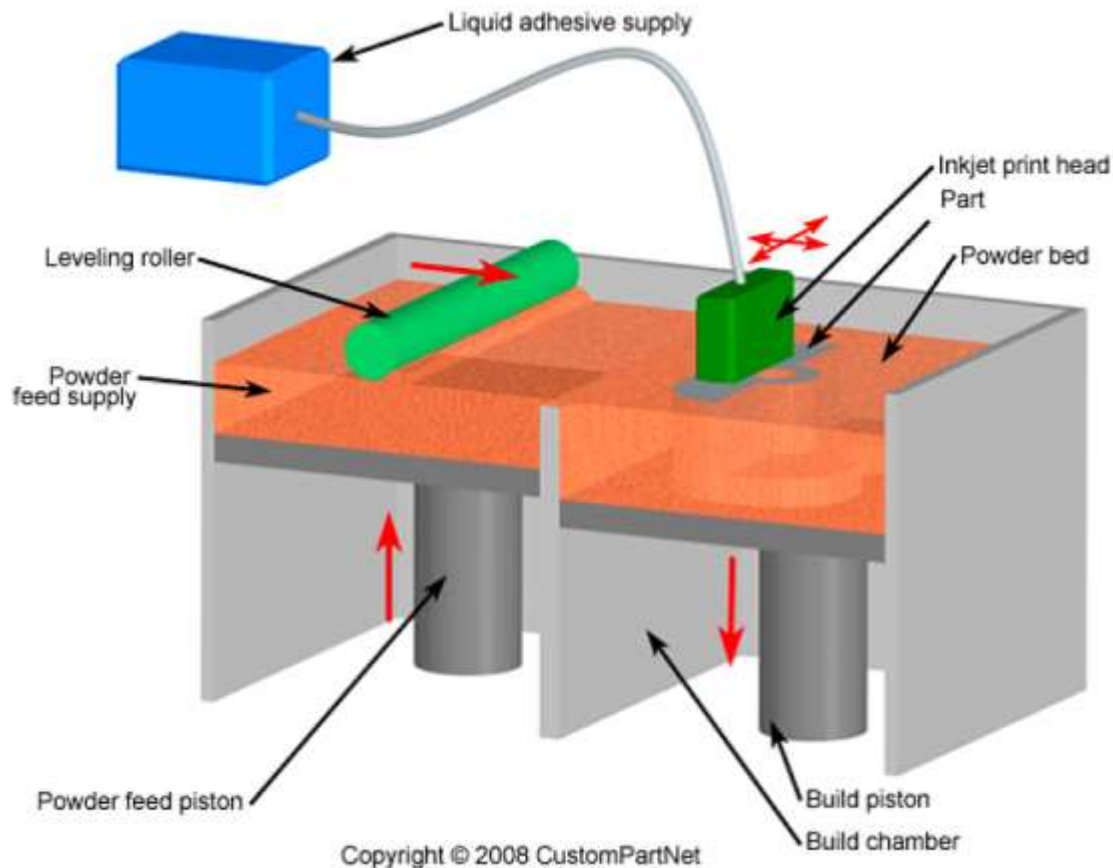
- Relativně malá přesnost
- Dlouhá doba chladnutí dílů po tisku, kdy s nimi není možné dál pracovat (při zaplnění celého pracovního prostoru až 16 hodin)
- Nová technologie – vysoké ceny

Aditivní technologie – tryskání pojiva

- tryskání pojiva – proces aditivní výroby, ve kterém je kapalné pojivo selektivně nanášeno pro spojení práškového materiálu
- binder jetting – an additive manufacturing process in which a liquid bonding agent is selectively deposited to join powder material



