



Metallin ainetta lisäävät tekniikat ja materiaalit

T27-KANVES seminaari 19.10.2021

antti.jarvenpaa@oulu.fi
Tutkimusjohtaja, FMT

FMT
FUTURE MANUFACTURING
TECHNOLOGIES



Sisältö

1. Johdanto eri tulostustekniikoihin
2. Tulostusmateriaalit ja laatu





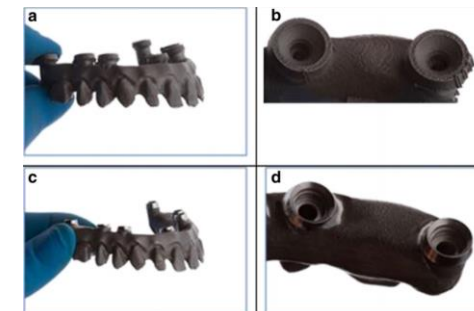
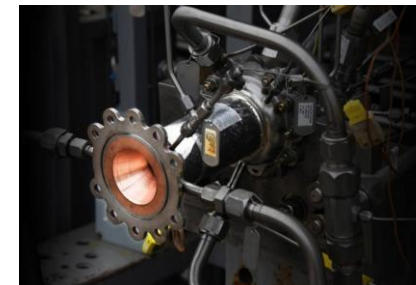
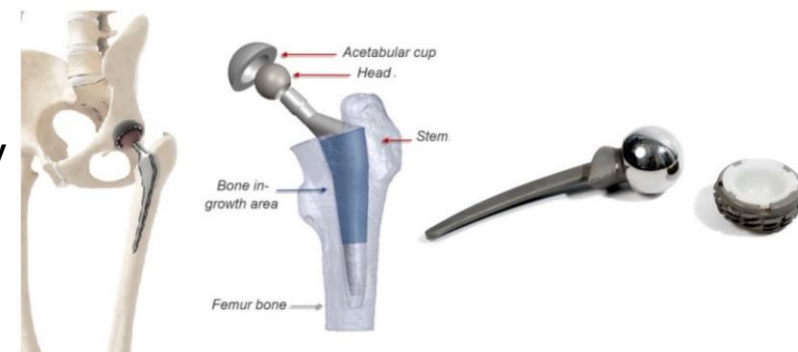
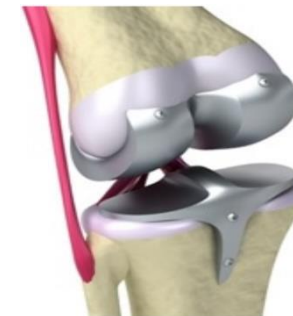
1. Johdanto eri tulostustekniikoihin





1. Johdanto – Metallin lisäävä valmistus

- "Digitaalinen" valmistusmenetelmä
- Teollisuuden tarve tuottaa sekä pieniä, että suuria kappaleita erilaisilla lähtövaatimuksilla
- Tulostusmenetelmiä on lukuisia eikä yleiskonetta ole vielä keksitty
- Tulostusmateriaalit pohjautuvat olemassa oleviin metalliseoksiin, mutta menetelmä mahdollistaa myös uudenlaisen materiaalisuunnittelun





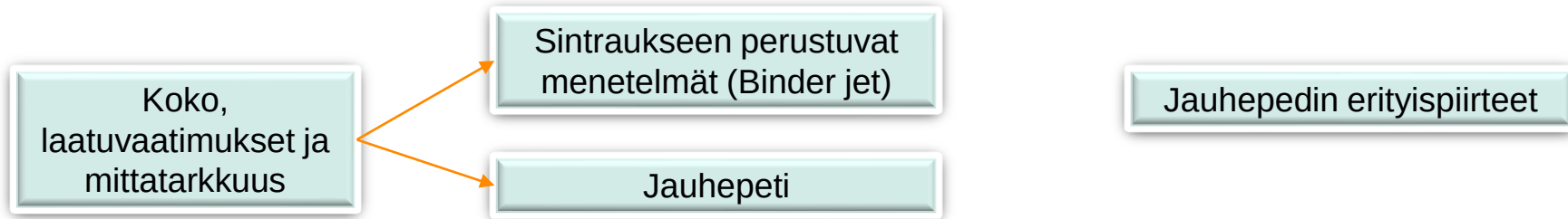
1. Eri tulostustekniikoita

AM Prosessi	AM Process	Abbreviation	Metal AM Process	1 vaihe
Jauhepetisulatus	Powder Bed Fusion	PBF	Laser Powder Bed Fusion (Selective Laser Melting), Electron Beam Melting	X
Suorakerrostus	Directed Energy Deposition	DED	Directed Laser Deposition, Electron Beam Additive Manufacturing, Wire-Arc Additive Manufacturing	X
Pursotus	Extrusion	FFF (FDM)	Metal FFF/FDM	
Materiaalin suihkut	Material Jetting	MJ	Metal Jetting	
Sideaineen suihkut	Binder Jetting	BJ	Metal Binder Jetting, Metal Jetting	
Valokovetus altaassa	Photopolymerization	VAT (SLA)	Lithography-based metal manufacturing (LMM)	
Kerrolaminointi	Sheet lamination	SL (LOM)	Metal Sheet lamination, Ultrasonic Additive Manufacturing	X

