

Sodahuskommittén

Rapport angående svetsreparationer av komponenter med ytterkomponent av Sanicro 38

Sodahuskommittens Rapport 2015-2,
November 2015

Denna rapport från Sodahuskommittén behandlar förutsättningar för påsvetsning av skadat komponentskikt utfört i legering Sanicro 38 (EN 2.4858).

Inom ramen för detta arbete har Sodahuskommittén låtit utföra försök med påsvetsning av två komponenter med Sanicro 38 som ytterkomponent. Dels en påsvetsning av en helt ny Sanicro 38-tub med fingerad/tillverkad skada. Den andra Sanicro-tuben hade varit i drift i Toftes sodapanna och hade haft godsavgång. Svetsningen och undersökningen genomfördes av Valmet. Valmets rapport ligger som bilaga 1 till denna rapport.

I framtagningen av rapporten har främst följande personer deltagit

Fredrik Bruno, egen konsult
Peder Elden, Valmet
Urban Forsberg, Sandvik
David Good, Dekra
Hans Jörgensen, Valmet
Lasse Koivisto, Andritz
Anders Leijonberg, Inspecta
Johan Nilsson, Force
Peter Viklund, Dekra
Alf Wiik, Dekra
Erik Ågren Andritz

1 Bakgrund

I nuläget har Sodahuskommittén och dess medlemmar begränsad erfarenhet av svetsreparationer av komponenttuber med en ytterkomponent utförd i Sanicro 38 (*) (EN 2.4858 / Alloy 825 / UNS N08825 Mod), tabell 1. Denna rapport syftar till att sammanställa den erfarenhet som ändå finns. Vartefter fler påsvetsningar av Sanicro 38 genomförs kommer kompetensen öka och det kommer säkert finnas skäl att revidera denna rapport.

Den vanligaste Sanicro 38 komponenttuben har en kolstålsinnerkomponent utförd i Sandvik 4L7 (P265GH), tabell 2. Det finns dock även en annan innerkomponent, Sandvik 3Mo1 (16Mo3), tabell 3 som har högre hållfasthet än P265GH (Sandvik 4L7).

Tabell 1. Nominell sammansättning i vikts-% för ytterkomponent av typen Sanicro 38. Sanicro 38 är Sandviks handelsnamn. Övriga benämningar på legeringen är EN 2.4858 respektive UNS: N08825 Mod

Beteckning	Fe	C _{max.}	Si	Mn	P _{max.}	S _{max.}	Cr	Ni	Cu	Ti	Mo
Sanicro 38 EN 2.4858 UNS: N08825 Mod Alloy 825	Bal.	0.030	0.5	0.8	0.025	0.015	20	38.5	1.7	0.8	2.6

Tabell 2. Nominell sammansättning i vikts-% för innerkomponent av typen Sandvik 4L7. Sandvik 4L7 är Sandviks handelsnamn. Övriga benämningar på legeringen är EN 1.0425 eller P265 GH

Beteckning	Fe	C _{max.}	Si	Mn	P _{max.}	S _{max.}	Cr	Ni	Cu	Ti
Sandvik 4L7 EN 1.0425 P265GH	Bal	0.20	0.3	0.7	0.025	0.010	-	-	-	-

Tabell 3. Nominell sammansättning i vikts-% för innerkomponent av typen 16Mo3. 16Mo3 är EN stålbenämningen. Andra benämningar för samma legering är Sandvik 3Mo1 eller EN 1.5415.

Beteckning	Fe	C _{max.}	Si	Mn	P _{max.}	S _{max.}	Cr	Ni	Cu	Ti	Mo
16Mo3 Sandvik 3Mo1 EN 1.5415	Bal	0.20	0.3	0.7	0.025	0.010	-	-	-	-	0.3

(*) I denna rapport använder vi benämningen Sanicro 38 som är Sandviks handelsnamn. Vi bedömer dock att namnet Sanicro 38 är mer allmänt spritt än benämningarna/beteckningarna W.Nr 2.4858, Alloy 825 Mod eller UNS N08825 Mod.

Där man har haft problem med sprickor och/eller korrosion i den klassiska komponenttuben 304L sätter man ofta in Sanicro 38. Materialbytet har i normalfallet visat sig mycket framgångsrikt, framförallt i pannbottnar. Där har övergången från 3R12 till Sanicro 38 komponent inneburit att det är mycket sällsynt med sprickor/korrosion i denna position. På andra utsatta områden i t.ex. löpöppningar och luftportar har bytet från 304L till Sanicro 38 reducerat korrosionen/sprickbildningen, dock inte helt eliminerat skadorna.

I Sodahuskommitténs rapport 2014-3, behandlas påsvetsning av komponenter utförda på den vanligaste komponenttuben, med legeringen 304L (EN 1.4306 / Sandvik 3R12) på utsidan. När det gäller utarbetande av stöd för påsvetsning av legeringen 304L fanns det betydligt mer kompetens/erfarenhet tillgängligt än för påsvetsning av komponent med Sanicro 38 på utsidan.

2 Projektmål

Denna rapport ska ge en vägledning i hur man akut kan hantera enstaka skadade Sanicro 38 tuber som man stöter på under pågående stopp. Mer konkret innebär det att ta fram gemensamma rekommendationer som kan komplettera Sodahuskommitténs rekommendation D4 Reparations- och underhållssvetsning i sodapannor.

Skadorna kan vara av karaktären sprickbildning och/eller korrosionsskador.

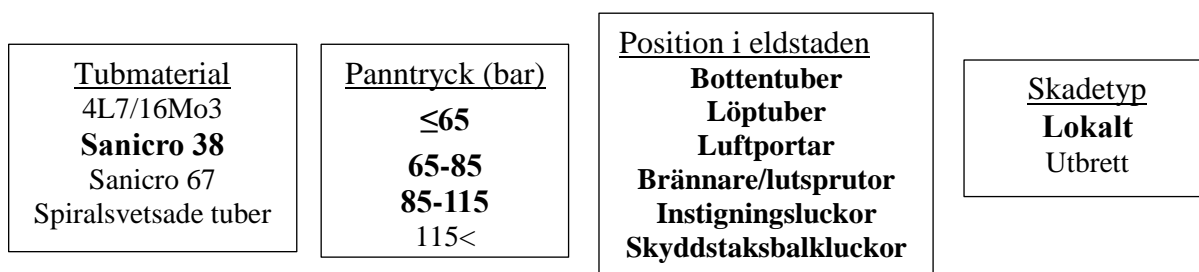
3 Projektets avgränsningar

Resultaten begränsas till avställningsjobb och inte verkstadsreparationer. De ska inte användas som ett verktyg vid planering för långsiktig hantering av skador i komponenttuber. Vidare hanterar resultaten endast lokala skador i sodapannans eldstad (bottentuber, löptuber, luftportar, vägguber och andra öppningar). Detta innebär att överhettartuber alltså inte inkluderas i dessa rekommendationer.

Det är också viktigt att poängtera att rekommendationerna endast beskriver hur skador på komponenttuber hanteras, medan det efterföljande svetsutförandet styrs av de svetsande företagens egna procedurer och WPS:er.

Om man vid inspektionerna upptäcker skador, eller upprepade skador på samma ställe bör pannägaren inte bara slentrianmässigt åtgärda skadorna. Vissa skador kan uppstå på grund av ogynnsamma driftförhållanden varför även driftparametrar bör analyseras, oavsett typen av komponenttub.

Figur 1 ger en översikt av de avgränsningar som görs i projektet.



Figur 1. En översikt av projektets avgränsningar där delar som inkluderas i arbetet är fetstilta.

Gruppen har identifierat ett flertal viktiga frågeställningar som förekommer vid svetsreparationsarbeten:

- Risken för materialförväxling
- Skillnader i skadetyper - korrosion respektive sprickor
- Hur många reparationer får genomföras på samma position?
- Storleken på de skadade områdena
- Hur bedöma sprickor i fenor och membran?
- Tubskador begränsade endast till det vita skiktet
- Minsta tillåtna avstånd mellan reparationer?
- Vilka skador ska man inte reparera?
- Åtgärder före svetsning
- Arbetsprov innan svetsning
- Krav vid genomförandet av svetsarbetet
- Åtgärder efter svetsning
- Dokumentering för kommande inspektioner

Förutom ovanstående frågeställningar är frågan om uttag av tubprover relevant.

4 Vägledning för svetsreparation av tuber med en ytterkomponent i Sanicro 38

Nedan följer arbetsgruppens rekommendationer för svetsreparation av Sanicro 38 komponenttuber i sodapannans eldstad. Vid svetsreparation bör dessutom Sodahuskommitténs övriga rekommendationer om svetsreparation av komponenttuber beaktas då dessa exempelvis kan innehålla ytterligare begränsningar i vilka skador som kräver tubbyte.

Punkterna 4.1 - 4.11 är direkt kopplade till svetsreparation av komponenttuber, medan 4.12 behandlar provuttag som är vanligt förekommande vid underhållsarbete och delvis överlappar redan befintliga rekommendationer från Sodahuskommittén.

4.1 Risk för materialförväxling

Eftersom komponenttuber med Sanicro 38 är betydligt mer ovanligt i sodapannor än med 304L (Sandvik 3R12/EN 1.4306) måste man beakta risken för materialförväxling. I många pannor finns komponenttuber av båda dessa typer. Det blir också svårare eftersom det i flera pannor även finns komponenttuber med en tredje ytterkomponent, Sanicro 67. Pannägaren måste därför tydligt informera besiktningsorganet och entreprenörer om vilket material som finns i vilken position. Ett exempel på allvarlig materialförväxling är att använda svetselektroder avsedda för 304L när man svetsar på Sanicro 38.

4.2 Skador på grund av korrosion

Arbetsgruppen anser att antalet reparationer normalt bör begränsas till maximalt tre gånger på samma ställe om skadorna beror på korrosionsskador, dvs. inte sprickbildning.

Begränsningen innefattar även sprickbildning som uppkommer vid reparationssvetsningen. Ytterligare reparationer får utföras endast om en dokumenterad teknisk utredning visar att

detta kan genomföras på ett säkert sätt.

Vid misstankar om att positionen redan har svetsreparerats tre gånger eller fler, skall tubbyte övervägas. Tubbyte skall också övervägas om det finns misstankar om att tidigare reparation eller reparationer, utförts på ett felaktigt sätt. För ytterligare reparation krävs då en teknisk utredning på liknande sätt som ovan.

Vid lokal avfrätning av det rostfria skiktet så att underliggande kolstål blottläggs, får svetsreparation endast utföras om kolstålets godstjocklek överstiger den minsta tillåtna godstjockleken enligt rekommendation D3*.

** För pannor med höga tryck (>100 bar) kan det förekomma att hela kolstålsdelen av komponenttuben utnyttjas som lastbärande komponent, dvs att kolstålsdelen understiger den minsta tjockleken i Rekommendation D3. Minst ½ mm av det rostfria skiktet måste då vara kvar för att kunna bättra på detta genom påsvetsning.*

4.3 Skador i form av sprickbildning

Sprickor i Sanicro 38 har större benägenhet att även gå in i det underliggande kolstålet jämfört med 304L. Det är därför än viktigare för Sanicro 38 att det verifieras att sprickorna inte går in i kolstålet. Alternativt bör ett tubbyte övervägas.

I de fall sprickor genom det rostfria skiktet fortsätter in i kolstålsdelen skall tuben bytas. Materialteknisk expertis bör då också konsulteras.

Om den årliga besiktningen visar att sprickor uppstått i ett tidigare svetsreparerat område (sprickorna har uppstått under drift), rekommenderas att tuben skall bytas.

4.4 Begränsningar i hur stora ytor som får svetsrepareras

Bedömningen är att ytor upp till 75 x 50 mm på golv och vägguber kan repareras på ett säkert sätt. Även svetsreparation av fenor och fensvetsar omfattas av ovanstående storleksbegränsning. Flera mindre skador inom detta område klassas som ett sammanhängande skadeområde. Svetsreparation av större ytor får utföras om en teknisk utredning visar att detta kan genomföras på ett säkert sätt. Det tekniska underlaget skall då sparas.

4.5 Sprickor i fenor och membran

4.5.1 Defekt i fenmaterialet

Sprickor grundare än halva godstjockleken slipas, ingen efterföljande svetsning

Sprickor djupare än halva godstjockleken, fena byts direkt.