Tryskání pojiva – 3D Printing



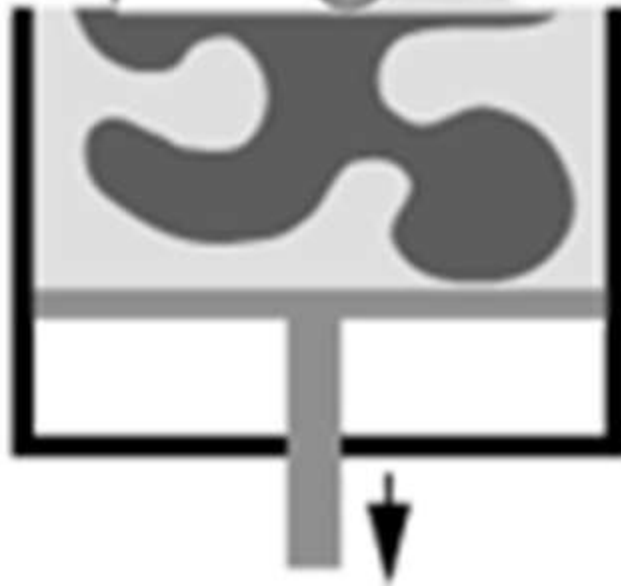
- na podobném principu, jako inkoustová tiskárna na papír
- materiál je prášek, do kterého se selektivně tryská pojivo
- nezpracovaný prášek zůstává v pracovním prostoru a slouží zároveň jako podpora pro další vrstvy, po ukončení tisku se recykluje

3D Printing

nanášení pojiva



nanesení a vyrovnání
lepitelného prášku



Binder jetting – 3D Printing



	ColorJet Printing (CJP - ZPrint)
Použití	Vynikající pro demonstrační modely s plným barevným tiskem. Tuhé díly s dobrou nárazovou pevností.
Velikost pracovního prostoru	250 x 380 x 200 [mm]
Tloušťka vrstev	0.089–0.100 [mm]
Materiálové možnosti	VisiJet PXL
Doporučená minimální velikost detailu	1.0 [mm]



Výhody technologie 3DP

- Levná a rychlá výroba
- Vhodná pro kancelářské použití
- Z vyrobených modelů se mohou zhotovit formy na výrobu odlitků
- Je možné vytvářet barevné modely

Nevýhody technologie 3DP

- Používaných základních materiálů je málo a nejsou technologického charakteru
- Poměrně dlouhá doba vytvrzení dílu - bezprostředně po tisku není možné s dílem manipulovat
- Plochy součásti jsou po dokončení drsné, nejsou odolné proti otěru, musí se napustit – prodloužení doby dokončení výrobku

Další technologie tryskání pojiva

Sand printing – tryskání pryskyřice do křemičitého písku (např. pro přímou výrobu forem pro odlévání kovů)

- Max. rozměry 1800 x 1000 x 700 mm, možno lepit do větších rozměrů
- Velmi komplikované tvary
- Přesnost tisku $\pm 0,3$ mm
- Zrnitost písku 0,19 mm
- Prodyšnost 180-300 GP, resp. 300-500 SI

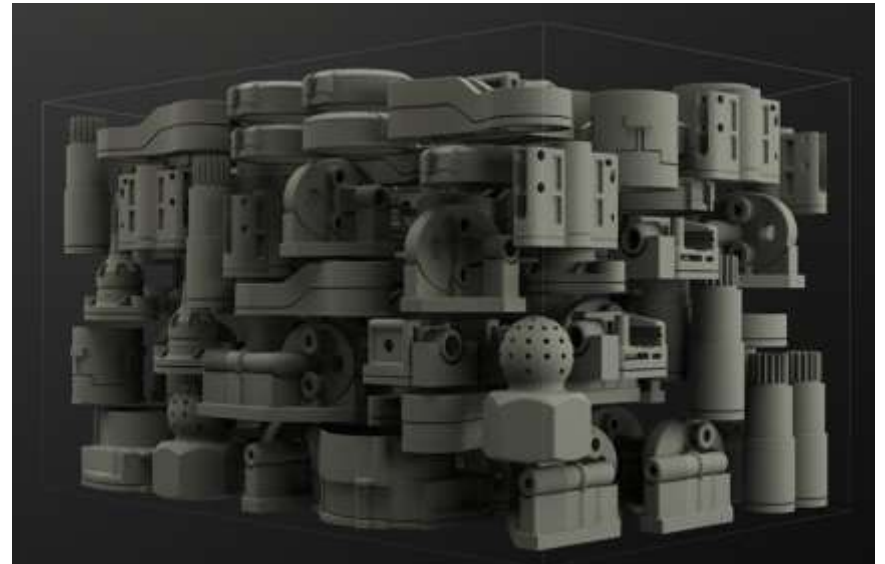
Do tištěných pískových forem je možné odlévat:

- Lehké neželezné kovy
- Těžké neželezné kovy
- Litinu
- Ocel do teploty lití 1500 °C



