



# LAND OF THE CURIOUS



3DTY METALLIWEBINAARI: SUURTEN KAPPALEIDEN METALLITULOSTUS WAAM JA L-DED MENETELMILLÄ (7.11.2024)

# LASERSUORAKERROSTUS (L-DED)

Vesa Tepponen  
Nuorempi tutkija  
Laboratory of Laser Processing and Additive Manufacturing  
Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT



3DTY Metallwebinaari: Suurten kappaleiden metallitulos WAAM ja L-DED menetelmillä (7.11.2024)

# L-DED JOHDANTO

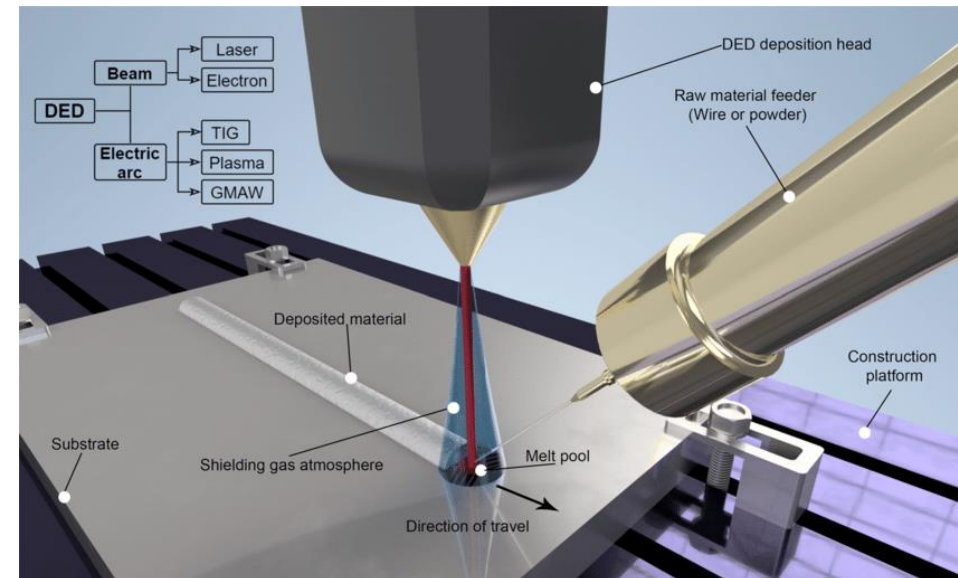
**Laser suorakerrostus:** Lasersäteen kohdistetun lämpöenergian ja samanaikaisen materiaalinsyötön avulla sulatetaan materiaalia kerros kerrokselta

Ominaisuuksia

- » "Near net shape": Tulosteet lähellä lopullisia dimensioita
- » Mahdollisuus tuottaa suuria tulosteita
- » Applikaatiot: Uusien kappaleiden valmistus, uusien toiminnallisten ominaisuuksien lisäys kappaleisiin, kappaleiden korjaus
- » Minimaalinen materiaali hukka: Langalla melkein 100% käyttöaste
- » Lanka: Edullinen, turvallinen, helppo käsitellä ja varastoida
- » Materiaalikirjo on laaja: Mahdollisuus yhdistellä eri materiaaleja

Yleistä vertailua

- » Korkeampi tuloste tarkkuus/resoluutio kuin WAAM
- » Tarvittaessa voidaan käyttää pientä ja tarkkaa lämmöntuontia
- » Yleisesti pienempi tuottavuus kuin WAAM
- » Tyypillisesti kalliimpi ja monimutkaisempi laitteisto kuin WAAM



(Additec3d.com)

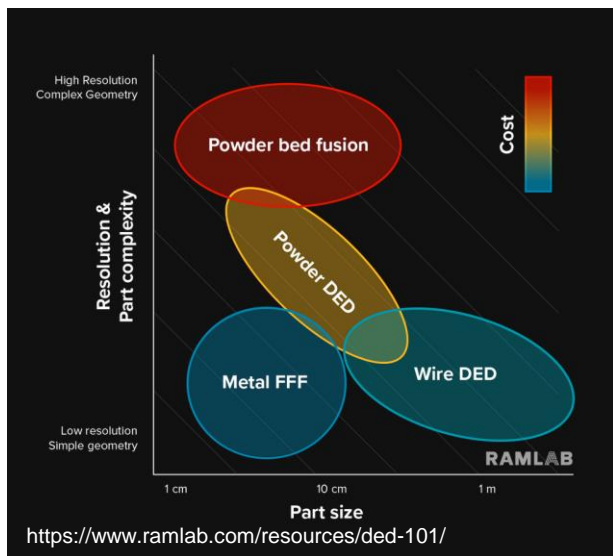


(Photonics.com)

