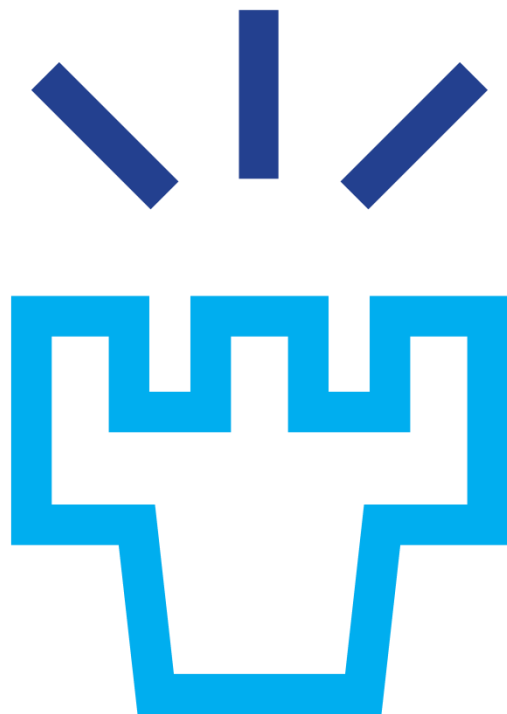




**UNIVERSITY
OF OULU**

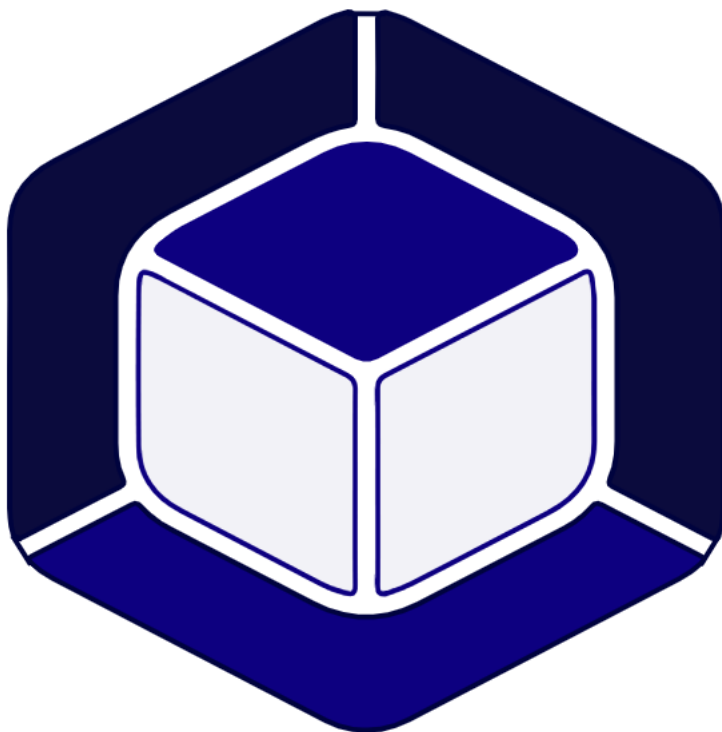
KERTTU SAALASTI INSTITUTE

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

FMT
**FUTURE MANUFACTURING
TECHNOLOGIES**



**Euroopan unionin
osarahoittama**



3D TY

3D-tulostuksen yhteishanke

Interreg



Co-funded by
the European Union

Aurora

IDiD - Implementation of DeD AM in future manufacturing – project

i2am.eu

[IDiD](#)



UiT The Arctic
University of Norway



Superduplex ruostumattoman teräksen WAAM-tulostus

Tulevaisuuden tuotantoteknologiat (FMT)-päivät 2024: Suurten kappaleiden 3D-tulostus

Markku Keskitalo
28.5.2024 Nivala



Ruostumattoman superduplex teräksen hyödyt

- Parempi jännityskorroosiokestävyys austeniittiseen verrattuna
- Ei ongelmia kuumahalkeilun kanssa johtuen kaksifaasirakenteesta
- Suurempi lujuus
- Superduplex on seostetumpi teräs jossa mm. Cr pitoisuus on yli 24 %, PRE indeksi yli 40 ja CPT lämpötila ASTM G-48 pistekorroosiokokeessa noin 80 °C (hitseillä 40-50 °C).
- Tyypiseostus helpottaa austeniitin muodostumista hitsiin
- Paras pistekorroosiokestävyys saavutetaan 50/50% faasisuhteella
- Alle 30 % ferriittipitoisuudella lujuus ja jännityskorroosio-ominaisuudet heikkenevät.
- Yli 70 % ferriittipitoisuudella sitkeys ja korroosiokestävyys heikkenevät.



Ruostumattoman superduplex teräksen haasteet

- Sulan juoksevuus huonompi -> suojakaasun valinta
- Ongelmia magnetismin kanssa-> huono valokaaren käyttäytyminen
- Mahdollisuus vetyhalkeiluun mikäli ferriittipitoisuus ylittää 65 %
- Haitallinen erkautuminen tapahtuu nopeasti



Tulostuksessa käytetty hitsauslanka

1,2 mm Exaton 29.8.2.L

Langan koostumus

C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	Cu	N	Nb	Ti	Co	PRE
<0.025	1.0	0.4	0.0005	0.015	7	29	2.2	0.11	0.3	0.01	0.003	0.07	41.7