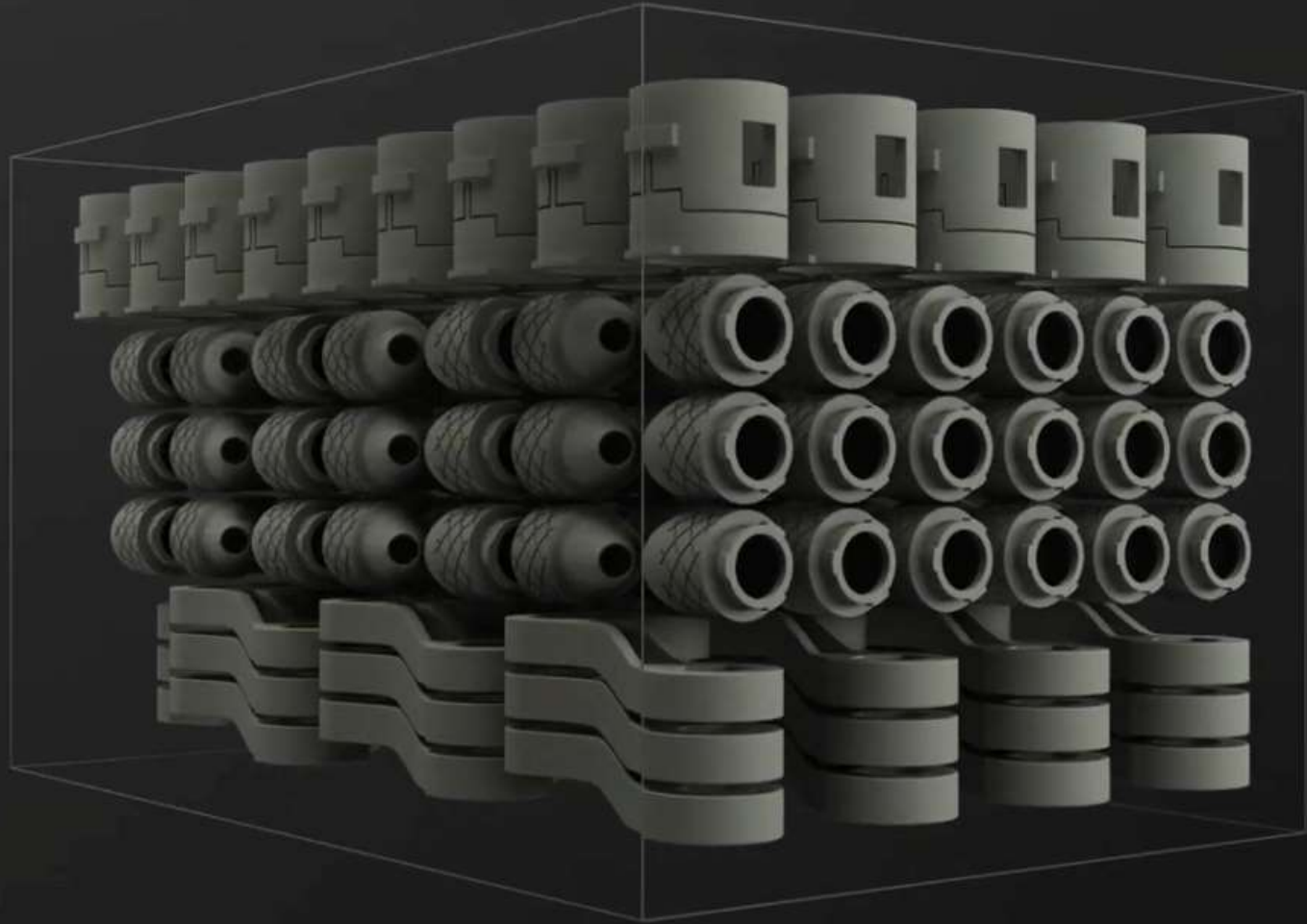
Další technologie tryskání pojiva

Metal binder jetting – Shop System od firmy Desktop Metal – lepení kovového prášku pro následnou výrobu kovových dílů (nutný debinding a sintrace)



