

WAAM-tulostettujen kappaleiden pinnoitus

3DTY Metalliwebinaari

10.12.2025

UEF Teknillisen fysiikan laitos

Kimmo Laitinen, Hannu Korhonen, Reijo Lappalainen



UNIVERSITY OF
EASTERN FINLAND



Euroopan unionin
osarahoittama



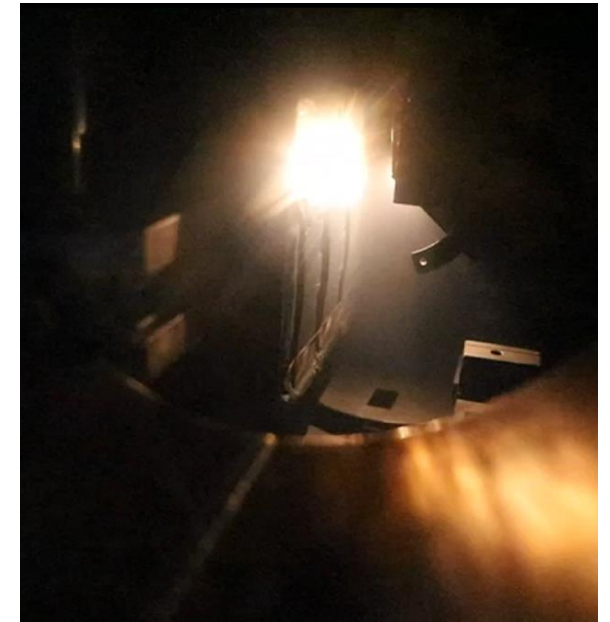
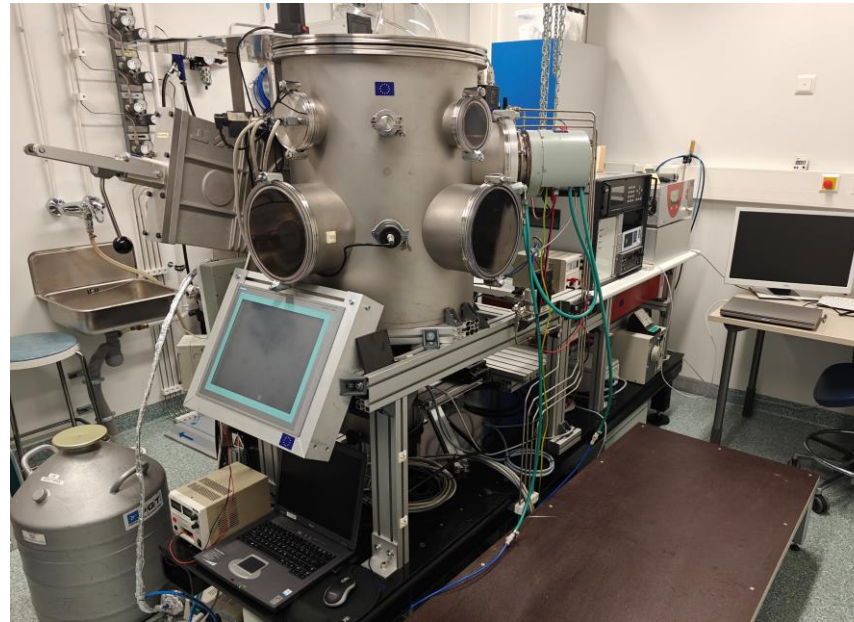
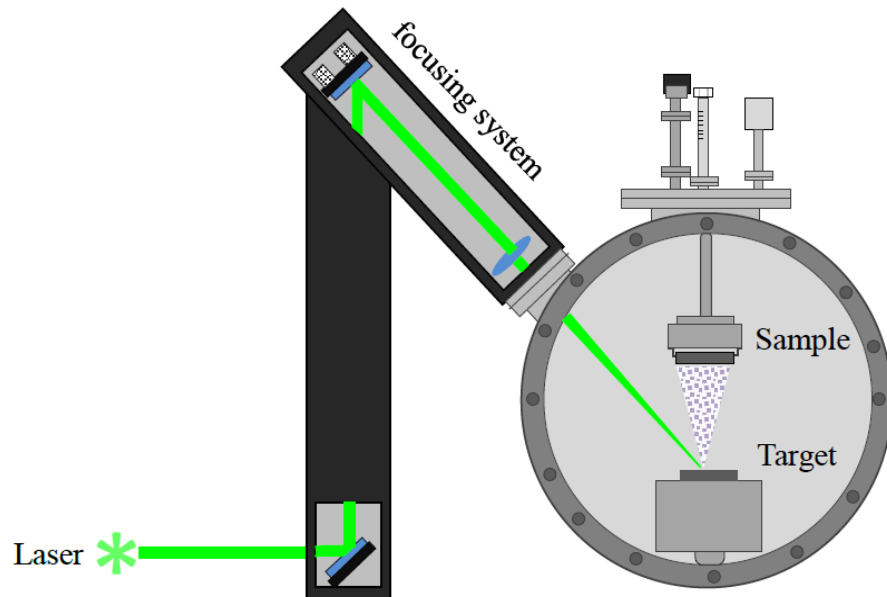
UNIVERSITY OF
EASTERN FINLAND