3DTY Metallwebinaari: Suurten kappaleiden metallitulostus WAAM ja L-DED menetelmillä (7.11.2024)

# L-DED MENETELMÄT

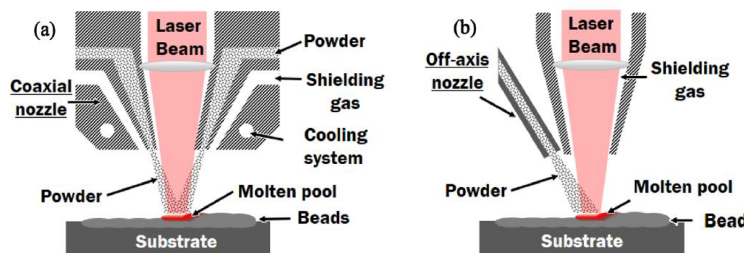
» Metallien AM-menetelmien resoluutio vs. kappalekoko



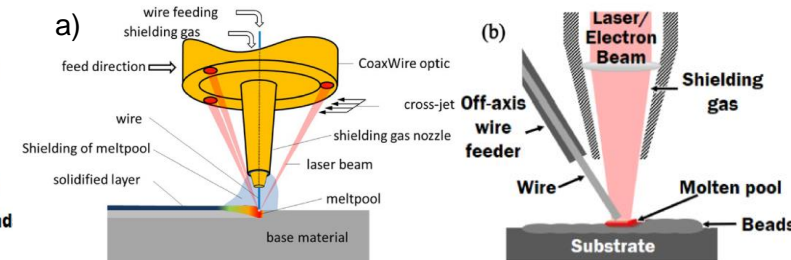
» Materiaalin sivusyöttö rajoittaa prosessipään kuljetussuuntia: Usein oltava vakio koko liikkeen ajan yhtenäisen tulostusjäljen takaamiseksi

- Hankaloittaa monimutkaisia työstöratoja
- Koaksiaalityöstöpäät kehitetty ongelmaan: Riippumattomia tulostussuunnasta

Laser + Jauhe



Laser + Lanka



Ahn. Et al 2020

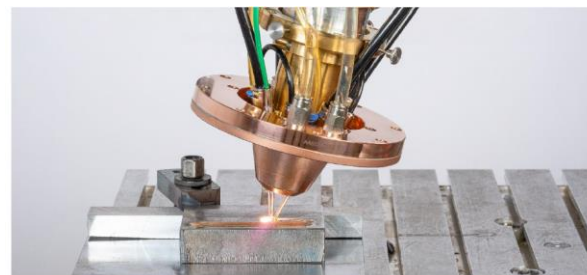
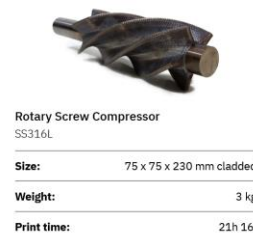
» Materiaalin syöttö: a) Koaksiaalinen säteen kanssa, b) sivusyöttö

3DTY Metallwebinaari: Suurten kappaleiden metallitulostus WAAM ja L-DED menetelmillä (7.11.2024)

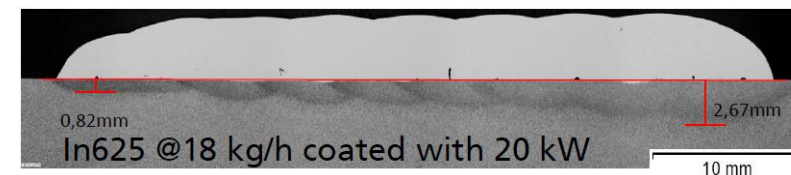
# L-DED: KAUPALLISIA TOIMIJOITA

➤ Erilaisia työstöpäitä ja laitteistokokonaisuuksia

- Meltio
- Aconity3D
- Fraunhofer
- Coaxworks
- Additec
- Precitec
- Laserline
- Optomec
- Trumpf