1993



1. Johdanto – Miten optimoidaan tuote





1. Johdanto – Miten optimoidaan tuote

Koko,
laatuvaatimukset ja
mittatarkkuus

Suorakerrostus

Suuret osat, mutta jälkikäsittely
voi olla tarpeen

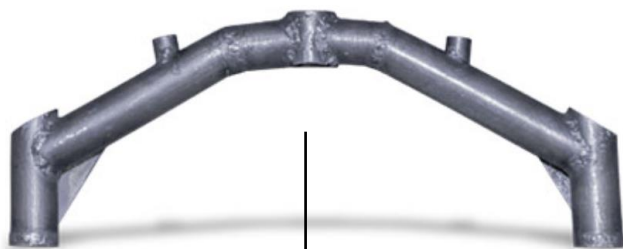
Mikä on materiaalinlaatu
milläkin pinnanlaadulla?



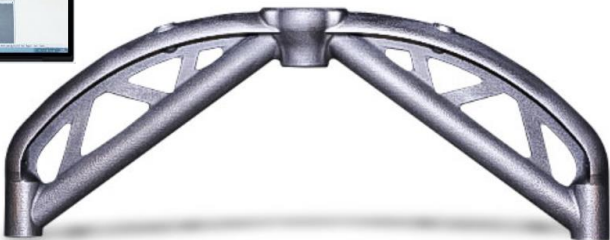
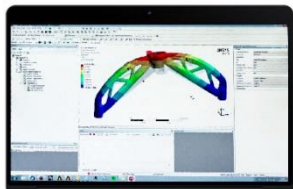


1. Johdanto – Miten optimoidaan tuote

MotoGP 600 cc: Kolmiotukivarsi



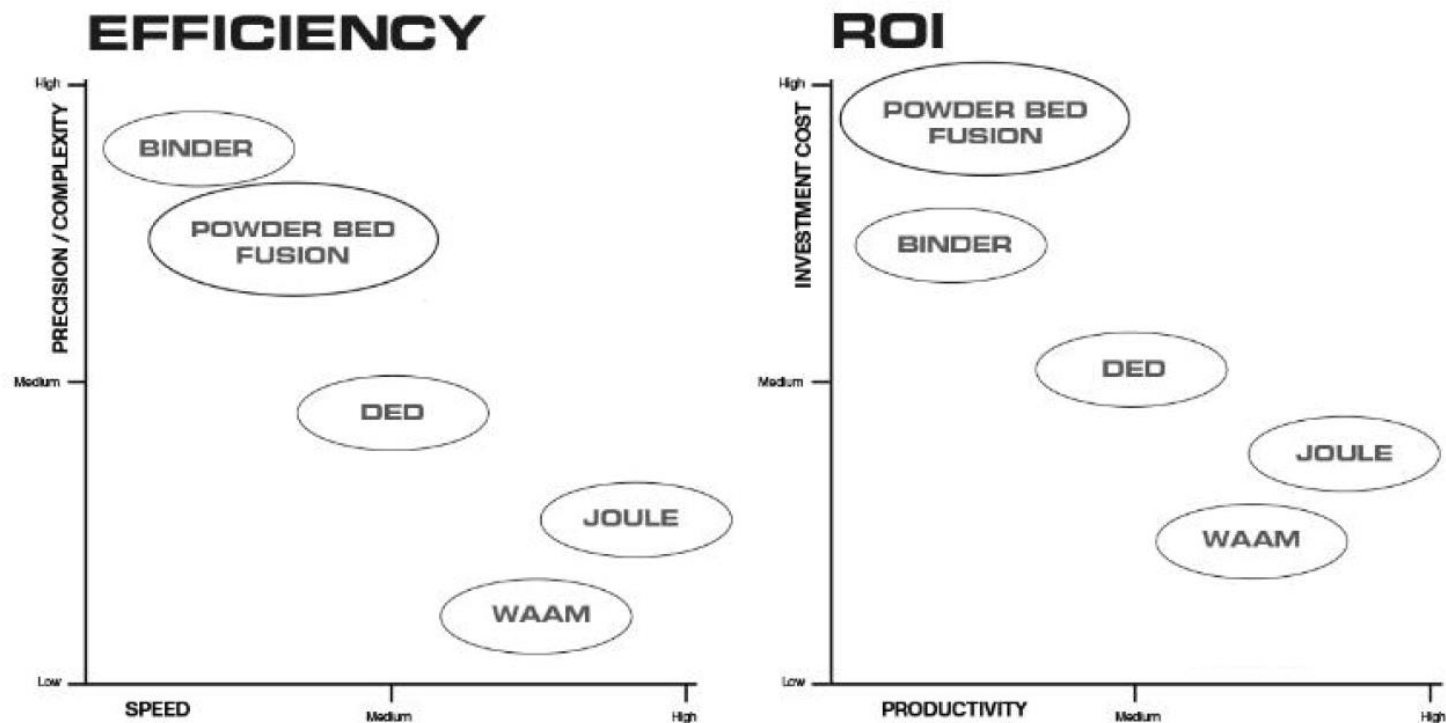
-40% / 600g



Onnistuuko
yksinkertaiset
geometriat
filamentilla?



