

**UNIVERSITY
OF OULU**

KERTTU SAALASTI INSTITUTE

**FUTURE
MANUFACTURING
TECHNOLOGIES (FMT)
Research Group**

FMT
FUTURE MANUFACTURING
TECHNOLOGIES

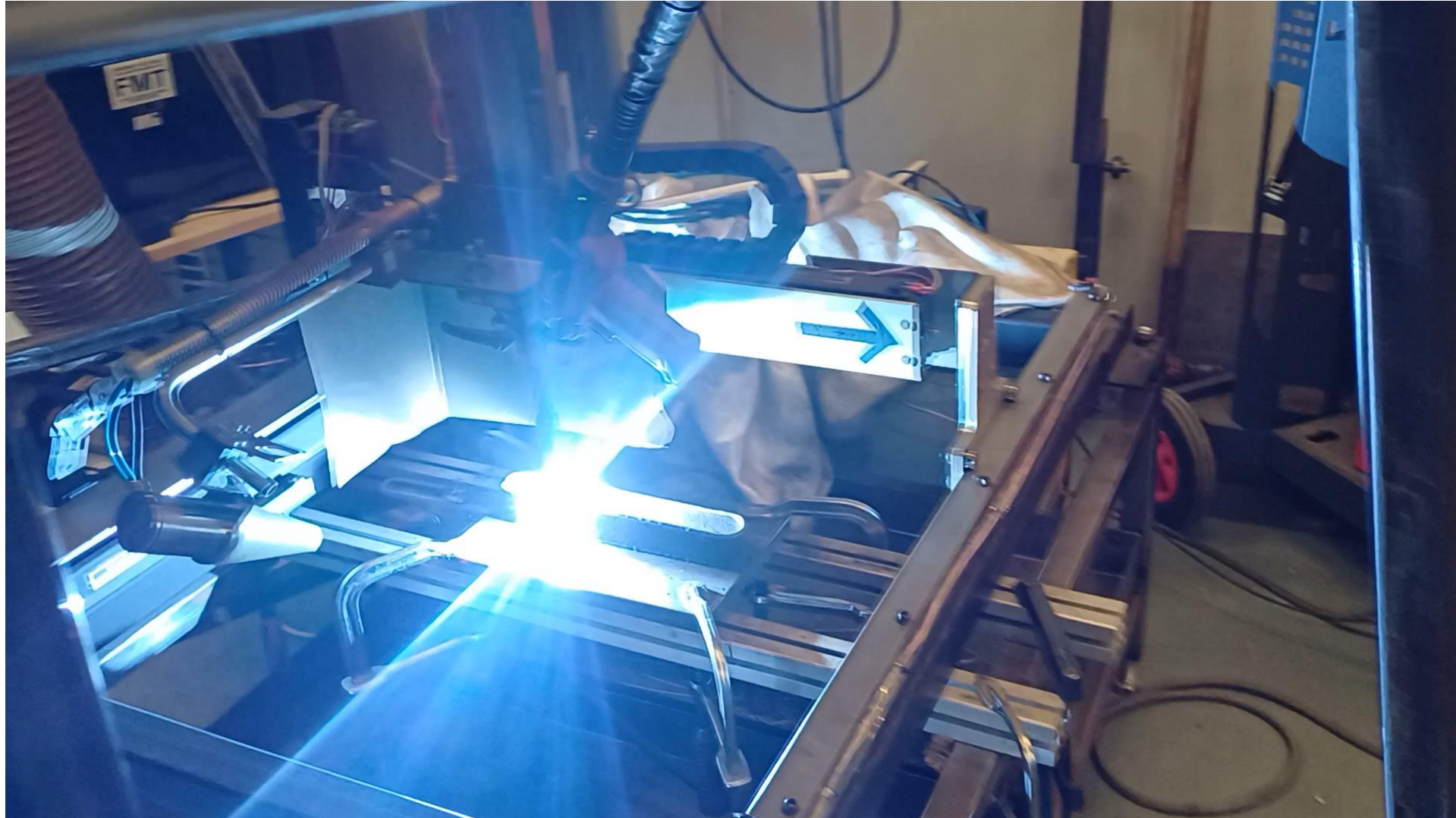


WAAM-tulosteiden mekaaniset ominaisuudet

WAAM- tulostuksen webinaari

Markku Keskitalo
7.11.2024







Vetokoe



– Näytteenvalmistus

- Irroitus alustasta ->Koneistus -> laserleikkaus -> muotoon koneistus

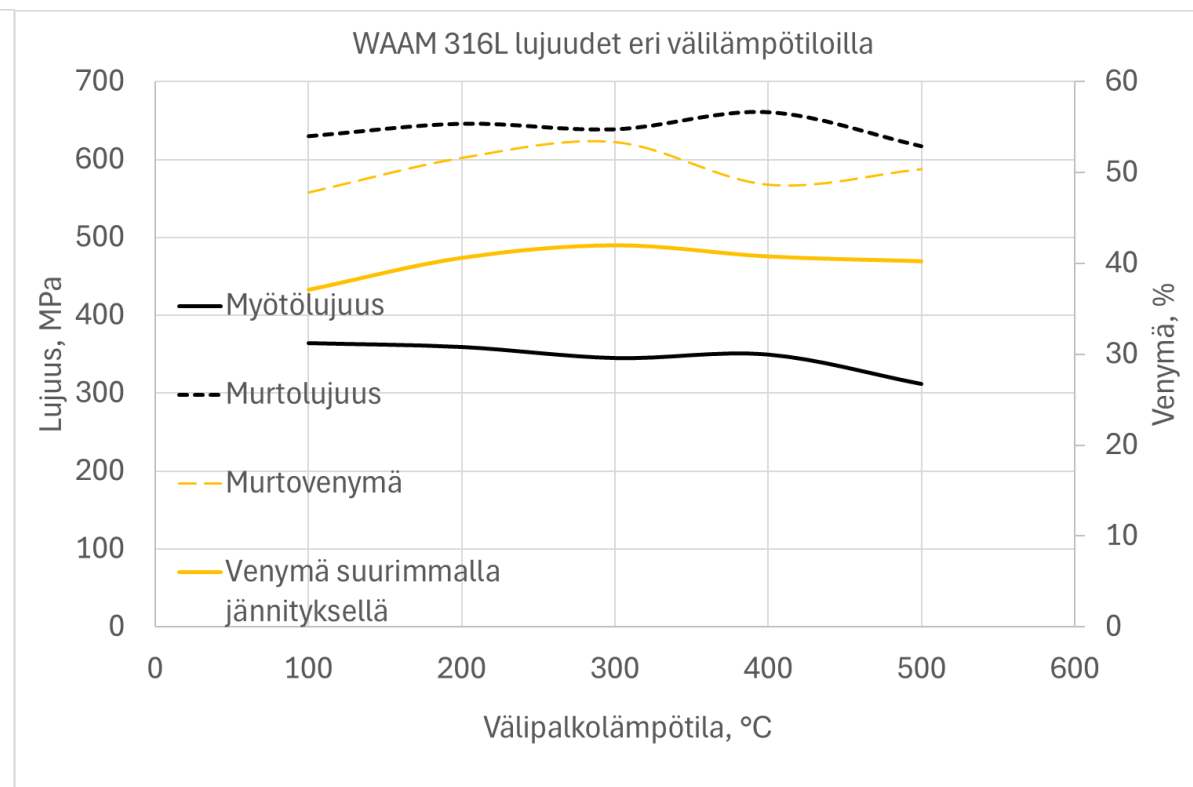