Hitsiaineen koostumus

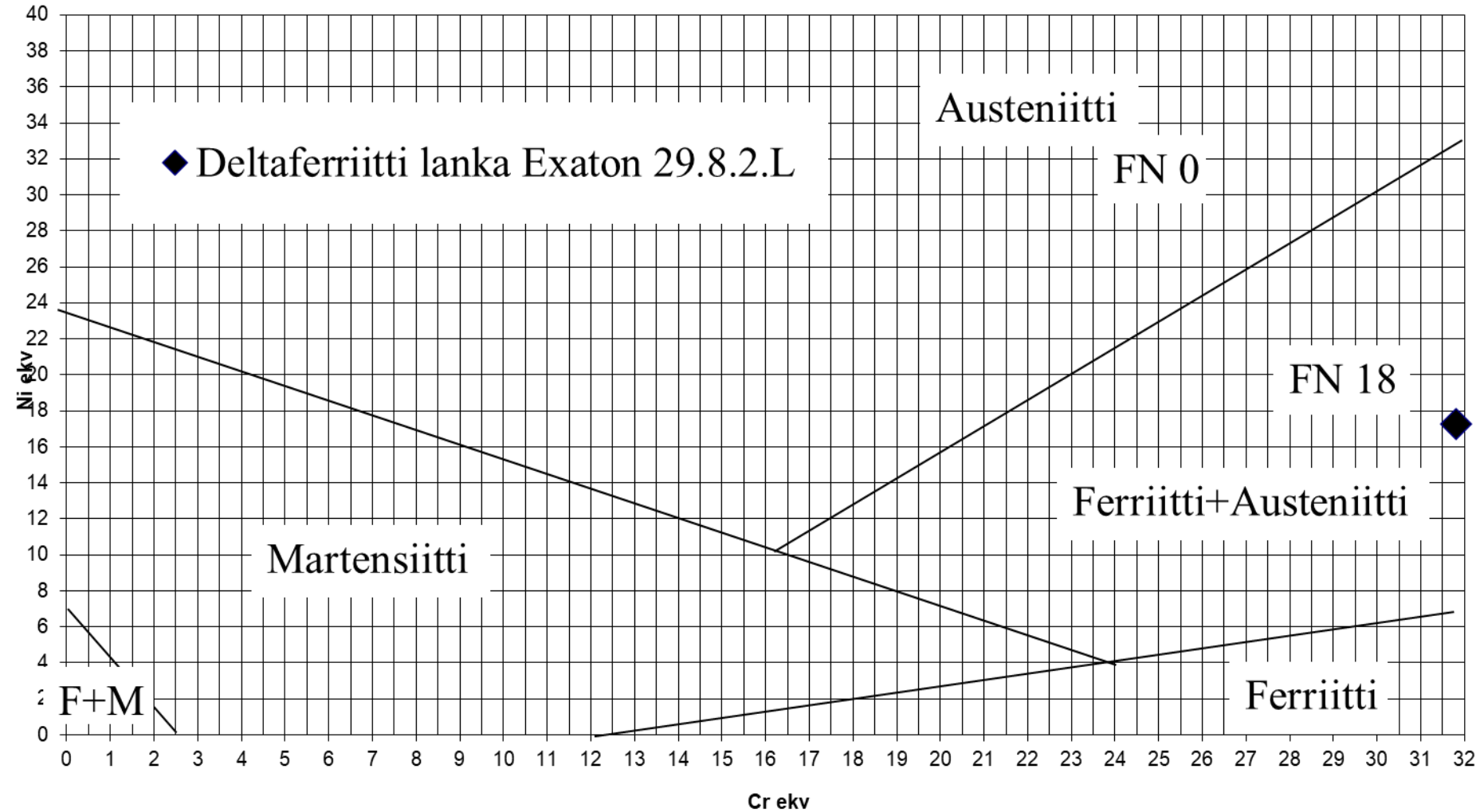
C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	Cu	N	Nb	Ti	Co	PRE
0.017	0.9	0.3	0.001	0.018	6.7	29	2.2	0.14	0.3	0.003	0.001	0.07	41.3

(PRE = %Cr + 3,3 x %Mo + 16x%N)

Hitsillä käytännössä PRE on alempi johtuen vaihtelevasta faasisuhteesta hitsin eri kohdissa



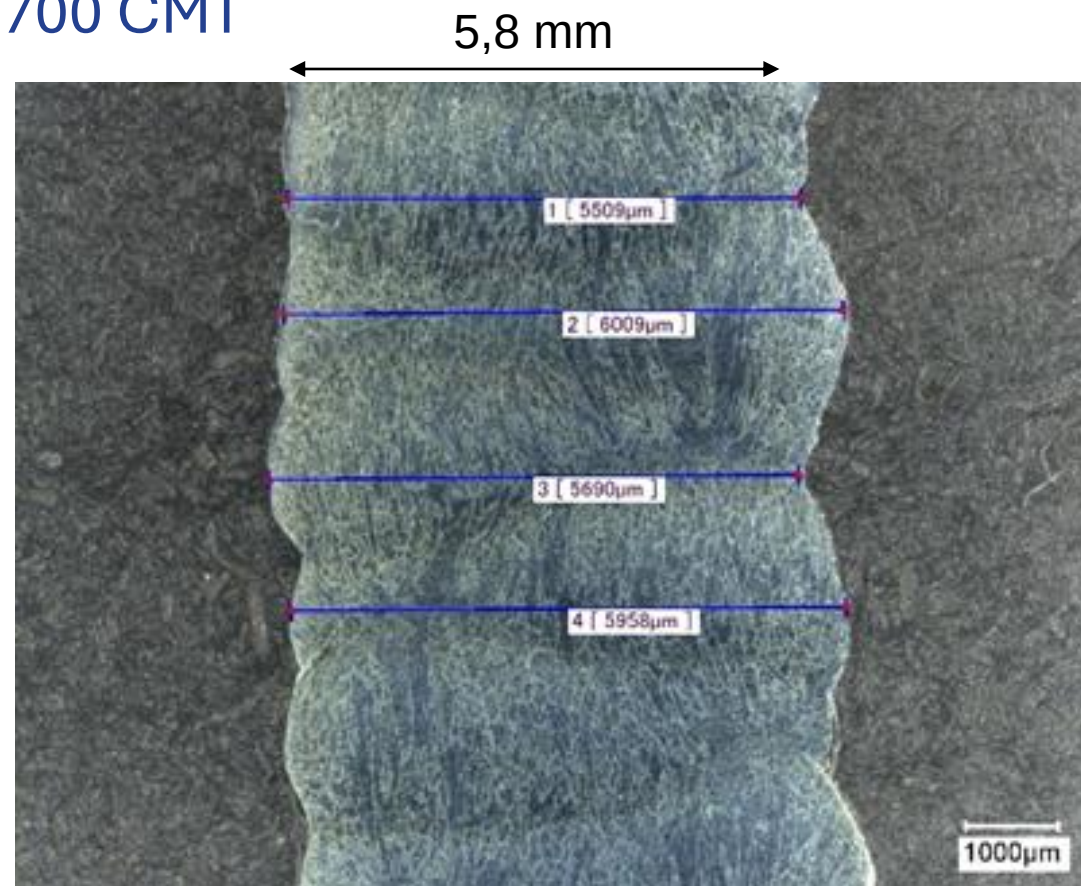
DeLong diagrammi Exaton 29.8.2.L





WAAM Koehitsin parametrit

- Hitsauskone Fronius TransPuls Synergic 2700 CMT
- Hitsausnopeus 0,37 m/min
- 100 A, 11,8 V (0,15 kJ/mm)
- Langan nopeus 3,3 m/min
- Välipalkolämpötila 150 °C
- Kerrospaksuus/nosto 1,55 mm
- Suojakaasuna Argon





Tulosteen lujuudet

Vetokoe:

Vaakasuuntaan

$R_{p0,2\%}$ 687 MPa R_m 867 MPa

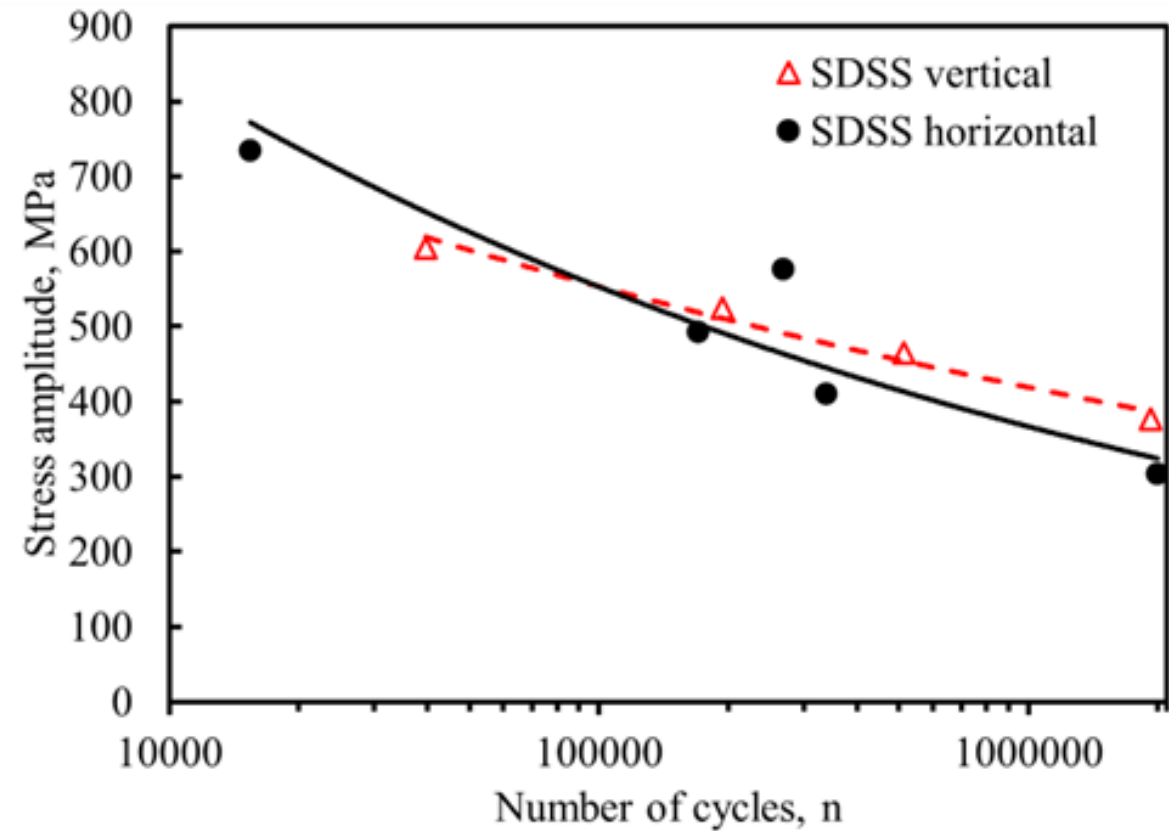
Pystysuuntaan

$R_{p0,2\%}$ 630 MPa R_m 819 MPa

Keskimääräinen kovuus 302 HV



Taivutusväsytykskoe



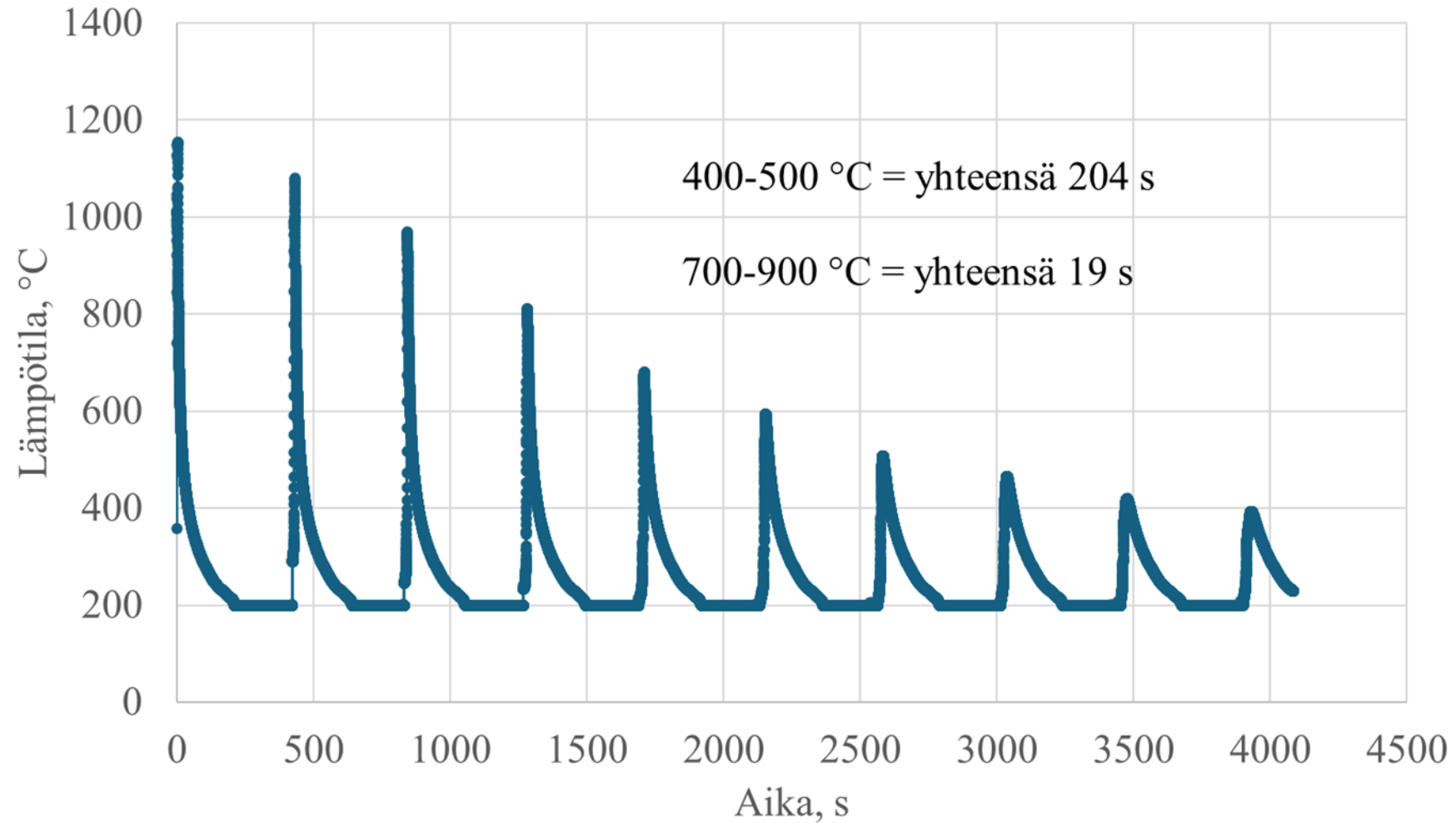


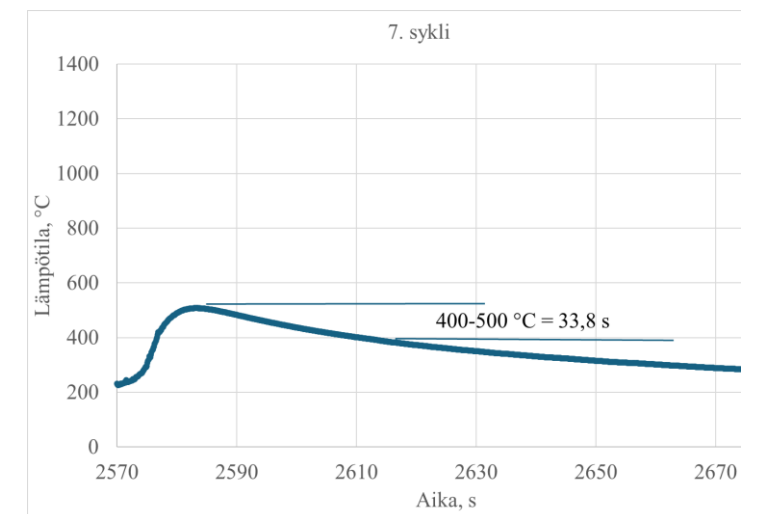