Jauhe + Lanka



3DTY Metallinebinaari: Suurten kappaleiden metallitulosus WAAM ja L-DED menetelmillä (7.11.2024)

# LUT: LASER-LANKA SUORAKERROSTUS (WLAM)

## » Laitteisto:

KUKA KR30 R2100 robotti

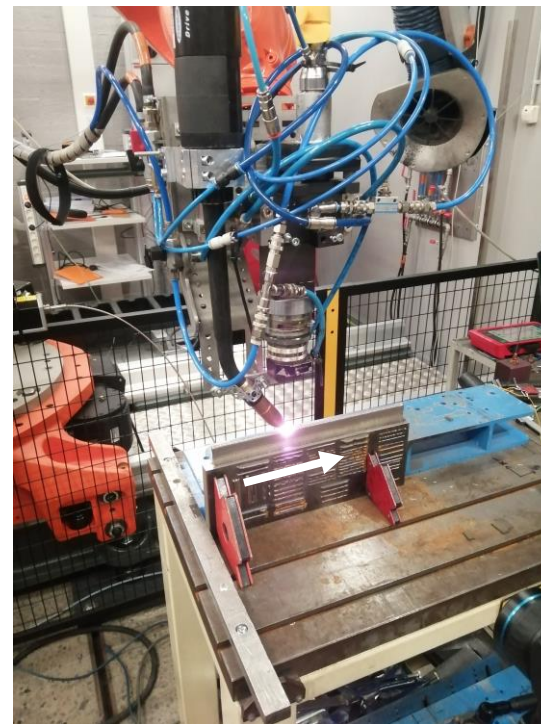
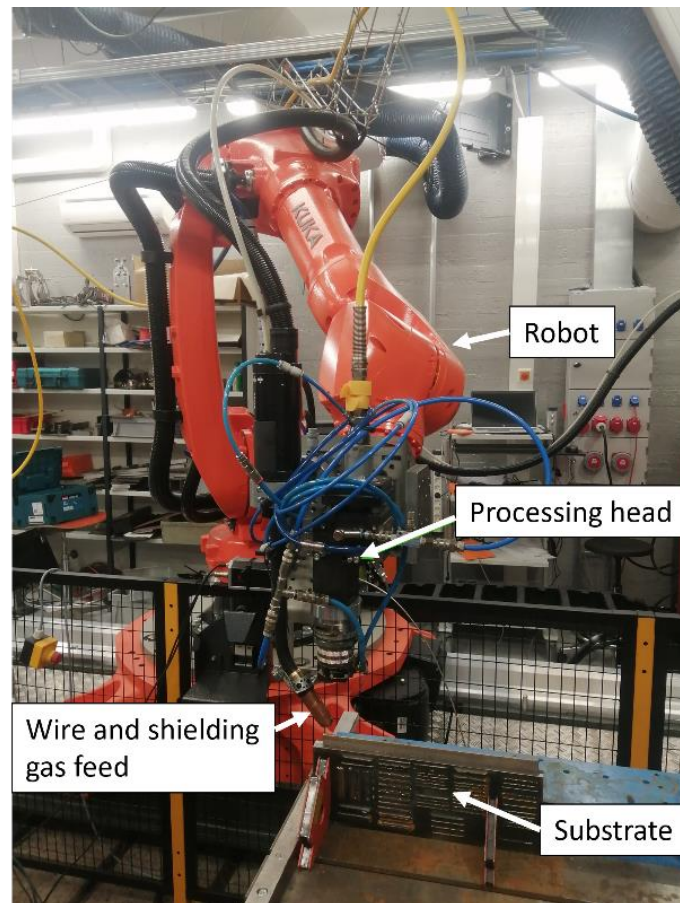
IPG Photonics 10kW CW kuitulaser

Lasertyöstöpää: Kugler peilioptiikka  
(Säteen fokuspisteen koko ~3mm  
työkappaleen pinnalla)