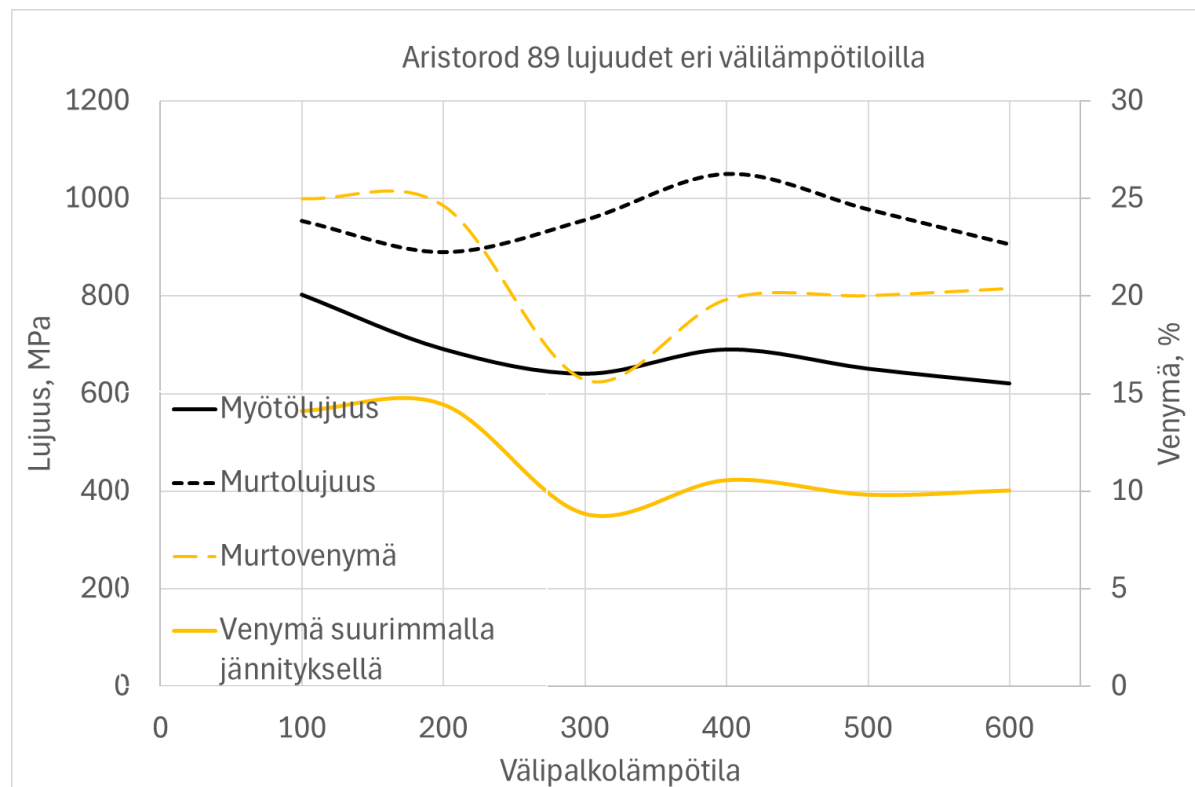
– Testaus

- Vetokoe extensiometrillä 2 % venymään asti 0,025 %/s-> ilman extensiometriä murtumaan asti 2 mm/min

- Extensiometrin käyttöä vaikeuttaa tulosten epähomogeeninen myötäminen lujilla hiiliteräksillä ja austeniittisilla ruostumattomilla teräksillä



Tuloksia





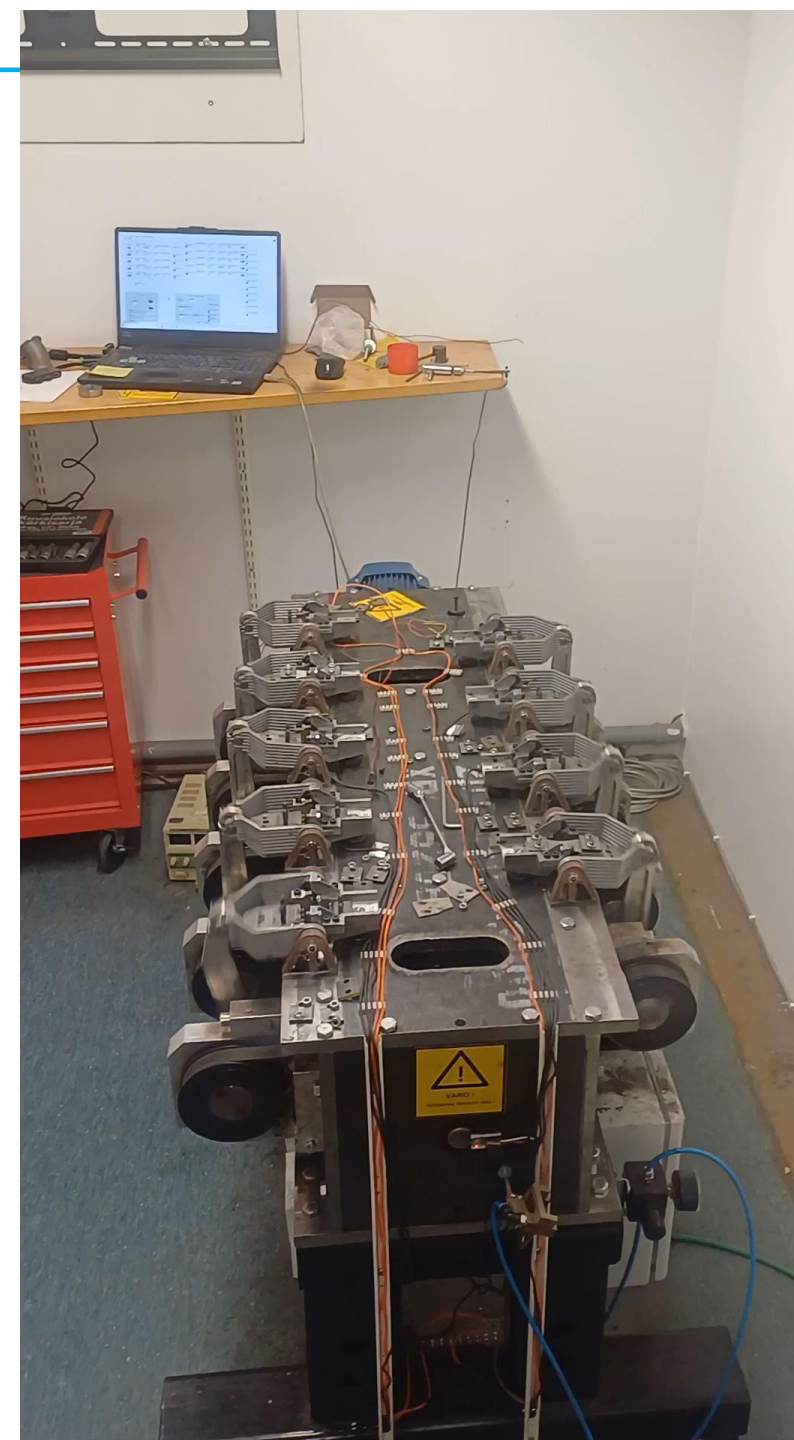
Taivutusväsytykoe

- Taivutusväsytykokeen tulokseen vaikuttavat eniten pintaviat
- Näytteenvalmistus