3DTY

Lyhytpulssilaserablaatiopinnoitus

Pulssitettu kylmäablaatiomenetelmä, ultra-short pulsed laser deposition (USPLD) -menetelmä. Periaate on höyrystää matalassa lämpötilassa pysyvästä kohtiosta lyhytkestoisen (ps-fs) laserpulssin avulla materiaalia plasmana, joka tyhjiössä osuu suurella lentonopeudella pinnoitettavan kappaleen (näytteen, substraatin) pinnalle muodostaen ohutkalvon.



Euroopan unionin
osarahoittama



Lyhytpulssilaserablaatiopinnoitus

Etuja:

- Tarkasti hallitut monikerros-/seospinnoitteet monenlaisille pinnoite- ja pohjamateriaaleille
- Tausta-aine useimmiten pysyy lähes huoneen lämpötilassa → sopii myös lämpöherkkien polymeerien pinnoitukseen
- Tasalaatuinen pinnoite, tasainen pinnoitepaksuus
- Soveltuvuus monille kohtiomateriaaleille, kohtiomateriaalin helppo vaihdettavuus

Rajoitteita:

- Tyhjiökammion koko rajoittaa pinnoitettavien kappaleiden kokoa
- Laserin teho vaikuttaa pinnoitusnopeuteen, UEF:n laserilla pinnoitusajat tyypillisesti tunteja
- Line of sight –menetelmä, pinnoittaa huonosti katveeseen jääviä alueita



Euroopan unionin
osarahoittama



WAAM-tulostettujen sauvojen pinnoitus

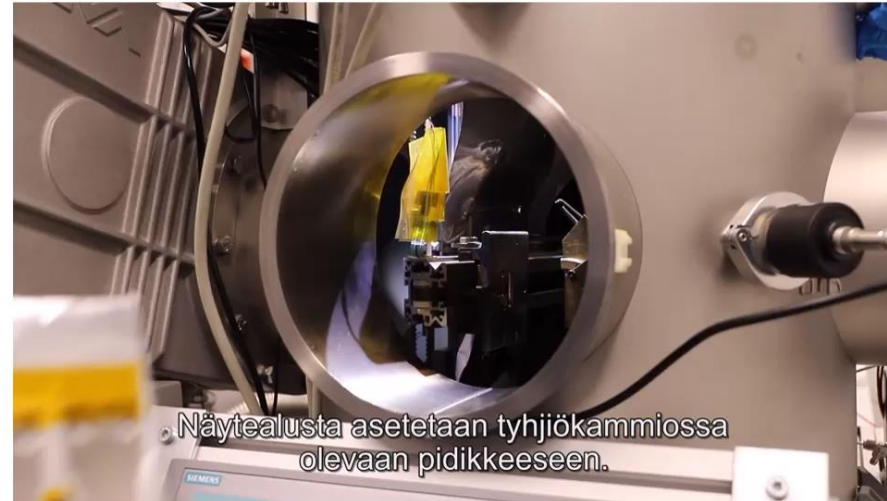
- Näytteet 30 x 90 mm taivutusväsytyssauvoja, jotka tulostettu AISI316L-teräksestä WAAM-menetelmällä (FMT, Nivala)
- Pinnoite: amorfinen timantti hiilikohtiolla, min. 6 kerrosta
- Pinnoitepaksuus n. 300 nm (arvio)
- Pinnoitus sauvan molemmille puolille
- Tutkimuskysymys: Vaikuttaako pinnoitus sauvojen taivutusväsytykskestävyyteen?

