

Ultralujien terästen suorakerrostus WAAM menetelmällä

FMT-PÄIVÄT 2025

Future Manufacturing Technologies (FMT) research group

Interreg



Co-funded by
the European Union

Aurora

IDiD

FMT
**FUTURE MANUFACTURING
TECHNOLOGIES**



WAAM-laitteisto

Hitsauskone

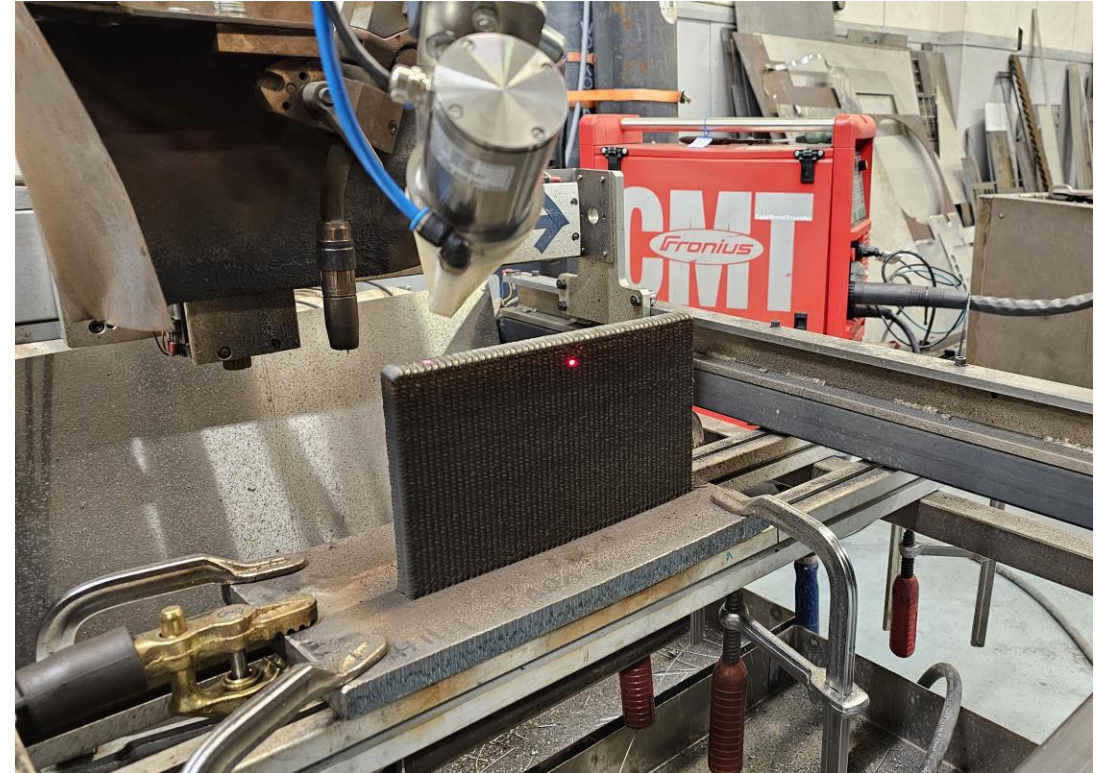
- Fronius TransPuls Synergic 2700 CMT hitsauskone, jonka poltin on kiinnitetty 3-akseliseen CNC-laitteistoon

Lämpötilanmittaus

- Pyrometri välilämpötilan mittaukseen (mittausalue 50 – 400 °C)
- Pyrometri kappaleen lämpötilan sekä jäähtymisaikojen mittaukseen (200 – 1500 °C)
- Lämpökamera

Tulostusradan toteutus

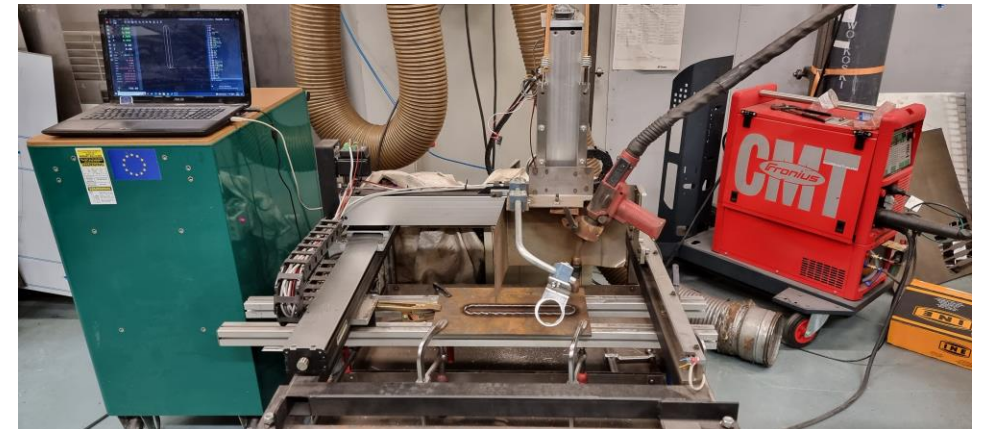
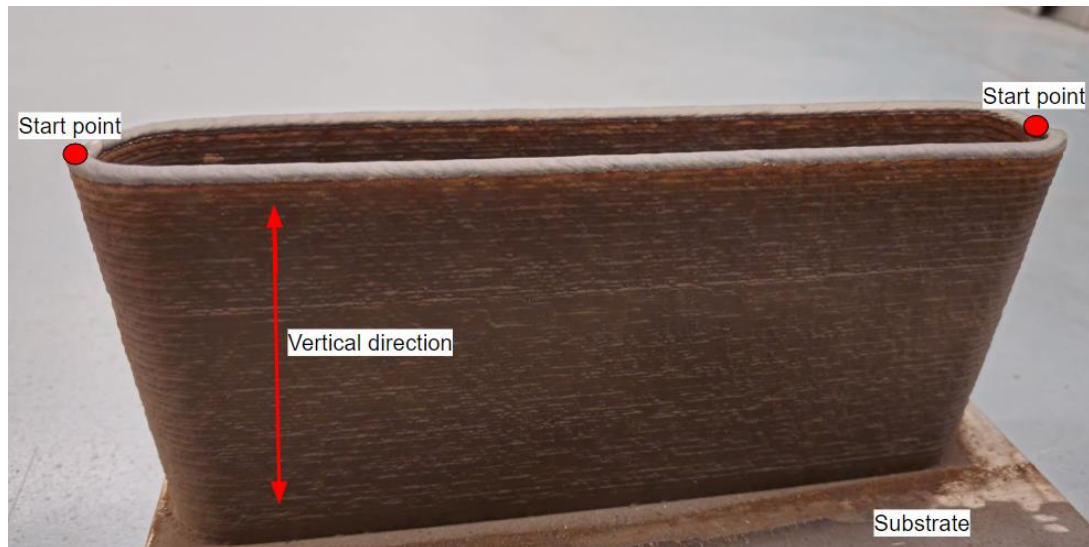
- Liike: 3-akselinen CNC-laite
- Itse tehty (DIY) ohjaussysteemi
- Planet CNC-ohjelmisto





