

2019:00023 - Åpen

Rapport

Felttest av superduplex stål med sveis

EN 1.4410

Forfatter(e)

Ole Øystein Knudsen



Rapport

Felttest av superduplex stål med sveis

EN 1.4410

EMNEORD:
Materialteknologi;
Korrosjon; Superduplex;
Plaskesone**VERSJON**
1.0**DATO**
2019-01-08**FORFATTER(E)**
Ole Øystein Knudsen**OPPDRAGSGIVER(E)**
Statens Vegvesen**OPPDRAGSGIVERS REF.**
Cato Dørum**PROSJEKTNR**
102018481**ANTALL SIDER OG VEDLEGG:**
21**SAMMENDRAG**

Plater av EN1.4410 superduplex stål (SDSS) ble sveist med to ulike sveiseprosedyrer, som begge ble testet i beiset og ikke beiset tilstand, dvs. til sammen fire prøver. Spaltdannere i PTFE (Teflon) ble montert på alle prøvene i varmpåvirket sone rundt sveisene for å teste motstanden mot spaltnkorrosjon. Prøvene ble eksponert i Oslofjorden ved Sandefjord mellom 21 juni og 16 november 2018. Det var meningen at prøvene skulle stå omkring 2/3 neddykket og 1/3 over vann. Det kan imidlertid se ut til at prøvene har vært mer eller mindre helt neddykket ut fra begroingen på prøvene.

Det ble funnet spaltnkorrosjonsangrep i varmpåvirket sone på prøvene som ikke var beiset. Ellers ble det ikke funnet tegn til korrosjon. Angrepene av spaltnkorrosjon kan forklares med oksidering av stålet under sveising. Så lenge sveisene beises er det ingen grunn til å tro at denne typen korrosjon, eller andre typer korrosjon, skal oppstå i plaskesonen på Bjørnafjordbrua.

UTARBEIDET AV
Ole Øystein Knudsen

SIGNATUR

**KONTROLLERT AV**
Torstein Lange

SIGNATUR

**GODKJENT AV**
Daniel Blücher

SIGNATUR

**RAPPORTNR**
2019:00023**ISBN**
978-82-14-06815-3**GRADERING**
Åpen**GRADERING DENNE SIDE**
Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
1.0	2019-01-08	Utkast til gjennomlesing

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	4
1.1	Bakgrunn	4
1.2	Målsetning	4
2	Eksperimentelle data	4
2.1	Materiale.....	4
2.2	Sveiseprosedyrer.....	4
2.3	Spaltkorrosjonstest	6
2.4	Eksposering.....	6
3	Resultater	7
3.1	Metallografi.....	7
3.2	Potensial på prøvene	7
3.3	Korrosjon langs sveis.....	7
3.4	Spaltkorrosjon.....	7
4	Diskusjon	8
4.1	Spaltkorrosjon.....	8
4.2	Maling på SDSS i marin plaskesone.....	8
A	Vedlegg Sveiseprosedyrer	9
B	Vedlegg Metallografisk undersøkelse	13

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Viser til FMECA rapport i forbindelse med bruk av 25Cr superduplex stål (SDSS) i skvalpesonen på Bjørnafjorden bru (SINTEF rapport 2018:00258) og oppfølgingsmøte 13.03.2018.

1.2 Målsetning

Målsetning med prosjektet er å undersøke risiko for korrosjon (og eventuelt andre miljørelaterte problemer) på sveist 25Cr superduplex stål i marin plaskesone i en felttest.

2 Eksperimentelle data

2.1 Materiale

Testen er utført med SDSS EN 1.4410 / UNS S32750 levert av Outokumpu. Nominell sammensetning er gitt i Tabell 1. Pitting Resistance Equivalent Number (PREN) er gitt ved:

$$\text{PREN} = \% \text{Cr} + 3.3 \times \% \text{Mo} + 16 \times \% \text{N}$$

Dette materialet har PREN = 43. Outokumpu oppgir kritisk temperatur for gropkorrosjon til 84 ± 2 °C og kritisk temperatur for spaltkorrosjon til 35 °C (uten sveis).

Tabell 1. Sammensetning til SDSS EN 1.4410

	C	Cr	Ni	Mo	N
Typisk sammensetning (%)	0,02	25	7	4	0,27

2.2 Sveiseprosedyrer

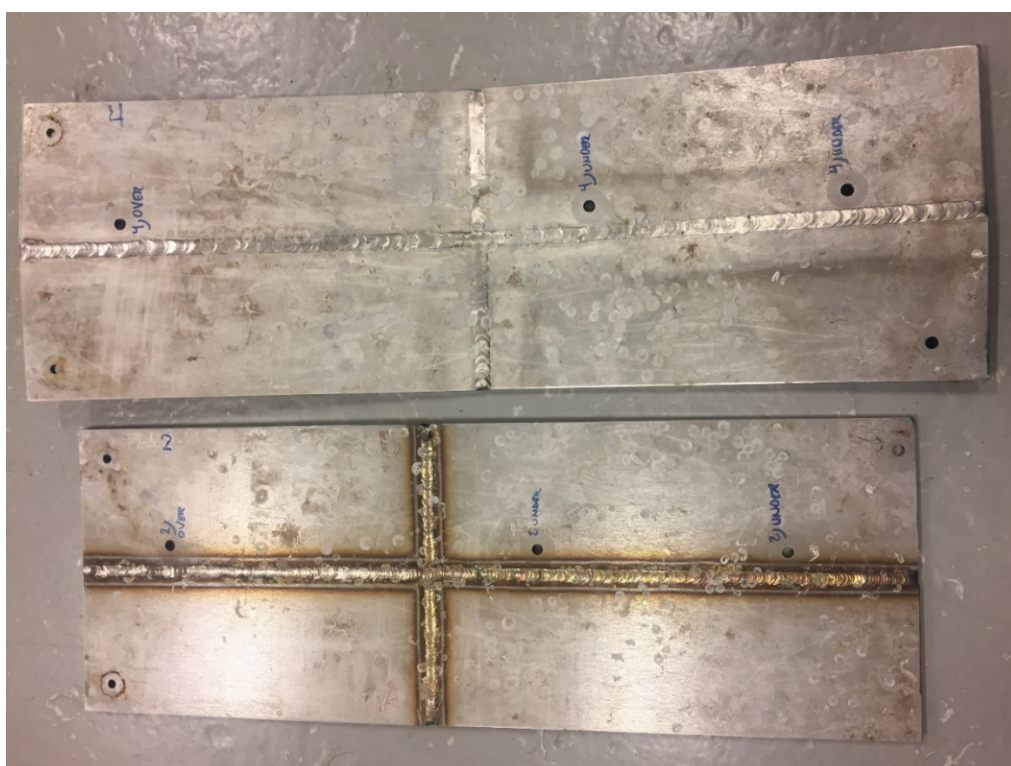
Fire mindre plater på omkring 150 x 300 mm med 6 mm tykkelse ble sveist sammen til en større plate på omkring 300 x 600 mm, som vist i Figur 1. Det ble sveist med manuell TIG (GTAW), 2.4mm diameter sveisetråd, type Zeron 100X, Batch No. U2TG17100. Sveiseparametrene er gitt i Vedlegg A for hver av de fire sveisestrengene på prøvene. Prøvene ble ikke forvarmet eller etterglødet. Dekkgass var Argon 5.0, gasshastighet 15 l/min, innvendig gassdysediameter 12 mm. Det ble benyttet 2.4 mm elektrode (rød type).

Totalt ble det sveist opp fire prøveplater. Det var planlagt å bruke to ulike nivå av varmetilførsel under sveising, men dette lot seg ikke gjøre på grunn av den lave platetykkelsen, så alle prøvene fikk omtrent samme varmetilførsel. To av prøvene ble beiset med Antox 21E Pluss beisebasta (basert på salpetersyre og flussyre) med behandlingstid 2 timer. De to andre prøvene ble ikke beiset. Tabell 2 viser testmatrisen og Prøve 2 og 4 er vist i Figur 1 (rengjort etter eksponering). Geometrien ble valgt for å få et sveisekryss på prøvene. Alle prøvene ble sveist med dekk-gass, men nivået av misfarging langs sveisene viser at det har vært noe oksygen til stede.