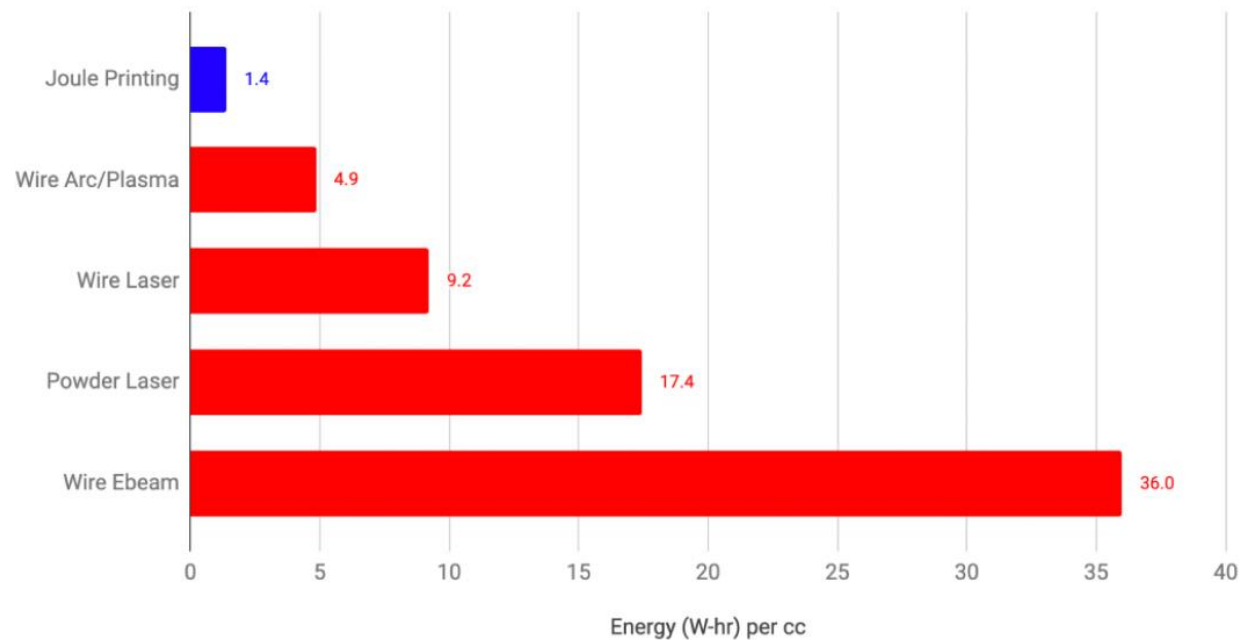
1. Tekniikoiden väliset erot





1. Energian tarve ja tulostuskustannukset

Metal AM - Process Energy Density



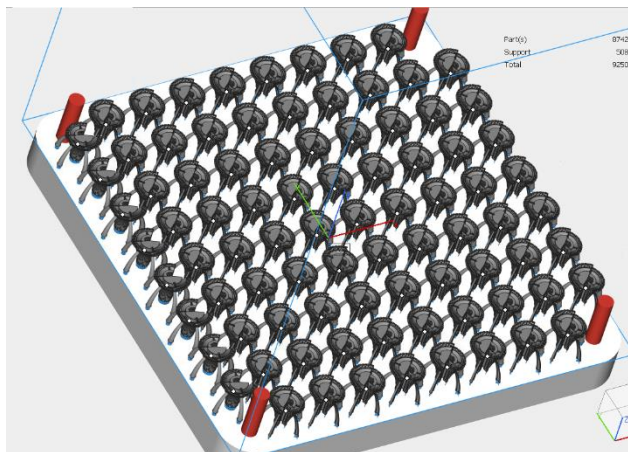
Additive Manufacturing Costs for Titanium: \$'s Per Cubic Centimeter