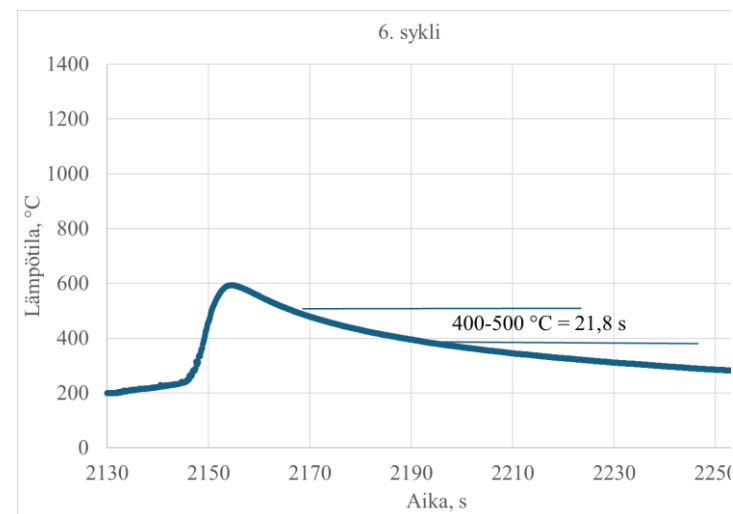
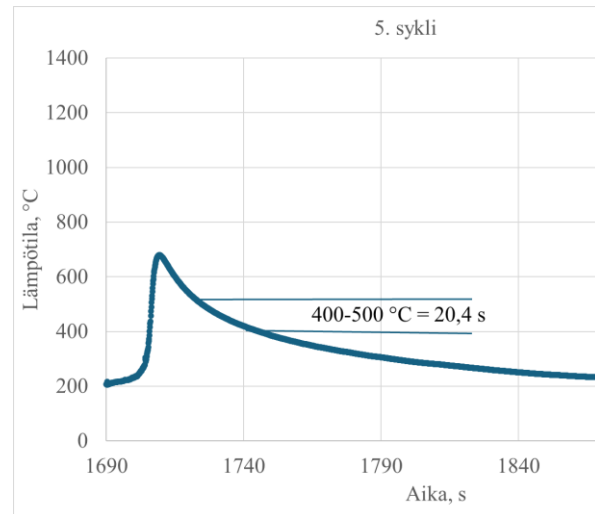
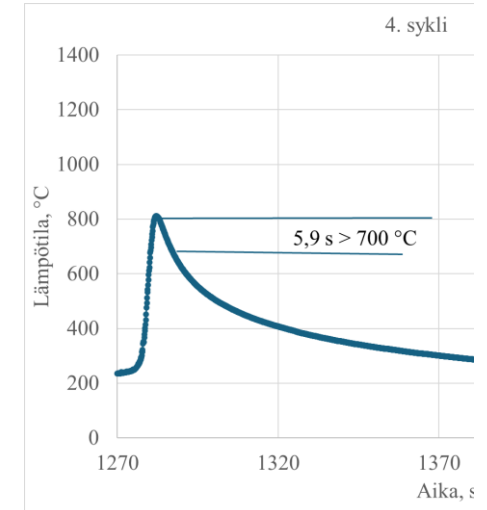
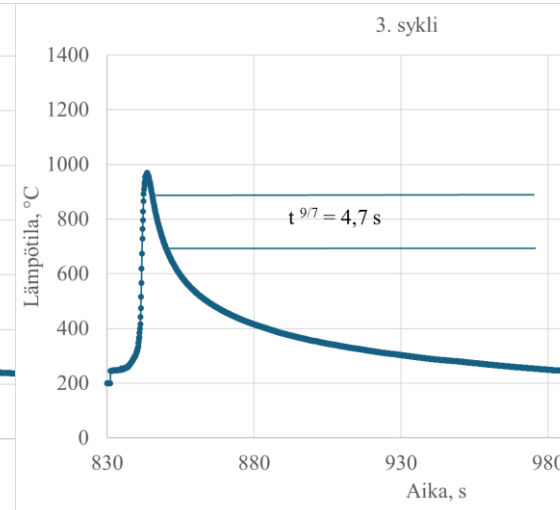
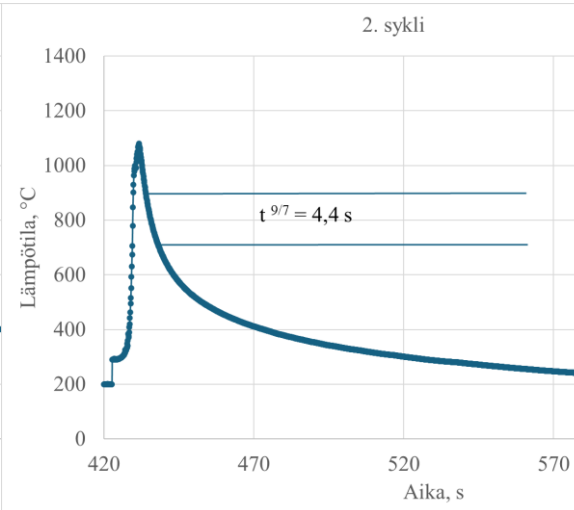
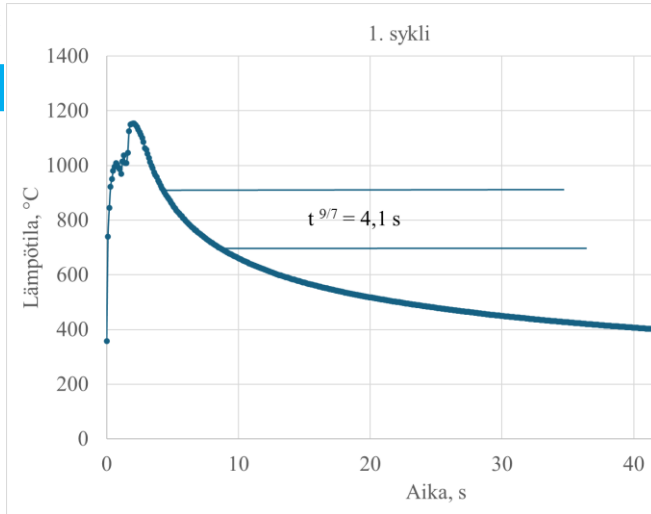
Faasisuhteen muodostuminen