Koneistus -> laserleikkaus -> muotoon koneistus-> pintakäsittelyt

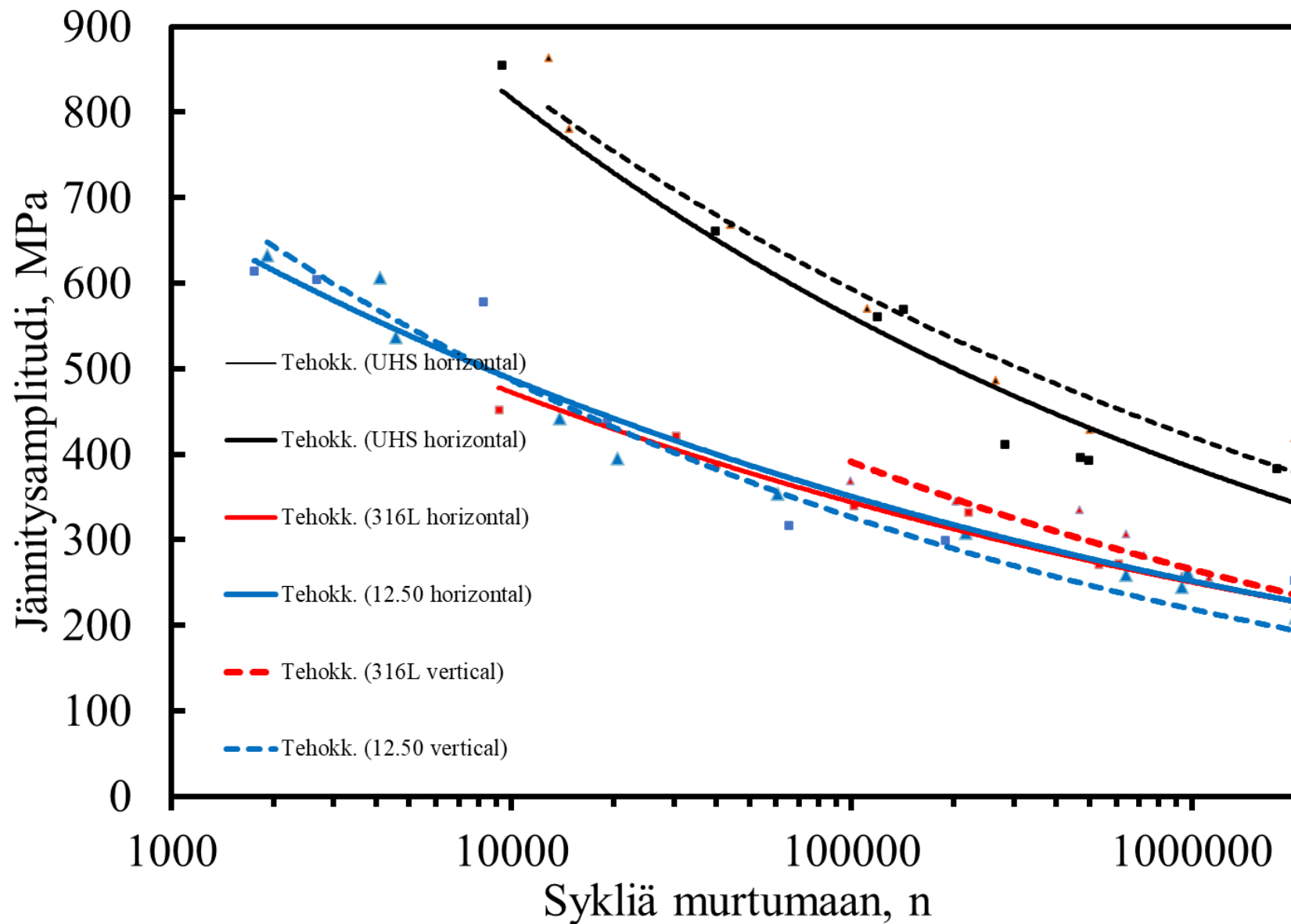
Pinnan käsittelyt: tulostettu pinta, koneistettu, koneistettu ja kiillotettu, kuulapuhallettu ym.

- Testaus tehdään 10 sauvan sarjataivutusväsytykskoneessa, jossa iskunpituus voidaan säätää epäkeskoakselia säätämällä