<https://www.desktopmetal.com/products/shop>

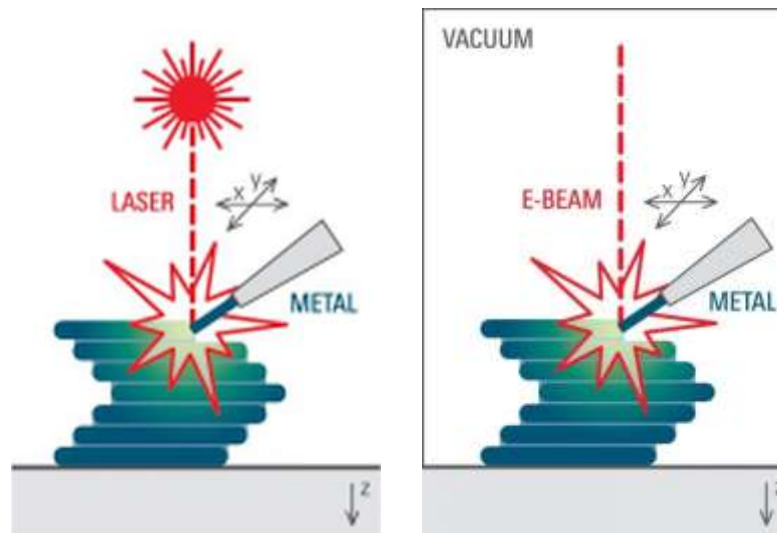
Metal binder jetting



Aditivní technologie

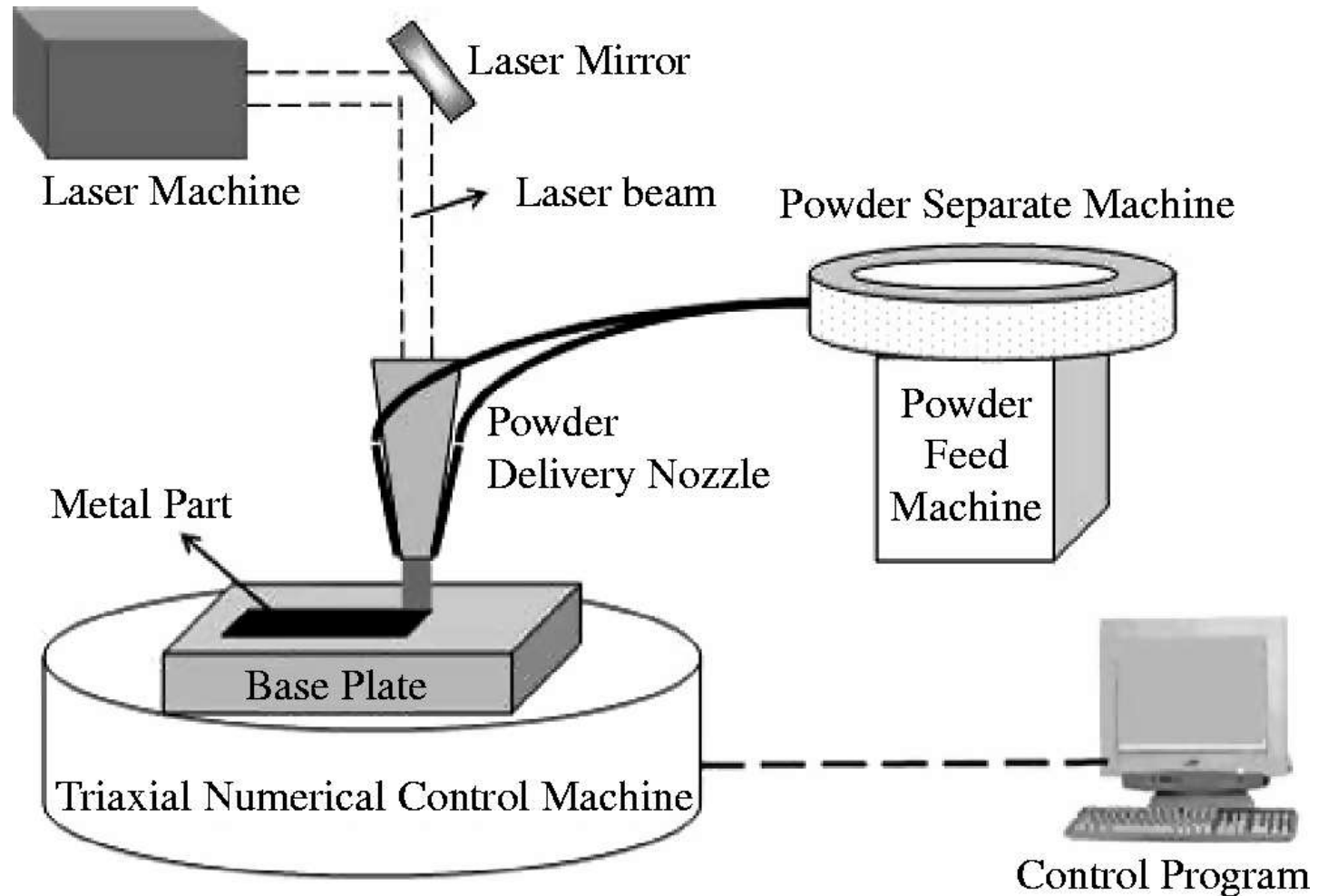
– řízená energie natavování

- řízená energie natavování – proces aditivní výroby, při němž je tepelná energie soustředěna na spojení materiálů tavením v okamžiku nanášení
- directed energy deposition – an additive manufacturing process in which focused thermal energy is used to fuse materials by melting as they are being deposited