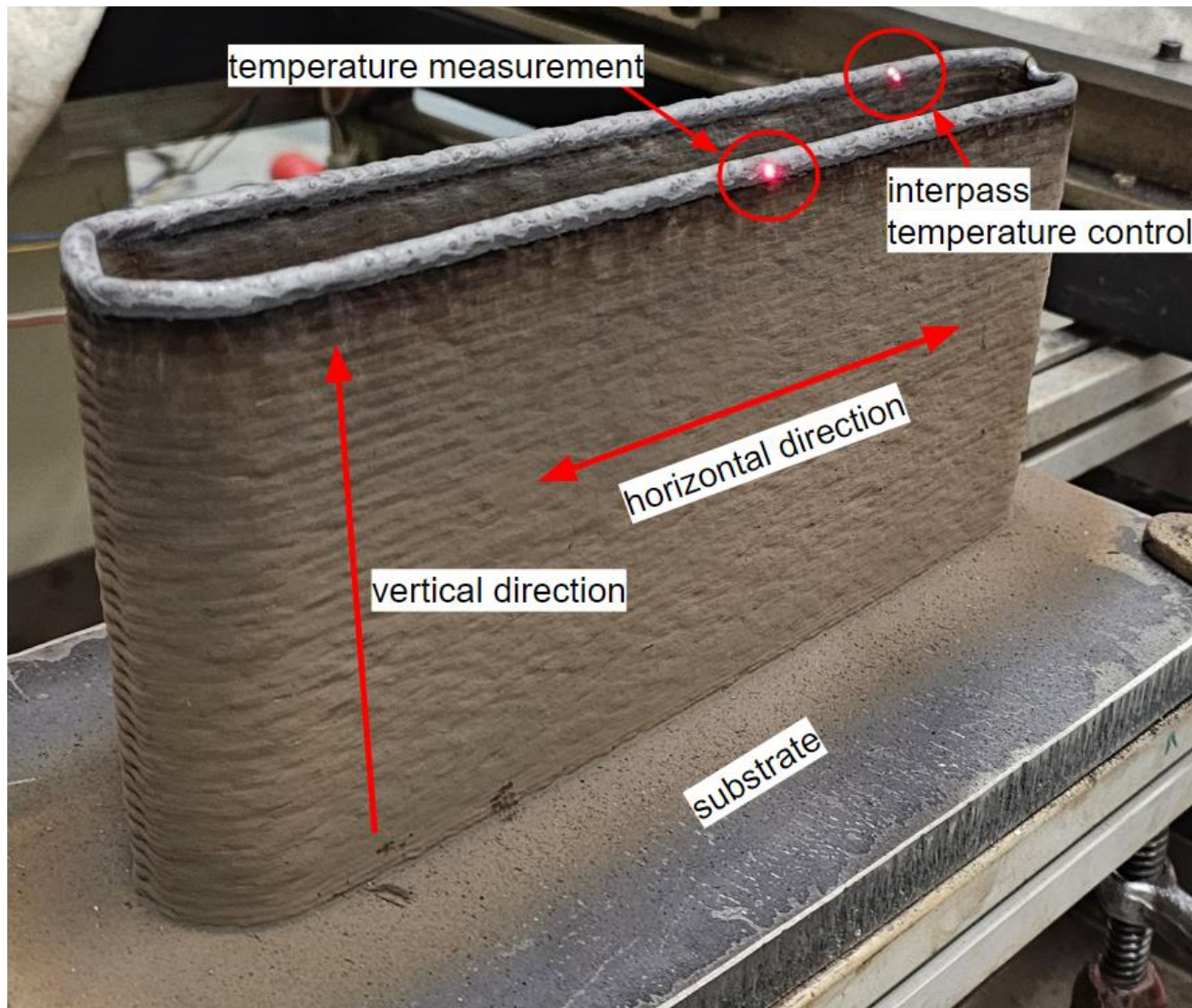
Koekappaleiden tulostaminen

- Kokeita varten tulostetaan ovaalin muotoisia kappaleita kerrostamalla yhtä hitsipalkkoa päällekkäin
- Kappaleet koneistetaan 2 mm paksuuteen, jonka jälkeen koneistetusta kappaleesta leikataan tarvittavat näytteet





Tulostettu kappale





WAAM ultralujan teräksen mekaaniset ominaisuudet sekä taivutusväsymis kestävyys



WAAM ultraluja teräs

- Hitsauslanka: Esab AristoRod 89 1,2 mm halkaisijalla.
- Hitsauslangan mekaaniset ominaisuudet taulukossa 1.
- Hitsauslangan kemiallinen koostumus taulukossa 2.

Table 1. Mechanical properties of the UHS steel wire.

Material	Yield strength [MPa]	Tensile strength [MPa]	Elongation [%]
UHS steel	920	940	18

Table 2. Chemical composition (%) of the UHS steel wire.