4.5.2 Defekt i svets mellan fena och tub

Defekt med djup mindre än 1 mm slipas, ingen efterföljande svetsning

Sprickans djup större än 1 mm slipas och svetsrepareras

Sprickan går in i tuben; beroende på hur långt sprickan går ges olika rekommendationer:

- återstår mer än 0,5 mm av Sanicro 38 skiktet: Medför endast slipning,
- återstår mindre än 0,5 mm av Sanicro 38 skiktet: Medför slipning och svetslagning,
- stannar mellan de två skikten: Medför slipning och svetslagning,
- går in i det svarta materialet: Medför att tuben byts.

4.6 Tubskador helt begränsade till det vita skiktet

Alla skador i kompoundskiktet vilket medför en kvarvarande skiktjocklek på mindre än omkring 1 mm bör dokumenteras och följas upp vid kommande avställningar. Detta gäller även skador som inte medför en omedelbar åtgärd.

Om tidigare observationer visar på ett snabbt skadeförlopp, även beaktat kommande driftperiod, skall förebyggande åtgärder övervägas.

4.7 Minsta tillåtna avstånd mellan reparationer

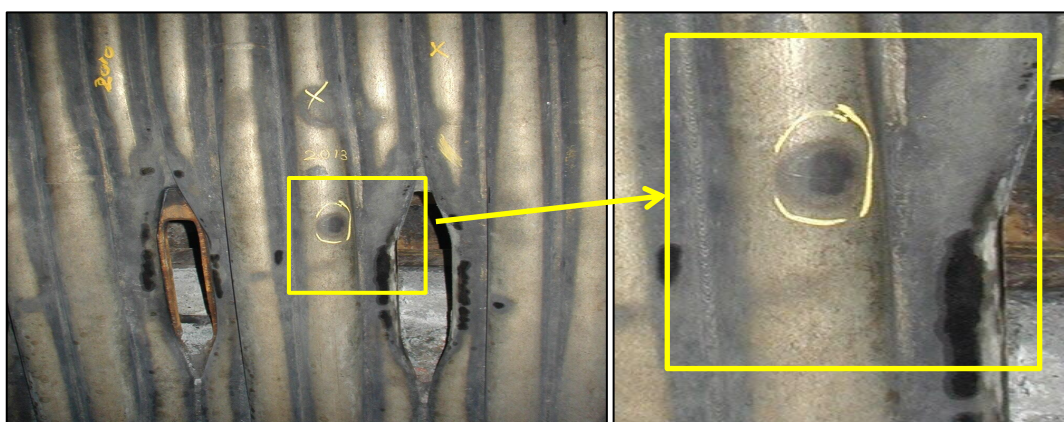
I tubens längsriktning rekommenderas att minsta tillåtna avståndet mellan två närliggande svetsreparationer inte understiger storleken på den största reparationen. Tätare reparationer får utföras om en teknisk bedömning visar att detta kan genomföras på ett säkert sätt.

Det finns inga avstånds begränsningar i tubens omkretsriktning.

4.8 Vilka tubskador ska man inte reparera?

Kompoundtuber med bulor eller andra lokala svällningar skall alltid bytas.

Då komponenttuber efter rengöring uppvisar missfärgning t.ex. svart yta skall tuben alltid bytas, figur 2.



Figur 2. Tuben har en tydlig lokal missfärgning och skall därmed bytas.

4.9 Åtgärder före svetsning

Det skall verifieras att kvarvarande godstjocklek är minst enligt Sodahuskommitténs Rekommendation D3: ”Minsta godstjocklek hos vattenförande tuber i sodapannor”.

Påsvetsning av befintliga komponenttuber av typ Sanicro 38 i en sodapanna ställer stora krav på rengöring före svetsning.

4.10 Arbetsprov innan svetsning

Om någon part så önskar ska varje enskild svetsare genomföra ett godkänt arbetsprov. Arbetsprovet utförs på en motsvarande komponenttub med liknande geometri och svetsläge på skadan. Den kvarvarande godstjockleken efter nedslipning, men innan påsvetsning,

skall dokumenteras. Efter svetsning snittas tuben tvärs svetssträngens riktning och undersöks visuellt och med kopparsulfat med avseende på inträngningsdjup och geometri. Inträngningsdjupet skall alltid vara så litet som möjligt. Godkänt arbetsprov skall dokumenteras och sparas till nästa stopp.

4.11 Krav vid genomförandet av svetsarbetet

Det svetsande företaget skall alltid ha en gällande WPS för reparationssvetsningen.

Svetsaren skall alltid ha giltigt svetsarprovningssintyg.

Svetsning med låg sträckenergi bör eftersträvas. Avsteg ger en betydande risk för varmsprickor/stelningsprickor i svetsgodset.

4.12 Åtgärder efter svetsning

I görligaste mån, rekommenderas att det svetsreparerade området slipas liknande tubens ursprungliga form. Mjuka övergångar mellan tub och svetsreparation är ett krav för att minimera risken för sprickbildning, figur 3, figur 4 och figur 5. Slipningen bör dock inte vara så perfekt så man inte kan hitta området igen.



Figur 3. Exempel på färdig påsvetsning av ett område av omkring 75x50 mm (den största rekommenderade lagningsytan).



Figur 4. Ett exempel på hur man slipat övergången mellan svetsen och tuben för att minska spänningsskoncentrationerna.



Figur 5. Ett annat exempel där man valt att slipa påsvetsningen ännu mer jämn, men ändå behållit en oslipad del för att underlätta framtida av lokaliseringsmöjligheter.

Vid t.ex. luftportar och böjar är det högre krav på ett jämnt slipresultat än på raktuber. Detta gäller även vid positioner som tidigare har varit utsatta för sprickbildning.

Penetrantprovning skall utföras på hela det svetsreparerade och slipade området, samt angränsande ytor. Provning på angränsande ytor görs på ett område motsvarande svetsreparationens storlek.

Tjockleksmätning med ultraljud skall utföras på den svetsreparerade och slipade ytan. Totaltjockleken på den reparerade ytan ska mätas. Eftersom man vet tjockleken innan svetsreparationen får man en god indikation på tjockleken på den lagda svetsen. Eftersom det är vanskligt att få korrekta tjockleksmätningar på påsvetsade och slipade tuber skall rimligheten i resultaten bedömas.

Det är viktigt att behålla tubens vägg tjockleksfördelning även vid kompondreparationen:

- en tjockare tryckbärande del av kolstål
- ett tunnare korrosionsskydd av Sanicro 38

Annars kommer tubspänningsförhållandena att vara ogynnsamma. Det yttre korrosionsskiktet får inte vara tjockare än 45% av den totala vägg tjockleken.

Utanför det svetsreparerade området ska antingen skikt tjockleksmätvärden tas, alternativt prov med kopparsulfat för att verifiera att inte kolstål är blottat.

4.13 Dokumentering för kommande inspektioner

Skadan och/eller reparationen skall dokumenteras genom foto, skiss eller motsvarande så den kan återfinnas och följas vid efterkommande revisioner.

Resultatet från tjockleksmätning av kolstål respektive rostfritt skikt, vid den djupaste nedslipningen, skall dokumenteras för framtida revisioner.

4.14 Uttag av tubprover

Vid uttag av tubprov bör dess position, historik och driftstid dokumenteras, samt vattensidan och rökgassidan undersökas med avseende på:

- 1) Vattensidans status i enlighet med Sodahuskommitténs rekommendation C12.
- 2) Allmän metallografisk undersökning av såväl kolstål som rostfritt skikt innefattande:
 - Mikroskopi av tubytan med avseende på korrosionsskador som inte kan ses med ögat
 - Hårdhetsprovning
 - Mikroskopi på det rostfria skiktet före etsning
 - Avkolning/uppkolning av bindzonen, samt eldstadssidan
 - Mikrostruktur hos kolstål och rostfritt skikt

Resultat från tubprovsundersökningar ombeds att skickas in till Sodahuskommittén för att bygga upp en större erfarenhetsbank av svetsreparationer i Sanicro 38.

Ansvarsfriskrivning

Detta dokument utgör endast ett dokument över vad som förekommit vid möte med medlemmar i Sodahuskommittén. Informationen i detta dokument är enbart avsedd för Sodahuskommitténs medlemmar. Det är upp till varje medlem eller annan part som tar del av innehållet i dokument att på egen risk och eget ansvar följa de rekommendationer och riktlinjer som i förekommande fall kan anses följa av dokumentets innehåll. Sodahuskommittén frånskriver sig allt ansvar för fel och skada oavsett orsak som kan följa av att rekommendationer eller riktlinjer följs. Det är upp till varje medlem eller annan part att själva, i sin riskbedömning, avgöra om man vill följa Sodahuskommitténs rekommendationer och riktlinjer. Det åligger varje medlem eller annan part att, vid tillämpningen av rekommendationer och riktlinjer, stämma av med tillämpliga myndigheter att rekommendationerna och riktlinjerna är i överensstämmelse med gällande rätt och andra föreskrifter.

Distribution

Peter Viklund, DEKRA
David Good, DEKRA
Alf Wiik, DEKRA
Anders Leijonberg, Inspecta
Erik Ågren, Andritz
Lasse Koivisto, Andritz
Johan Nilsson, Force
Urban Forsberg, Sandvik
Fredrik Bruno, egen konsult
Peder Elden, Valmet
Anders Löjdahl, Valmet
Sixten Andersson, Valmet
Inspektionsgruppen, Valmet
arkivet, Valmet

LABBRAPPORT

TS&I 064/15
P00331023

Svetslagning på Sanicro38, provsvetsningar

Hans Jörgensen, okt. 2015

Innehåll:

SAMMANFATTNING	3
Simulerad skada.....	3
Kommentarer.....	5
1 BAKGRUND	7
1.1 Materialdata.....	7
2 FÖRSÖKSPLAN.....	8
2.1 Simulerad skada.....	8
2.2 Löptub uttagen med driftskada.....	8
2.3 Tillsatsmaterial	9
2.4 Svetsmetod	9
Simulerad skada.....	9
Erosionsskada.....	9
3 SIMULERAD SKADA	10
3.1 Materialdata.....	10
3.2 Slipning.....	10
3.3 Svetsning.....	11
3.4 Efterbehandling	12
3.5 Mätningar efter svetsning	13
Dimension	13
Kemisk sammansättning	13
3.6 Innerytan	13
3.7 Tvärs- och längssnitt	14
3.8 Mikroskopi	16
Mot ytteryta.....	16
Smältgräns	17
Mot inneryta.....	18
Mikrostruktur.....	19
4 EROSIONSSKADA.....	21
4.1 Materialdata.....	21
4.2 Svetsning.....	21
4.3 Mätningar efter svetsning	21
Kemisk sammansättning	21
4.4 Innerytan	21
4.5 Tvärsnitt.....	22
4.6 Mikroskopi	23

SAMMANFATTNING

Som en del av Sodahuskomitténs utredning av svetsreparationer på compoundtuber, efterfrågades svetsprover samt utvärdering. Dessa prover är gjorda på verkstad. Etapp 2 av SHK-projektet behandlar Sanicro38, och det är på detta material de aktuella proverna gjorts. Som ram för lagningarna har använts den instruktion som framtoogs i etapp-1 (Sodahuskomitténs *Rapport 2014-3, september 2014*).

Det ena provet är gjordes som simulering av en korrosionsskada (förtunning) på en oanvänd tub, det andra provet gjordes på en använd och lokalt erosionsskadad löphålstub. I denna rapport visas utvärderingen av det förstnämnda försöket.