Sigma-fase er en fase som kan dannes i rustfrie stål med høyt innhold av krom, som er anriket på krom og molybden. Den dannes hvis varmetilførselen er for høy under sveising. Den forringer de mekaniske egenskapene til materialet siden den er sprø, og den reduserer korrosjonsegenskapene siden den trekker krom og molybden ut av fasene omkring. Det ble ikke dannet sigma-fase under sveising da det er begrenset for hvor stor varmetilførselen kan være for en 6 mm tykk plate, ref. kapittel 3.1.

Tabell 2. Testmatrise

	Varmetilførsel	Beiset etter sveis
Prøve 1	Normal	Ja
Prøve 2	Høy	Nei
Prøve 3	Normal	Nei
Prøve 4	Høy	Ja



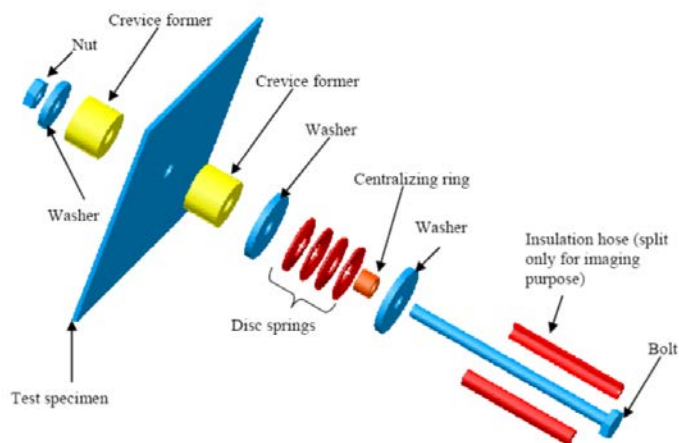
Figur 1. Prøveplater fremstilt ved de to ulike sveiseprosedyrene. Øverst: anbefalt sveiseprosedyre. Nederst: sveis med for høy varmetilførsel og uten bakgass

2.3 Metallografi

Fra Prøve 2 og 3 ble det kuttet av ca 5 cm fra den ene kortsiden for metallografisk undersøkelse av sveisen. Detaljene omkring prøvepreparering er gitt i Vedlegg B.

2.4 Spaltkorrosjonstest

Det ble montert på tre spaltdannere på hver prøve, en omkring 5 cm fra toppen av prøvene og to på nedre halvdel. Spaltdannerne ble montert i henhold til ASTM G78, som vist i Figur 2.



Figur 2. Sammenstilling av spaltdanner i henhold til ASTM G78.

2.5 Eksponering

Prøvene ble montert mellom to plater av PVC og hengt på en flåte i sjøen utenfor Sandefjord mellom 21 juni og 16 november 2018. Figur 3 viser et bilde av prøvene rett etter at de ble tatt opp fra sjøen. Det var opprinnelig planlagt at kun den nederste tredjedelen av prøvene skulle eksponeres neddykket i sjøen. Eksponering i sjøen er imidlertid mer aggressiv enn i atmosfæren rett over sjøen (for eksempel benyttes EN 1.4404 i stor grad i marin atmosfære som regel uten problemer hvis salt ikke akkumuleres på overflata). Vi ba derfor om at en tredjedel av prøvene skulle stå over vann, inkludert den øverste spaltdanneren. Figur 3 indikerer imidlertid at prøvene har vært eksponert fullstendig neddykket siden prøvene er helt dekket av marin begroing. Bildet ble tatt med tre personer på flåten, så det ble antatt at flåten lå lavere i vannet enn normalt.

Sommeren 2018 var varmere enn normalt, slik at det er rimelig å anta at prøvene har vært eksponert for temperaturer over 20 °C i lengre perioder.



Figur 3. Venstre: Prøvene rett etter opptak fra sjøen. Høyre: Ved utsetting.

3 Resultater

3.1 Metallografi

Metallografiske tverrsnitt av Prøve 2 og 3 er vist i Vedlegg B. Det ble ikke funnet sigma-fase i noen av prøvene. Tverrsnittene viser ellers en mikrostruktur som forventet.

3.2 Potensial på prøvene

Potensialet på prøvene ble målt da de ble tatt ut av sjøen 16 november 2018 med en Ag/AgCl referanse-elektrode. Resultatene er vist i Tabell 2. Potensialmålingene varierer en del uten at vi helt vet årsaken til det. Testledningen ble bare trykket mot prøvene, slik at motstand i kontaktpunktet kan ha redusert den målte verdien. I så fall er den høyeste verdien representativ for alle prøvene, dvs. 233 mV vs Ag/AgCl. Dette er også mer som forventet for dette materialet i sjøvann.

Tabell 3. Potensialmålinger ved opptak av prøvene

Prøve 1	118 mV vs Ag/AgCl
Prøve 2	233 mV vs Ag/AgCl
Prøve 3	131 mV vs Ag/AgCl
Prøve 4	80 mV vs Ag/AgCl

3.3 Korrosjon langs sveis

Det ble ikke funnet angrep av gropkorrosjon i sveisene eller varmpåvirket sone omkring sveisene på noen av prøvene.

3.4 Spaltkorrosjon

På prøve 1 og 4 ble det ikke funnet spaltkorrosjon. På Prøve 2 ble det funnet spaltkorrosjon under to av spaltdannerne i neddykket del av prøvene. På prøve 3 ble det funnet spaltkorrosjon under en spaltdanner. Spaltdanneren var montert på varmpåvirket sone omkring sveisen, og det var her begge prøvene ble angrepet. Sveisen på disse prøvene var ikke beiset, så dette var det svakeste området på prøvene. Figur 4 viser et bilde av angrepet som kommer tydelig fram ved at den gul/blå misfargingen etter sveising er etset bort i angrepet.

De beisede prøvene viste ingen tegn til korrosjon.



Figur 4. Spaltkorrosjon i varmepåvirket sone ved sveis på Prøve 3. Området var eksponert under vann. Angrepet er markert. Skala: Diameter på hullet i prøven er 6 mm.

4 Diskusjon

4.1 Spaltkorrosjon

Spaltkorrosjon på Prøve 2 og 3 i varmepåvirket sone kan forklares med at de ikke ble beiset. Sveising medfører oksidering av materialet i overflata i varmepåvirket sone. Misfargningen omkring sveisen skyldes et fortykket sjikt av kromoksid, typisk opptil omkring 300 nm tykt. Under dette sjiktet er materialet utarmet på krom og har redusert korrosjonsmotstand. For fritt eksponerte flater vil dette utarmede materialet korrodere bort, mens bestandigheten til upåvirket materiale under vil stoppe angrepene. Ved spaltkorrosjon vil korrosjonsreaksjonen føre til en forsuring i spalten, som kan medføre at korrosjonsangrepet fortsetter inn i det upåvirkede materialet under. Siden angrepene som ble funnet er svært grunne er det mulig at angrepene har stoppet opp før testen ble avsluttet.

Så lenge sveisene beises som foreskrevet ser vi ingen fare for korrosjonsangrep i plaskesonen på Bjørnafjordbrua.

4.2 Maling på SDSS i marin plaskesone

Opprinnelig var det planlagt å male de øverste 10 cm av prøvene. Dette ble ikke gjort. Det eksisterer imidlertid en del erfaringer med maling av rustfrie stålkvaliteter fra offshore installasjoner. Så langt vi har bragt på det rene er det ingen grunn til å anta at belegget vil kunne føre til spaltkorrosjon ved de betingelsene som er gjeldende for Bjørnafjordbrua.