- Superduplexhitseille on annettu lämmöntuontialue 0,2 – 1,5 kJ/mm ja välipalkolämpötila 100 – 150 °C
- Liian pienellä lämmöntuonnilla hitsatussa hitsissä ferriittipitoisuus jää suureksi, koska hitsi jähmettyy ferriittinä ja austeniittia ei ehdi muodostua nopean jäähtymisen aikana
- Liian suurella lämmöntuonnilla tapahtuu metallien välisten yhdisteiden haitallista erkautumista -> sigmahauraus, 475-hauraus
- WAAM tulostuksissa on käytetty lämmöntuontia 0,15-0,18 kJ/mm, mikä on hiukan alle suositusten
- Välipalkolämpötilana on käytetty vastaavasti korkeahkoa 150 °C lämpötilaa paremman tuottavuuden aikaansaamiseksi
- WAAM tulostuksessa kyseessä on monipalkorakenne, jossa tapahtuu sulamista ja lämmöntuontia samassa kohdassa useamman kerran, joten viimeisen sulamisen ja jähmettymisen jälkeen on vielä useita lämpöjaksoja, joissa austeniitin muodostumiselle vielä aikaa, vaikka lämmöntuonti olisikin alle suositusten



Superduplex WAAM hitsin kiinteän pisteen lämpötila 150 °C
välipalkolämpötilalla hitsattaessa