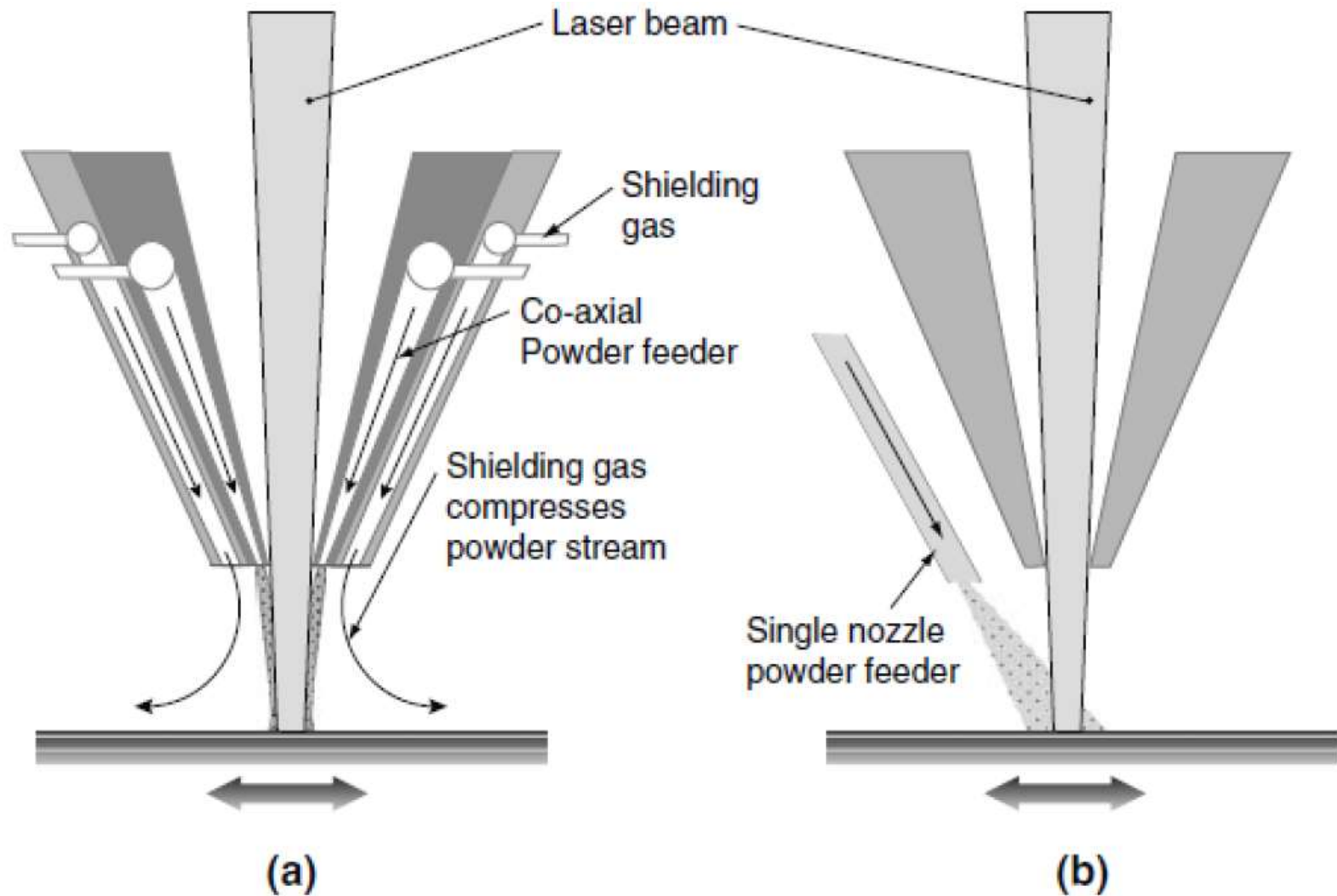


Zdroj: matca.cz/technologie/aditivni-technologie/

Directed Energy Deposition



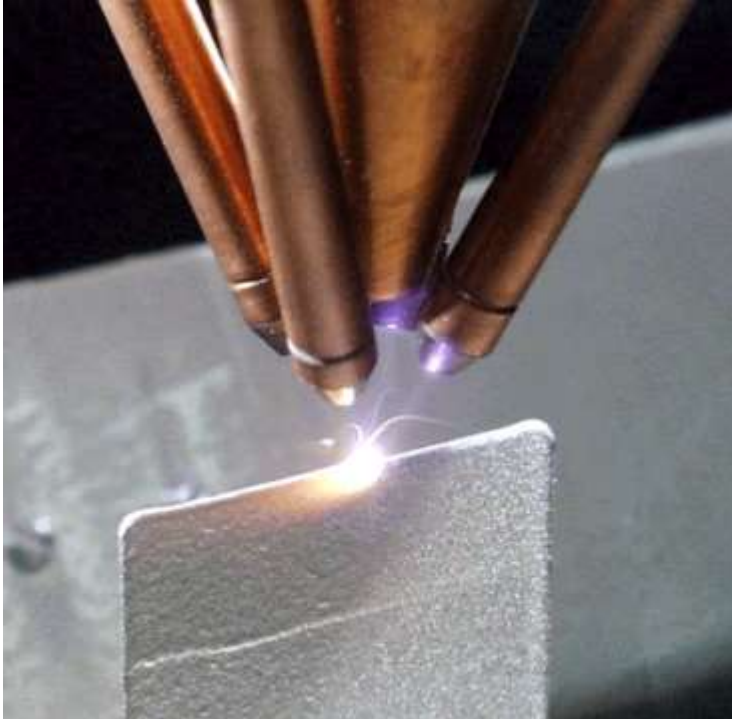
Directed Energy Deposition



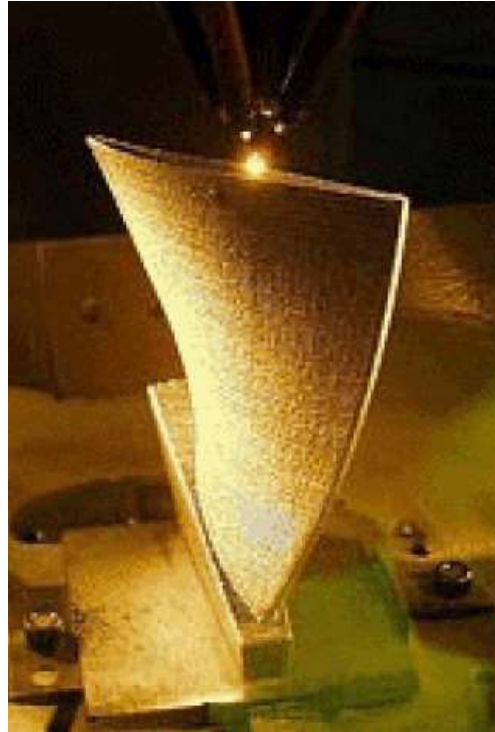
Directed Energy Deposition



LENS technology



Laser Engineered Net Shaping

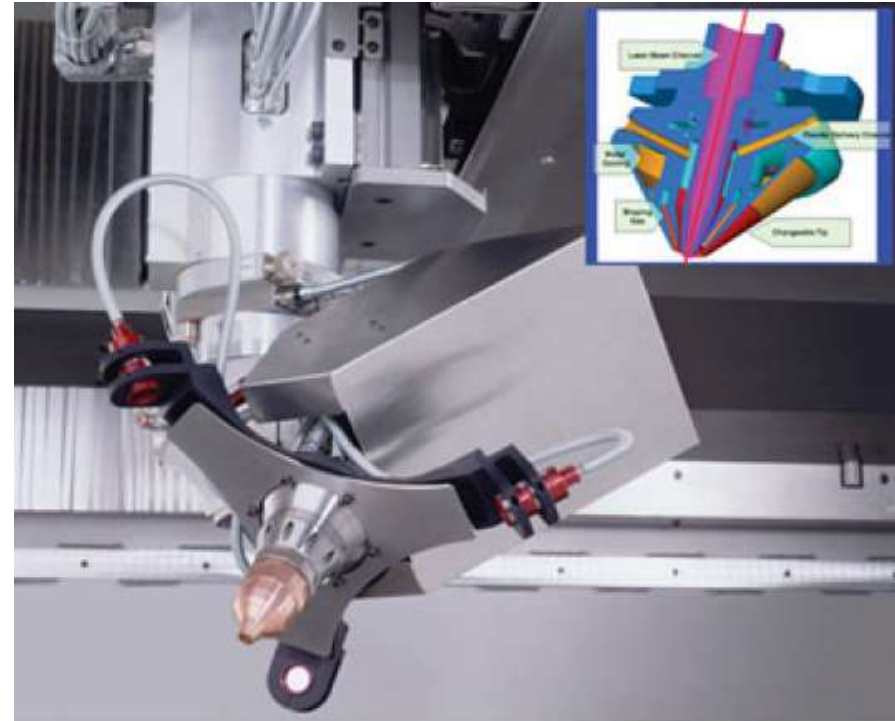


LENS technology



POM Group

- University Of Michigan