A Vedlegg Sveiseprosedyrer

Prøve 1

Sveis a)		Current [A]	Voltage [V]	Welding distance [mm]	Welding time [s]	Welding speed [mm/s]	Wire consumpt. [cm]	Wire consumpt. [m/min]	Heat input [J/m]	Heat input [KJ/mm]
Root		68	11	95	120	0,79	16	0,08	944842	0,94
1st filler		100	10,5	97,5	79	1,23	18	0,14	850769	0,85
2nd filler		120	12,5	97,5	61,5	1,59	16	0,16	946154	0,95

Sveis b)		Current [A]	Voltage [V]	Welding distance [mm]	Welding time [s]	Welding speed [mm/s]	Wire consumpt. [cm]	Wire consumpt. [cm]	Heat input [J/m]	Heat input [KJ/mm]
Root		75	9,5	95	103	0,92	11	0,06	772500	0,77
1st filler		100	10,5	97,5	79	1,23	18	0,14	850769	0,85
2nd filler		120	12,5	97,5	61,5	1,59	16	0,16	946154	0,95

Sveis c)		Current [A]	Voltage [V]	Welding distance [mm]	Welding time [s]	Welding speed [mm/s]	Wire consumpt. [cm]	Wire consumpt. [cm]	Heat input [J/m]	Heat input [KJ/mm]
Root		75	9,5	115	150	0,77	18,5	0,07	929348	0,93
Root		90	9,5	185	131	1,41	24,5	0,11	605432	0,61
1st filler		100	10,5	310	284	1,09	54	0,11	961935	0,96
2nd filler		120	12,5	320	230	1,39	70	0,18	1078125	1,08

Sveis d)		Current [A]	Voltage [V]	Welding distance [mm]	Welding time [s]	Welding speed [mm/s]	Wire consumpt. [cm]	Wire consumpt. [cm]	Heat input [J/m]	Heat input [KJ/mm]
Root		90	9,8	303	255	1,19	44,5	0,10	742277	0,74
1st filler		100	10,5	300	224	1,34	38	0,10	784000	0,78
2nd filler		120	11,5	280	217	1,29	69	0,19	1069500	1,07

Prøve 2

Sveis	a)		Welding	Welding	Welding	Wire	Wire	Heat	Heat
	Current	Voltage	distance	time	speed	consumpt.	consumption	input	input
	[A]	[V]	[mm]	[s]	[mm/s]	[cm]	[m/min]	[J/m]	[KJ/mm]
Root	90	10,5	95	60	1,58	10,5	0,11	596842	0,60
1st filler	100	10,6	95	74	1,28	12	0,10	825684	0,83
2nd filler	120	11,75	97,5	68,5	1,42	20,25	0,18	990615	0,99

Sveis	b)		Welding	Welding	Welding	Wire	Wire	Heat	Heat
	Current	Voltage	distance	time	speed	consumpt.	consumption	input	input
	[A]	[V]	[mm]	[s]	[mm/s]	[cm]	[m/min]	[J/m]	[KJ/mm]
Root	89	10,5	95	74	1,28	14	0,11	727926	0,73
1st filler	100	10,7	95	78	1,22	15,5	0,12	878526	0,88
2nd filler	120	11,75	97,5	68,5	1,42	20,25	0,18	990615	0,99

Sveis	c)		Welding	Welding	Welding	Wire	Wire	Heat	Heat
	Current	Voltage	distance	time	speed	consumpt.	consumption	input	input
	[A]	[V]	[mm]	[s]	[mm/s]	[cm]	[m/min]	[J/m]	[KJ/mm]
Root	89	10,1	300	149	2,01	40,5	0,16	446454	0,45
1st filler	100	10,3	280	248	1,13	54,5	0,13	912286	0,91
2nd filler	120	11,8	275	200	1,38	60	0,18	1029818	1,03

Sveis	d)		Welding	Welding	Welding	Wire	Wire	Heat	Heat
	Current	Voltage	distance	time	speed	consumpt.	consumption	input	input
	[A]	[V]	[mm]	[s]	[mm/s]	[cm]	[m/min]	[J/m]	[KJ/mm]
Root	90	9,5	300	173	1,73	42,5	0,15	493050	0,49
1st filler	100	10,7	320	308	1,04	75	0,15	1029875	1,03
2nd filler	120	11,5	330	246	1,34	87,5	0,21	1028727	1,03

Prøve 3

Sveis	a)		Welding	Welding	Welding	Wire	Wire	Heat	Heat
	Current	Voltage	distance	time	speed	consumpt.	consumption	input	input
	[A]	[V]	[mm]	[s]	[mm/s]	[cm]	[m/min]	[J/m]	[KJ/mm]
Root	90	9,8	95	70	1,36	13	0,11	649895	0,65
1st filler	120	11,3	95	73	1,30	9,5	0,08	1041979	1,04
2nd filler	160	13	98,5	53	1,86	26,8	0,30	1119188	1,12

Sveis	b)		Welding	Welding	Welding	Wire	Wire	Heat	Heat
	Current	Voltage	distance	time	speed	consumpt.	consumption	input	input
	[A]	[V]	[mm]	[s]	[mm/s]	[cm]	[m/min]	[J/m]	[KJ/mm]
Root	90	09.jan	95	65	1,46	13,5	0,12	603474	0,60
1st filler	120	11,5	95	67	1,42	11,5	0,10	973263	0,97
2nd filler	160	13	98,5	53	1,86	26,8	0,30	1119188	1,12

Sveis	c)		Welding	Welding	Welding	Wire	Wire	Heat	Heat
	Current	Voltage	distance	time	speed	consumpt.	consumption	input	input
	[A]	[V]	[mm]	[s]	[mm/s]	[cm]	[m/min]	[J/m]	[KJ/mm]
Root	80	9,8	290	252	1,15	42	0,10	681269	0,68
1st filler	118	11,5	140	129	1,09	28	0,13	1250379	1,25
2nd filler	160	13,3	275	164	1,68	78,5	0,29	1269062	1,27

Sveis	d)		Welding	Welding	Welding	Wire	Wire	Heat	Heat
	Current	Voltage	distance	time	speed	consumpt.	consumption	input	input
	[A]	[V]	[mm]	[s]	[mm/s]	[cm]	[m/min]	[J/m]	[KJ/mm]
Root	80	9,6	310	340	0,91	54,5	0,10	842323	0,84
1st filler	120	11,4	460	397	1,16	89	0,13	1180643	1,18
2nd filler	160	13,3	325	186	1,75	90	0,29	1217871	1,22

Prøve 4

Sveis	a)		Welding	Welding	Welding	Wire	Wire	Heat	Heat
	Current	Voltage	distance	time	speed	consumpt.	consumption	input	input
	[A]	[V]	[mm]	[s]	[mm/s]	[cm]	[m/min]	[J/m]	[KJ/mm]
Root	90	9,3	95	85	1,12	10,5	0,07	748895	0,75
1st filler	120	11	95	66	1,44	13,5	0,12	917053	0,92
2nd filler	160	13,5	97,5	48	2,03	18	0,23	1063385	1,06

Sveis	b)		Welding	Welding	Welding	Wire	Wire	Heat	Heat
	Current	Voltage	distance	time	speed	consumpt.	consumption	input	input
	[A]	[V]	[mm]	[s]	[mm/s]	[cm]	[m/min]	[J/m]	[KJ/mm]
Root	90	09.jan	95	84	1,13	11	0,08	756000	0,76
1st filler	120	10,9	95	66	1,44	17	0,15	908716	0,91
2nd filler	160	13,5	97,5	48	2,03	18	0,23	1063385	1,06

Sveis	c)		Welding	Welding	Welding	Wire	Wire	Heat	Heat
	Current	Voltage	distance	time	speed	consumpt.	consumption	input	input
	[A]	[V]	[mm]	[s]	[mm/s]	[cm]	[m/min]	[J/m]	[KJ/mm]
Root	90	10,5	380	308	1,23	29,5	0,06	765947	0,77
1st filler	120	11,3	280	198	1,41	51	0,15	958886	0,96
2nd filler	160	13,1	325	168	1,93	65,5	0,23	1083471	1,08

Sveis	d)		Welding	Welding	Welding	Wire	Wire	Heat	Heat
	Current	Voltage	distance	time	speed	consumpt.	consumption	input	input
	[A]	[V]	[mm]	[s]	[mm/s]	[cm]	[m/min]	[J/m]	[KJ/mm]
Root	90	10,9	220	171	1,29	28	0,10	762505	0,76
1st filler	120	11,6	320	225	1,42	54,5	0,15	978750	0,98
2nd filler	160	13,4	275	153	1,80	74	0,29	1192844	1,19