<https://www.digitalalloys.com/blog/joule-printing-vs-wire-ded/>



1. L-PBF tulostuskustannuksia



Hintavertailu AlSi10Mg – 316L – Titaani

Esimerkkihinnat:

konetunti 80 €

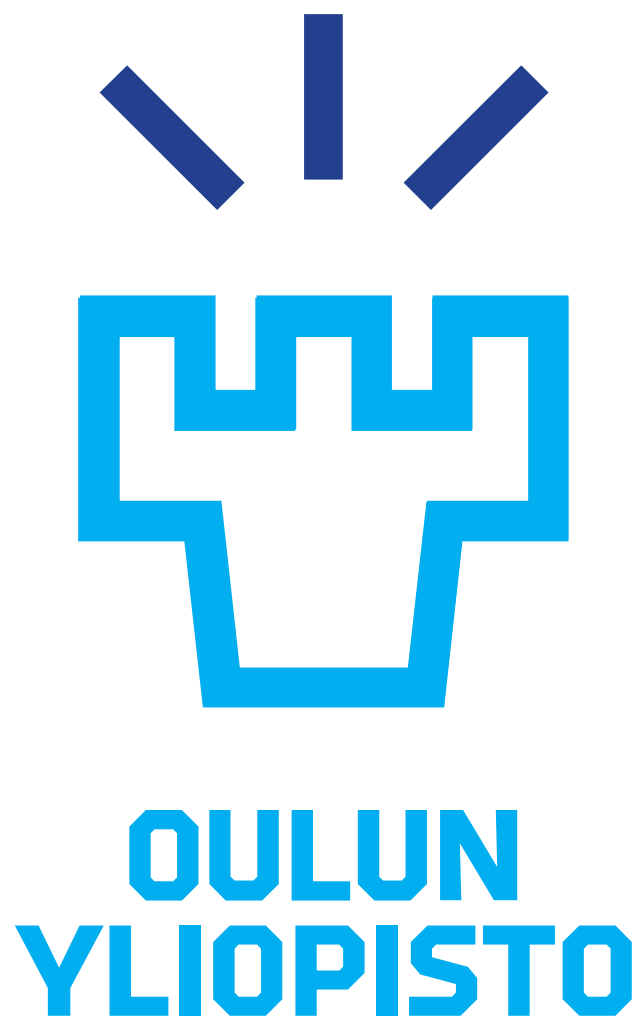
alumiini 48 €/kg

teräs 43 €/kg

titaani 300 €/kg

Materiaali ja kerrospaksuus	Tulostusaika [h]	Materiaalikustannus / kpl	Konehinta/kpl	€ / kpl
AlSi10Mg 60 µm	5,02	0,14 €	4,62 €	4,76 €
AlSi10Mg 30 µm	11,47	0,14 €	10,54 €	10,68 €
316L 50 µm	26,63	0,36 €	24,49 €	24,85 €
316L 30 µm	35,70	0,36 €	32,83 €	33,19 €
Titaani 50 µm	22,75	1,44 €	20,92 €	22,36 €
Titaani 30 µm	36,57	1,44 €	33,62 €	35,06 €