C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
0.08	0.80	1.75	2.22	0.41	0.53



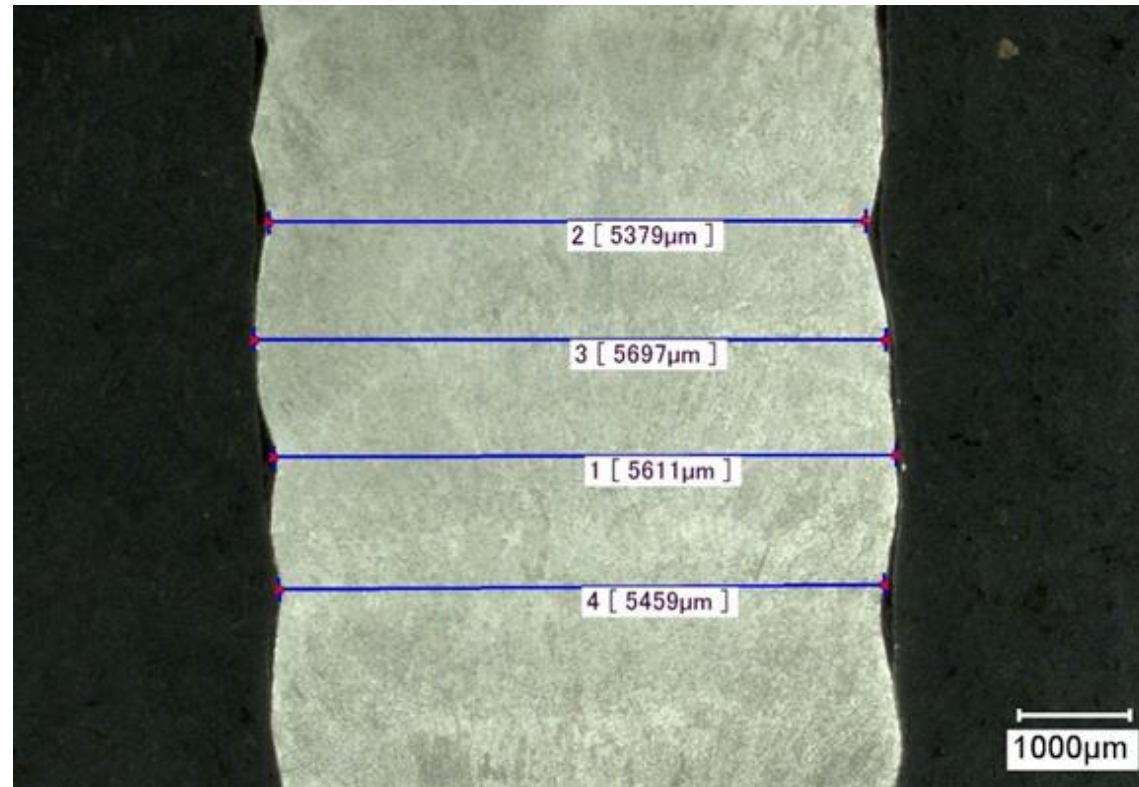
Tulostusparametrit

- Tulostusnopeus 0,35 m/min
- Nosto kerrosten välillä 1,8 mm
- Virta 131 A, jännite 11,0 V ja langansyöttö 2,9 m/min
- Välilämpötila 100 °C
- Suojakaasu 82 % argon + 18 % CO₂ (kaasun virtaus 12 l/min)



WAAM ultraluja teräs seinämän geometria

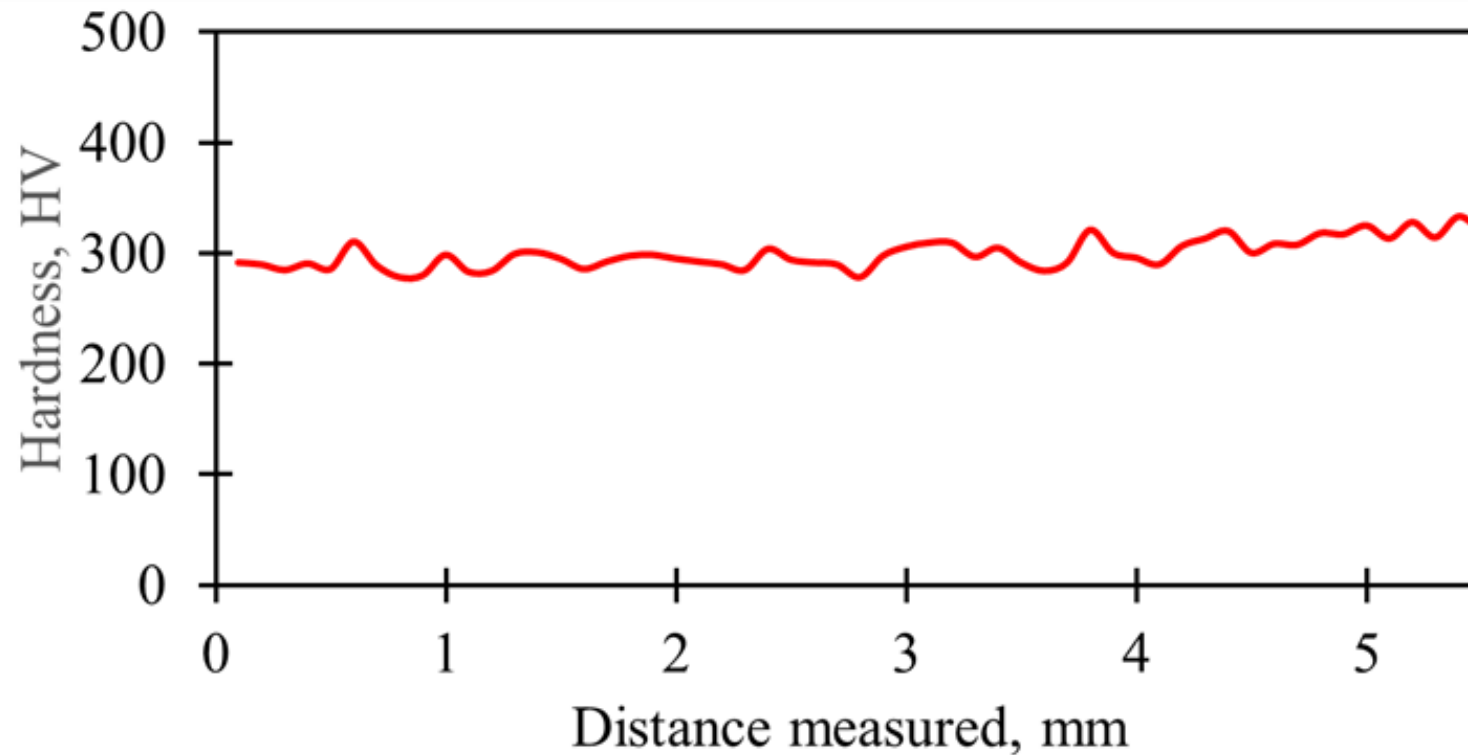
- Seinämän paksuus noin 5,5 mm
- Ei suuria vaihteluita paksuudessa
- Ei huokosia, eikä muitakaan hitsaus / tulostusvirheitä