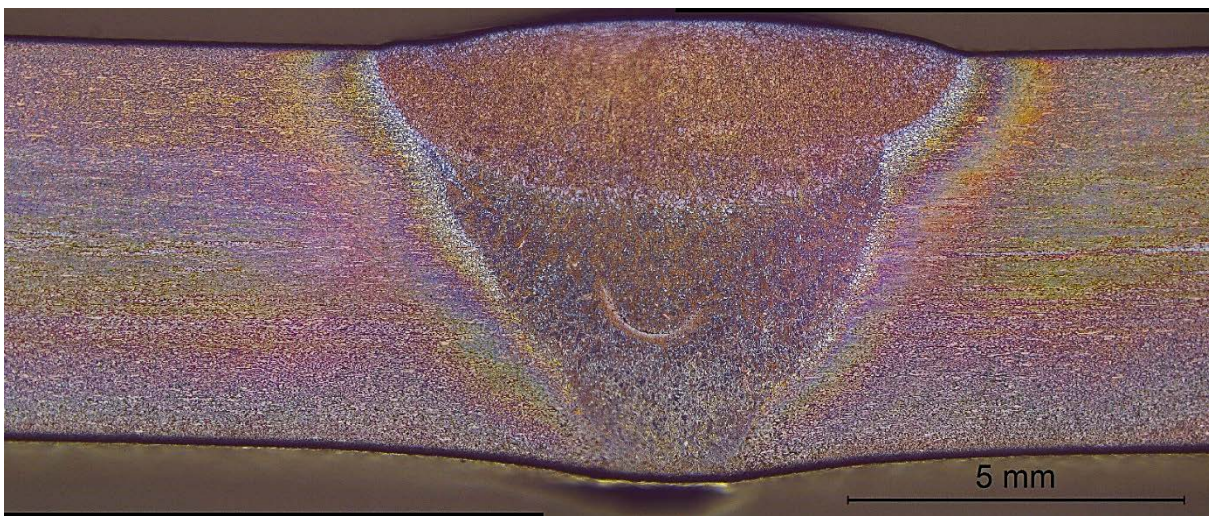
B Vedlegg Metallografisk undersøkelse

Tverrsnitt av Prøve 2 og 3 ble undersøkt metallografisk i Leica DMI 5000M microscope (id. nr. 000531).

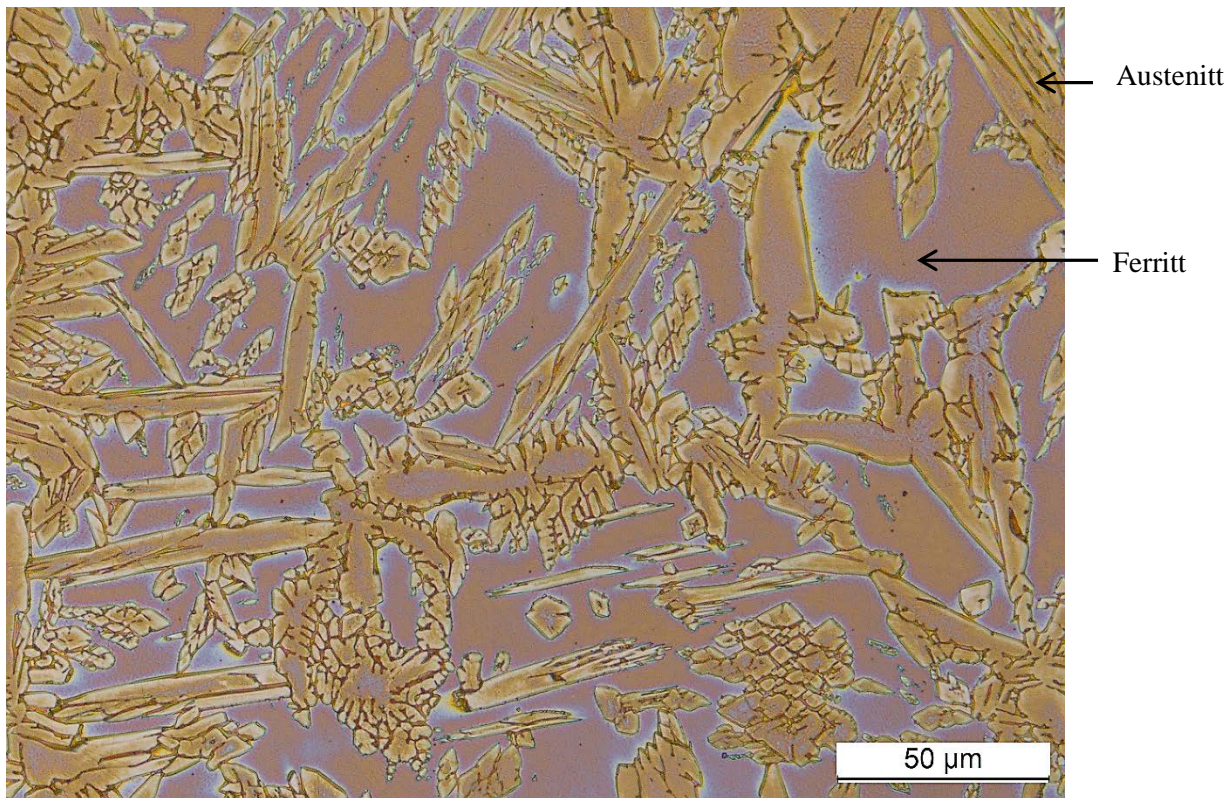
Etseprosedyre 1: 20% NaOH (4V, 10 sec.) Ingen sigma-fase funnet

Etseprosedyre 2: 60% HNO₃ (1V, 15 sec.) Ingen sigma-fase funnet

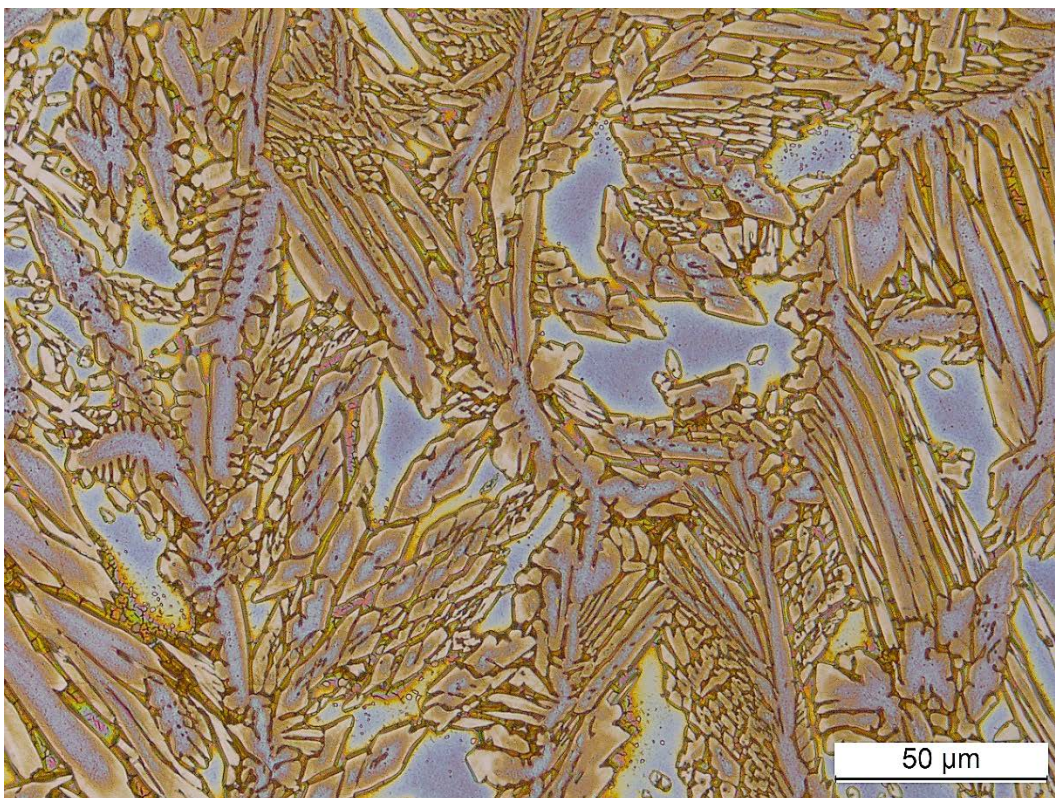
20% NaOH (4V, 10sec.):