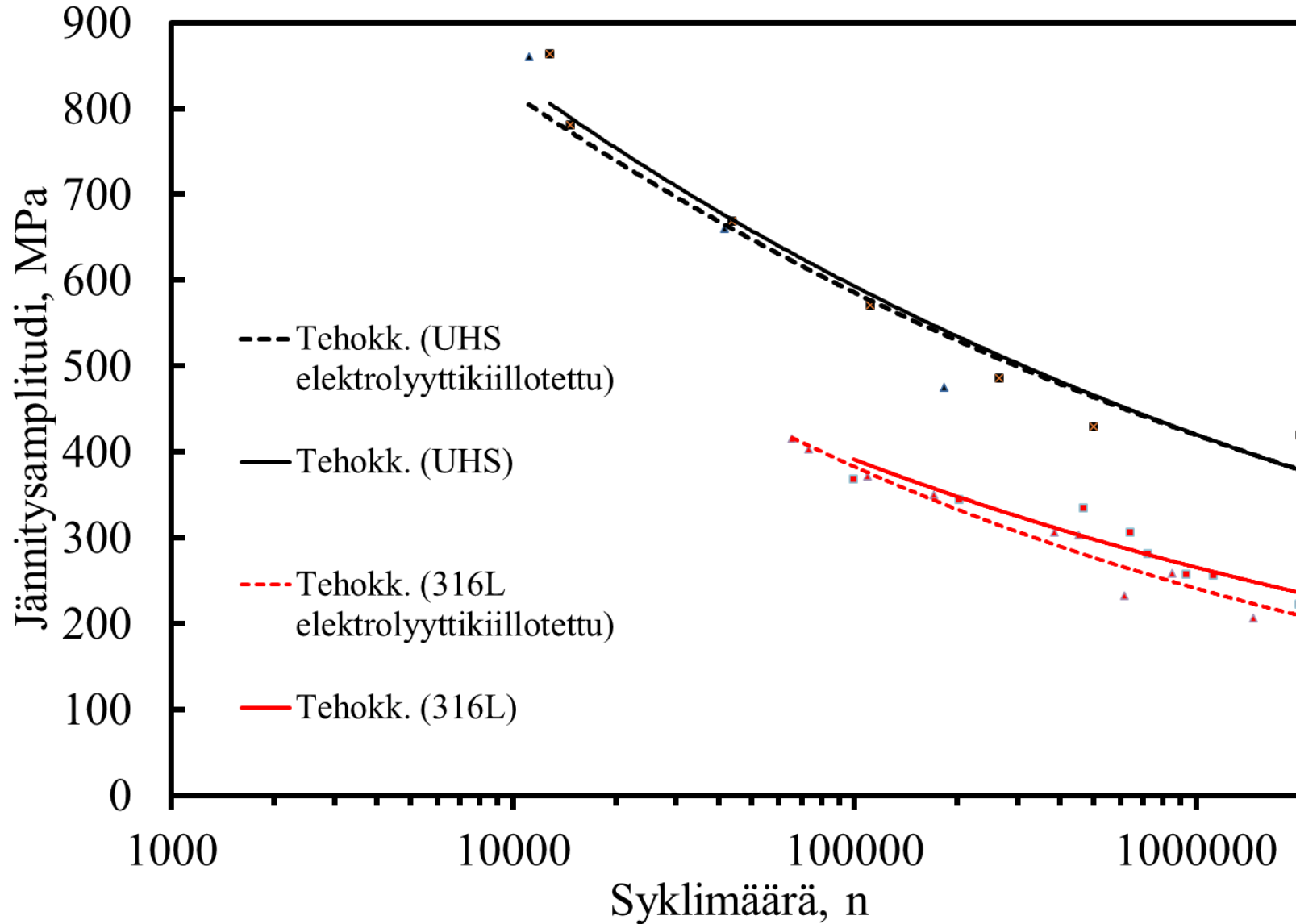


Suunnan vaikutus



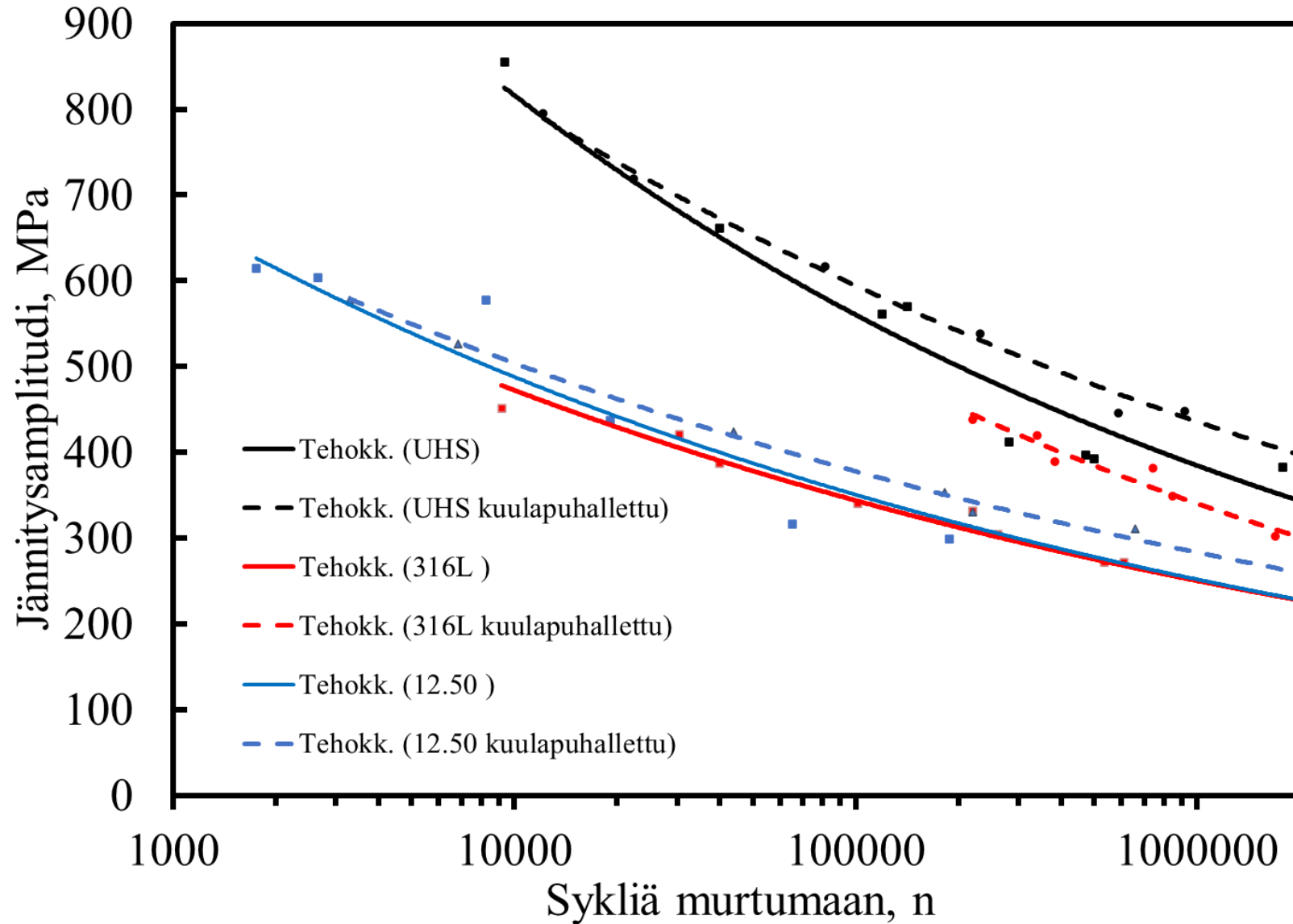


Elektrolyyttisen kiillotuksen vaikutus



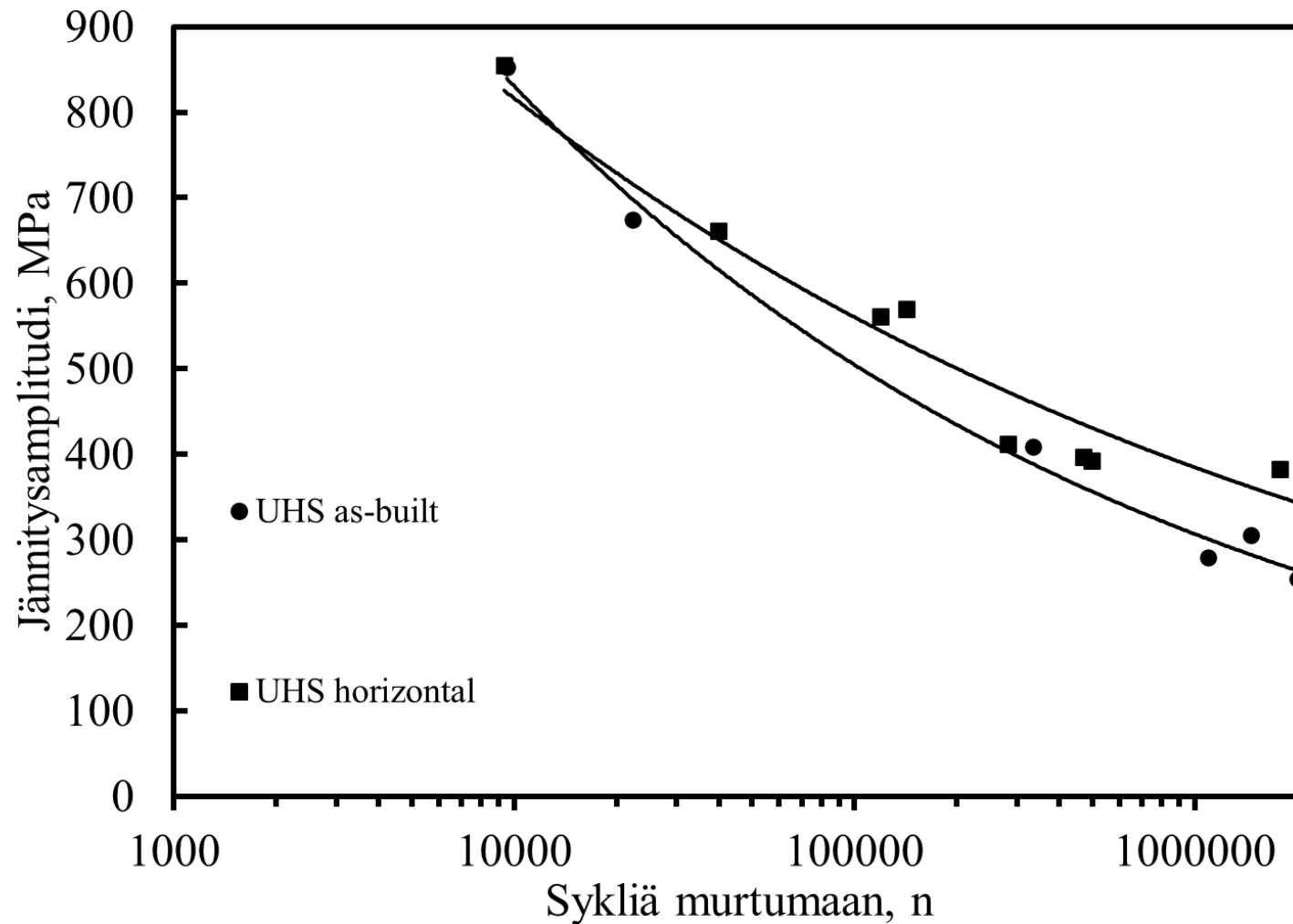


Kuulapuhalluksen vaikutus





Koneistetun ja tulostepinnan ero





Aksiaaliväsytystyskoe

- **Aksiaaliväsytystyskokeella saadaan sisäisten vikojen vaikutus väsytyslujuuteen**
- **Näytteenvalmistus**
 - Suorakulmainen näyte
 - Pyöreä näyte