Simulerad skada

- Området som förtunnades med nedslipning var ~50x80 mm, dvs något större än den begränsning som anges för svetslagning i SHK-rekommendationen.
- I mitten av området skapades ett område där kolstålet blottades, ~30x50 mm stort. Förtunningen av kolstål var marginellt.
- På svetsningen gjordes med ett tillsatsmaterial i samma materialgrupp som Alloy825. Det var "pinnsvetsning" och förfarandet gjordes så som det mest lämpligen hade utförts ute på ett underhållsstopp: vertikalt stående tub, horisontell strängläggning och stigande strängföljd. Svalning till < 100°C mellan strängar.
- Svetsade området gav relativt skarpa kanter mot omgivningen. Dessa slipades ner så att en kontinuerlig övergång gavs. Resten av påsvetsgodset efterslipades inte.
- Mot innerytan syntes en tydlig visuell "signatur" i form av omfärgning. Utanför detta område hade ytan ett tunnt skikt av färskrost, medan det vid påsvetsområdet var grövre och mörkare i färgen.
- Det påsvetsade skiktets tjocklek var mellan 2.4 och 4.2 mm, med ganska stora variationer över korta avstånd. Som oftast låg det mellan ~2.8 och 3.5 mm.
- Den minsta kvarvarande (osvetsade) tjockleken av kolstål var nedåt 4.5 mm, vilket sammanföll med en av de tjockaste punkterna för påsvetsgodset. Där var alltså förhållandet 50/50 för påsvets/kolstål i förhållande till totala tjockleken. Ingrängningsdjupet tycks vara relativt jämnt, som mest bedöms det drygt 0.5 mm.
- Det syns inga allvarliga defekter i det påsvetsade skiktet. Mot ytterytan förekommer enstaka mikrosprickor, som mest drygt 0.1 mm djupt men i regel < 50 µm. Det syns inga bindfel mellan kolstålet och påsvetsgodset. Avvikelse att nämna är små sfäriska inneslutningar i påsvetsgodset, i högre grad än vad vi normalt brukar se.
- Kemisk analys av påsvetsgodsets yta visar på mycket låg uppblandning.
- Hårdhetsvärden ger inga avvikelser för vare sig påsvetsgods eller värmepåverkad zon i kolstålsdelen (HAZ). HAZ sträcker sig som mest 2.5 mm under smältgränsen.
- Innerytans omfärgning gick inte att spåra i tvärsnitt vid mikroskopiering. Det syns inga avvikelser mot innerytan under påsvetsområdet, jämfört med omgivningen.

Erosionsskadan

Den ursprungliga skadan sträckte sig i ett längre stråk längs med det tätningjärn som finns mot löptubens utsida, medan erosionssfåran i sig löpte mot smältans utloppssida. Skadan undersöktes några år tidigare och då framkom att fårans djup var nästan ner mot tubens kolstålsdel, men några tiondelar av Alloy825-skiktet återstod. Den aktuella lagningen gjordes på resterande tubmaterial (mot tubens övre del). Fårans bredd var där som mest upp mot 10 mm. Mot skadans övre del (som blir nedåt i det aktuella svetsprovet) tonar fåran snart ut, resterande längden av den synliga fåran var ~40 mm. Det gjordes ingen nedslipning av ytorna före svetsning, däremot viss putsning för att avlägsna smuts. Svetslagningen gjordes med tre strängar längs med fåran, denna gång fallande. Tre strängar ansågs behövas av svetsaren för att fylla ut det aktuella området. Samma tillsatsmaterial som för den simulerade skadan användes. Svetsaren upplevde att kvarvarande (svåravlägsnade) föroreningar på ytorna störde svetsningen.

- Resultatet av lagningen såg visuellt bra ut, med jämn yta. Undantaget var vid strängarnas avslut där den avsmalnade lagningen byggde upp en tydlig svetsråg.
- Tvärgående snitt uttogs nära lagningens start (där skadan var som djupast), i dess mitt samt nära dess avslut.
- Tvärsnittet visade en viss variation i svetslagningens omfattning. Mot startsidan nådde lagningen precis ner mot kolstålet, men inte djupare. Tjockleken av lagningens svetsgods var där inte mer än drygt 2 mm, och mot tätningjärnet visades en något ojämn övergång. Mitt-snittet visade ett tjockare svetsgods, upp mot 4 mm, samt en föredömligt jämn övergång mot tätningjärnet. Däremot gick svetsgodset där högst några tiondels millimeter ner i tubens legerade skikt. Mot lagningens avslutande del fanns en markant svetsråge med tjocklek upp mot 5 mm. Svetsgodset gick där något djupare än i mitt-snittet.
- Största totala tjockleken av höglegerat material (svetsgods från lagning, tidigare svetsgods mot tätningjärn, samt tubens legerade skikt) upptick till ca 6 mm.
- Efter etsning fanns en mindre värempåverkad zon i kolstålet vid lagningens startområde, däremot syntes ingen sådan HAZ i de två andra snitten.
- Mikroskopi av tvärsnittet visade inga allvarliga defekter i lagningens svetsgods, men det fanns mindre sprickor med karaktär av stelningsspricka. Dessa var inneslutna i svetsgodset, och skulle således inte upptäckas med ytprovning.
- Mest anmärkningsvärt var en mer förgrenad typ av sprickbildning som syntes i ett begränsat område vid övergången närmast ugnssidan, och när lagningens ytteryta.
- Kemisk analys av påsvetsgodsets yta visar på mycket låg uppblandning.
- Hårdhetsmätning ger 180 -210 HV i lagningens svetsgods vilket är utan anmärkning.
- Mot vattensidan syns inga speciella anmärkningar relaterat till lagningen. Däremot finns delvis noterbara mängder beläggning, speciellt i riktning mot ungsidan.

Kommentarer

Den **simulerade skadan** bedöms vara representativ för den typ av korrosion som kan drabba vissa positioner i sodapannans eldstad, om än i större delen av storleksskalan. I allmänhet liknar resultaten från denna lagning de som utvärderats i tidigare fall med 304L-kompoundtuber och austenitiskt rostfritt järnbaserat tillsatsmaterial.

Överlag får den lagningen anses ha givit ett tillfredsställande resultat m a p defektfrihet och begränsning av inträgning och utspädning, samt jämna hårdhetsvärden över hela svetsgodset, detsamma gäller för den värmepåverkade delen av det tryckbärande grundmaterialet, som varken visar på noterbar härdning eller försvagning. Det antas att de snitt som valdes för utvärdering representerar området med mest svetspåverkan.

De små sprickorna i ytterytan kan tänkas utgöra en potentiell risk under drift, åtminstone ifall förutsättningar finns för termisk utmattning och/eller spänningskorrosion. Dessa mikrosprickor kan troligen inte detekteras med vanlig penetrantprovning. Ett sätt att hantera dessa sprickor är att alltid slipa ner ytterytan, så pass att en metalliskt blank metallyta erhålls (så att texturen i svetsgodset försvinner). Det är också i linje med vad som rekommenderas i SHK-rapport 2014-3. Mikrosprickornas karaktär är inte entydig, det liknar exempelvis inte helt typiska stelningssprickor, men det kan inte uteslutas vara en variant. Det kan nog iallafall förmodas att spänningar i ytan är en faktor.

Tjockleken av påsvetsskiktet behöver också kommenteras: Det hade varit önskvärt med en mindre variation och lägre max-värden. Även av den anledningen kan efterslipning av hela området mycket väl rekommenderas. Slipning av övergångsområde mellan påsvets och omgivning ser tillfredsställande ut och det borde vara ett minimi-krav att göra vid alla dylika site-svetsarbeten. Den minsta tjockleken av påsvetsgodset är iallafall med marginal större än den ordinarie höglegerade komponenten.

I sammanhanget kan nämnas att den oförstörande mätningen av påsvetsgodsets tjocklek (egentligen även inklusive eventuellt kvavarande av tubens höglegerade skikt) ger tillfredsställande överensstämmelse mot de värden som gavs vid tvärsnittsmätning.

Det finns ett par skillnader mot vad som kan vara aktuellt på site. För simulerade skadan är det att testtuben inte har varit i drift. En annan skillnad är att här har bara ett lagninstillfälle drabbat tuben, medan en av de nyckelfrågorna som initierade SHK-projektet var hur många gånger samma område kan svetslagas.

En tredje skillnad kan vara att *i praktiken på site-arbeten kontrolleras i regel inte mellansträngstemperaturen*. Det kan tänkas ge skillnader i värmepåverkade zonen utbredning samt möjligen oxidbildning på innerytan, där skillnad högst sannolikt också ges mellan ny tub och tub som varit i drift. Kanske också nivån på restspänningar skiljer ifall uppehåll inte görs från en sträng till en annan jämfört med då materialet får svalna.

Innerytans tydliga omfärgning förmodas vara typisk för lokal värmepåverkan av det slag som svetsning kan ge. Enligt allmän kännedom ger även måttliga temperaturer och/eller kortare tid viss grad av omfärgning utan att det resulterar i mätbara eller synliga effekter vid normal ljusmikroskopisk undersökning av tvärsnitt. Att det kan tyckas ge ett markant visuellt intryck kan bero på att den ordinarie innerytan i viss mån var täckt av lös färskrost som "intensifierats" vid värmepåverkan.

Erosionsskadans lagningsprov är intressant då den gjorts på en tub som varit i drift. Det finns en del skillnader mot den simulerade skadans lagning, dels i svetsförloppet (strängarnas orientering, underlagets egenskaper), dels i resultaten. Metallografiskt syns dock flera likheter mellan dem båda.

Att erosionsskadans lagning hade lite mer typiska stelningssprickor kan förklaras av att ytan varpå lagningen gjordes hade kvarvarande orenheter, trots försök till rengöring. Den märkliga förgrenade sprickbildning som syntes i ett av tvärsnitten, nära övergång mot tubens höglegerade skikt, kan tänkas ha uppkommit vid någon besvärlig form av förorening i det området. Möjligen har det varit i form av slaggar eller andra inneslutningar i tubens höglegerade skikt. Hur som helst upplevde också svetsaren att kvarvarande orenheter i viss mån störde svetsningen. De nämnda stelningssprickorna når som mest ~0.2 mm vertikal utbredning i dessa tvärsnitt, vilket kan betraktas som beskedligt. Att stelningssprickor finns är inte helt förvånande med tanke på legeringen som i påsvetsgodset. Det är alltså en nickelbas-sammansättning med ~36% Ni, vilket ligger i eller nära ett område som enligt allmän kännedom kan ge särskilt "gynnsamma" förutsättningar för stelnings-sprickor. Det ska emellertid nämnas att stelningssprickor är kända från ett brett spann av sammansättningar, inte minst i höglegerade rostfria järnbaserade svetsgods, som är helaustenitiska. Som redan nämnts finns därtill en annan viktig faktor: renhet i det område som berörs av svetsen, eftersom föroreningar ingår i mekanismen för stelningssprickor eller (även kallade varmsprickor), varför det kan vara vanskligt att jämföra olika legeringars känslighet rakt av. En tredje faktor lär vara mellansträngstemperaturen, som ska begränsas. Där märks möjligen en skillnad mellan erosionsskadans lagning och den simulerade skadans lagning, i den senare inväntades svalning till skillnad från mellan erosionsskadans tre svetssträngar. Frågan är hur stor effekten av det är för en så begränsad svetsning som erosionsskadans. Någon positiv effekt kan ändå tänkas för den simulerade skadan som faktiskt inte visade några stelningssprickor inne i svetsgodset till skillnad från erosionsskadans lagning. Men som tidigare nämns, även renhets-faktorn skiljer mellan proverna.

Till det positiva med denna lagning hör att det klarat sig utan inträngning i tubens kolstålsdel, trots att fåran nått nästan ända dit ner. Värmepåverkan tycks ha varit låg och väl kontrollerad.

Svetsgodsets form tycks förändras succesivt från strängarnas start ned till dess avslutning, från tunnare och mer utbredd till avsmalnat och "uppbullat" mot svetsningens avslutande del. Mitten-tvärsnittet visar kanske den mest eftersträvarvärd geometriska formen med jämn övergång mot båda sidor. Åtminstone på den avslutande delen skulle svetsrågen behöva nedslipas.

Däremot tycks det som att nedslipning före lagning inte nödvändigtvis måste göras om svetsningen sker på så sätt som gjordes här.

Det kan tänkas att även detta svetsprov har skillnader mot hur motsvarande svetslagning skulle göras ute i fält. Framförallt kan motsvarande skada vara längre (vilket även denna tidigare har varit). Vikten av rengöring vid fältsvetsning måste påtalas. Erfarenhetsmässigt har putsning av typ "Scotch-brite" ansetts effektivt.