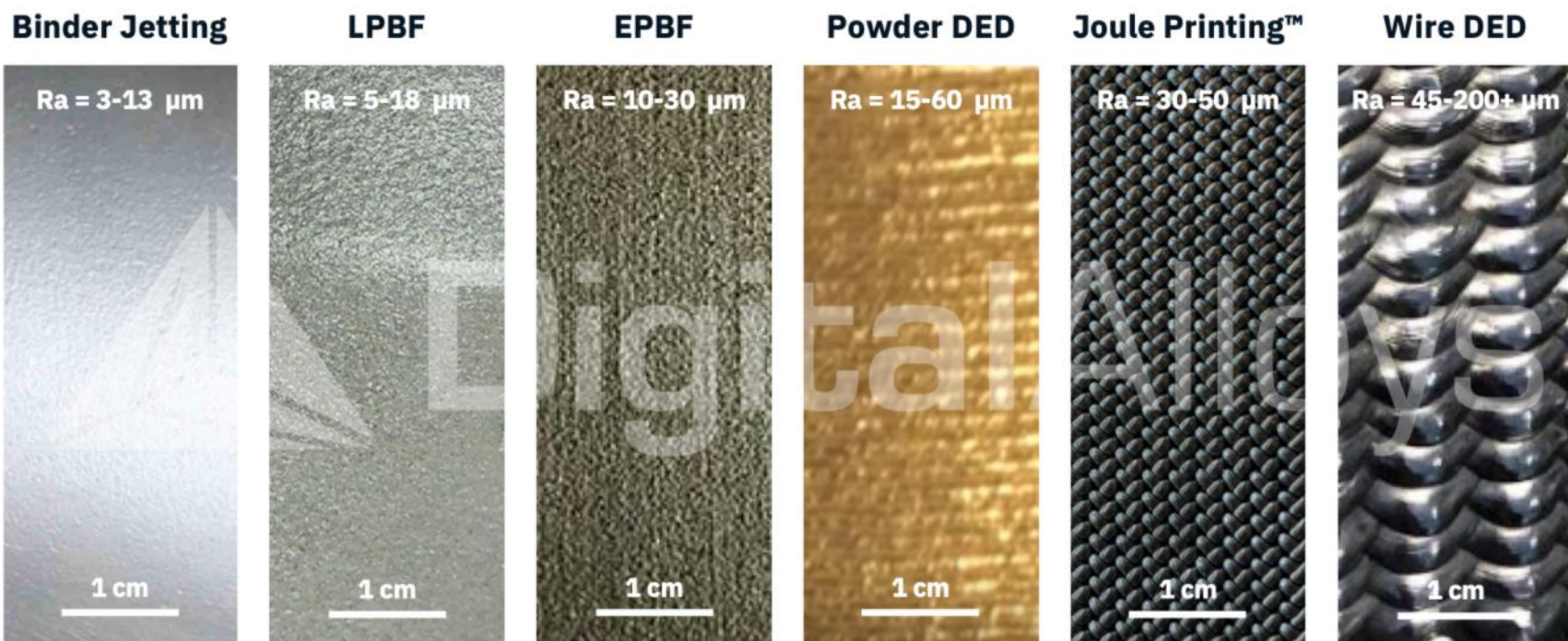
Tulostusmateriaalit ja laatu





3. Pinnanlaatu

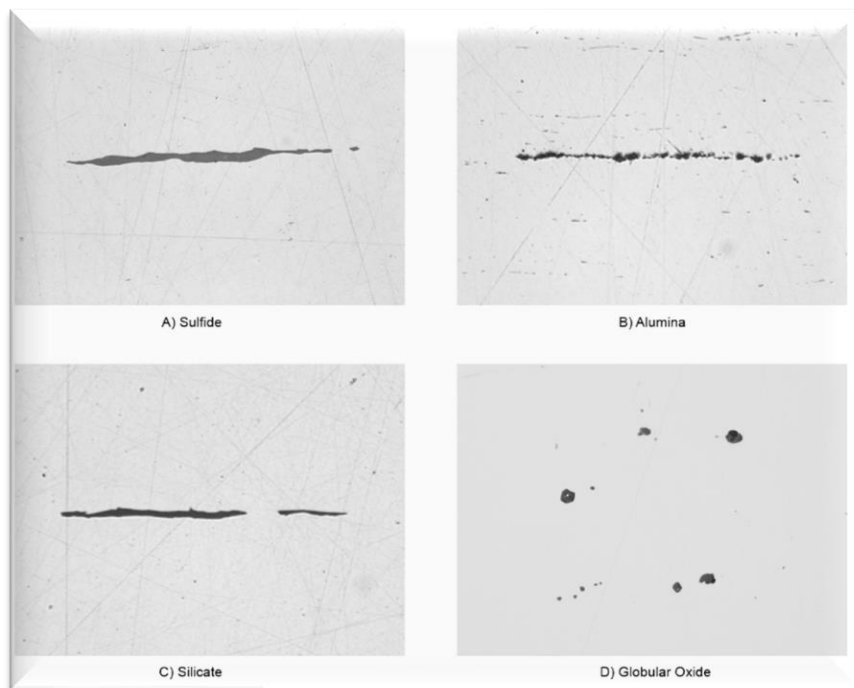
Typical Surface Roughness of Metal AM Processes