Fronius TransPuls Synergic 5000:  
Langan ja suojakaasun (Argon)  
syöttö

- Lankamateriaali

CromaMig 316LSi (1mm)

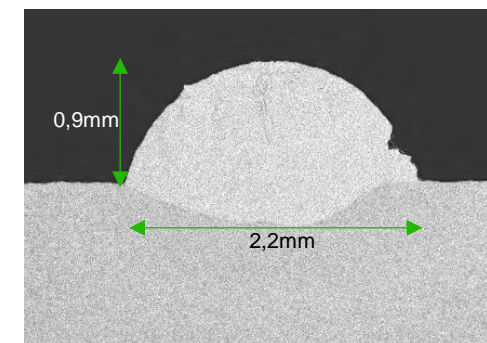
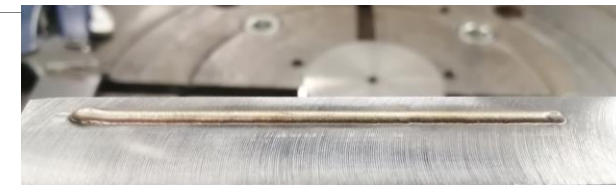


Työstöliike: Työntävä

## » Työstöparametrien optimointi:

- Tavoite: stabiili prosessi ja yhtenäinen palkomuoto

Laser power (W)	Wire feed rate (mm/min)	Traverse speed (mm/min)	Shielding gas flow (l/min)
1200	900	400	18 (Argon)



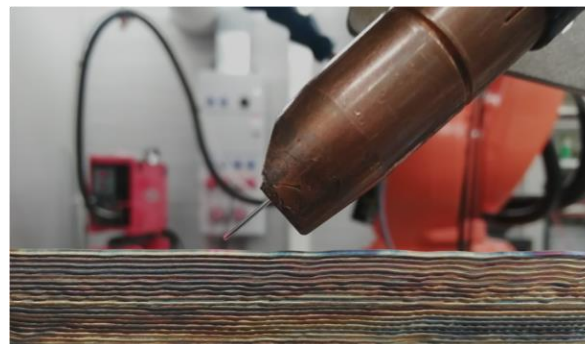
3DTY Metallwebinaari: Suurten kappaleiden metallitulostus WAAM ja L-DED menetelmillä (7.11.2024)

# WLAM MONIPALKKOTULOSTUS (HUOMIOITAVAA)

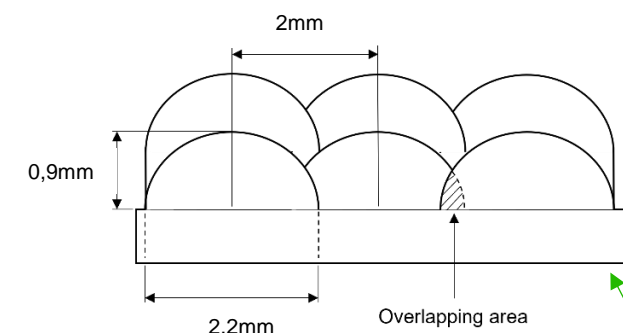
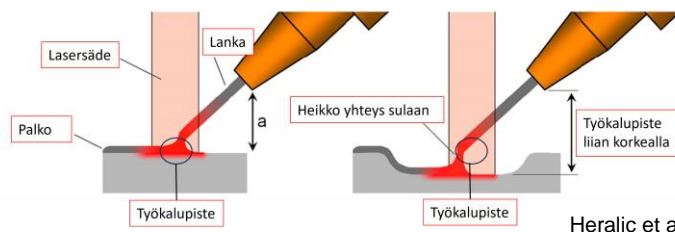
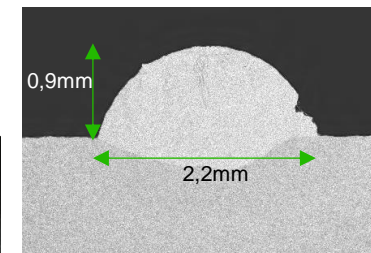
## » Lämmön vaikutus palkomuotoon