1 BAKGRUND

2013 initierades ett projekt inom Sodahuskomittén för att hantera frågor om reparationssvetsning av komponenttuber. En arbetsgrupp formades med representanter från anläggningsägare, pannstillverkare och kontrollorgan. En nyckelfråga som varit orsak till oklarheter vid underhållsstopp var frågan om hur många gånger ett och samma område kan svetslagas. Därtill identifierades ytterligare några frågor där riktlinjer ansågs behövas. Första etappen utfördes under 2014 och begränsades till konventionell komponenttub, med ytterkomponent i austenitisk rostfritt av typ 3104L. Det ledde fram till ett SHK-dokument: *Rekommendationer för svetsreparation av komponenttuber i sodapannans eldstad. Rapport 2014-3, september 2014*. Dessa riktlinjer implementerades därpå i den sedan tidigare existerande SHK-rekommendationen "D4".

I etapp nummer 2 hade samma inriktning förutom att materialet nu var Sanicro38 vilket är en komponenttub med högre legerad ytterkomponent.

Ett allmänt önskemål i arbetsgruppen har varit att utföra svetsprover som syftar till att verifiera och validera de utarbetade riktlinjerna. Det blev inte utfört inom första etappen men i fortsättningsdelen föreslogs och bestämd några olika svetsprover. Som ramverk skulle riktlinjerna framtagna i etapp-1 följas. Vad som däremot inte kunnat testas i dessa svetsprover är återuppberedd svetslagning och varemellan materialet varit i driftsatt.

1.1 Materialdata

Komponenttub: Sandvik Sanicro38 (ytterkomponent i nickelbaslegering av typ Alloy825, innerkomponent kolstål). Typisk tjocklek av Alloy825-skiktet är 1.8 mm.

Tabellen nedan visar den *nominella* sammansättningen enligt Sandviks specifikation.

	C_{max}	Si_{max}	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	Ti	P_{max}	S_{max}
Ytterkomp.	0.03	0.5	0.8	20	38.5	2.6	1.7	0.8		
Kolstål	0.18	0.3	0.7						0.03	0.03

2 FÖRSÖKSPLAN

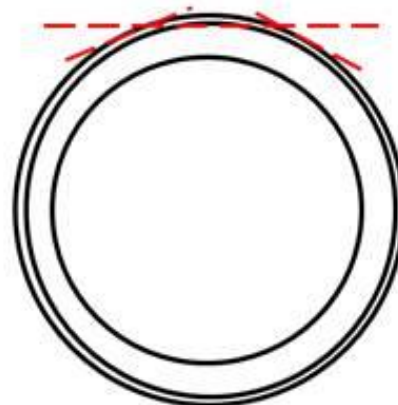
Förslag för olika typer av svetsprov förekom, på både nya och använda tuber:

- Simulerad förtunning över ett större område på oanvänd tub (San38), områdets storlek föreslogs vara som den övre begränsningen i SHK-rekommendationen.
- Löphålstub (San38) uttagen efter drift, typisk erosionsskada från smälta.
- Uttagen böj (304L-kompond) som tjänstgjort i en manlucka, med förtunnat område som enl. uppgift har lagats enligt SHK-rekommendationen (samma tillfälle som uttaget). Kräver alltså ingen ny svetslagning utan utvärdering kan göras direkt.
- Uttagen böj (304L-kompond) som tjänstgjort i en ugn söppning i samma panna som föregående exempel (men okänd position); förtunnat rostfritt skikt över ett begränsat område, ingen tidigare lagning.
- Löphålstuber (påsvetsade alloy625) uttagna efter drift, erosionsskador från smälta, dessutom omrepareade vid tidigare underhållsstopp.

Av dessa valdes de tre första förslagen att satsa vidare på. Främst prioriterades den simulerade förtunningen. Svetsförsök aktualiserades alltså för de två första exemplen. Det tredje fallet har undersökts och redovisas i en separat rapport.

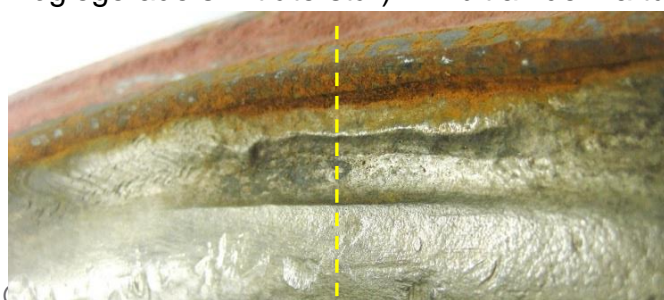
2.1 Simulerad skada

Idén var helt enkelt att återskapa en förtunning (korrosion) av den höglegerade ytterkomponenten, genom att slipa ner denna över ett definierat område. Området valdes till ~75x50 mm, vilket är den övre begränsningen i SHK-rekommendationen. 75 mm i längsled och 50 mm i bredd. Vidare skulle förtunningen ske successivt från kanterna in mot centrum av "skadan" (se skissen), där ett område av kolstålet skulle blottas. Förtunningen skulle inte gå vidare ner i kolstålet mer än marginellt.



2.2 Löptub uttagen med driftskada

En "typisk" erosionsfåra på utloppssidan, intill kant mot utsidans tätningsjärn. Skadan undersökt sedan tidigare. Fåran når nästan ner till kolstålet (några tiondelar av tubens höglegerade skikt återstår). En bit av denna tub var sparad och kunde därmed testas med svetslagning. Det var den övre delen av skadan som återstod, till vänster om markeringen i bilden. Skadan sträckte sig 30-40 mm uppåt därifrån.



2.3 Tillsatsmaterial

Ett tillsatsmaterial i samma materialgrupp som Alloy825 valdes för båda svetsprov, för pinnsvetsning (SMAW), rutil-elektrod. Beteckning DIN 1736: EL-NiCr28Mo, alt. EN ISO 14172 E Ni 8025.

Tråddimension Ø2.5 mm. Charge-nr: 1466053.

Kemisk sammansättning (enligt förpackning) i tabell nedan. Främsta skillnaden mot Alloy825 är halten krom som är väsentligt högre i tillsatsmaterialet, vilket också innebär lägre järnhalt.

	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu
tillsatsmaterial	0.02	0.7	1.2	28	36	3.7	1.8

2.4 Svetsmetod

Generella och detaljerade riktlinjer för svetsmetoden beskrivs i Valmet-specifikation FS3-006 som behandlar reparationssvetsning på just compoundtuber. Syftet var att så långt som tillämpligt kunna hålla sig inom dessa riktlinjer.

Bland de absoluta kraven kan nämnas att pendling inte tillåts, samt att mellansträngstemperatur begränsas till max. 100 °C. Skyddsgas användes inte.

Svetsförsöken görs på Valmets göteborgsverkstad, men i syfte att efterlikna en lagning som den skulle göras på site. Därför görs svetsningarna på vertikalt stående tuber.

Simulerad skada

Olika förfaranden för svetsningen diskuterades; vilken riktning (längs eller tvärs tubens axialled), samt stigande eller fallande. Enligt den aktuella svetsaren, samt förman, skulle det lämpligaste vara horisontell strängläggning (tvärs tubens axialled), samt att börja nedifrån. Detta för att minimera värmeförsel. Strängarna ska läggas intill den föregående utan onödig överlappning. Svetsaren var erfaren av svetsarbeten i sodapannor från underhållsstopp.

Erosionsskada

Ingen nedslipning av fåran gjordes, men renputsning. Svetsaren upplevde dock att det inte blev helt tillfredsställande rent. Svetsningen gjordes med tre vertikalt längsgående strängar intill varandra (följer fårans riktning), fallande d.v.s uppifrån (där skadan varit som djupast och) ned. Det kan för klarhets skull nämnas att i pannan har tuben varit vänd åt andra hållet, det vill säga uppåt i pannan motsvarar nedåtriktning vid aktuella svetsprovet. Det ska dock inte ha haft betydelse för utvärdering av själva svetsprovet. Anledningen till att tre strängar valdes var att få en jämn yta. Svetsaren upplevde att orenheter delvis störde svetsningen.

3 SIMULERAD SKADA

3.1 Materialdata

Tube uttogs bland restmaterial på verkstaden.

Komponent: Sandvik Sanicro38 (ytterkomponent Alloy825, innerkomponent kolstål), nominell dimension 63.5 x 6.53 mm (minimum totaltjocklek).

Alloy825-skikt: 1.82 mm \pm 0.4 mm. Alloy825-skiktet benämns i denna rapport även "tubens höglegerade skikt".

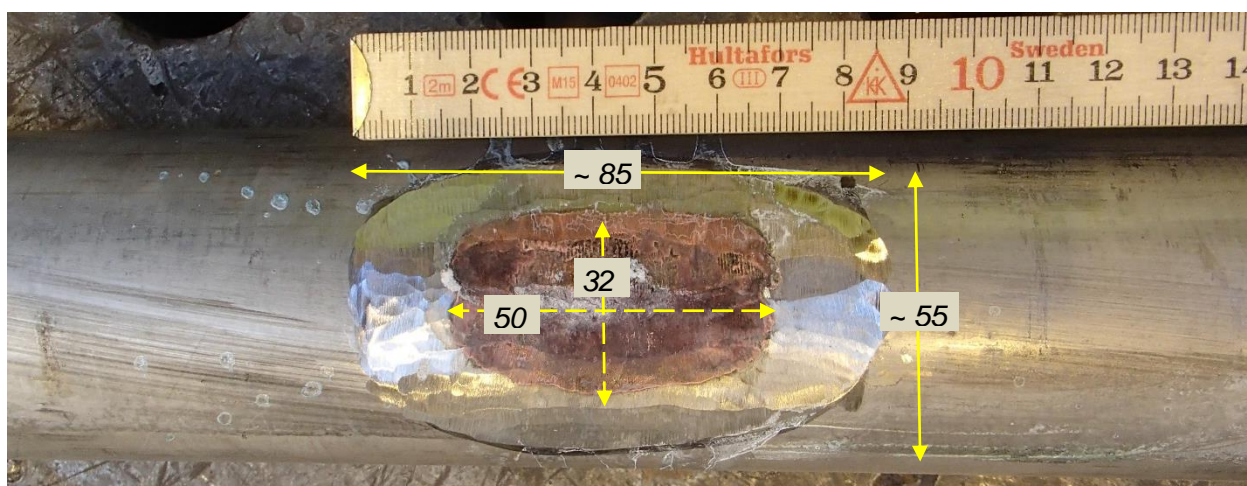
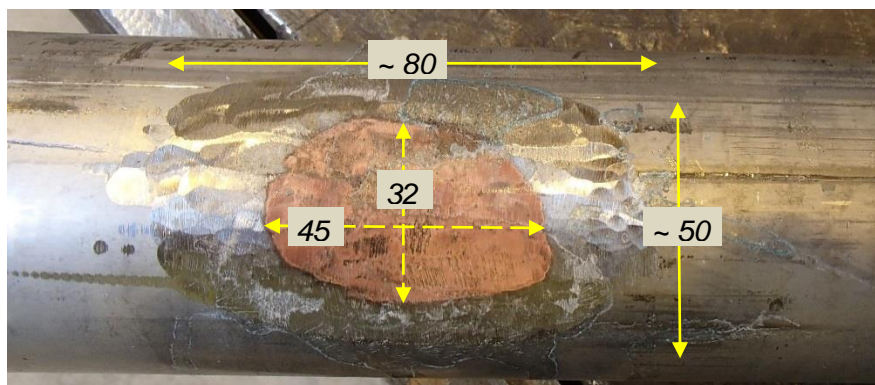
Uppmätta dimensioner aktuell tubbit: \varnothing : ~63.4 mm, tjocklek ~7.0 – 7.5 mm.

3.2 Slipning

Two areas on the tube were ground down to simulate a necking, first as a test, and then again. The larger of these areas (bottom image) was chosen for the weld test.

The test areas were tested with flying copper sulfate, to see the extent of the exposed carbon steel (the precipitation is seen as the reddish-brown area in the photos below). The size was measured with a caliper, part of the ground Alloy825 layer and the exposed carbon steel.

The thickness of the Alloy825 layer was measured non-destructively (with the instrument Deltascope as a basis for detection of non-magnetic thickness), to get an impression of the variation. It showed a relatively even reduction of the Alloy825 thickness. The exposed carbon steel was measured, but according to the task it should only have been a surface treatment.