- For repair of tools and dies



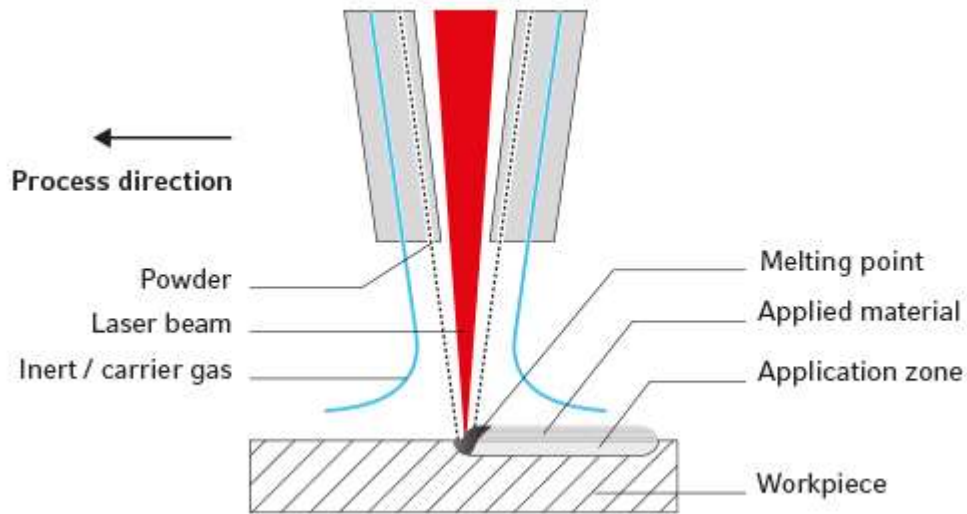
The POM group's patented approach to Direct Metal Deposition (DMD) includes cameras that measure the height of the melt and adjust laser power to maintain even height.



Řízená energie navařování

viz též hybridní technologie v závěru přednášek

Laserové navařování kovového prášku výkonným laserem, včetně adaptivní regulace výkonu laseru.



Zdroj: www.dmgmori.com/webspecial/journal_2014_1/en/lasertec-65.htm

Též navařování technologií MIG / MAG – levnější, ale větší tloušťka vrstev, tzn. obvykle ve spojení s obráběním → hybridní technologie

Řízená energie natavování

Typické technologie:

- **DED** – souhrnná zkratka (Directed Energy Deposition)
- **Laser Cladding** – DMG Mori
- **MPA** (Metal Powder Application) – Hermle
- **MIG/MAG** navařování – Kovosvit MAS (WeldPrint)