- Lämmönjohtuminen rakenteesta hidastuu rakenteen kasvaessa => Tulevien kerrosten palkomuoto muuttuu.
- Kriittinen ohuissa geometrioissa sekä lyhyillä jäähtymisajoilla
- Sulan/Palon kokoa voidaan säätää lennosta esim. lasertehoa säätämällä: Lämpötilan/sulamuodon monitorointi takaisinkytkennällä hyödyksi

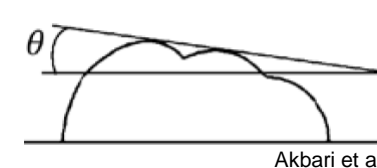
## » Kerroskorkeus ja työkalupiste



» Virhe on erittäin samankaltainen riittämättömän/liiallisen lämmöntuonin kanssa

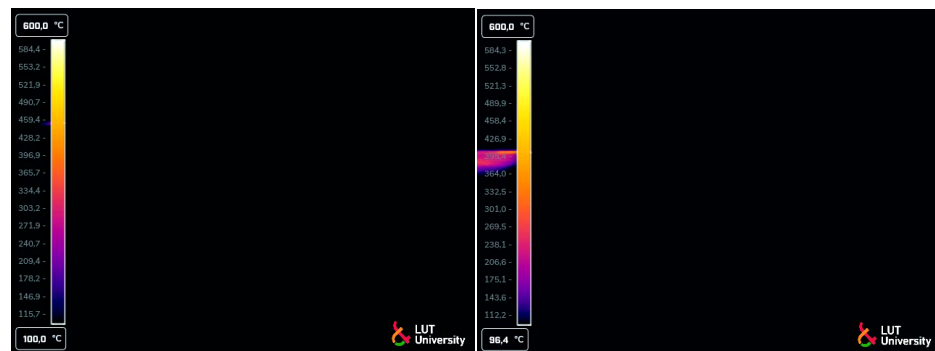


Ideaali kerros vs. todellinen



## » Vakiokorotusta korkeuden säädössä ei usein voida käyttää

- Muutokset korkeudessa voivat aiheuttavaa tulostusvirheen: Sulan palloutuminen (korkea), langan tyssäytminen (matala)
- Testauksissa virhetoleranssi: n. +/- 0,5mm
- Palkomuodon/Kerroskorkeuden seuranta hyödyksi suutinkorkeuden säätöön