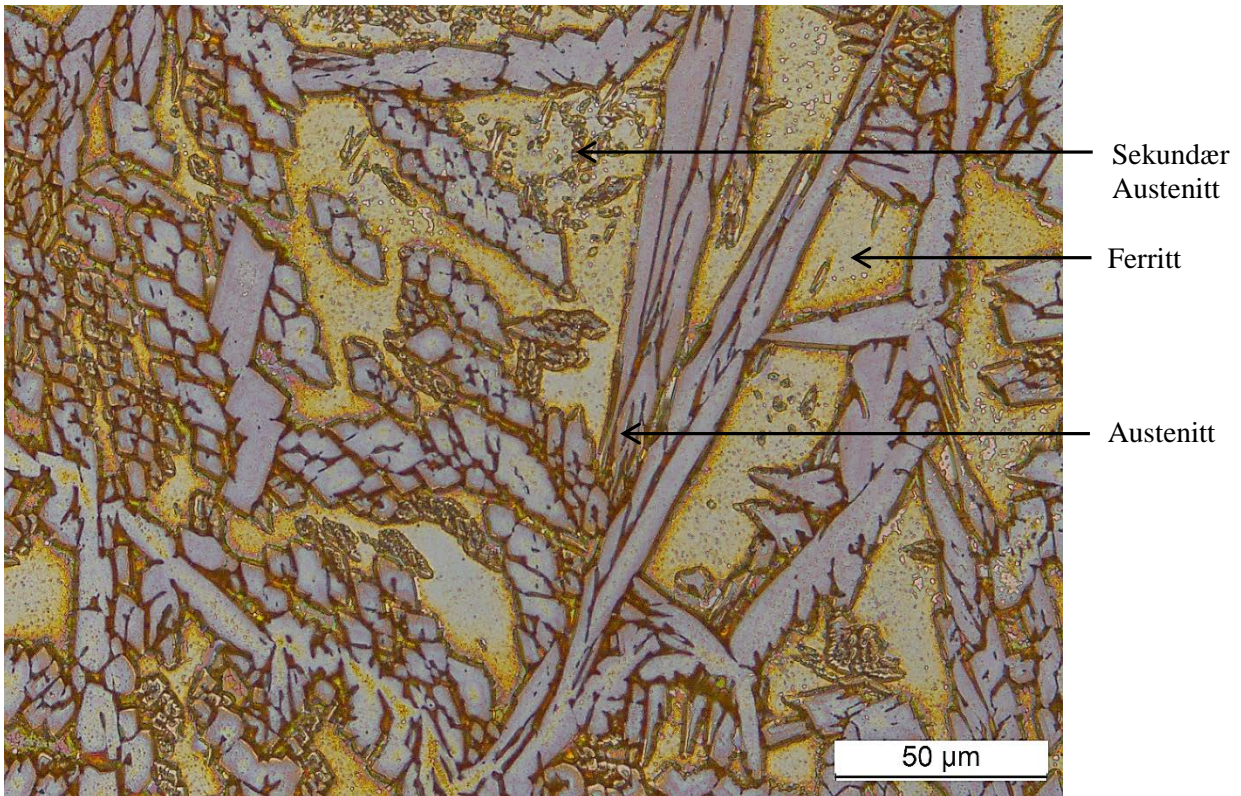
Oversiktsbilde av prøve 2



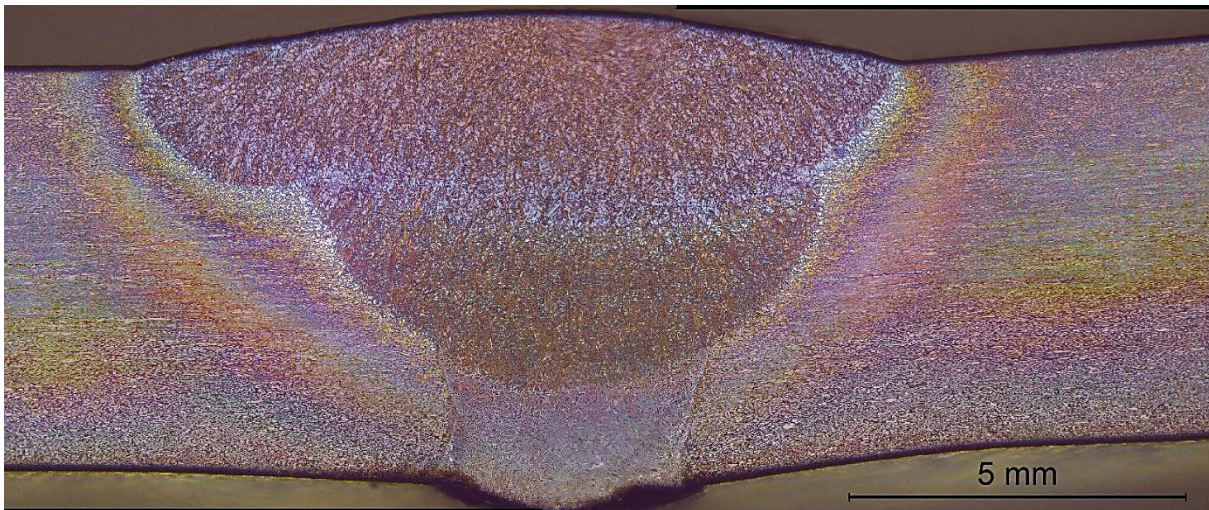
Prøve 2. Sveise-cap



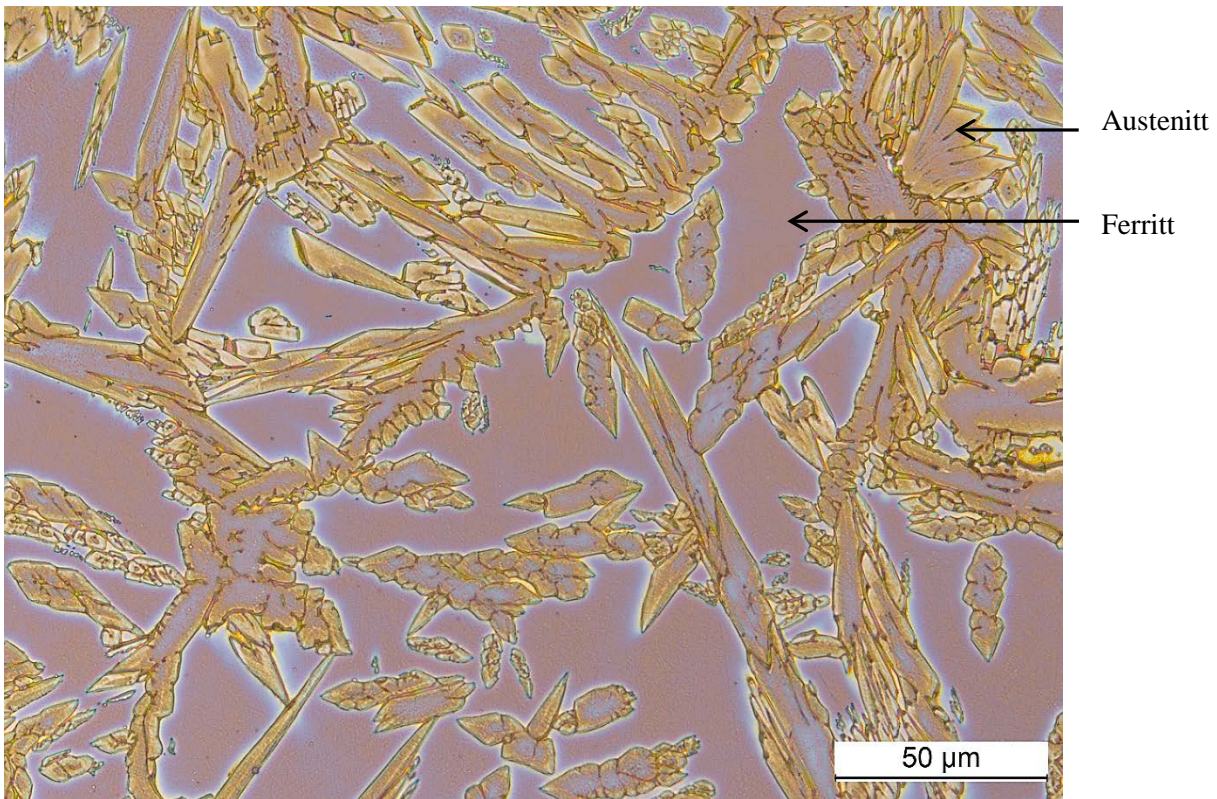
Prøve 2. Kjernegods i sveisetilsett.