3.3 Svetsning



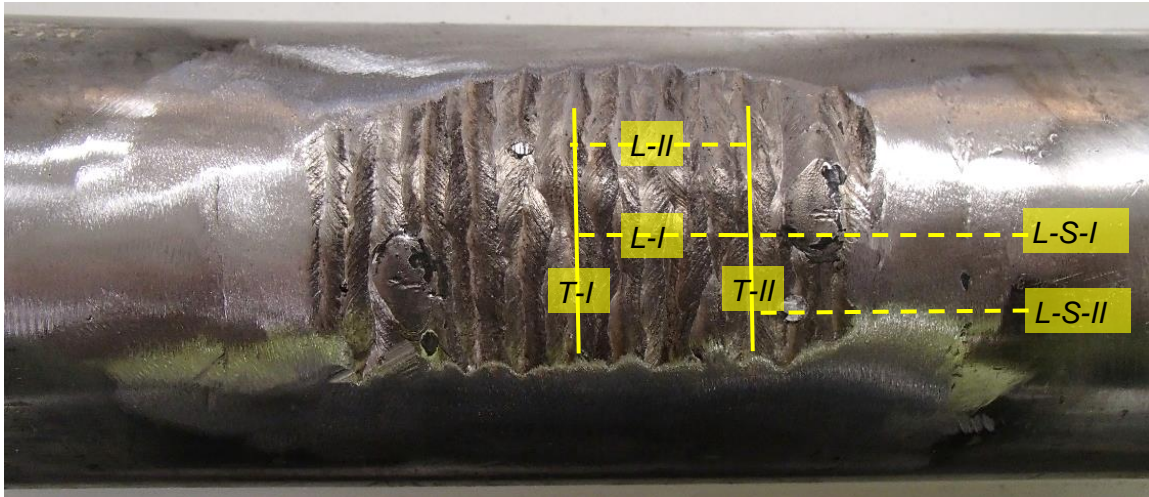
Svetsningen avslutas till höger i bild.



Avslutande strängar

3.4 Efterbehandling

Det påsvetsade områdets kanter slipades ner för jämn övergång mot omgivande tub.



Påsvetsområdet efter kanterna slipats ner. Bilden kan jämföras med föregående sidas tredje bild. Här är markerat lägen för snitt som togs ut för metallografiska undersökningen. Tvärgående snittet längst till höger är från "skadans" centrum. Till höger valdes två längssnitt som fångar upp övergången mot osvetsat område. Snitten har beteckningar enligt de gula rutorna, som följer i rapporten.



3.5 Mätningar efter svetsning

Dimension

Koll av ytterdiameter i området precis utanför påsvetsningen visade ingen noterbar skillnad mot vad som uppmättes före svetsning, det vill säga det finns inga tecken på dimensionsförändringar till följd av svetsningen.

Kemisk sammansättning

Uppmättes med handhållen XRF-analysator*, dels på den råa påsvetsytan, dels efter nedslipning. Nedslipningen gjordes för att komma ner en bit i påsvetsgodset.

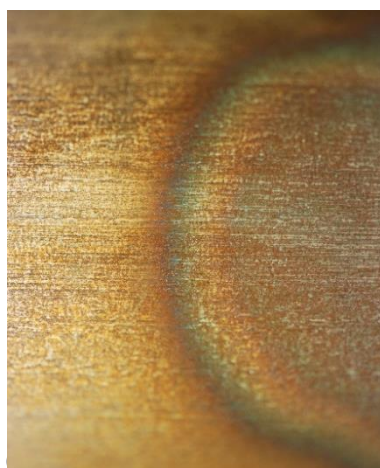
Resultat sammanställs i tabell nedan från några olika mätningar på respektive position.

	Cr	Ni	Mo	Cu	Fe
Rå yta	27.5 - 28.5	35.5 - 36.5	3.8	1.2	33 - 35
Nedslipad	26 - 27	37	3.8	1.2	33
Ytteryta bortom påsvets	19	39	2.6	~1	37

* OXFORD Instruments; X-MET 7000 (inställning "Alloy 2" mode).

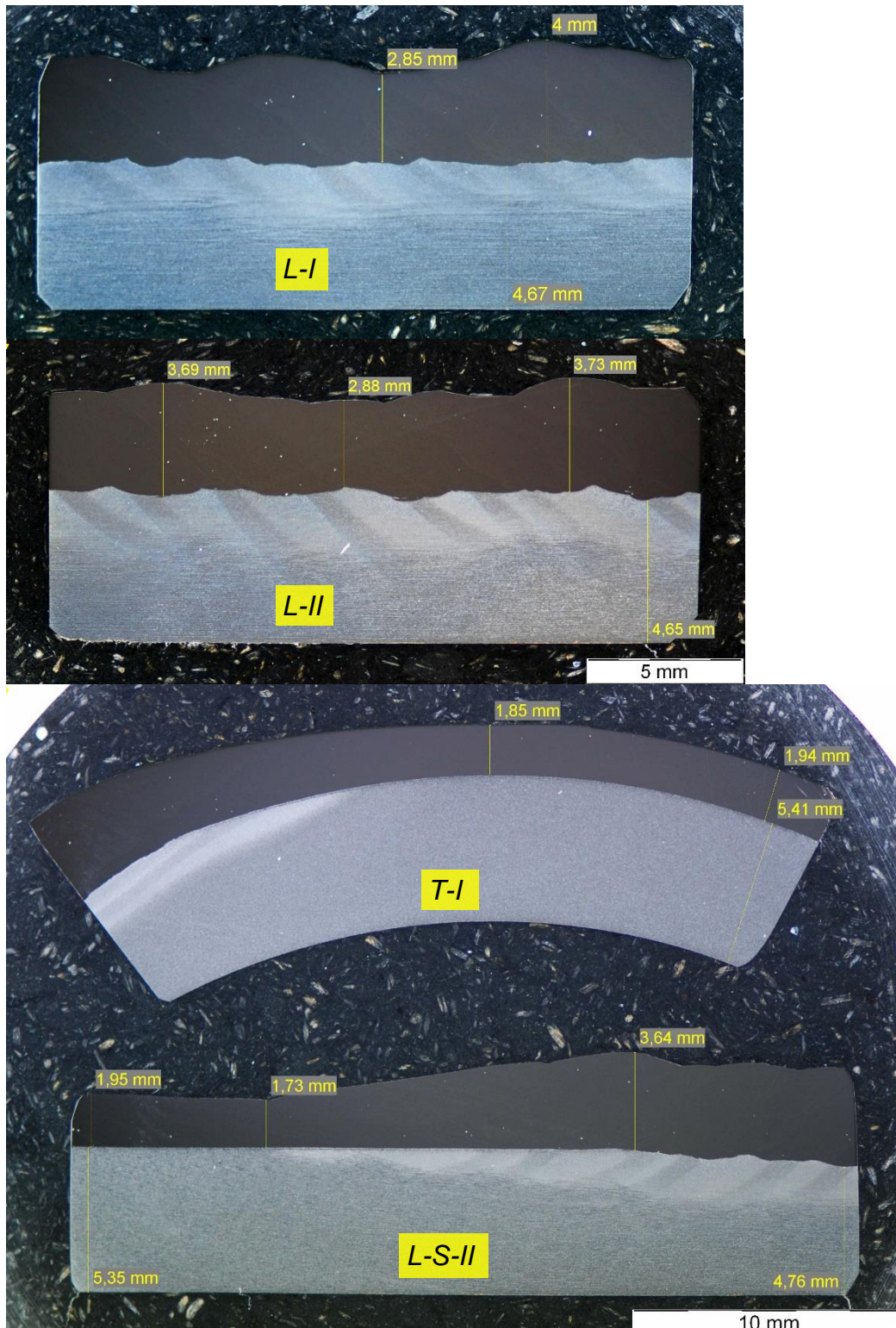
3.6 Innerytan

Den invändiga ytan visade en tydlig signatur från svetsreparationen. Utanför detta område var metallytan täckt med ett tunnt skikt av färskrost, och i tydliga fläcken hade liknande typ av skikt fast något grövre och mörkare.

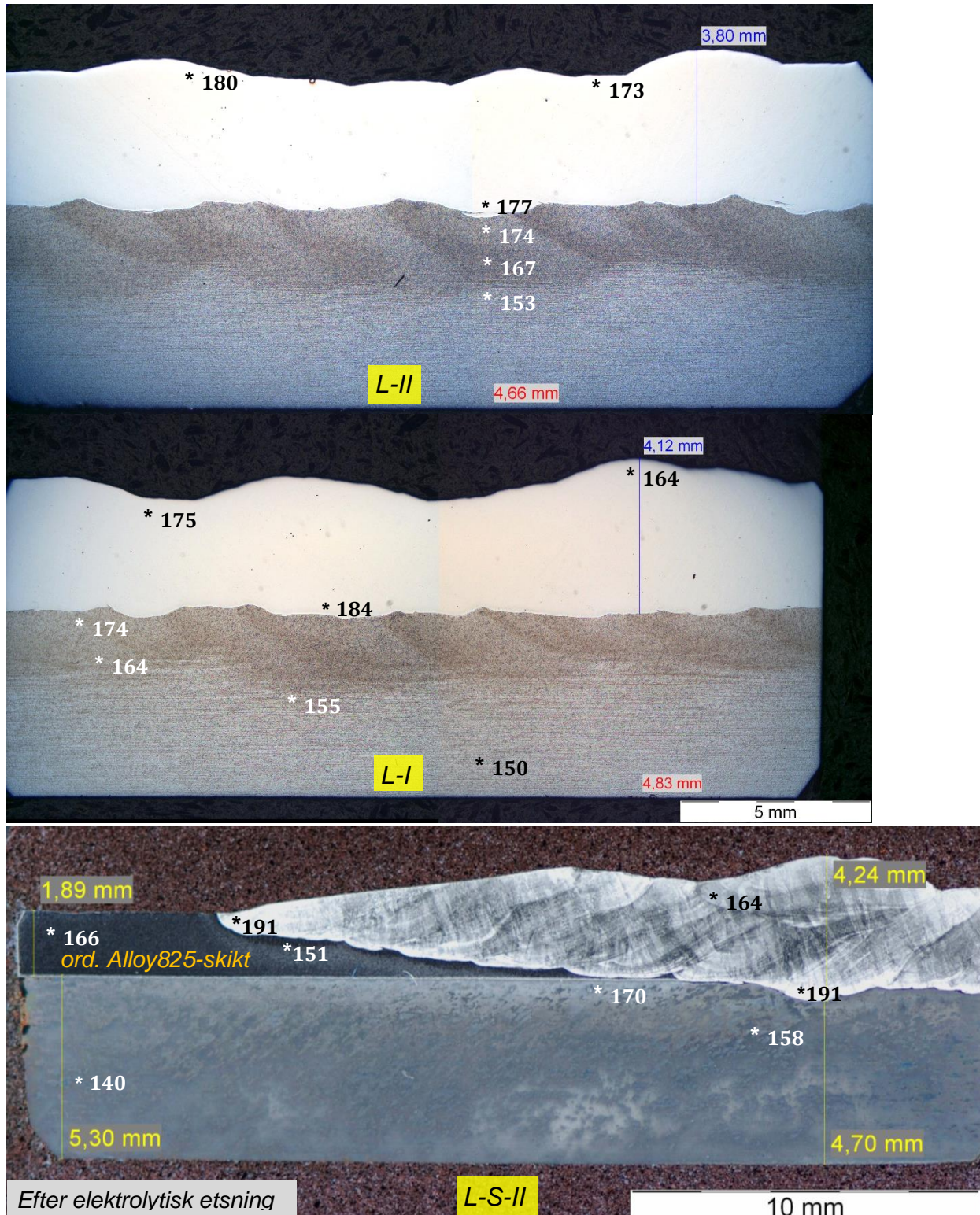


3.7 Tvärs- och längssnitt

Fyra längsgående och ett tvärgående snitt provbereddes och etsades (Nital).