- **Testaus**

Väsytystyskoe tehdään yleensä veto puristuskokeena jännityssuhteella $R=-1$.
Tarvittaessa hoikilla kappaleilla voidaan käyttää nurjahdustukea tai suurentaa jännityssuhdetta
On myös mahdollista tehdä väsytystyskoe käyttäen venymäamplitudia, mikä voidaan mitata mekaanisella extensiometrillä tai optisella ekstensiometrillä

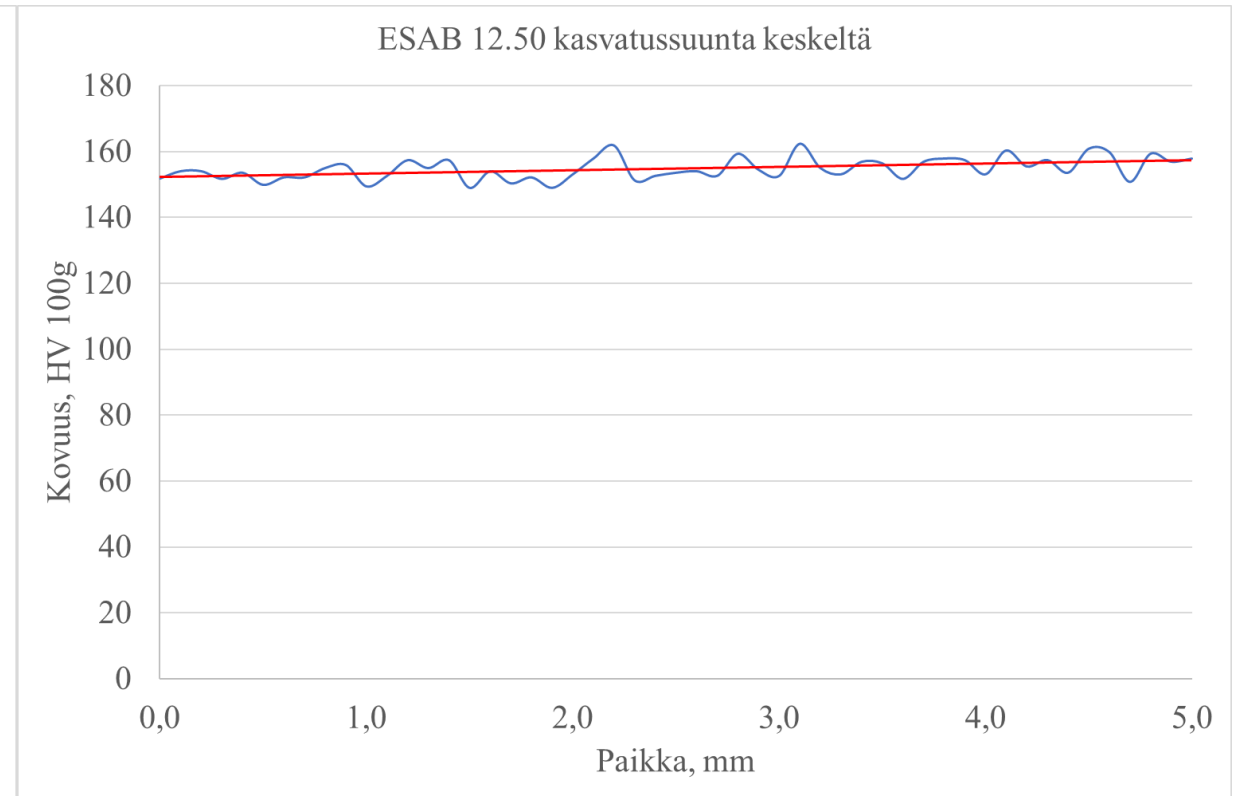
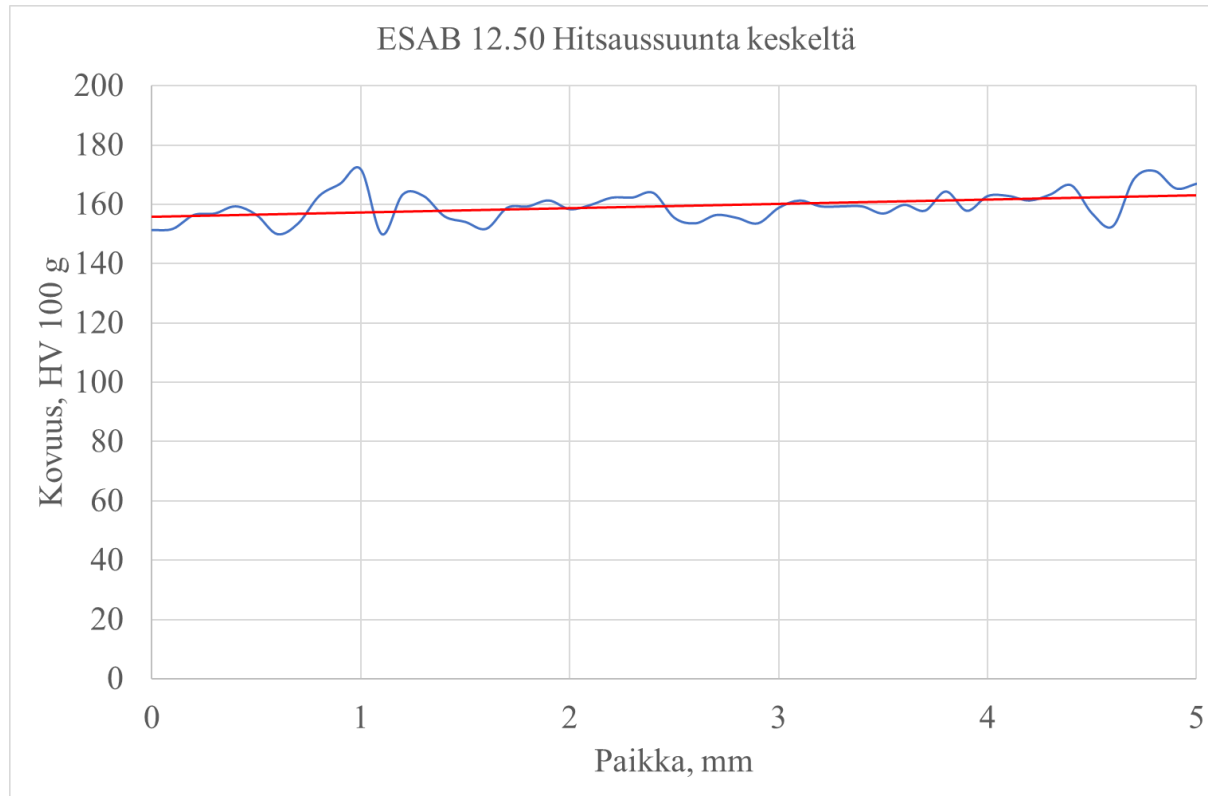