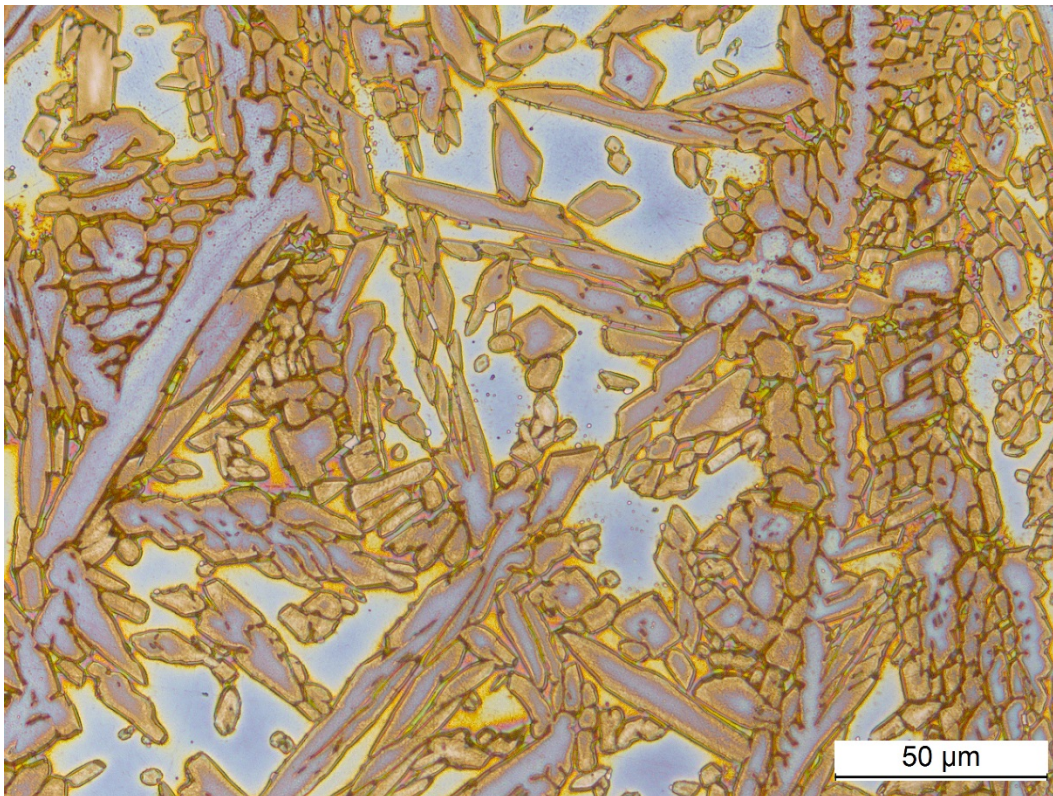
Prøve 2. Sveise-rot.



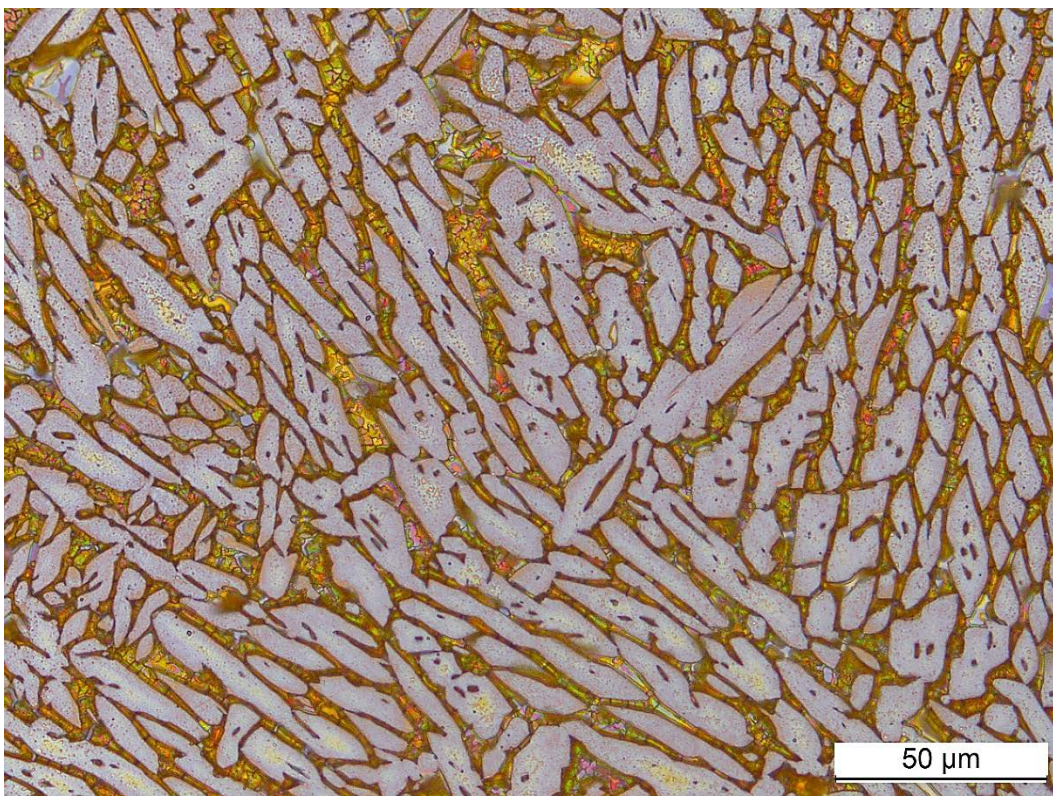
Oversiktsbilde av prøve 3



Prøve 3. Sveise-cap



Prøve 3. Kjernegods i sveisetilsett.