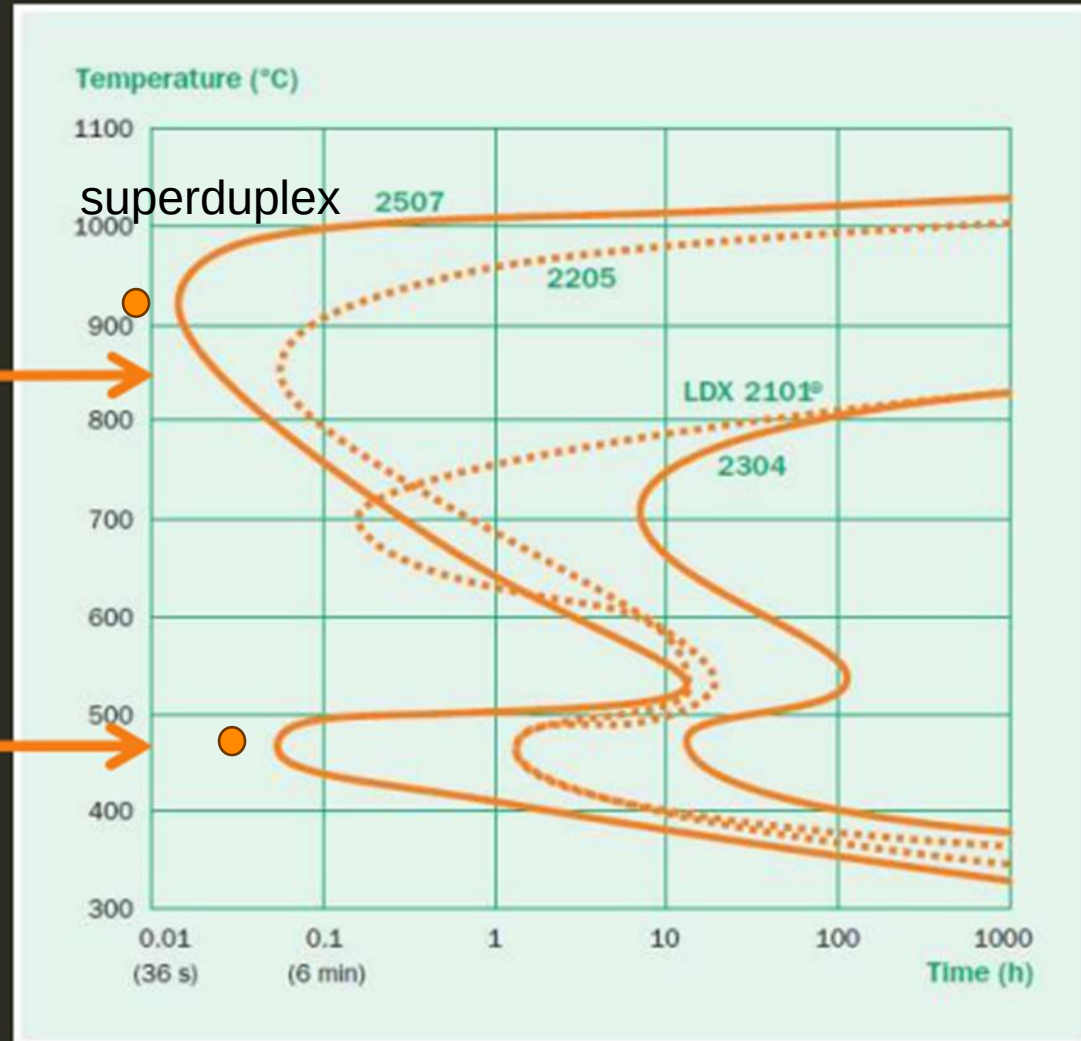


700-900 °C 19,1s
400-500 °C 76,0 s



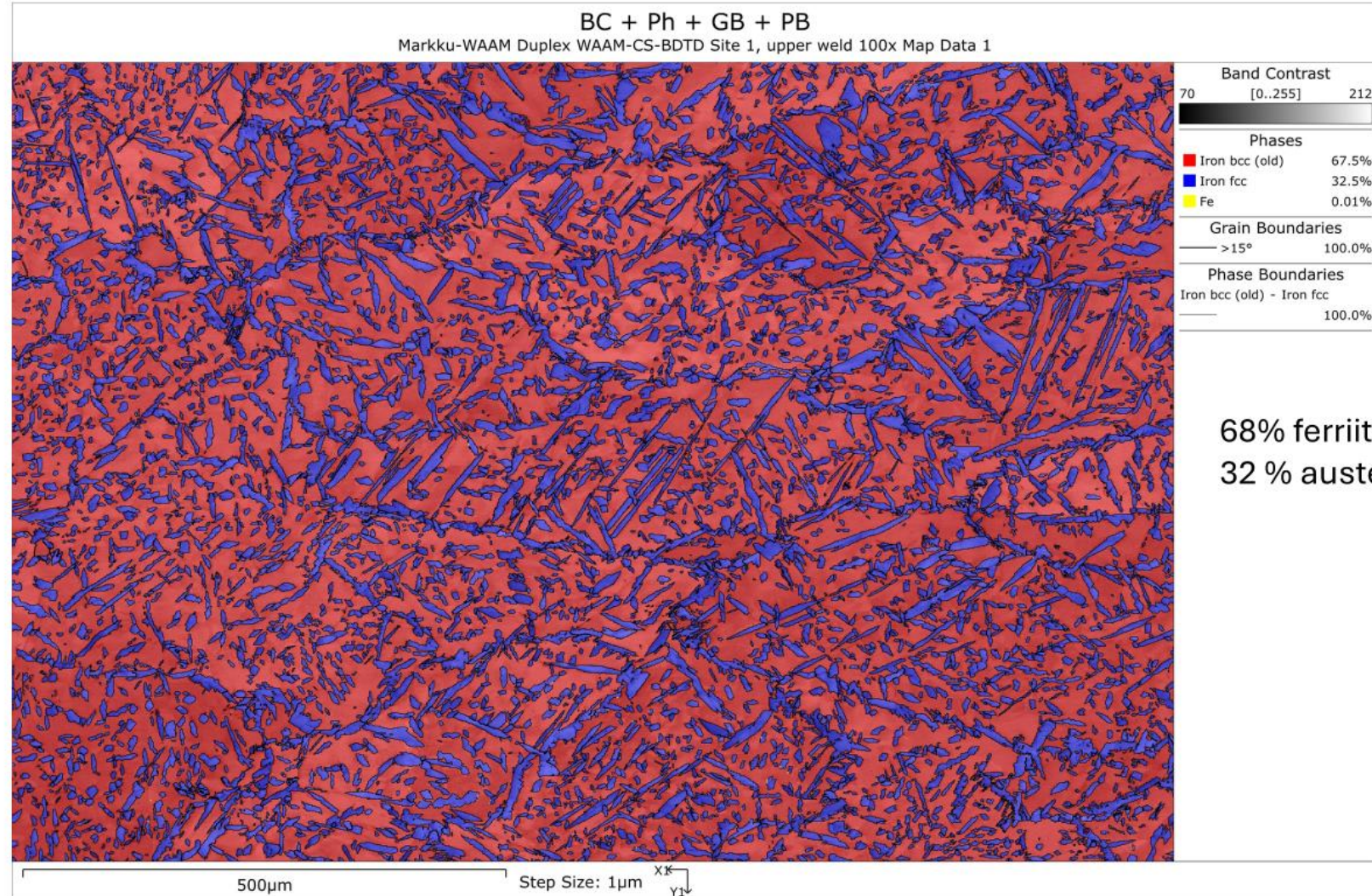
Sigma-faasin
erkautuminen

475-hauraus





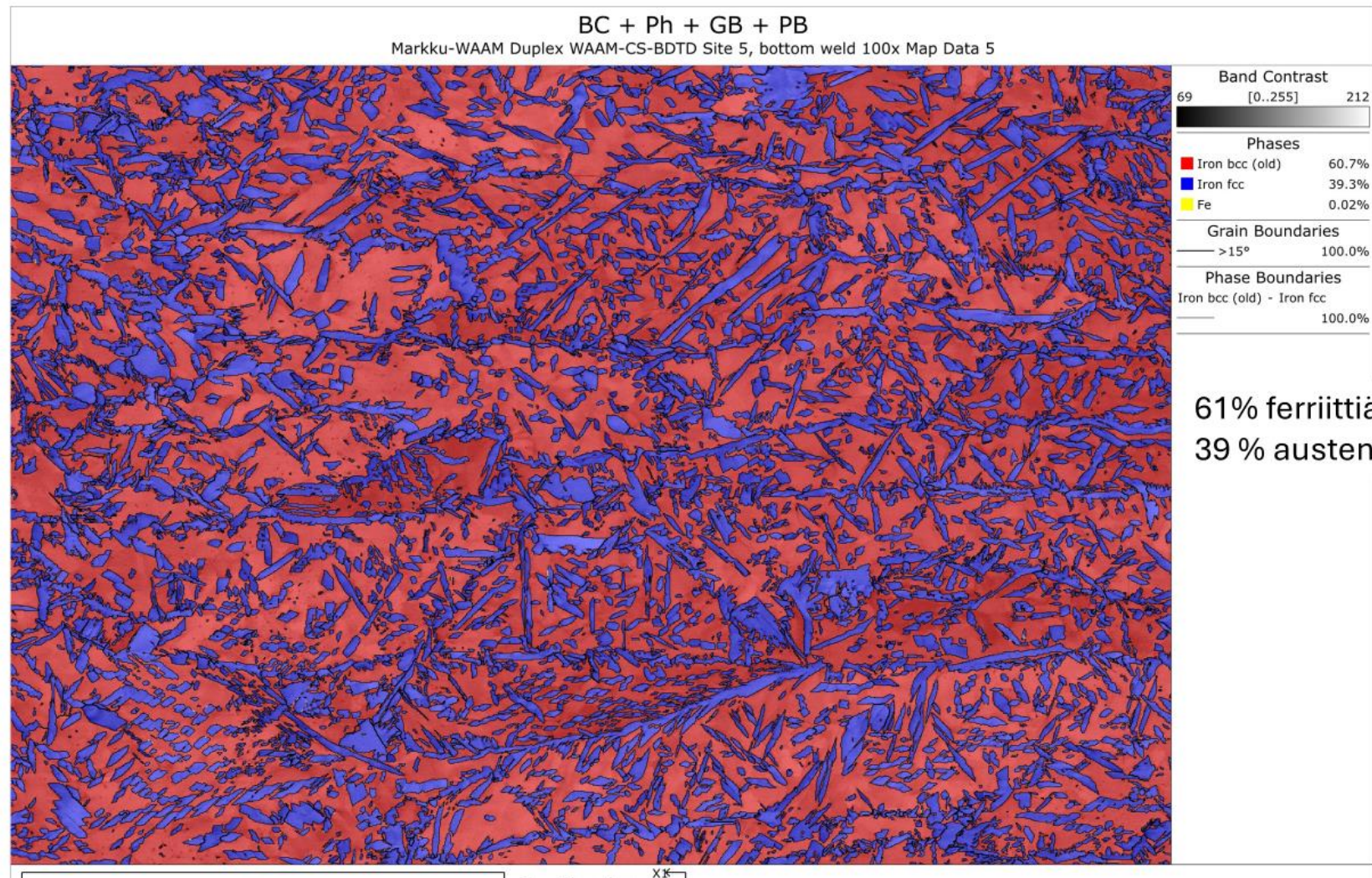
Faasisuhde tulosteen ylimmässä osassa



68% ferriittiä
32 % austeniittia



Faasisuhde alempana tulosteessa



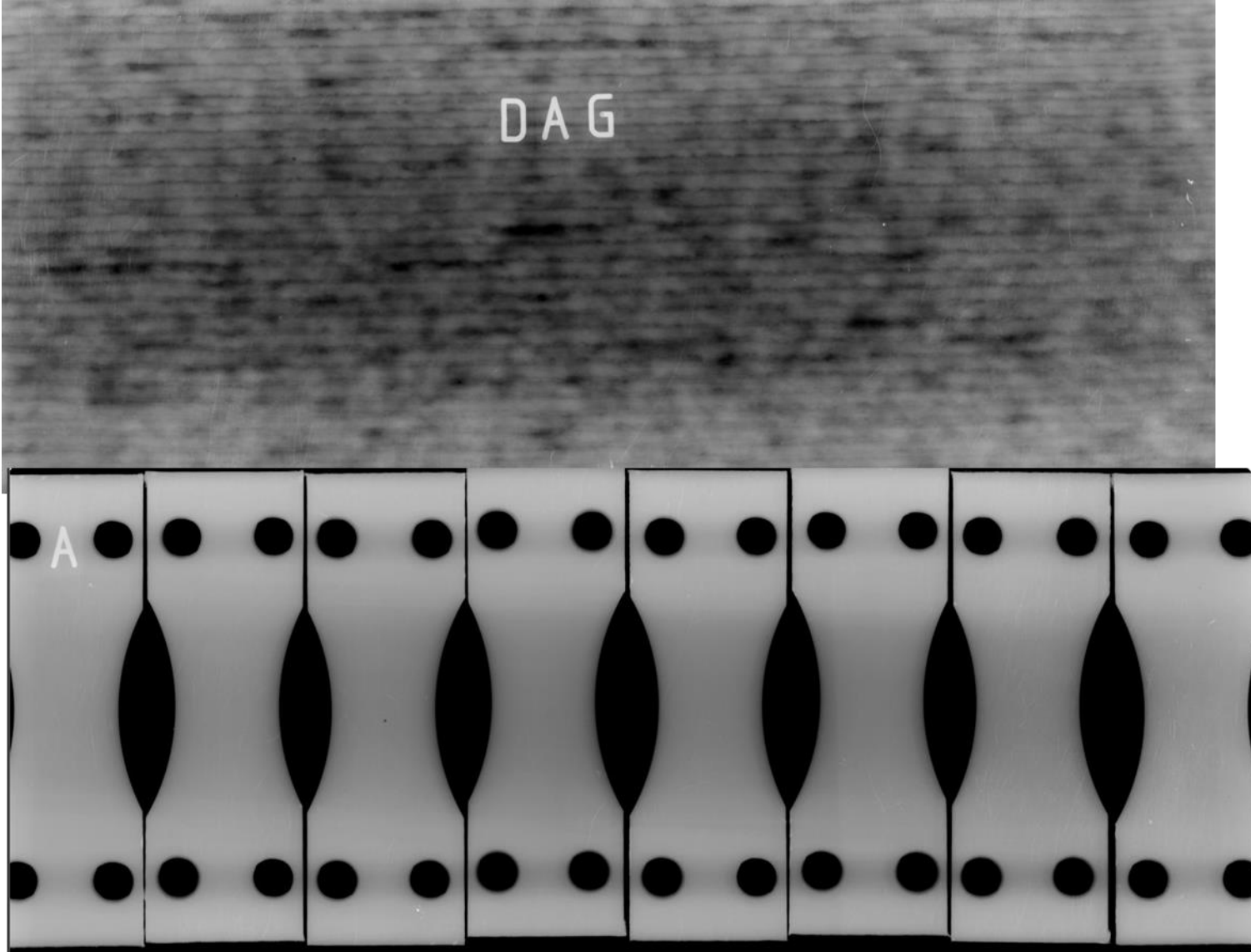


Suojakaasun käyttö ja huokoisuus

- Inertillä Argon- suojakaasulla ei tule huokosia, mutta reunahaava aiheuttaa tulosteeseen uurteita
- 2% O₂ seosteisesta aktiivista suojakaasua käytettäessä tulee valtavia huokosia
- Huokosia tulee myös Ar He CO₂ suojakaasulla
- Jähmeästä sulasta johtuen aktiivisen suojakaasun aiheuttamat huokokset eivät ehdi poistua sulasta
- Pulssitekniikalla voidaan mahdollisesti estää huokoisuutta
- Voi kokeilla typpiseosteista suojakaasua austeniittipitoisuuden lisäämiseksi tulosteeseen, mutta todennäköisesti sekin aiheuttaa huokoisuutta