Pintakäsittely ennen USPLD-pinnoitusta	Ra-pinnan-karheus (µm)
koneistettu&kevyesti hiottu	0.20
koneistettu&kiillotettu	0.16
koneistettu&kuulapuhallettu	3.42
koneistettu&kuulapuhallettu &kiillotettu	1.98



Pinnoitusprosessin kulku

1. Näytteiden asettaminen tyhjiökammioon



Näytealusta asetetaan tyhjiökammiossa olevaan pidikkeeseen.



Euroopan unionin
osarahoittama

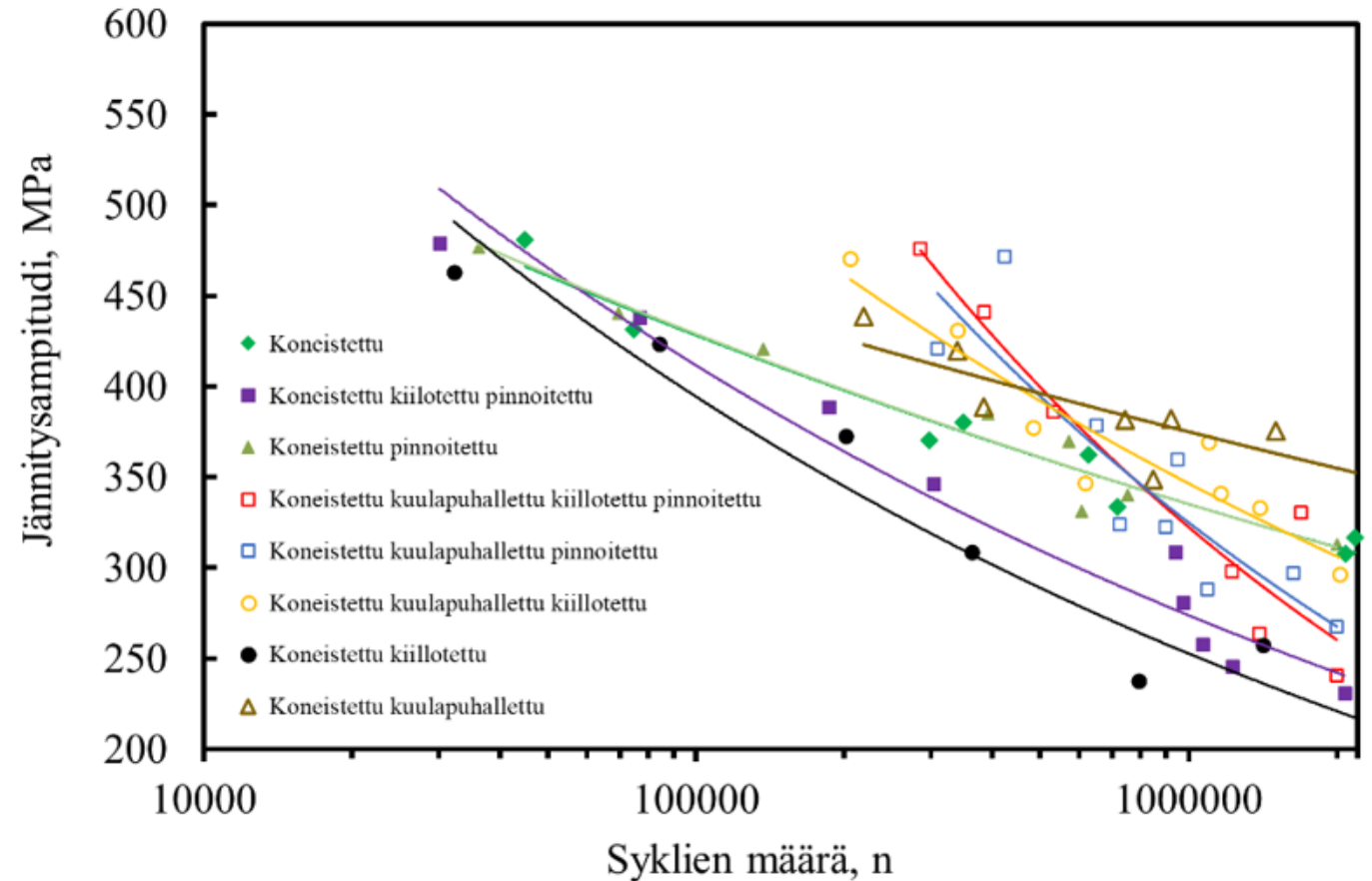


Euroopan unionin
osarahoittama



Alustavia tuloksia

Pintakäsittely ennen USPLD-pinnoitusta	Ra-pinnankarheus (μm)	
	ennen pinnoitusta	pinnoituksen jälkeen
koneistettu&kevyesti hiottu	0.20	0.21
koneistettu&kiillotettu	0.16	0.20