WAAM ultraluja teräs kovuusprofiili

- Kovuus keskimäärin 292 HV



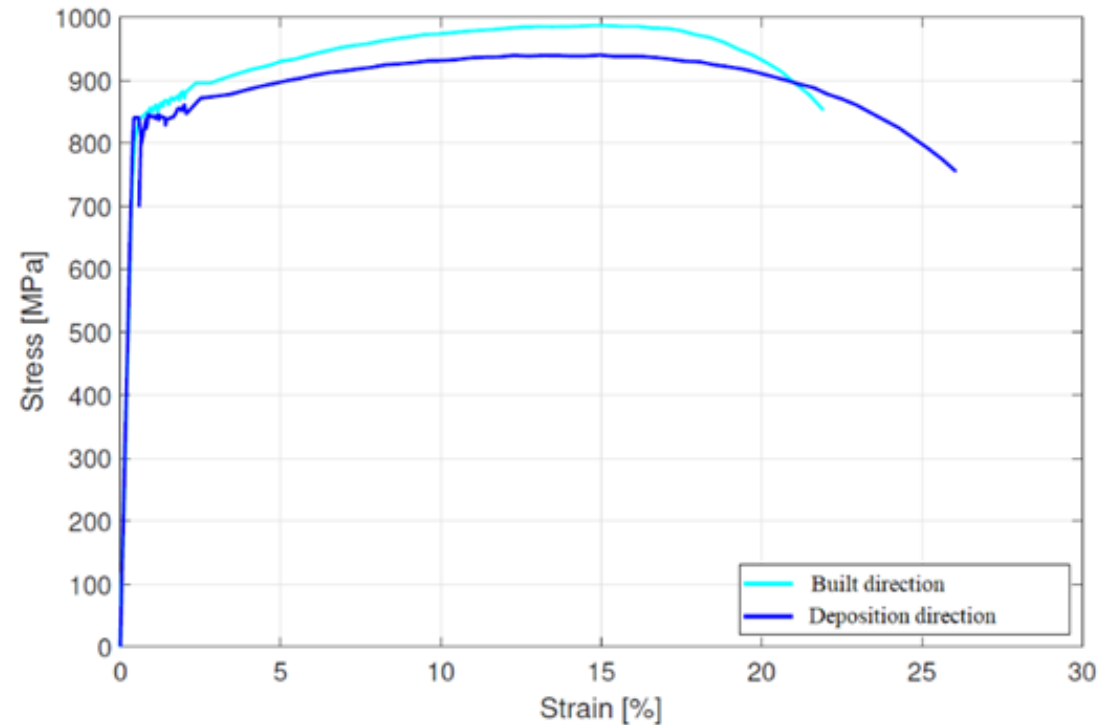


WAAM ultraluja teräs staattinen lujuus

- Myötölujuus vaaka- ja pystysuuntaan lähes sama
- Murtolujuus suurempi pystysuuntaan

Mechanical properties of the UHS steel

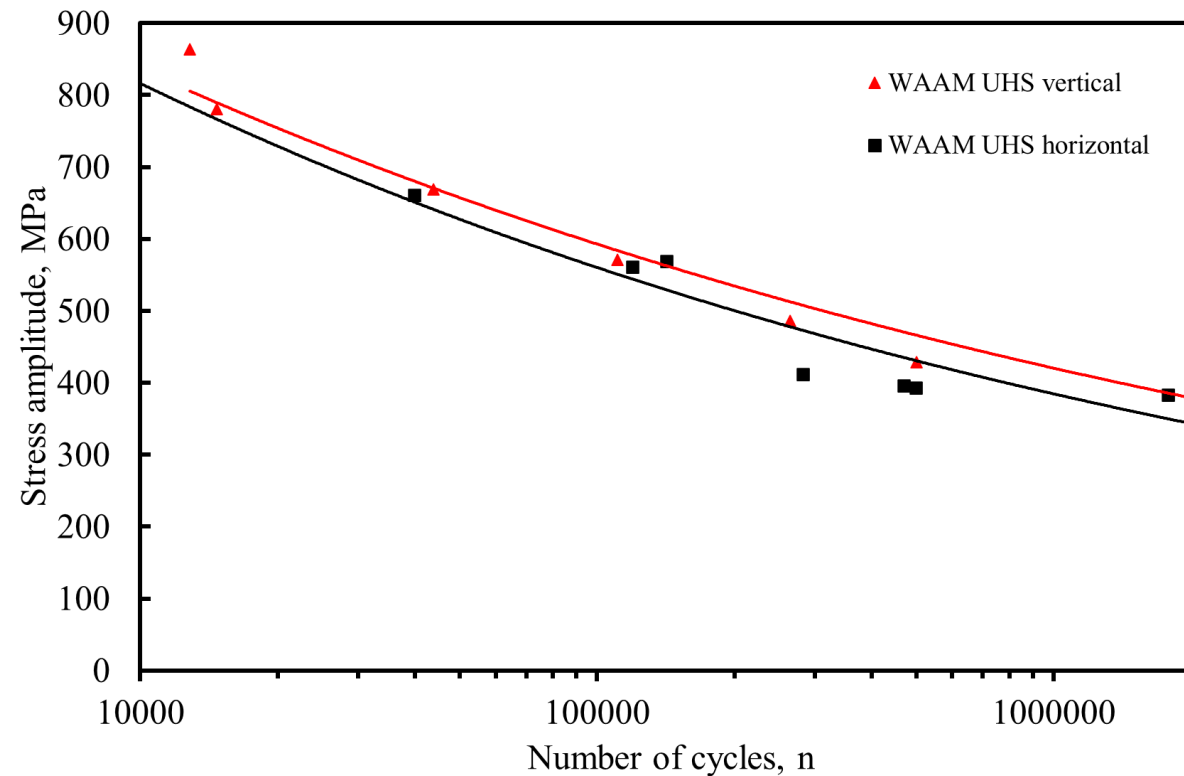
Direction	Yield strength [MPa]	Tensile strength [MPa]
Vertical	835	989
Horizontal	840	942