Kovuuskoe

- **Näytteenvalmistus**
Näytesahaus-> Napitus -> hionta ja kiillotus materiaalikohtaisen ohjeen mukaan
- **Vickers testi 100g-300g painoilla**



Rakenneteräshitsin kovuudet

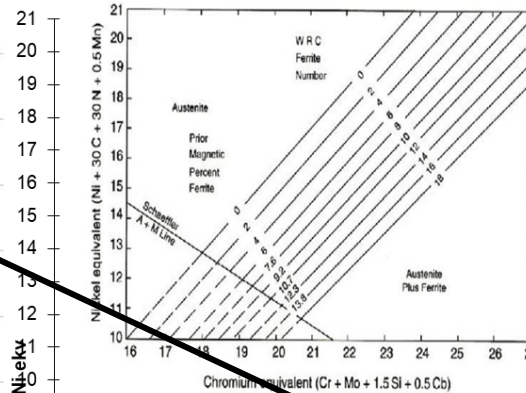
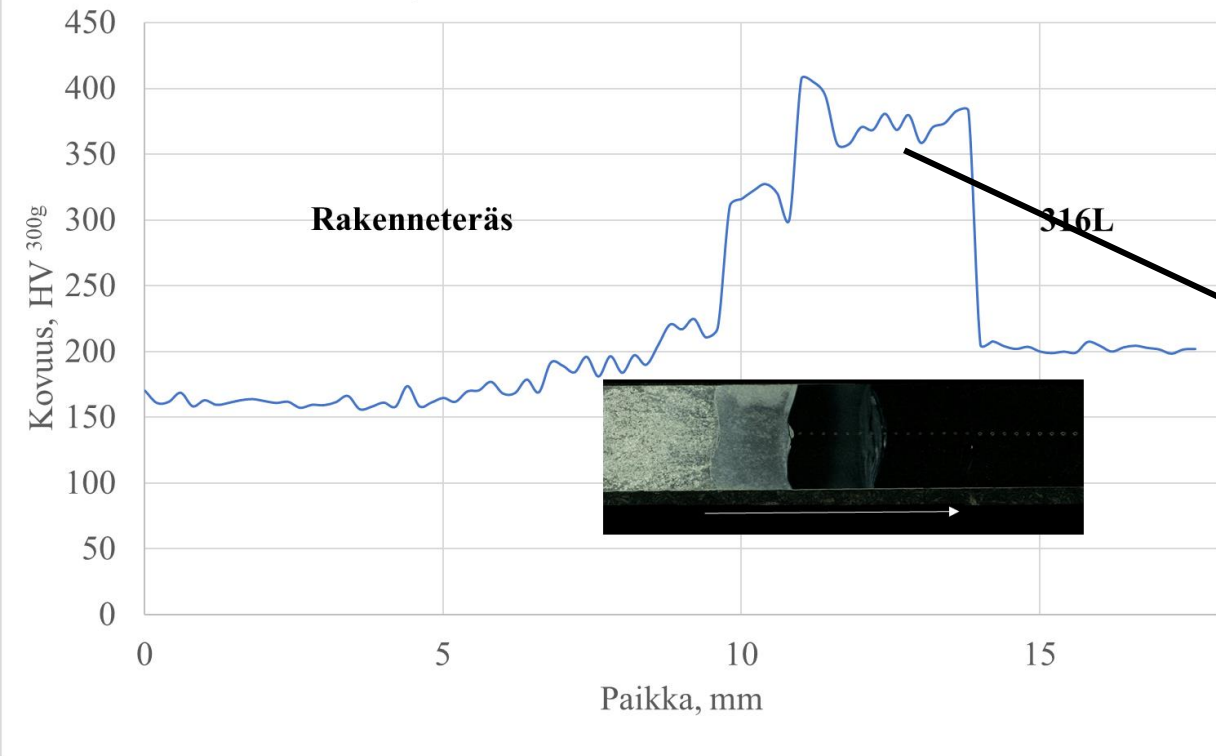




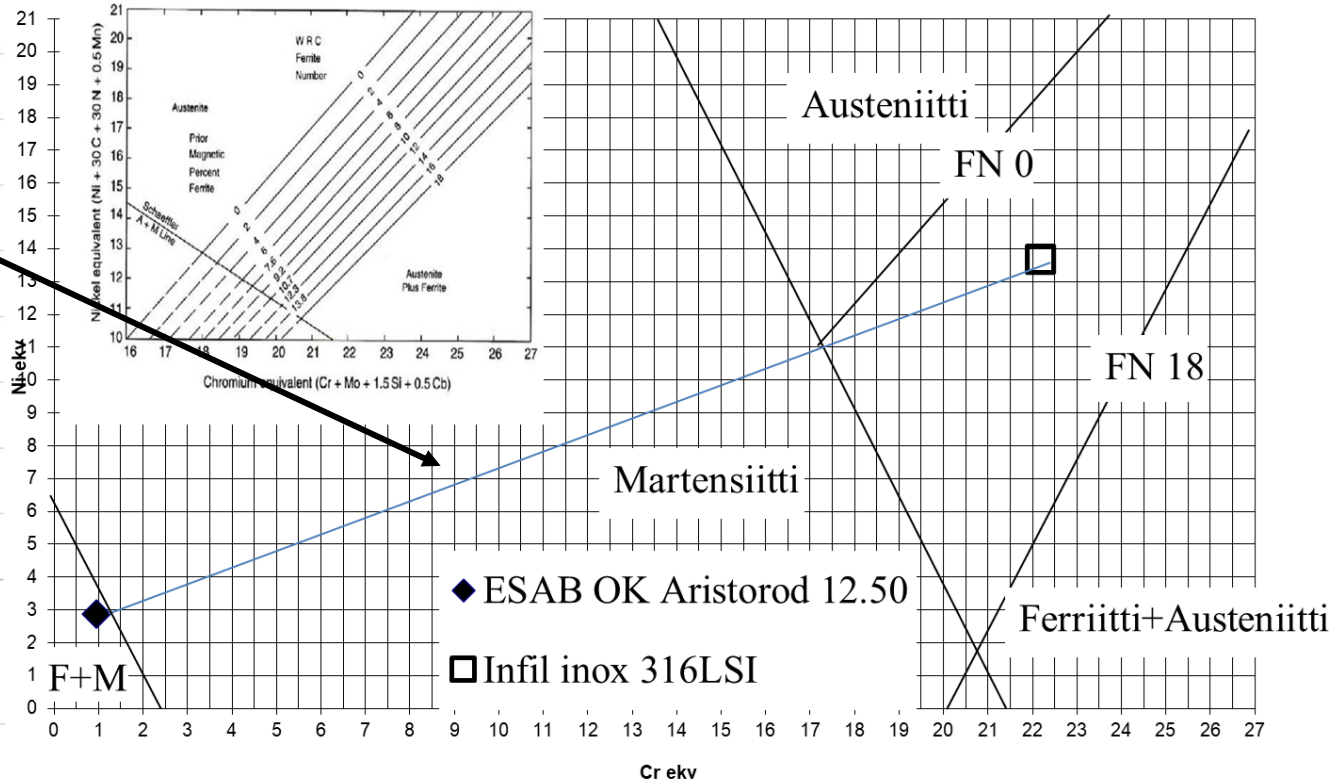
Rakenneteräksen ja haponkestävän teräksen WAAM tulosteen muutosvyöhyke