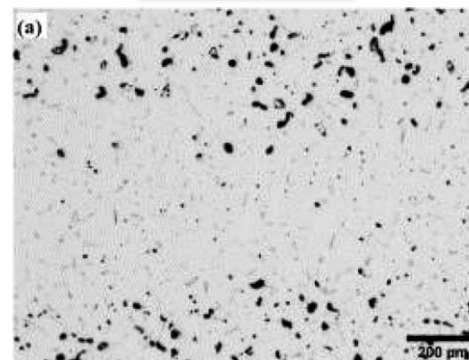
3. Viat

Jatkuvavalettu

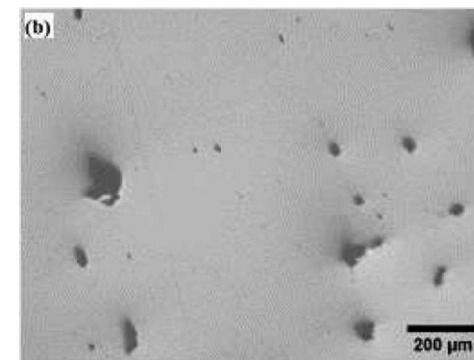


- Korroosionkestävyys
- Väsymiskestävyys
- Iskusitkeys

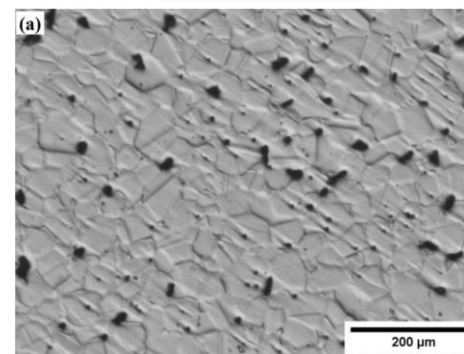
Binder
jet



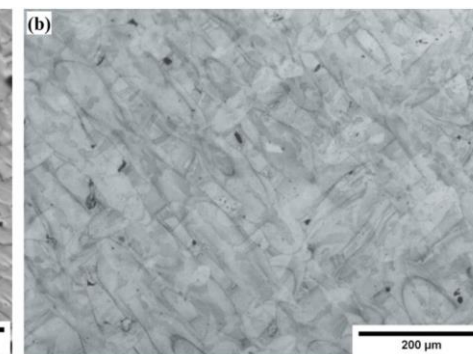
L-PBF



Binder
jet

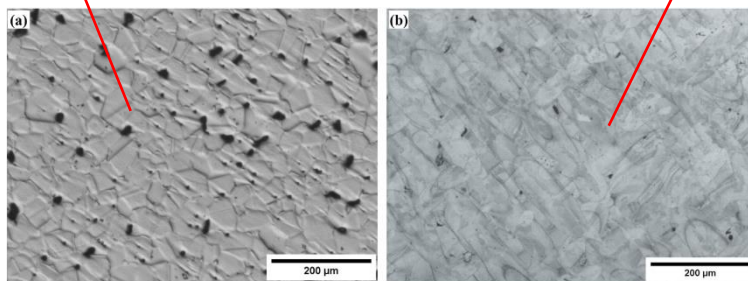
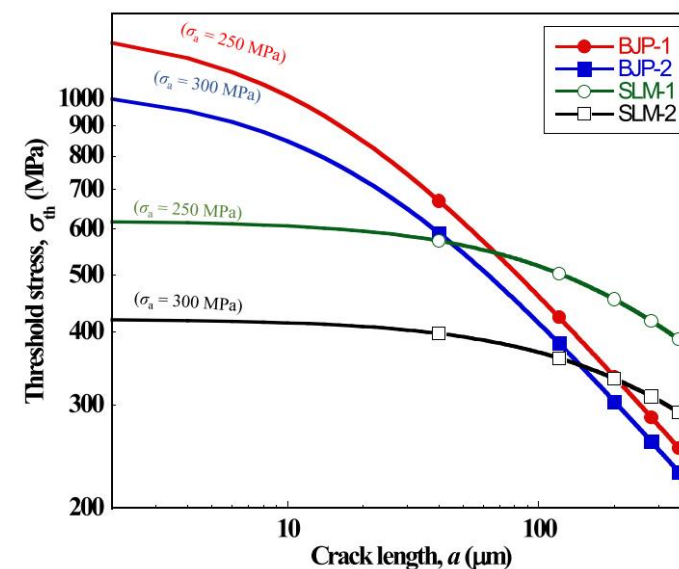
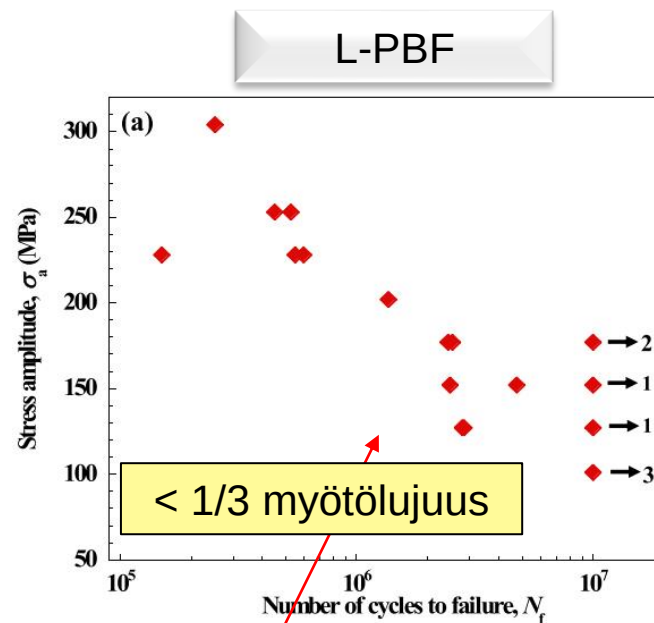
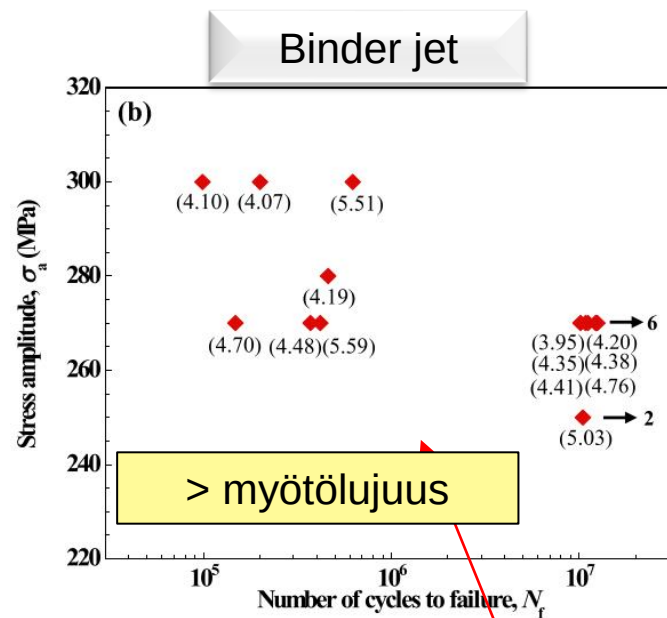