WAAM ultraluja teräs taivutusväsytykset

- Väsymiskestävyys parempi pystysuuntaan, jolloin väsymisraja noin 420 MPa
- Väsymisraja vaakasuuntaan noin 380 MPa





WAAM ultraluja teräs pinnanlaadun vaikutus väsymiskestävyyteen



Pinnankarheudet

- Kiillotetun ultralujan teräksen pinnankarheus oli paras ja Ra-arvo oli 0.28 μm .
- Tulostuspinnalla Ra-arvo oli huonoin 9.80 μm .
- Rz-arvo oli kiillotetulla pinnalla paras (2,03 μm) ja vastaavasti tulostetulla pinnalla huonoin (74,10).

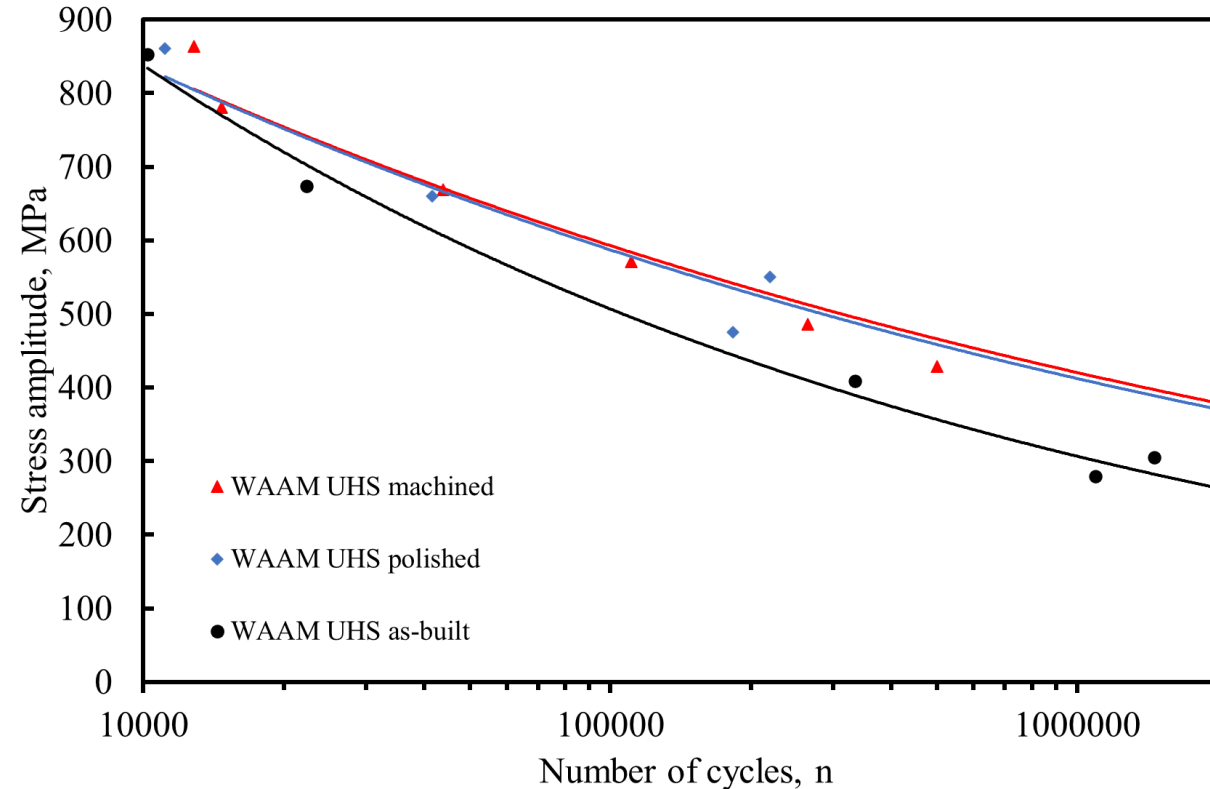
Table 3. Surface roughness of the WAAM UHS steel.

Surface of the sample	Ra [μm]	Rz [μm]
Polished	0.28	2.03
Machined	0.37	2.23
As-built	9.80	74.10



WAAM ultraluja teräs väsymiskestävyys eri pinnanlaaduilla

- Väsymiskestävyys kiillotetulla ja koneistetulla pinnalla sama (väsymisraja 380 Mpa)
- Tulostuspinnalla väsymiskestävyys selvästi huonoin (väsymisraja 254 MPa).