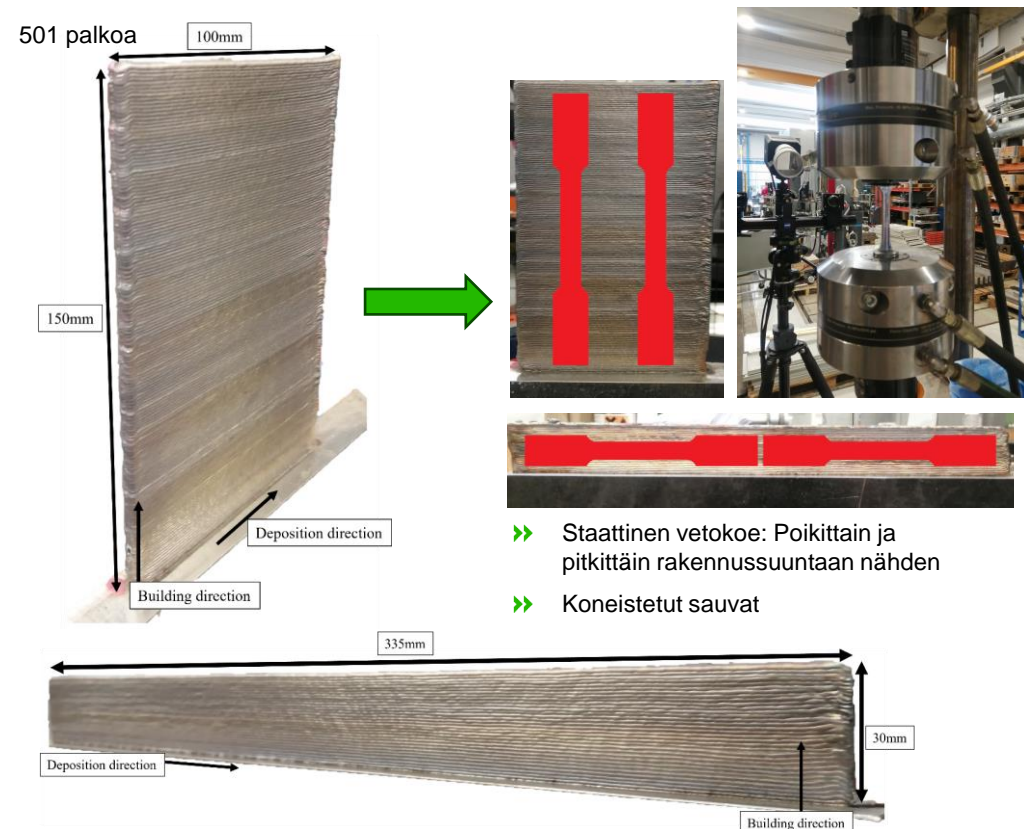


» Kerros: 1

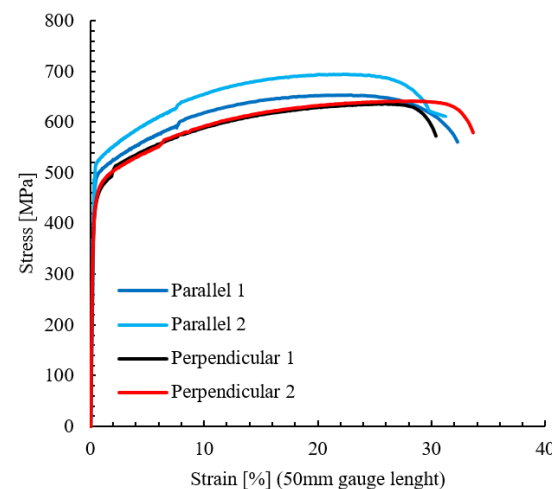
Kerros: 20

3DTY Metallwebinaari: Suurten kappaleiden metallitulos WAAM ja L-DED menetelmillä (7.11.2024)

# WLAM: 316L TULOSTEIDEN MEKAANISET OMINAISUUDET



- Staatinen vetokoe: Poikittain ja pitkittäin rakennussuuntaan nähden
- Koneistetut sauvat



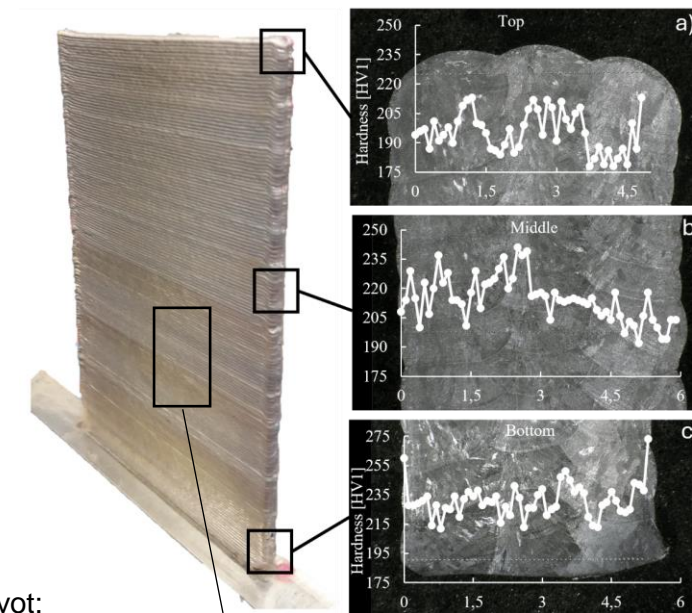
Test coupon	Yield strength Rp0.2 (MPa)	Ultimate tensile strength (MPa)	Elongation (%)
Parallel 1	491	654	37
Parallel 2	520	694	30
Perpendicular 1	428	636	33
Perpendicular 2	433	641	37

Valmistajan arvot:  
Elga Cromamig 316LSi

**Mechanical Properties:**

Yield strength, Rp0.2%:	400 MPa
Tensile strength, Rm:	600 MPa
Elongation, A5:	40%

- Kovuusmittaukset (makrohie) ja pinnankarheus (as-built)



Surface	Ra (µm)	Rz (µm)
As-built	25	207

- Seinämän paksuus: ~6mm (3 rinnakkaista palkoa/kerros)