Argon

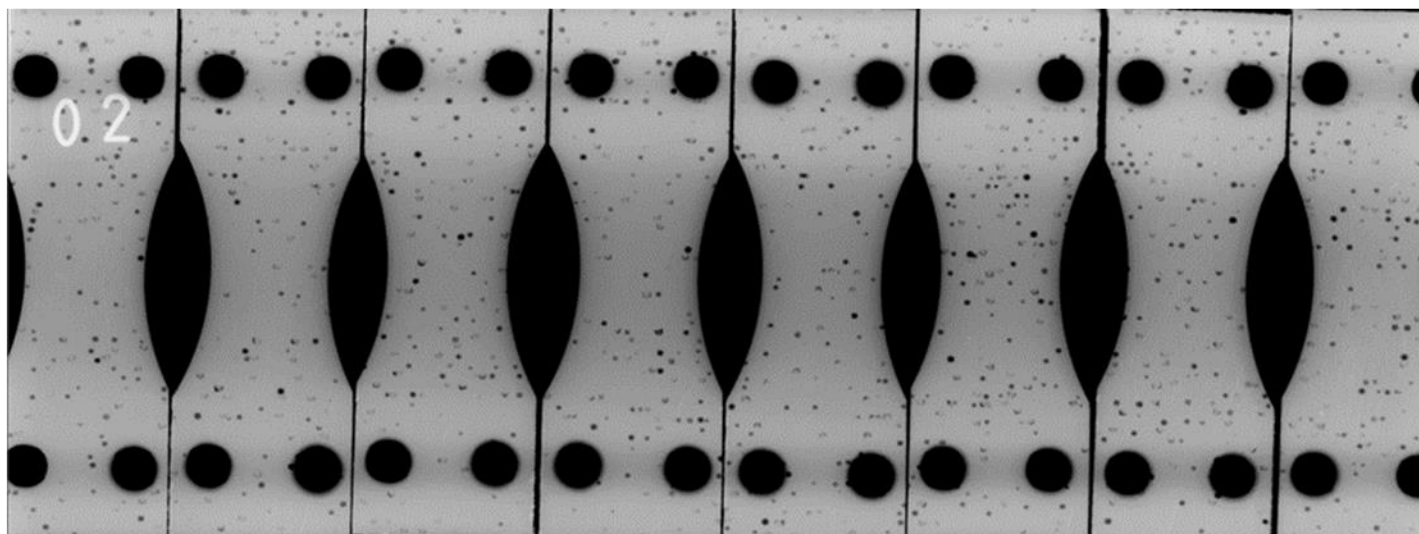
DAG



A

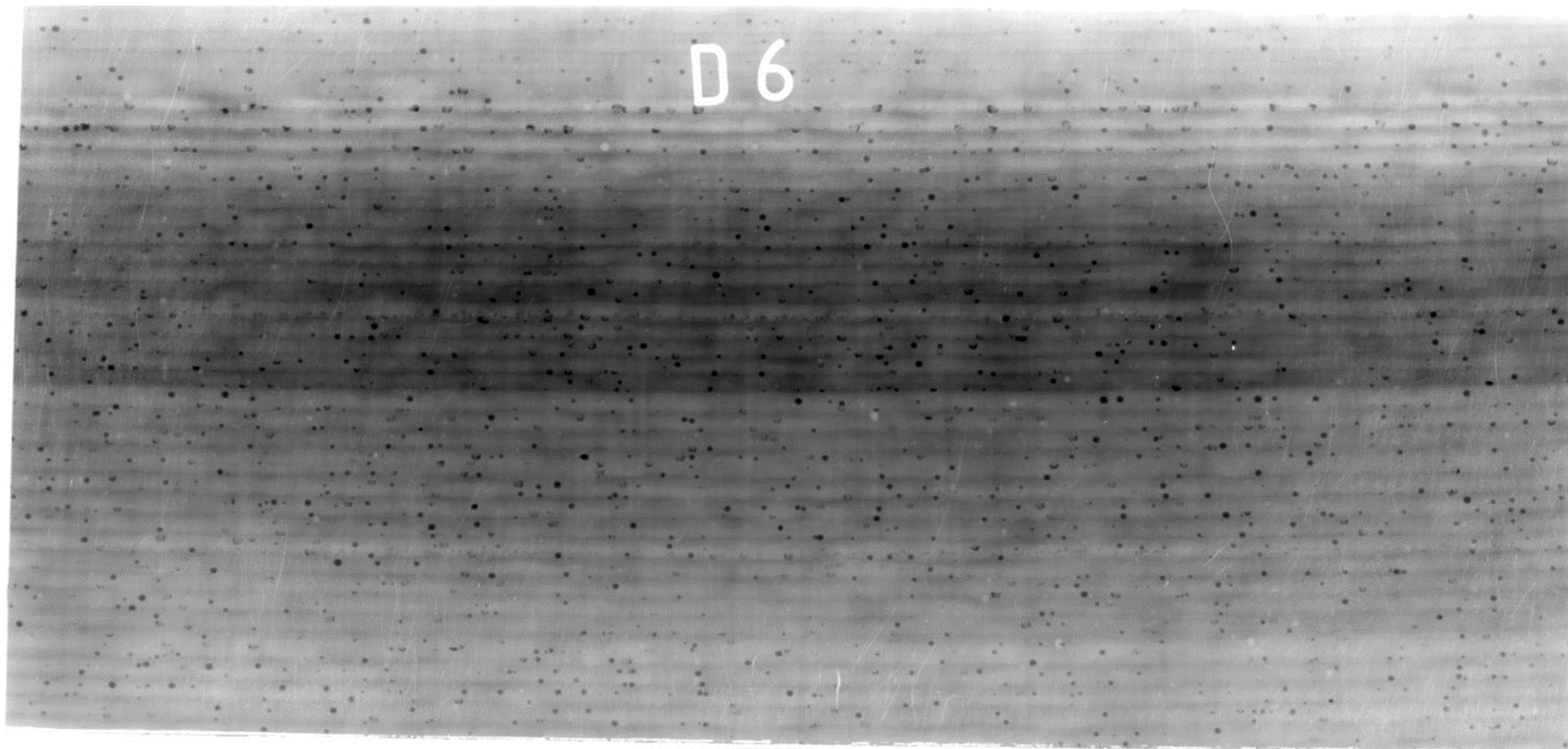


SO₂ (Ar + 2% O₂)





Ar + He + CO²





Yhteenveto

Superduplexin hyödyt WAAM tulostuksessa

- Jännityskorroosio-ominaisuudet paremmat kuin austeniittisella teräksellä
- Ei ole herkkä kuumahalkeamille
- Suurempi lujuus
- Pistekorroosion kestävyys

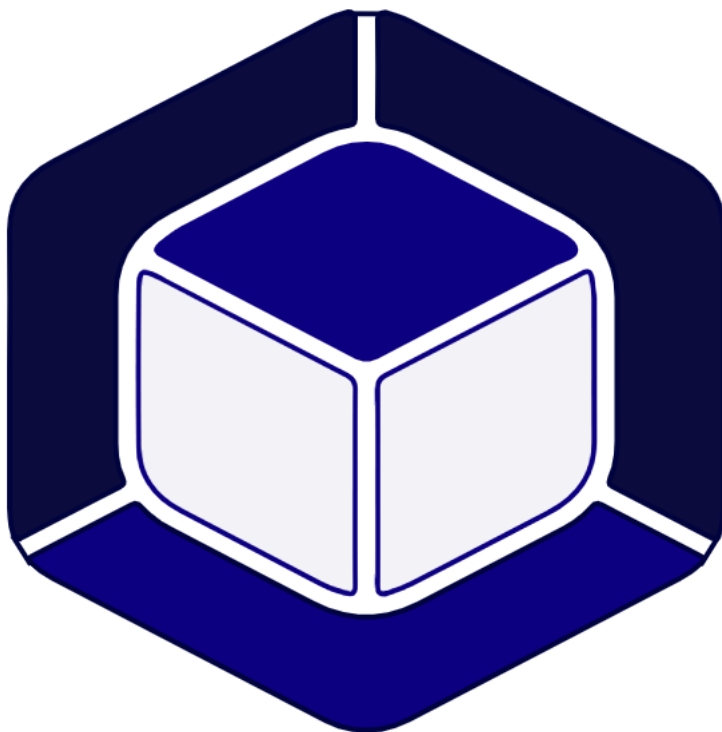
Superduplexin rajoitteet WAAM tulostuksessa

- Hitsausenergiarajoitteet
- 50/50% Austeniitti-ferriittisuhteen vuoksi pitää olla riittävästi hitsausenergiaa
- Liian suuri hitsausenergia aiheuttaa haitallista erkautumista
- Suojakaasu pitää olla inerttiä (argon)

Lanka on kallista



**Euroopan unionin
osarahoittama**



3D TY

3D-tulostuksen yhteishanke



Thank you for your kind attention!



FMT

FUTURE MANUFACTURING
TECHNOLOGIES



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