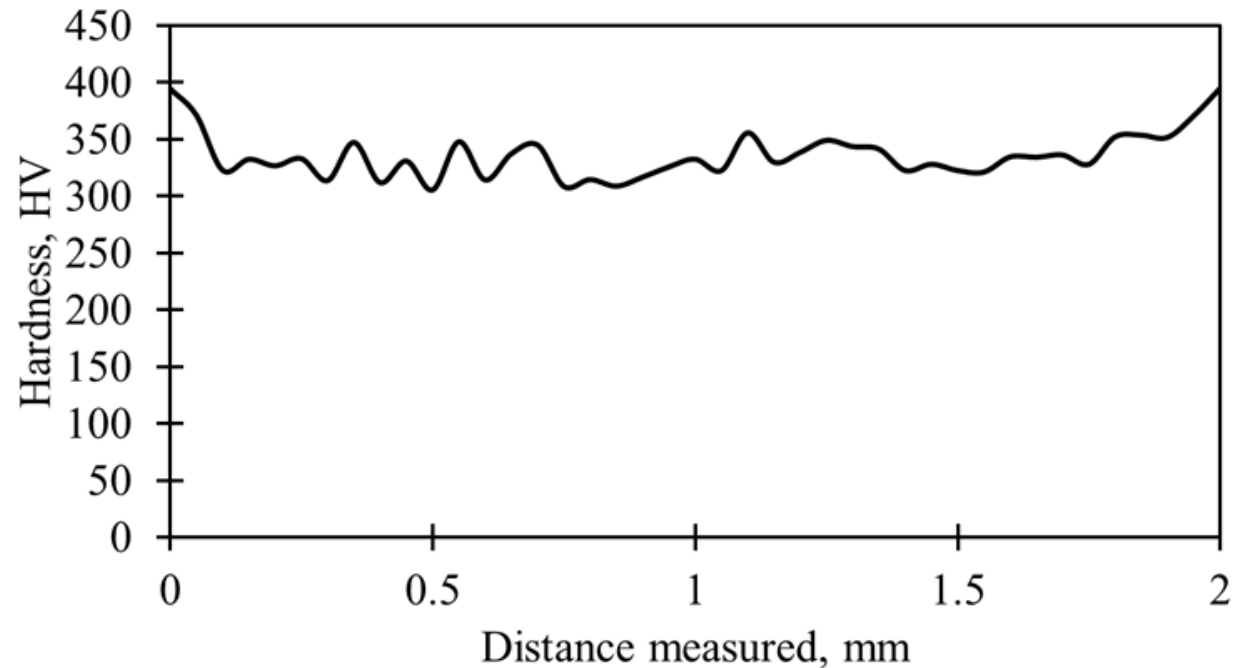


WAAM ultraluja teräs kuulapuhalluksen vaikutus mekaanisiin ominaisuuksiin ja väsymiskestävyyteen



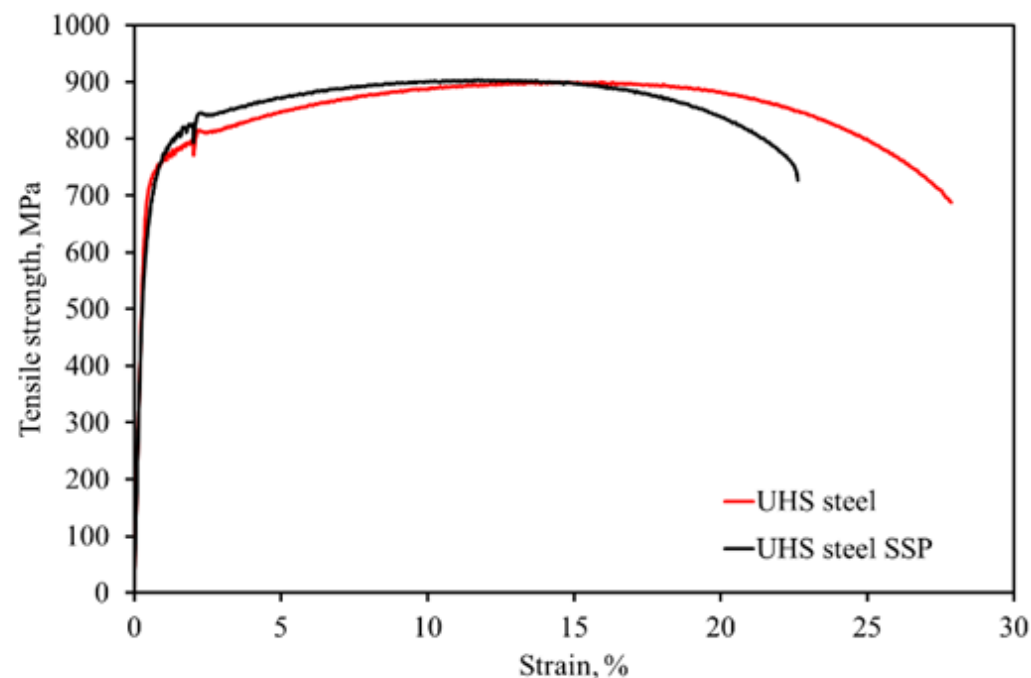
Kovuusprofiili

- Kuulapuhallus vaikutti kovuuteen vain noin 0,1 mm syvyydellä pinnasta.
- Perusmateriaalin kovuus noin 329 HV.
- Pinnassa kovuus noin 395 HV





Staattinen lujuus



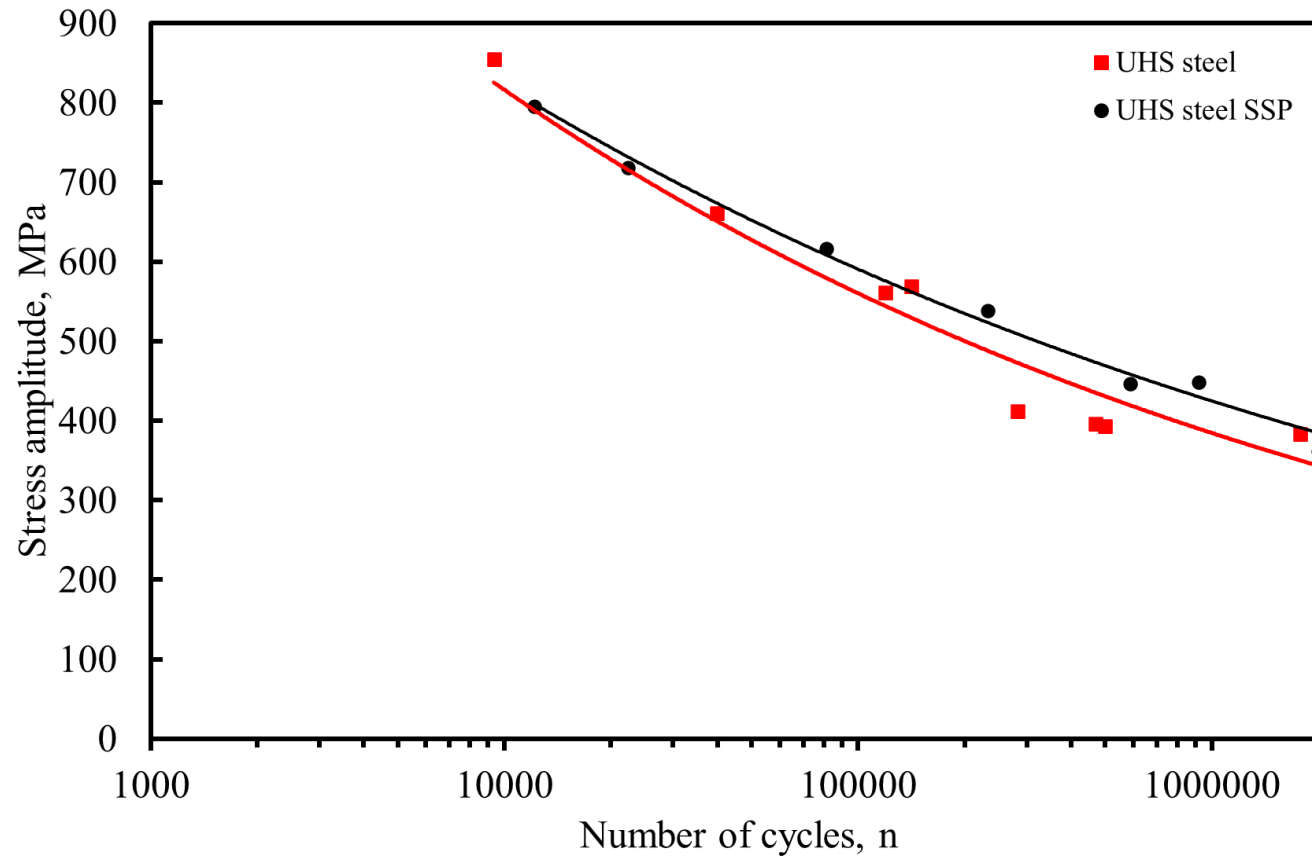
Mechanical properties of the test material.