L-PBF





3. Vikojen vaikutuskestävyyteen



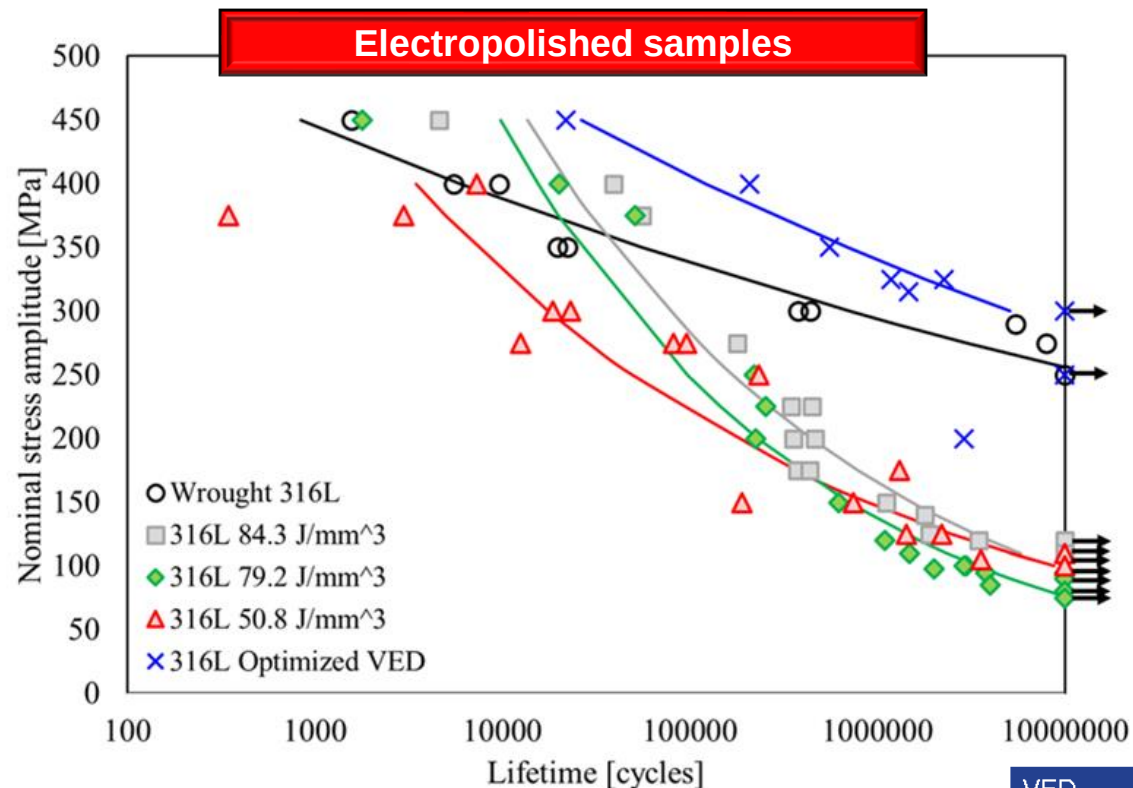
P. Kumar et al. 2020

AISI 316L



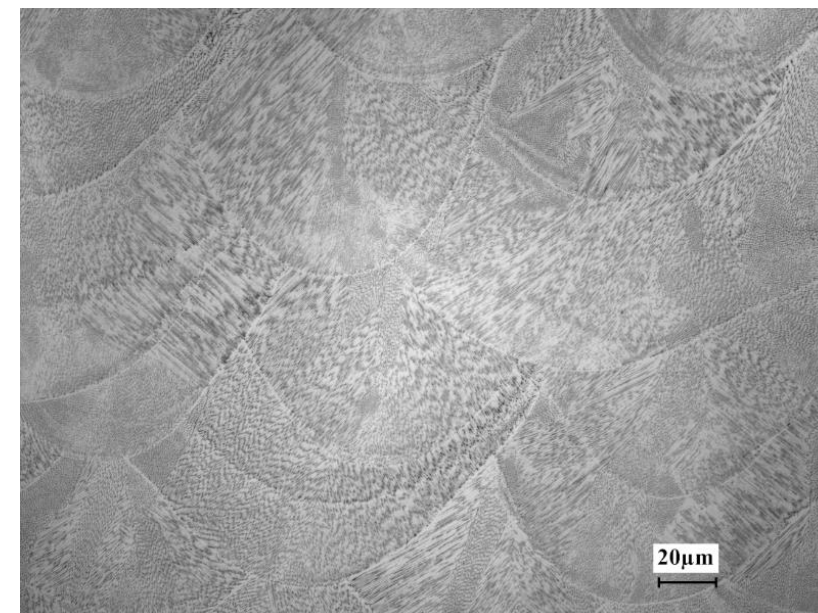
3. Optimointi

AISI 316L



Jauhepetituloskin voidaan optimoida väsymisen kannalta?