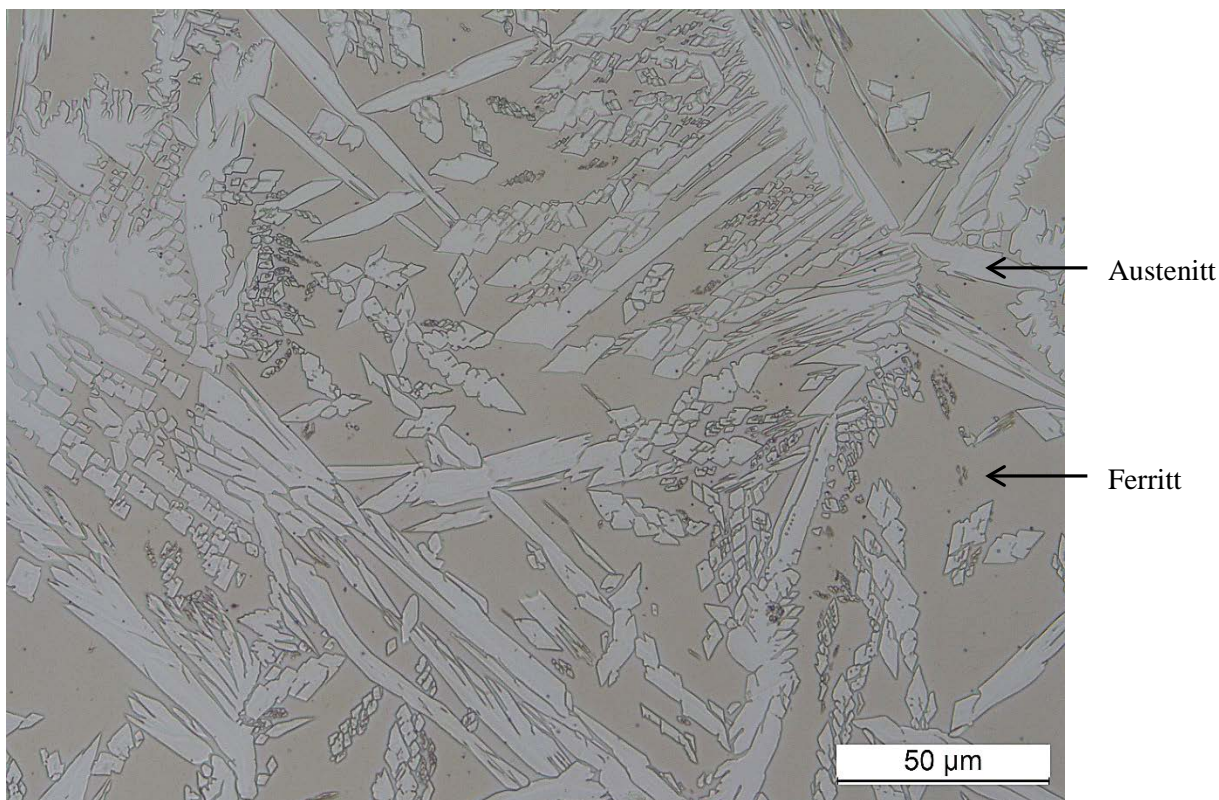


Prøve 3. Sveise-rot

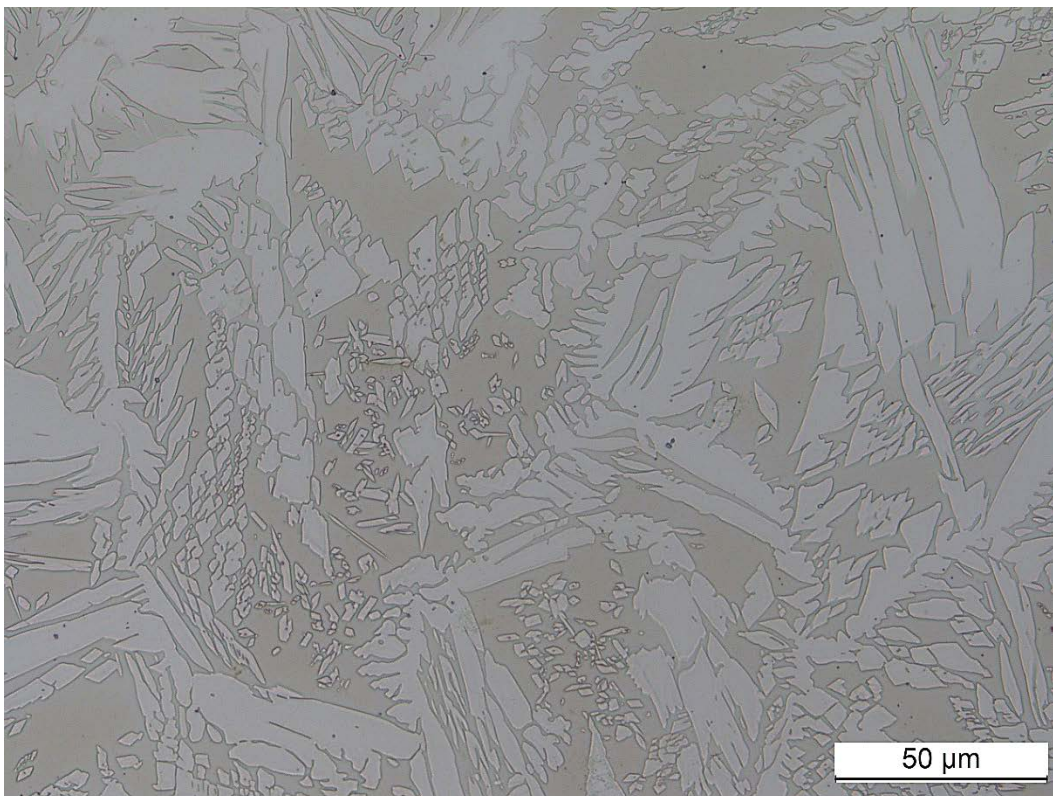
60% HNO3 (1V, 15sec.):