Material	Yield strength [MPa]	Tensile strength [MPa]	Elongation [%]
UHS steel	739	899	26.3
UHS steel SSP	690	904	22.3



Taivutusväsytykset

- Kuulapuhallus nosti väsymisrajaa noin 20 MPa





WAAM ultraluja teräs välilämpötilan vaikutus mekaanisiin ominaisuuksiin ja väsymiskestävyyteen

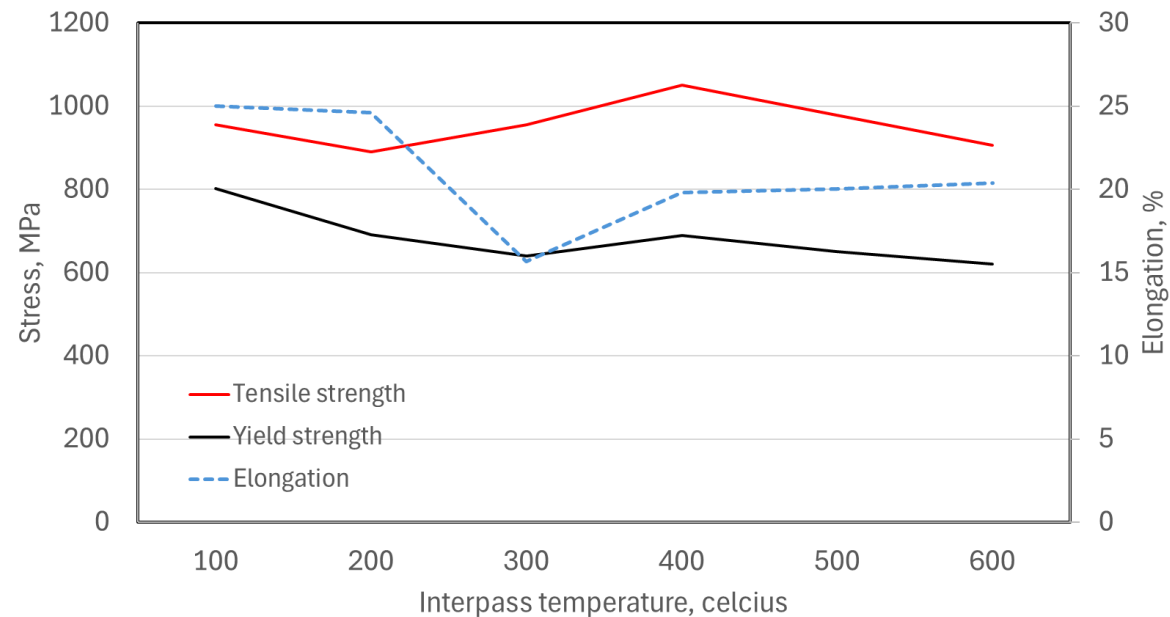


WAAM ultralujan teräksen staattinen lujuus eri välilämpötiloilla

Kovuusmittaukset

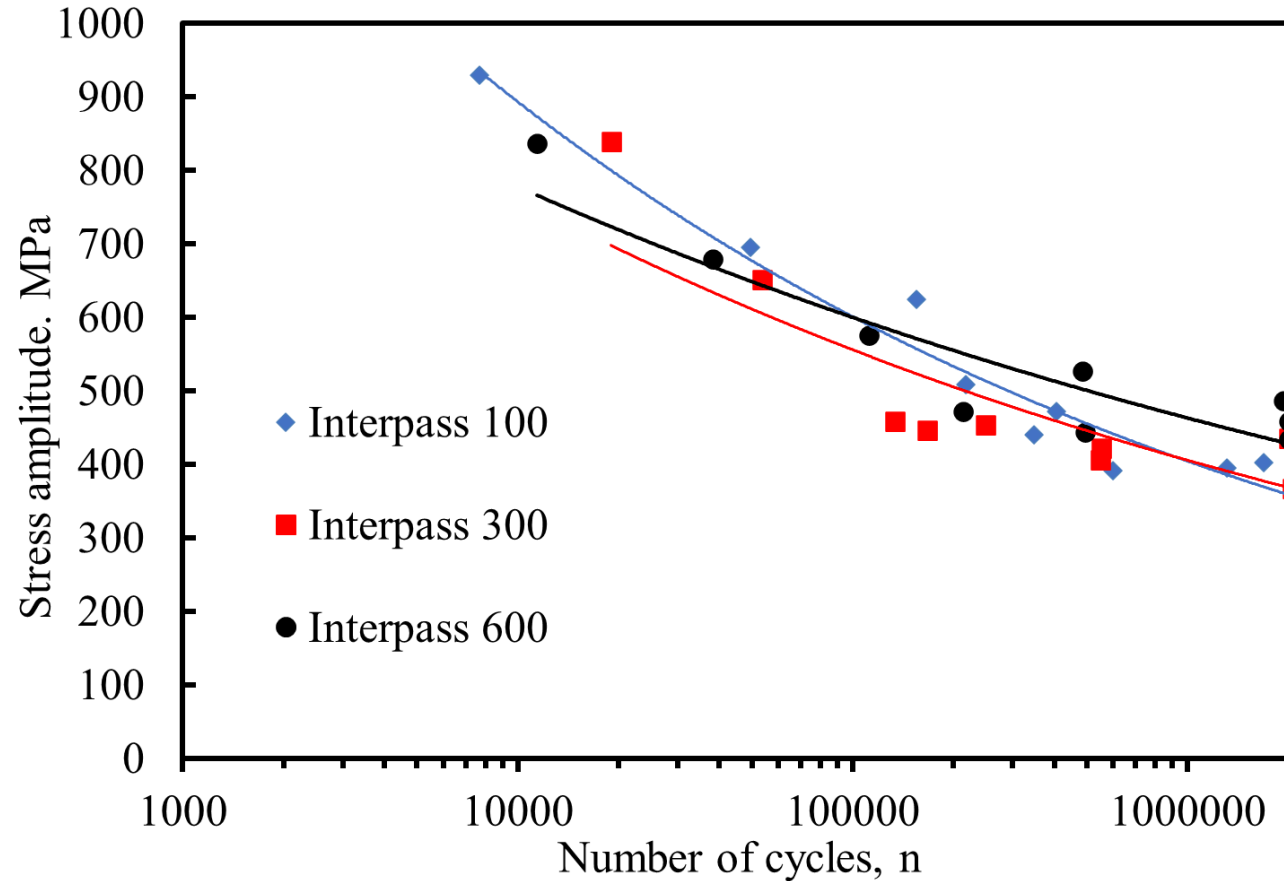
Interpass temperature (°C)	100	200	300	400	500	600