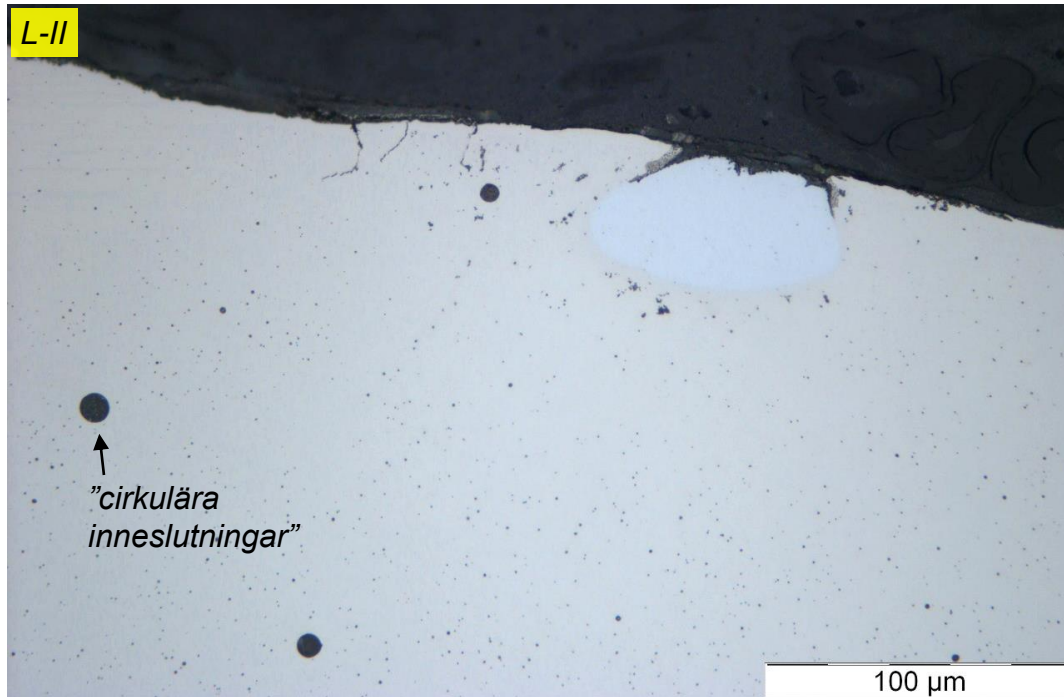
Nedan visas snitt i något högre förstoring samt resultat från hårdhetsmätningar (Vickers intryckshårdhet). Inga hårdhetsvärden var anmärkningsvärda.



3.8 Mikroskopi

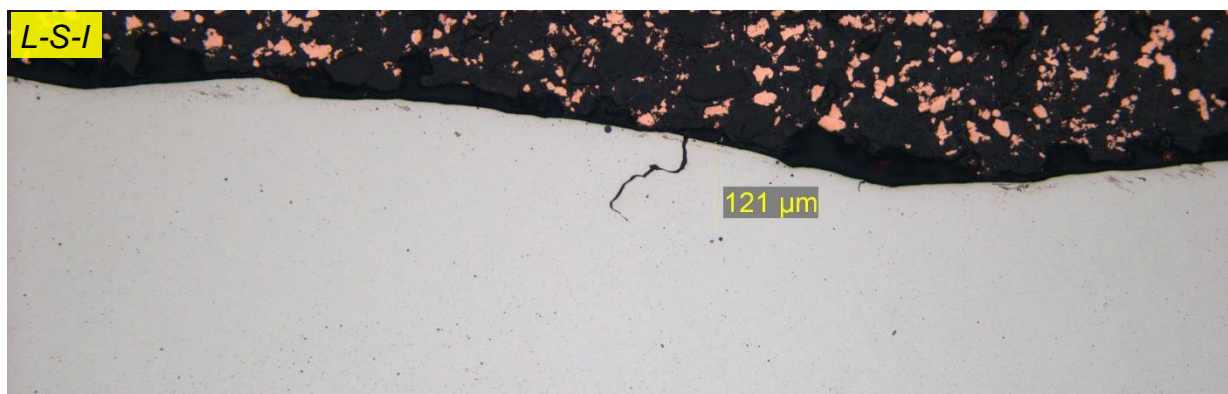
De utvalda snitten studerades först i polerat tillstånd, varpå de etsades kemiskt (Nital), ett snitt genomgick även elektrolytisk etsning för urskiljande av svetsgodsets struktur.

Mot ytteryta



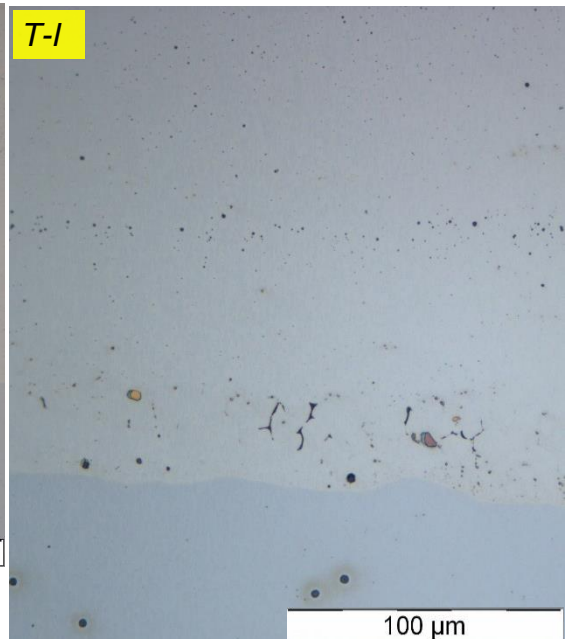
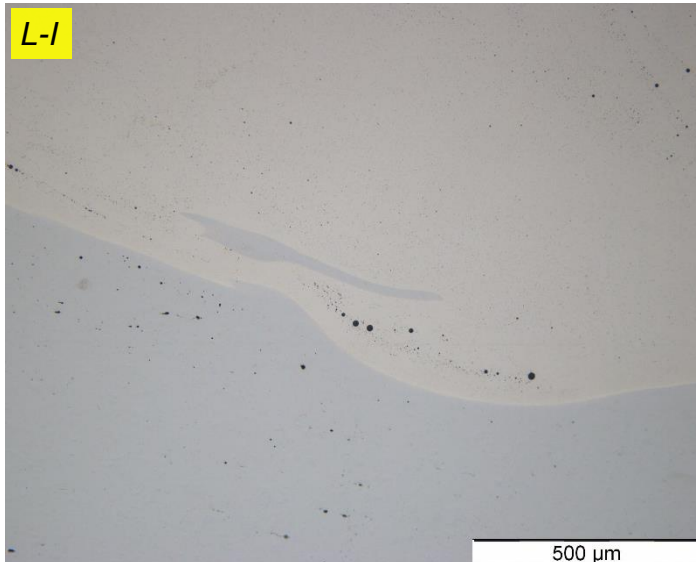
På några ställen syns speciella avvikelser i ytterytan. Dels mikrosprickor, samt ett distinkt område med formen av en bubbla.

Dessutom syns någon form av cirkulära inneslutningar

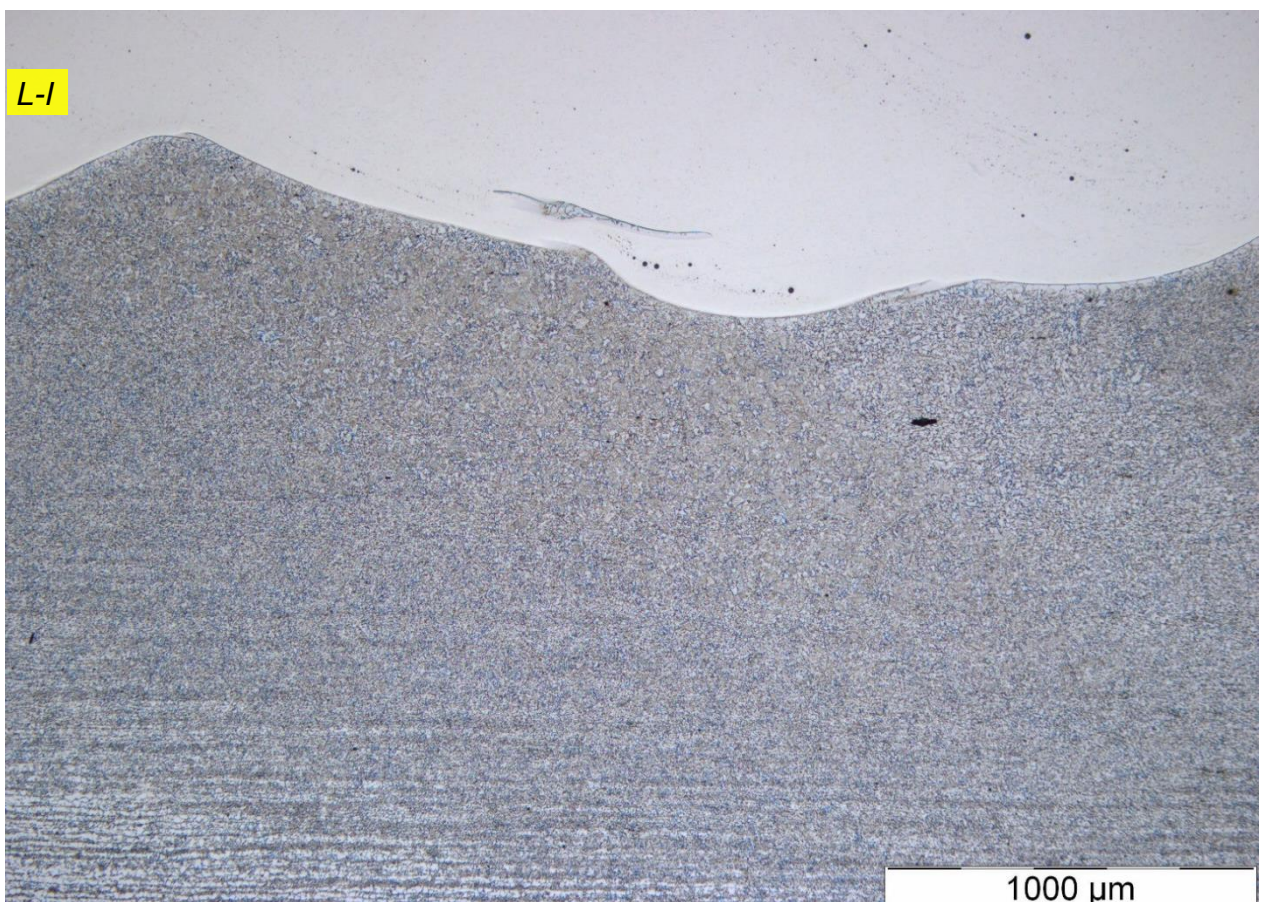


På ett ställe fanns en lite mer utmärkande spricka.

Smältgräns



Tämligen vanligt förekommande syns en samling "cirkulära inneslutningar" samt andra avvikelser.

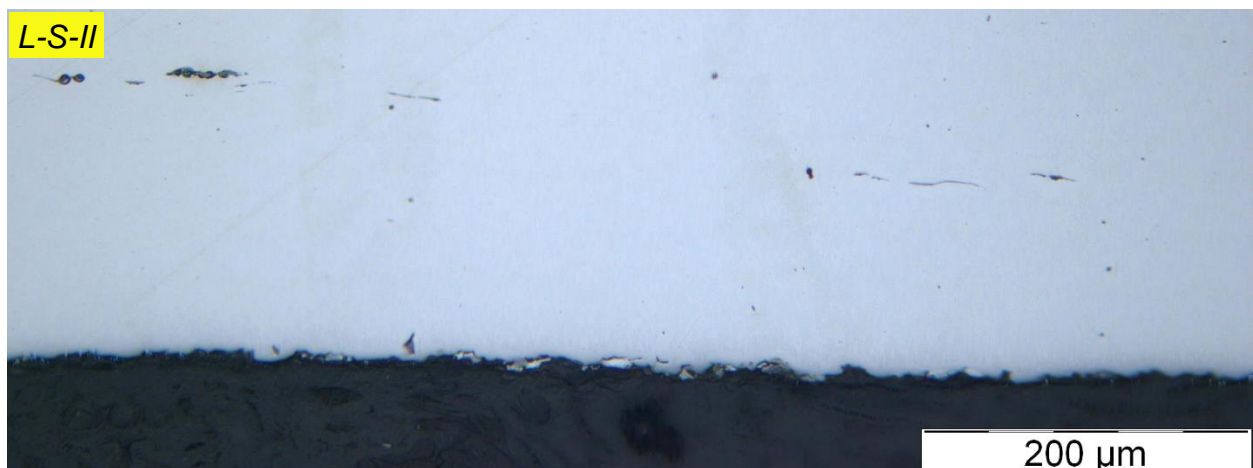


Efter Nital-etsning (samma område som bild ovan t.v.) visas värmepåverkad zonen i kolstålsdelen.