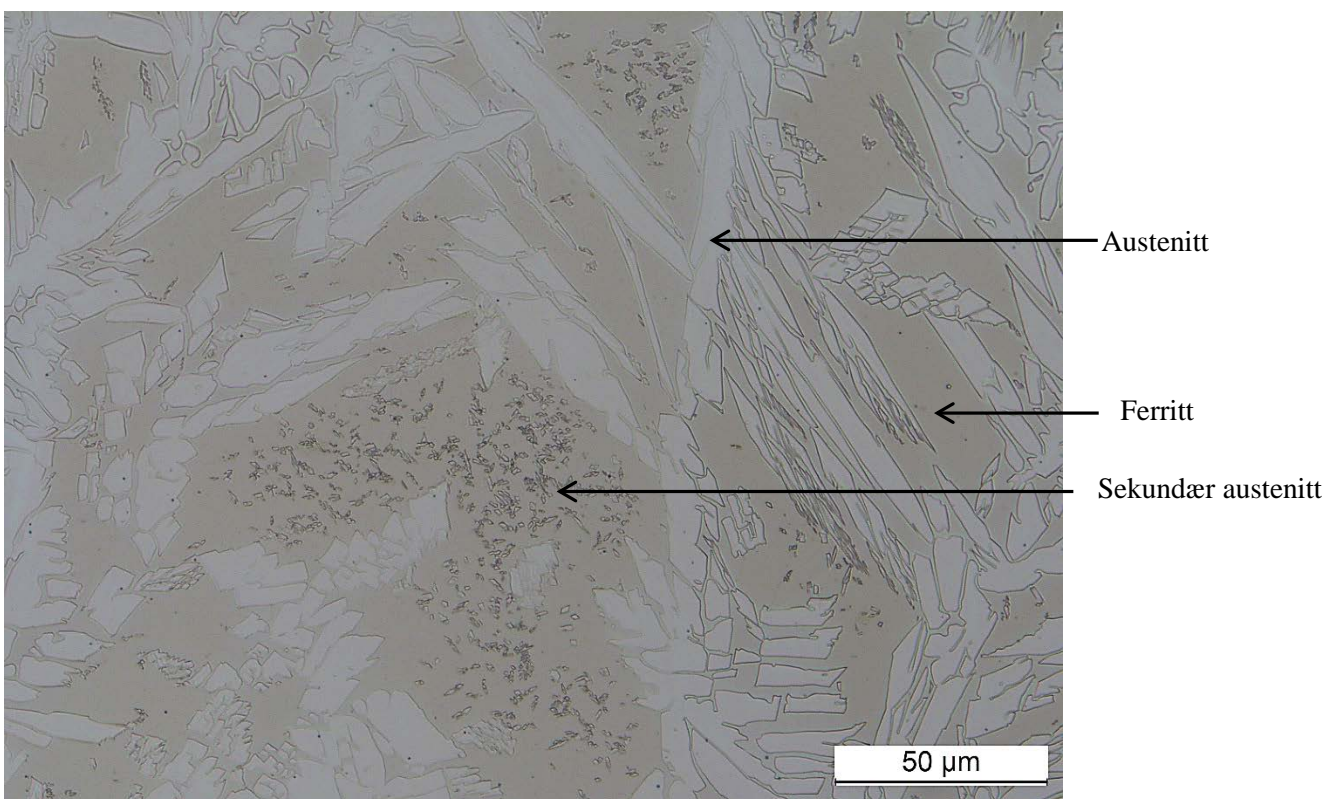
Oversiktsbilde av Prøve 2



Prøve 2 Cap



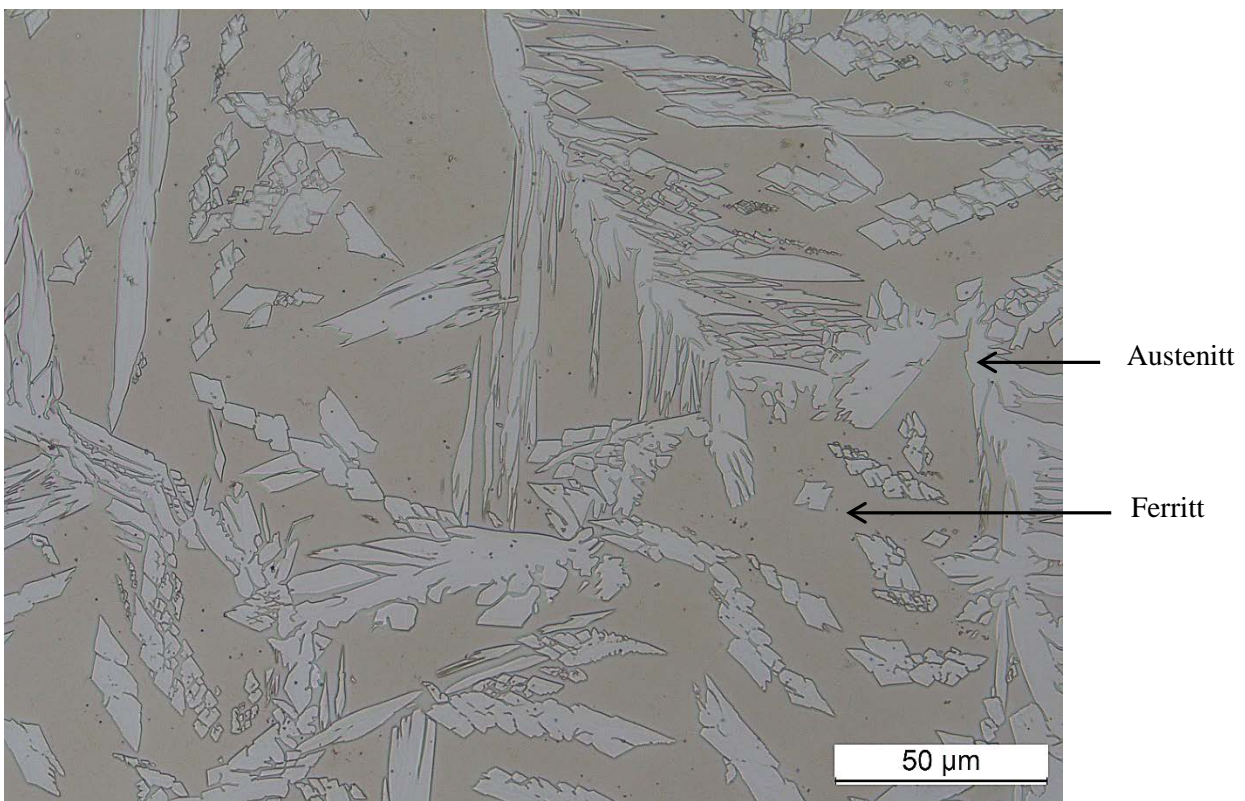
Prøve 2 Midt



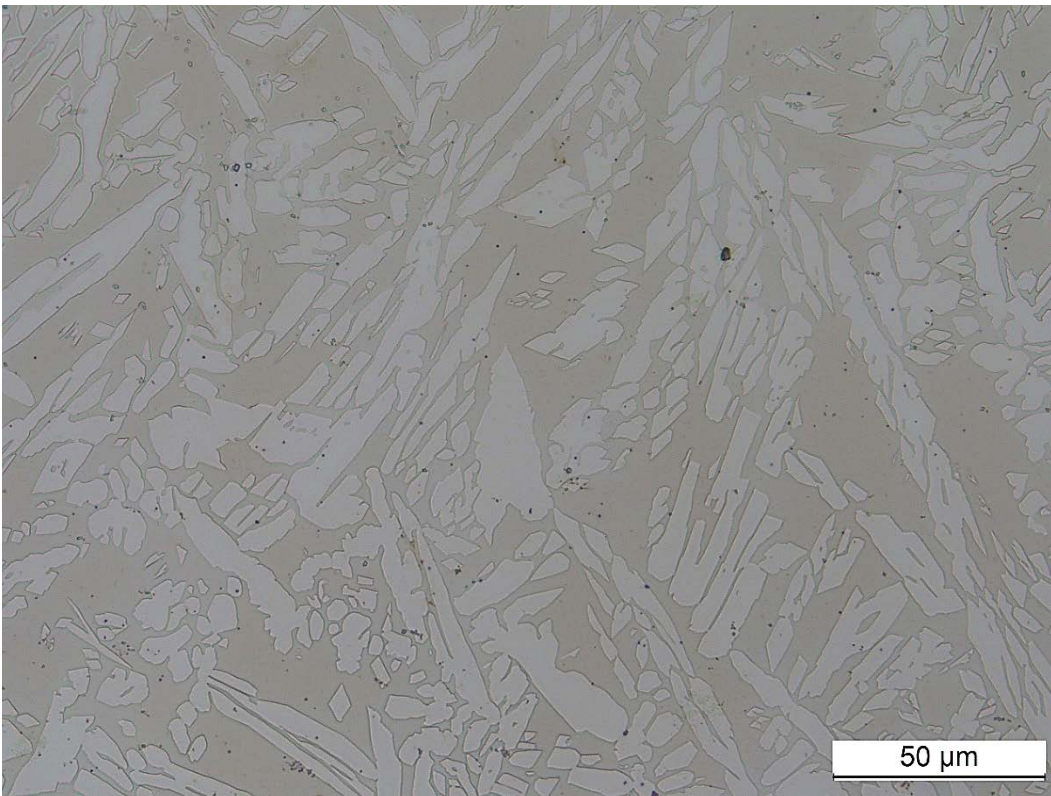
Prøve 2 Rot



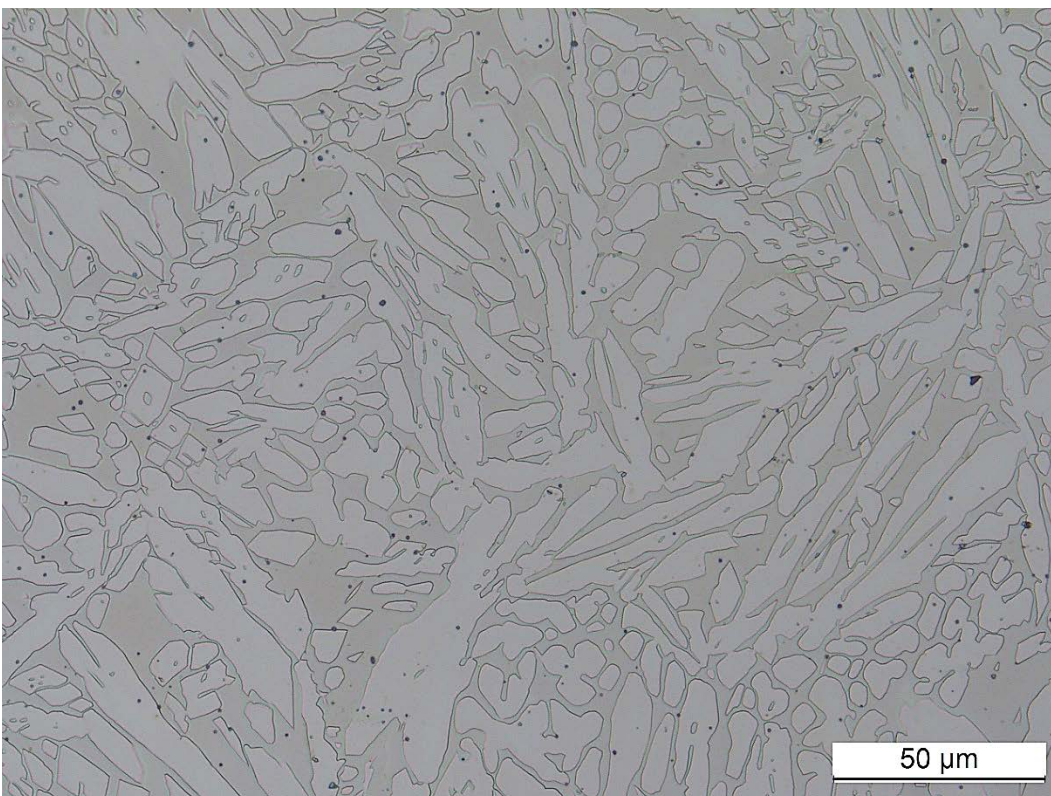
Oversiktsbilde av prøve 3



3 Cap



3 Midt



3 Rot



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no