Average hardness (HV)	297.45	296.64	299.32	308.95	307.8	298.85

Vetokokeiden tulokset





WAAM ultralujan teräksen väsymislujuus eri välilämpötiloilla

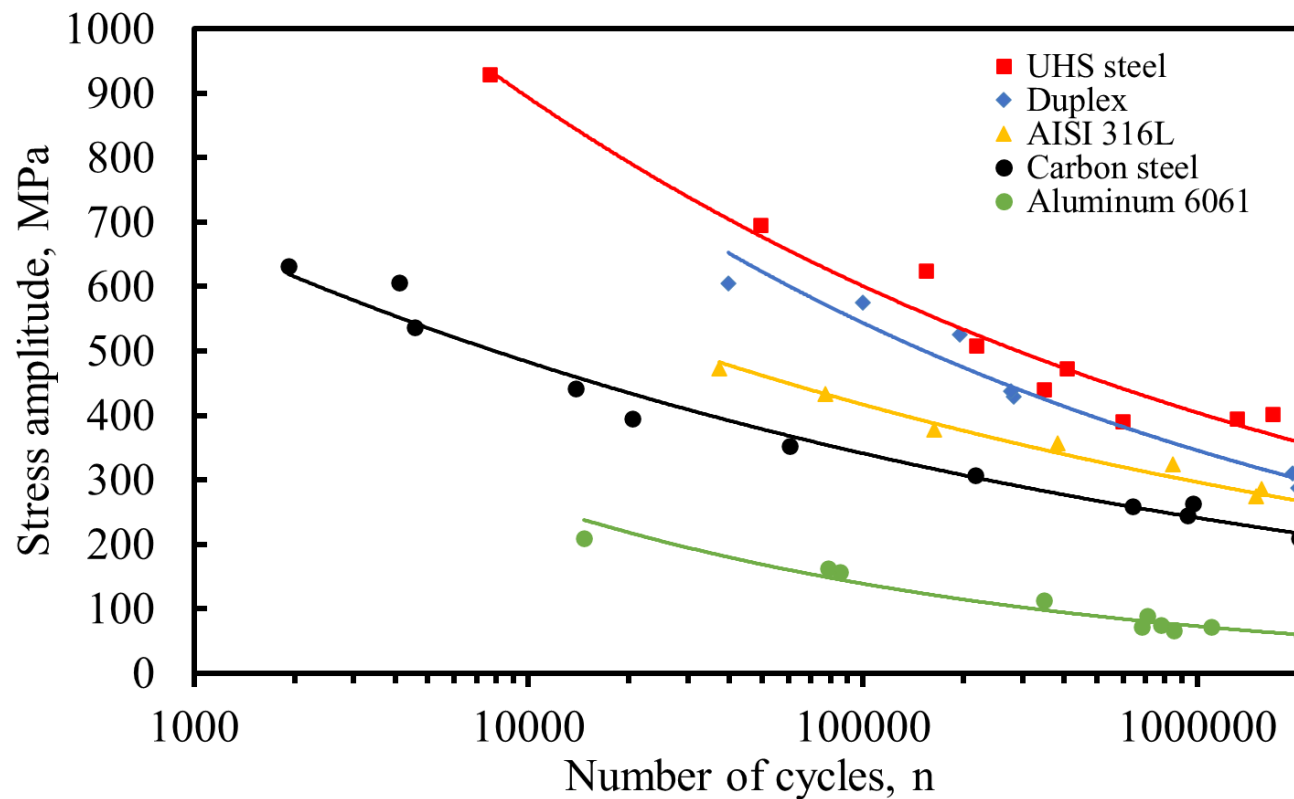




WAAM ultraluja teräs verrattuna muihin WAAM materiaaleihin



WAAM tulostettujen materiaalien väsymiskestävyys





Kiitos!



Interreg



Co-funded by
the European Union

Aurora

IDiD



Contact Information:
Mikko Hietala
+358 40 7547 135
mikko.hietala@oulu.fi