koneistettu&kuulapuhallettu	3.42	3.59
koneistettu&kuulapuhallettu &kiillotettu	1.98	2.24



Euroopan unionin
osarahoittama

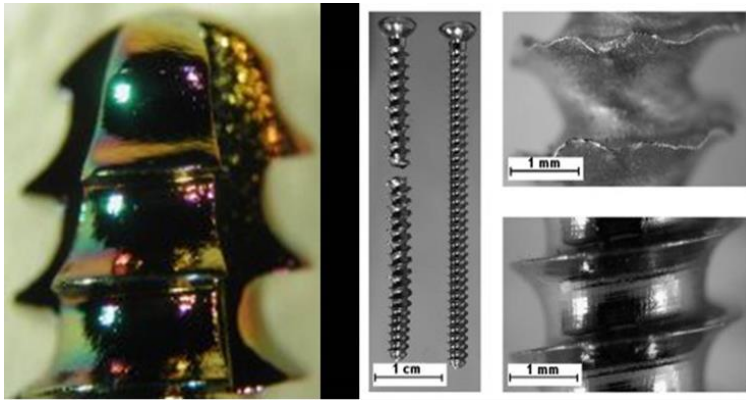


Alustavia tuloksia

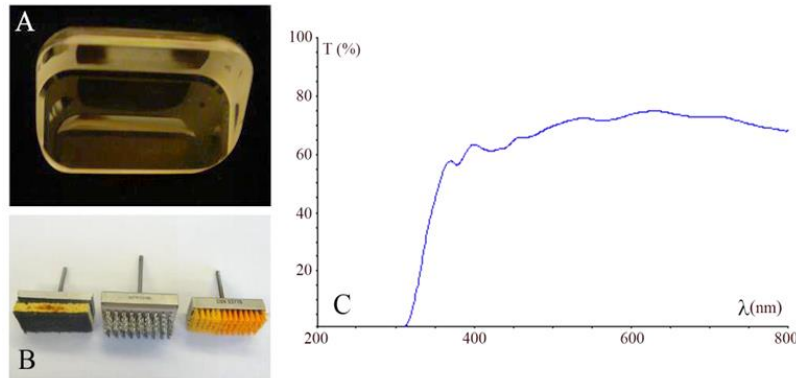
- Koneistettu pinta: ei havaittavaa vaikutusta
- Koneistettu&kiillotettu pinta: pinnoitettujen näytteiden väsymiskestävyys parempi → jatkossa pyritään todentamaan vaikutus testaamalla 2x paksumpaa pinnoitetta
- Kuulapuhalletut pinnat: pinnoitettujen näytteiden väsymiskestävyys parempi low cycle -alueella, huonompi high cycle -alueella
- USPLD-pinnoite toimii suojana ja kulutuksen/kitkan pienentäjänä, vaikka väsymislujuus ei paranisi