Mot inneryta

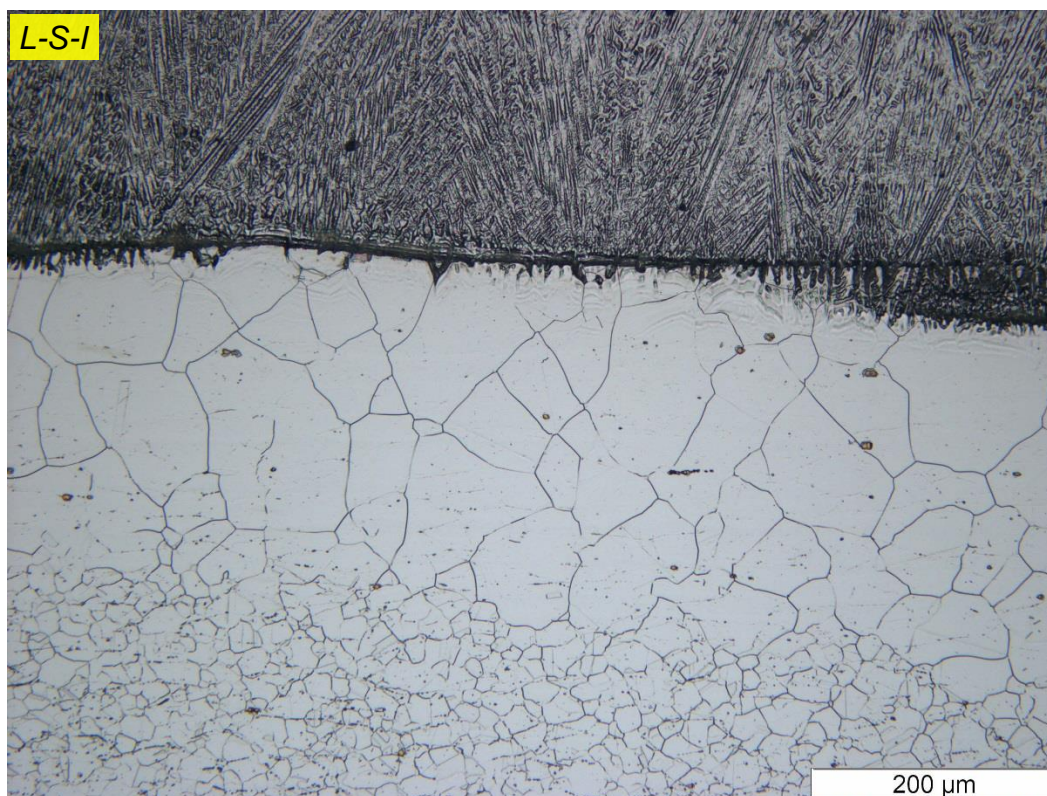
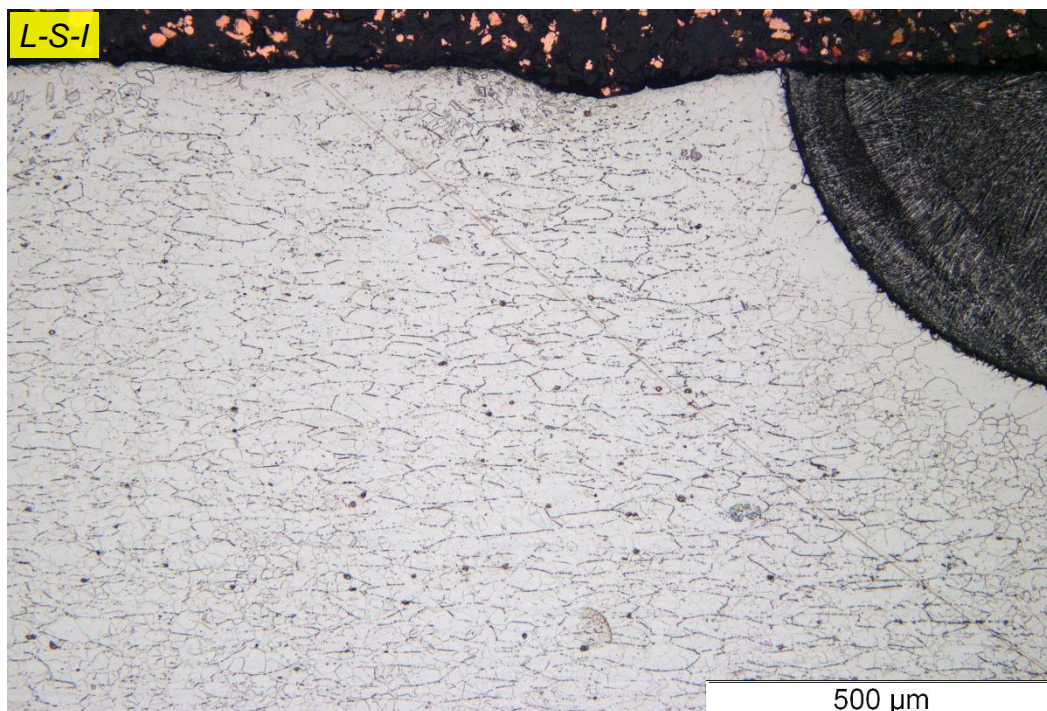
Den insidiga ytan studerades med avseende på eventuella oxid- eller andra skikt. Det noterades ingen märkbar skillnad mellan området med tydlig avvikelser vid den visuella granskningen (sida 9), jämfört med området utanför den del av tuben som påsvetsats. Innerst mot metallytan syntes ett tunnt oxidskikt ($< 5\mu\text{m}$), på vissa ställen var det kontinuerligt medan andra ställen saknade detta skikt. Möjligen var ett sådant skikt mer frånvarande utanför området som påsvetsats. Det syntes inga skillnader för andra typer av beläggningar eller korrosionsprodukter då sådana saknades i alla positioner. Färskrosten som syntes vid visuella överblicken är antagligen av lös art och försvinner lätt vid provberedningen. Men sannolikt kan det bitvis frånvarande inre oxidskiktet sättas i samband med lokala ytliga korrosionsangrepp. Det är tämligen vanligt att "nya" (förådsförvarade) tuber kan ha viss färskrostbildning på innerytan.

Sammanfattningsvis ger innerytan inga synliga avvikelser jämfört med ett typiskt skick för en orörd tub. Den uppenbara avvikelser vid visuell överblick kan dock inte förklaras utifrån den här gjorda mikroskopgranskningen, men en hypotes är att den redan existerande färskrosten har "intensifierats" vid värmepåverkan från svetsningen. Vidare är det allmänt känt att stål som värmepåverkas reagerar med omfärgningar, och vid måttliga temperaturer/och begränsad tid innebär detta inga mätbara eller synliga effekter vid normal ljusmikroskopisk undersökning.

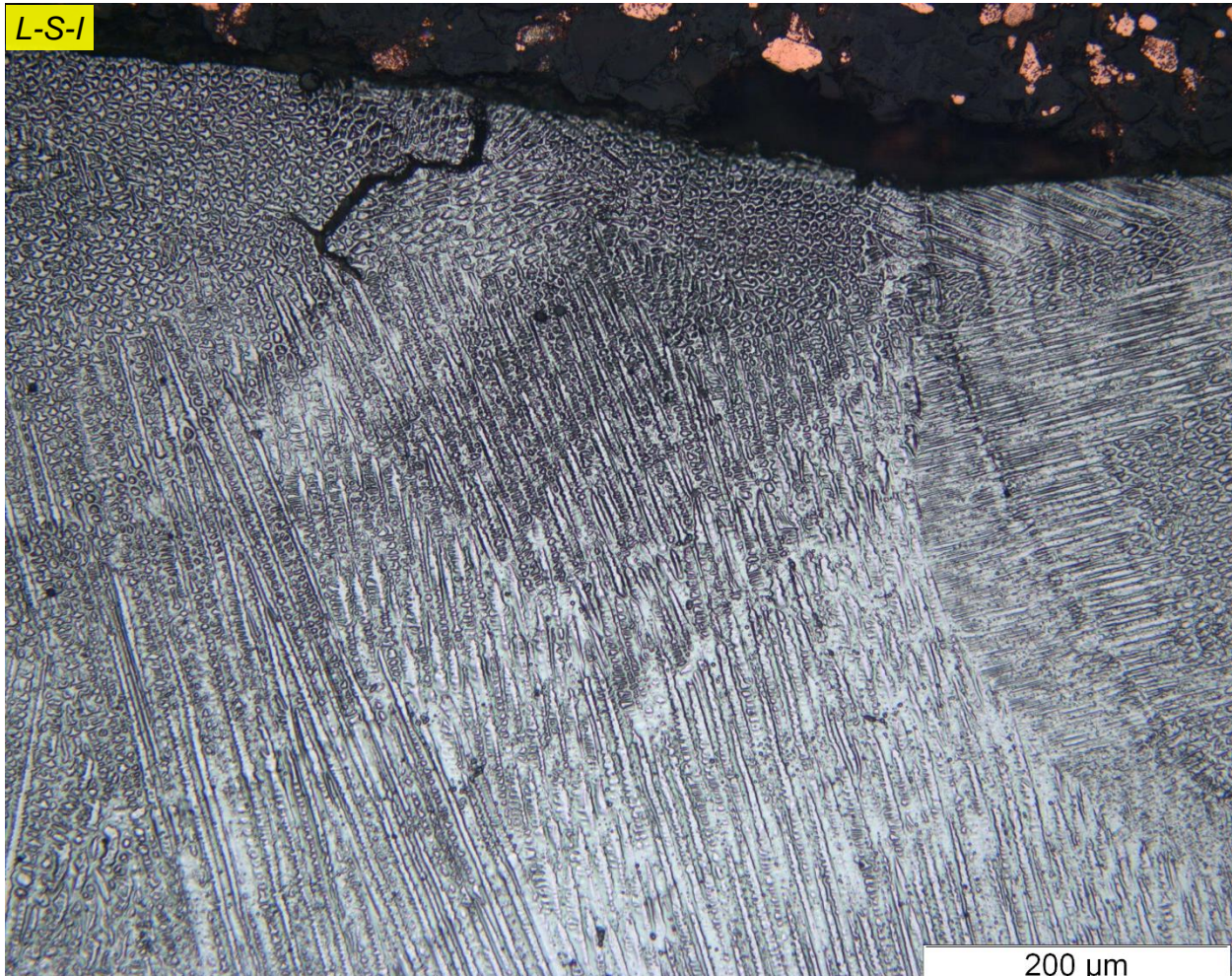


Mikrostruktur

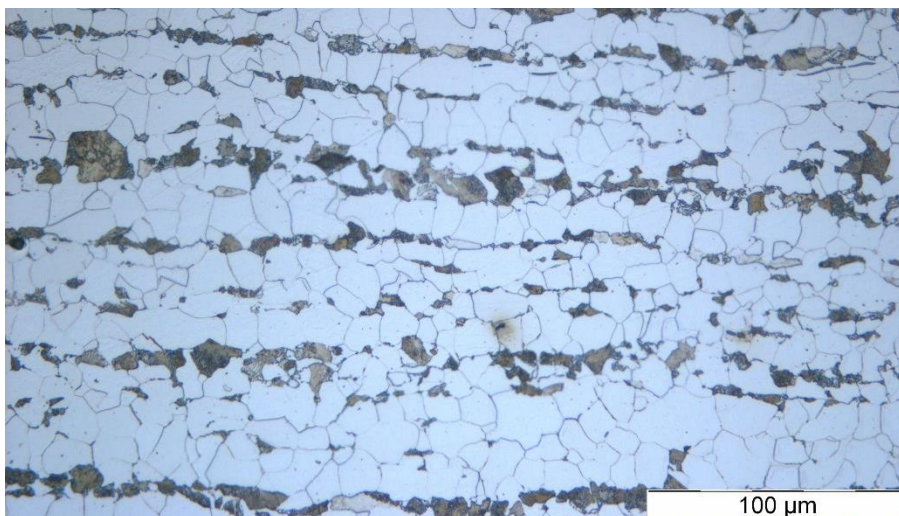
Nedan visas mikrostrukturen i påsvetsgodset samt anslutande Alloy825-skiktet.



Värme påverkade zonen i tubens höglegerade skikt, med kornförstoring.