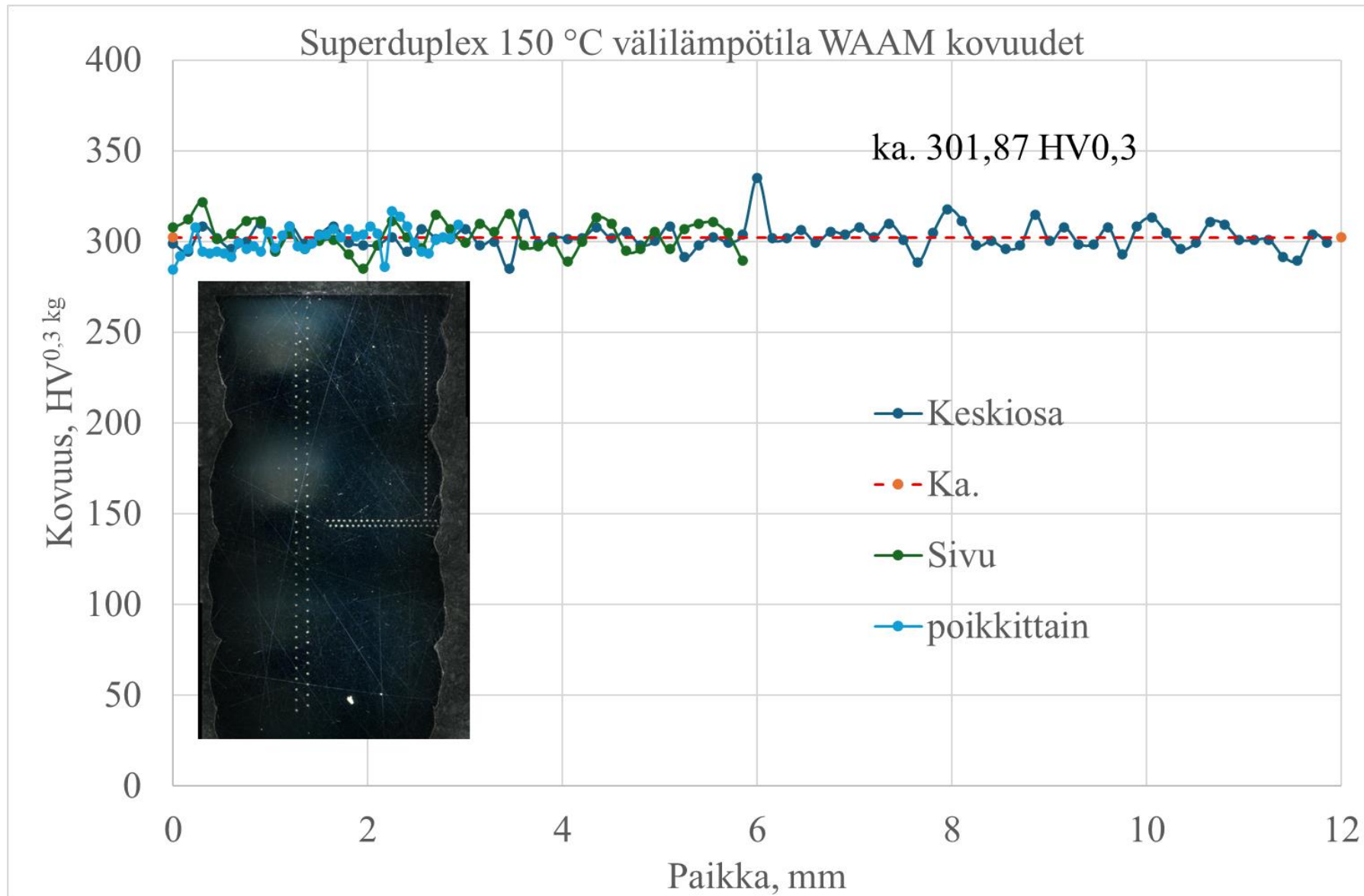
Schaeffler

Esab 12.50 ja 316L teräksen WAAM tulosteen kovuus



Infil Inox 316LSI - ESAB OK Aristorod 12.50



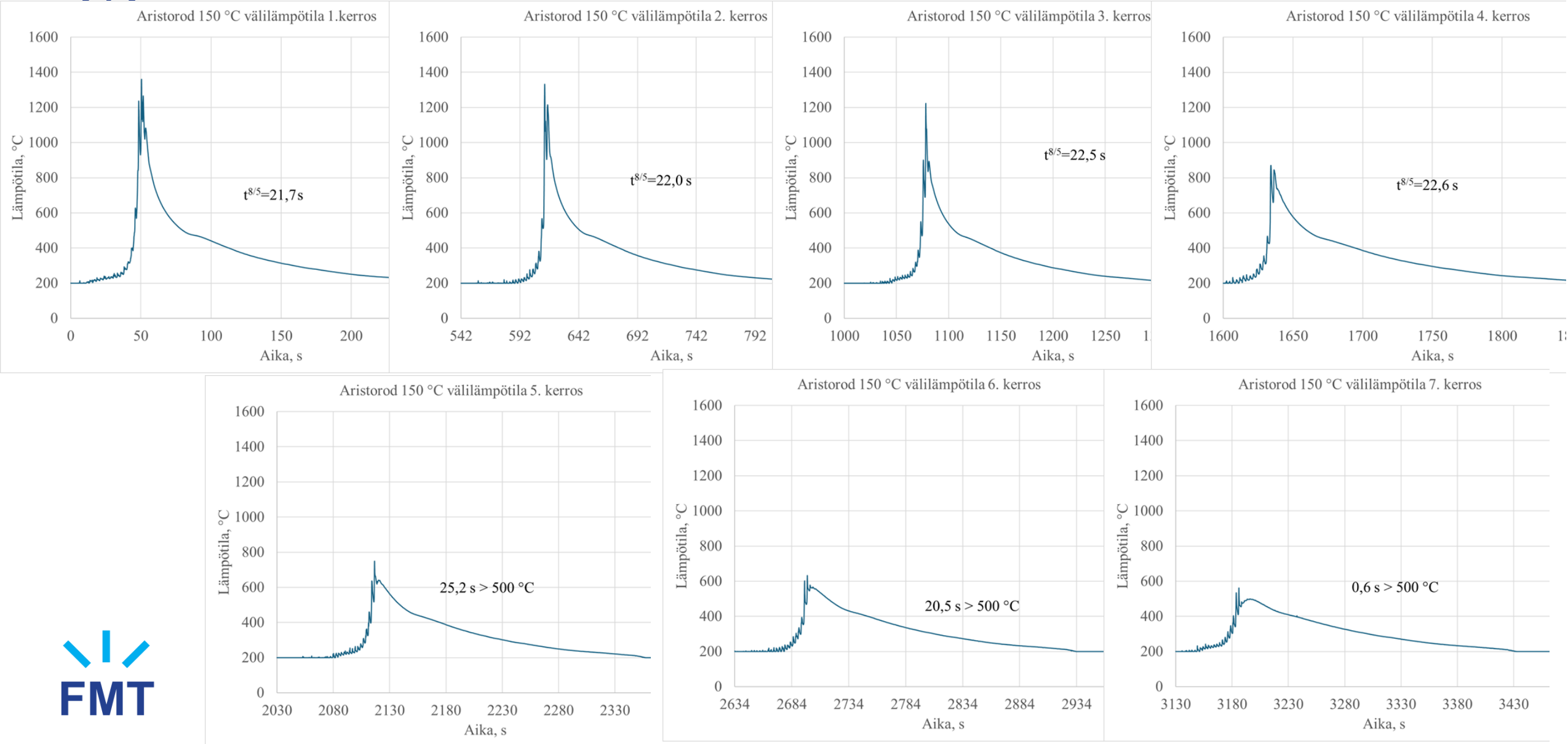




Charpy V- iskusitkeys-koe lujan rakenneteräksen WAAM hitsille

- Hitsin tärkein ominaisuus
- Erittäin tärkeää rakenneteräksillä kylmässä käyttölämpötilassa
- Hitsaus 20 x 270 x 150 mm
- Fronius CMT
- ESAB Aristorod 89
- 1,2 mm lanka,
- 168 A 13,4 V,
- langan nopeus 4,5 m/min
- hitsausnopeus 1,1 m/min
- 0,10 kJ/mm
- kerrospaksuus 1,8 mm levitysliike 20 mm etenemä 2,5 mm
- Välilämpötila 150 °C Suojaasu Ar+18% CO₂ (SK 18) 13 l/min
- Näytteenvalmistus:
 - Tasaan koneistus 10 mm keskiosasta-> 55 x 10 mm lankasaha-> loven koneistus

Lämpötilahistoria





Charpy V- sauvojen suunnat





Tuloksia

	Vertical				Horizontal			
	tulostussuunta		Sivulle		tulostussuunta		Sivulle	