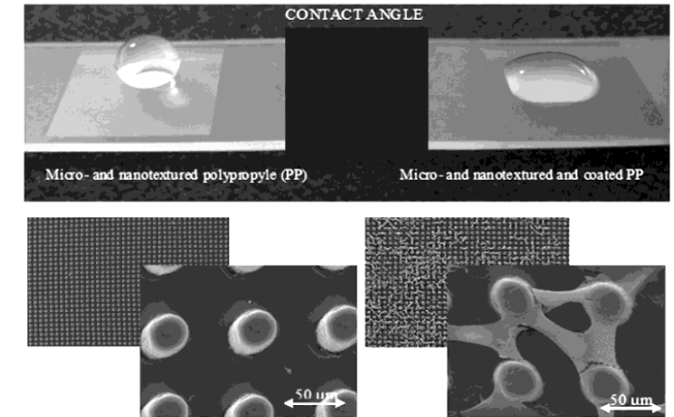
Muita USPLD-pinnoituksen sovelluksia



The bone screw ($\varnothing$ 3.5 mm) coated with *AD* by *USPLD* which had low friction sliding and a reduced torque moment is shown on the left (Koistinen et al. 2005). Inserts for uncoated screws on the middle and the right show examples of shear failures after removal (Koistinen et al. 2003).



Alumina coated prism (A), standard abrasive brushes (B) and transparency of the coated prism after severe wear testing (C) (Lappalainen et al. 2015).



Water drop on polypropylene (PP) surfaces (upper figures). Non wetting PP (left), wetting carbon nitride coated PP (right). There was practically no cellular adhesion and growth on PP (left), and good cell attachment and growth on the coated PP surface (right) (Myllymaa et al. 2009).

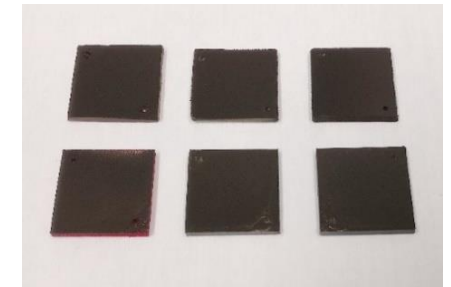
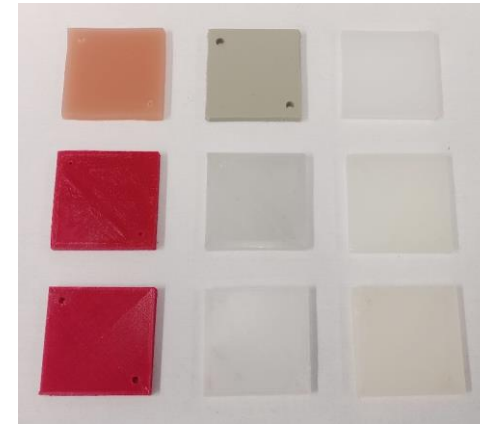


Euroopan unionin
osarahoitama



3D-tulostettujen polymeerien pinnoitus

- Pohjamateriaaleina 3D-tulostetut PUR, PA ja PP + referenssit levytavarasta
- Metallointi (USPLD Ti+Ni) + sähkökemiallinen Cu+Ni+Cr-pinnoitus
- Esikäsittelyt ilman haitallisia kemikaaleja
- Yksinkertaistettu prosessi ilman etsausta/aktivointia
- Vastaava metallointiprosessi osoitettu toimivaksi mm. alumiinille/RST:lle (DOI: [10.1016/j.surfcoat.2016.05.031](https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.05.031))



Euroopan unionin
osarahoittama



Yhteenveto

- USPLD-menetelmä soveltuu hyvälaatuisten ohutkalvojen pinnoittamiseen sekä metalli-, muovi-, että komposiittimateriaaleille.
- USPLD:n avulla saadaan aikaan suojaava pinnoite pidentämään tuotteen pinnan ikää ja parantamaan toimivuutta.
- USPLD-pinnoitteella mahdollisesti positiivista vaikutusta WAAM-tulosteiden taivutusväsymiskestävyyteen.
- Metallointi USPLD-pinnoitteella mahdollistaa 3D-tulostetun muovin sähkökemiallisen metallipinnoituksen ilman monimutkaisia esikäsittelyjä tai myrkyllisiä kemikaaleja.



Kiitos!

uefconnect.uef.fi/tutkimusryhma/biomateriaaliteknologian-tutkimusryhma

Kimmo Laitinen, kimmo.laitinen@uef.fi
Hannu Korhonen, hannu.korhonen@uef.fi



Euroopan unionin
osarahoittama