Pinnankarheus ja sisäiset kanavat haasteena mikrorakenteellisten tekijöiden lisäksi!



M. Jaskari unpublished results



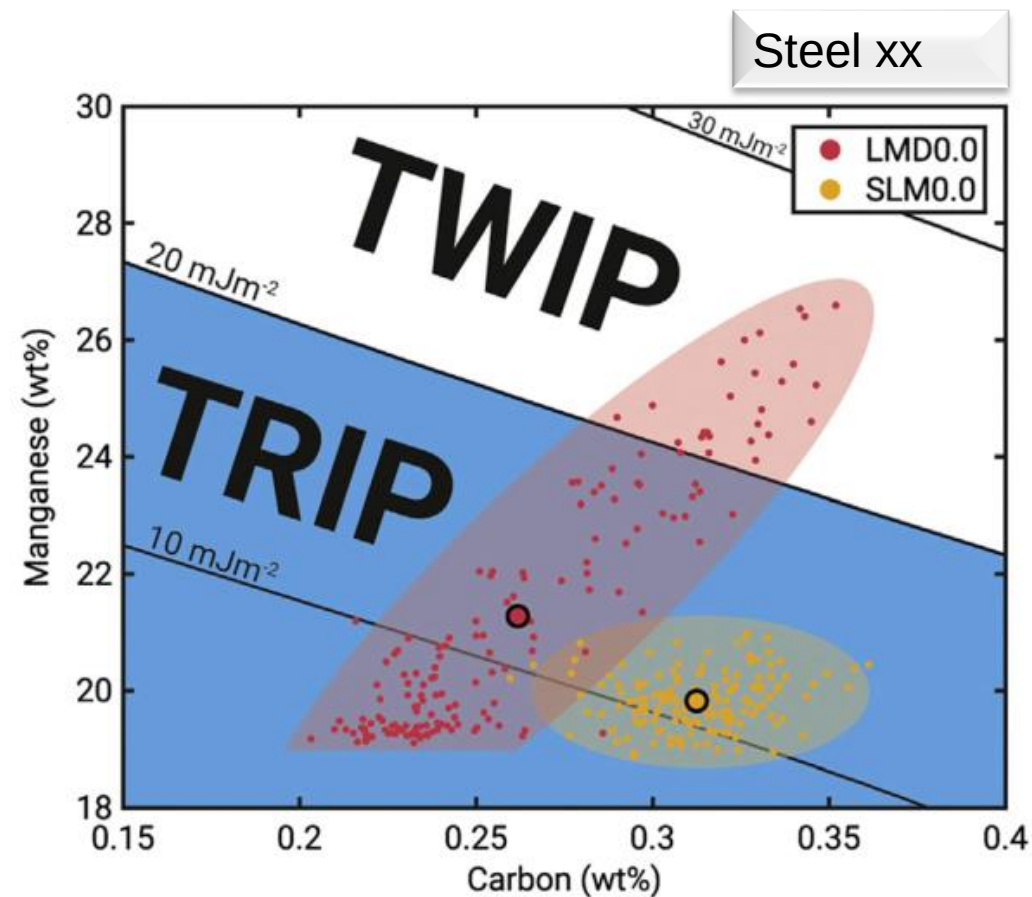
Axial R = -1
Load direction = vertical direction
Cylindrical specimen
Slightly ground and electropolished

VED [J/mm^3]	Approx. Density [%]
50.8	91.9
79.2	96
84.3	99.6
EOS	99.9



3. Uusia materiaaleja?

- Suorakerrostusmenetelmillä suotauma voimakkaampaa kuin jauhepedillä
- Vaikuttaa mm. pinousvian pintaenergiaan ja sitä kautta dislokaatioiden liikkeeseen muokkauksessa
- Esim. Alumiinin lisäys pienentää muokkauslujittumiskykyä kuten mangaani



Nima Haghdadi et al. 2020



**UNIVERSITY
OF OULU**

KERTTU SAALASTI
INSTITUTE

***Science
With
Arctic
Attitude!***

FMT
FUTURE MANUFACTURING
TECHNOLOGIES

Tutkimusjohtaja Antti Järvenpää: antti.jarvenpaa@oulu.fi, 0445551633
Tohtorikoulutettava Matias Jaskari: matias.jaskari@oulu.fi, 0445315525