	-40 °C, J	0 °C, J	-40 °C, J	0 °C, J	-40 °C, J	0 °C, J	-40 °C, J	0 °C, J
	86,1	108,6	59,9	106,4	67,1	92,6	66,5	103,7
	82,7	105,4	57,3	99,1	77,1	96,8	61,3	99,5
	68,3	113,0	90,4	114,8	71,6	92,1	66,1	99,7
	77,7	95,3	83,1	104,9	74,4	110,8	74,3	93,3
	82,7	113,5	83,5	94,2				
	76,0		86,3					
ka, J	78,9	107,2	76,8	103,9	72,6	98,1	67,1	99,1
min, J	68,3	95,3	57,3	94,2	67,1	92,1	61,3	93,3
max, J	86,1	113,5	90,4	114,8	77,1	110,8	74,3	103,7
ka -40 °C, J	73,8							
ka 0 °C, J	102,0							



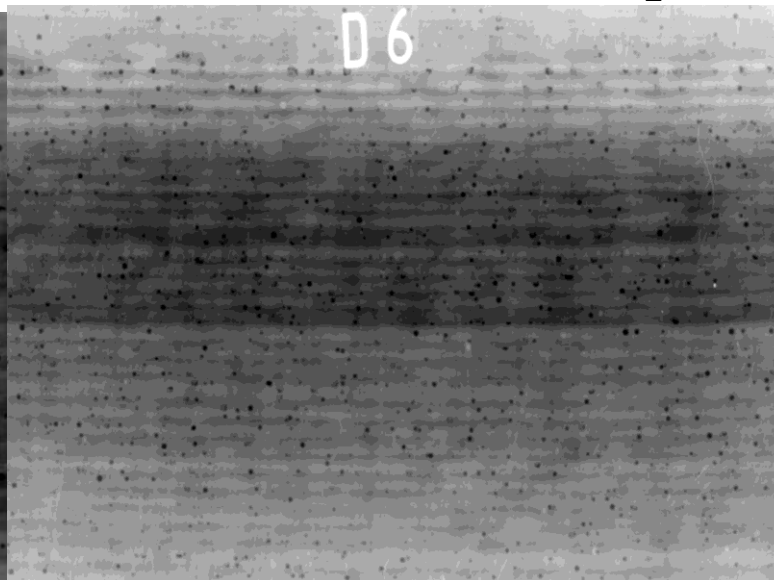
Radiografia

Duplex ruostumaton teräs Exaton 29.8.2.L

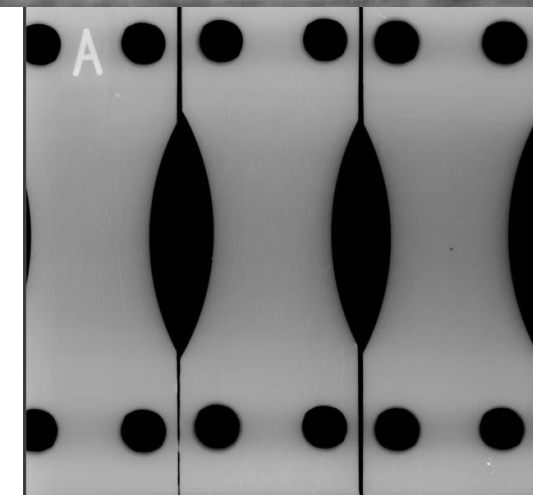
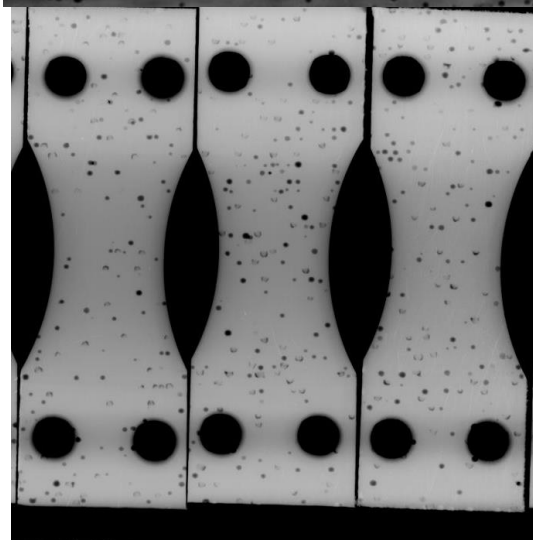
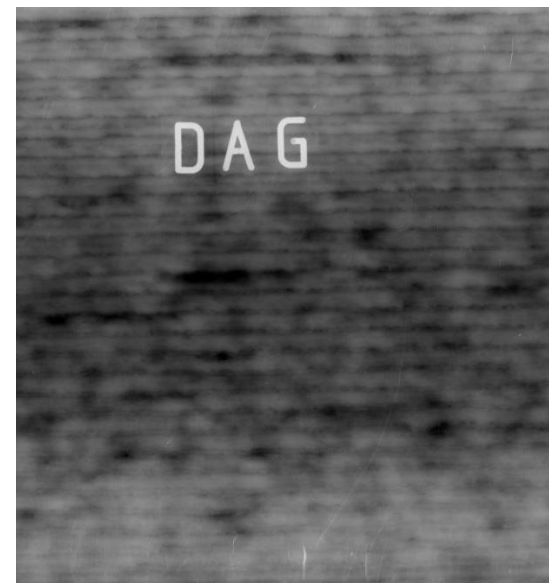
Argon + 2% O₂



Ar+30% He+2%CO₂



Argon





Thank you for your kind attention!



FMT

**FUTURE MANUFACTURING
TECHNOLOGIES**



**Contact Information:
Markku Keskitalo
+35840 7750337
markku.keskitalo@oulu.fi**