Den större av sprickorna som visades tidigare, tycks inte ha någon orientering med svetsgodsets mikrostruktur



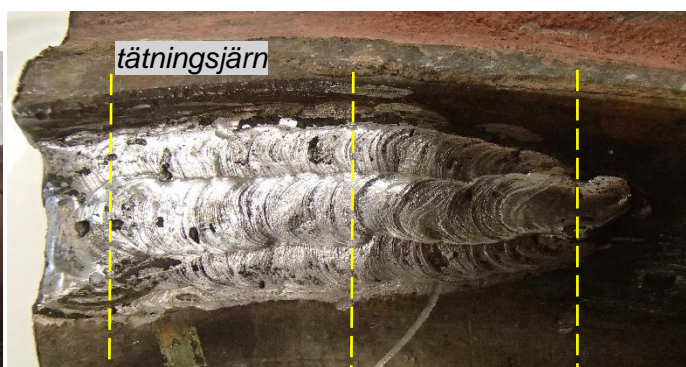
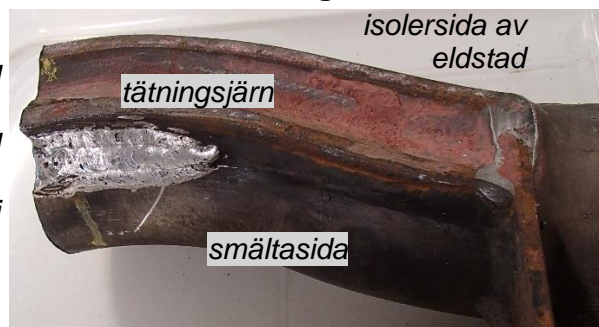
Kolstålets mikrostruktur, utanför synligt värmepåverkad zon, ger inga avvikelser mot en normal ferrit-perlitisk struktur typisk för kolstål.

4 EROSIONSSKADA

4.1 Materialdata

Materialet i denna löphålstub är Sanicro38, nominell dimension $\text{Ø}63.5 \times 6.53$ mm. För mer detaljer, se avsnitt 3.1. Tuben är krökt varvid viss dimensionsförändring uppstått. Den hade varit i drift i 3 år. T_{design} var $298 + 50$ °C. Förväntad materialtemp i drift ~ 310 °C.

4.2 Svetsning



Tre strängar syns. Tre tvärgående snitt utvaldes för metallografisk undersökning.

4.3 Mätningar efter svetsning

Kemisk sammansättning

Uppmättes med handhållen XRF-analysator*, i olika positioner på den råa påsvetsytan.

Resultat sammanställs i tabell nedan från några olika mätningar på respektive position. Närmast övergången mot tubens ordinarie Alloy825-skikt visar påsvetsgodset lite högre uppblandning än på övriga positioner, men den sammansättningen är i nivå med den från simulerade skadans påsvetsning. Övriga positioner av erosionslagningen visar istället klart lägre uppblandning jämfört med simulerade skadans påsvetsning. En skillnad mellan proverna som kan förklara det är att den simulerade skadan hade en uppblandning med kolstål, medan erosions-skadan inte hade blottat kolstål.

	Cr	Ni	Mo	Cu	Fe
Representativa värden	29.5 – 30.5	36	3.8	1.1	32 - 33
Åt övergång mot ungssida	26 – 28	37	3.5	1.1	34

* OXFORD Instruments; X-MET 7000 (inställning "Alloy 2" mode).

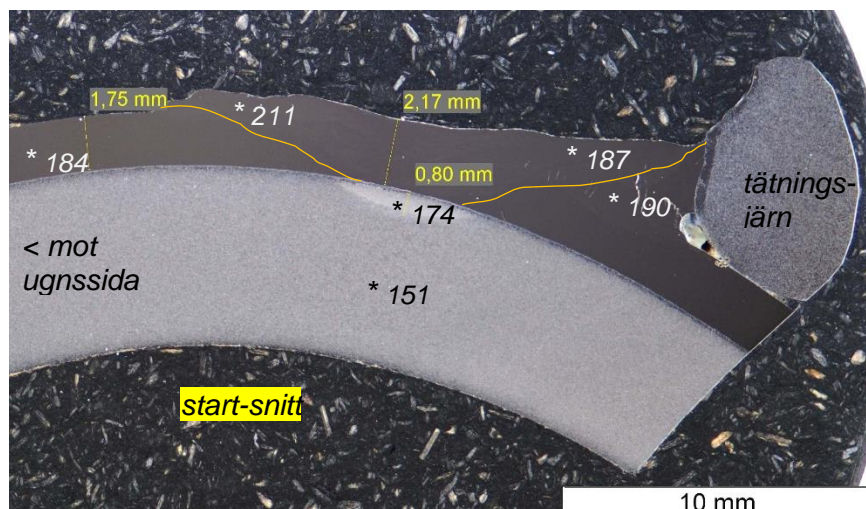
4.4 Innerytan

Vattensidan av denna tub var påverkad från drift i pannan. Det har inte gjorts någon närmre analys av beläggningar, mer än portabel XRF-analys som visade markant kopparhalt, generellt på hela ytan. Efter svetsning visades en svag omfärgning av innerytan i berörda området (inringat i bild).

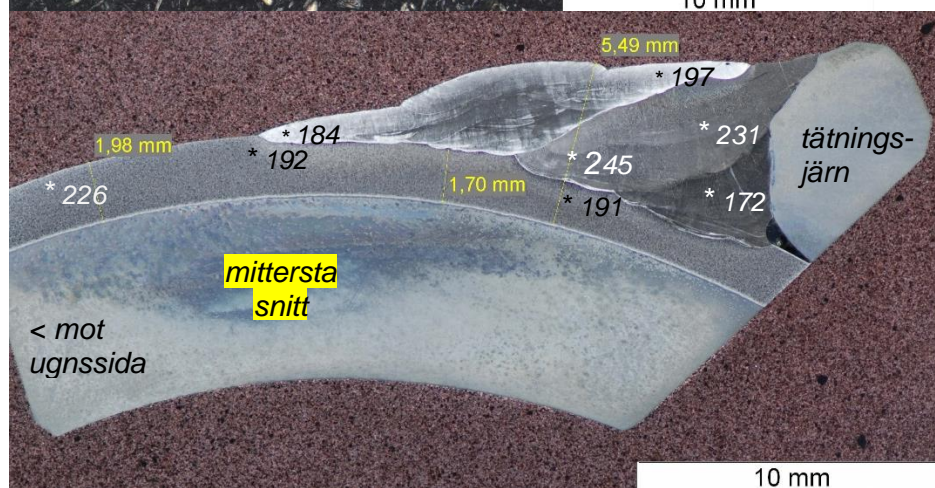


4.5 Tvärsnitt

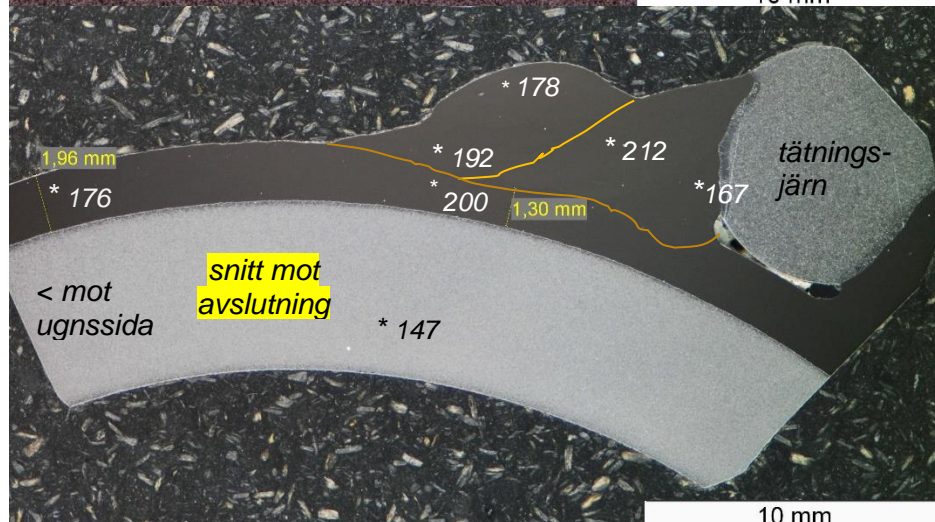
De tre snitten polerades och etsades (Nital, 2%), det mittersta snittet etsades sedan elektrolytiskt(oxalsyra) för att se höglegerade strukturer. Hårdhetsmätning med Vickers*



Lagningens svetsgods sträcker sig lokalt ända ner mot kolstålet (orange linje). Däremot ingen inträngning i kolstål. En liten värme-påverkad zon syns i kolstålet. Det noteras f.ö att lagningen inte nått en helt jämn övergång mot tätningjärnet. Närmast tätningjärnet finns rester av den förmodade originalfogen mellan järnet och tuben.

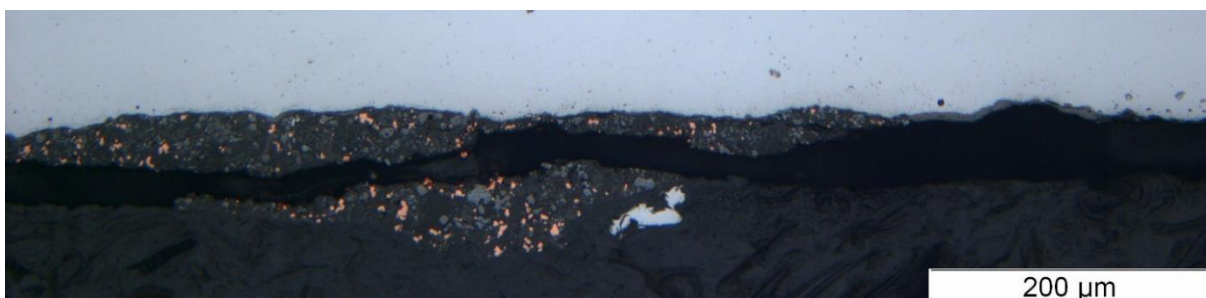
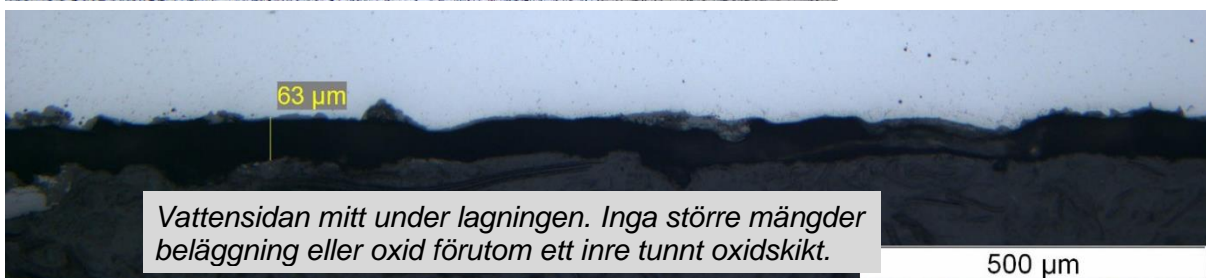
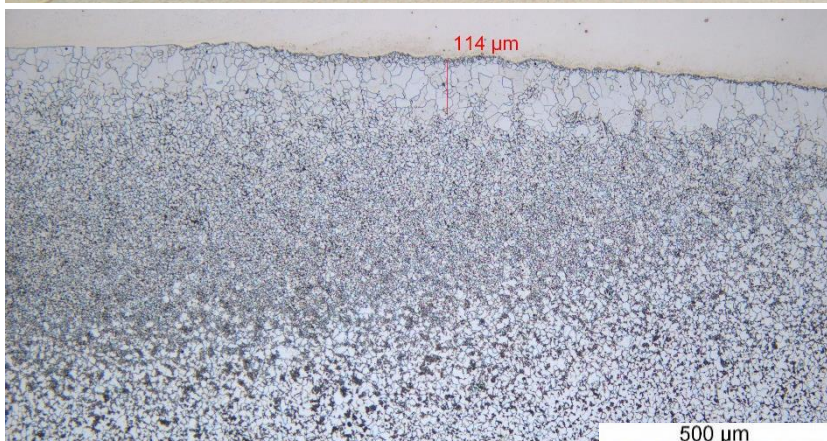


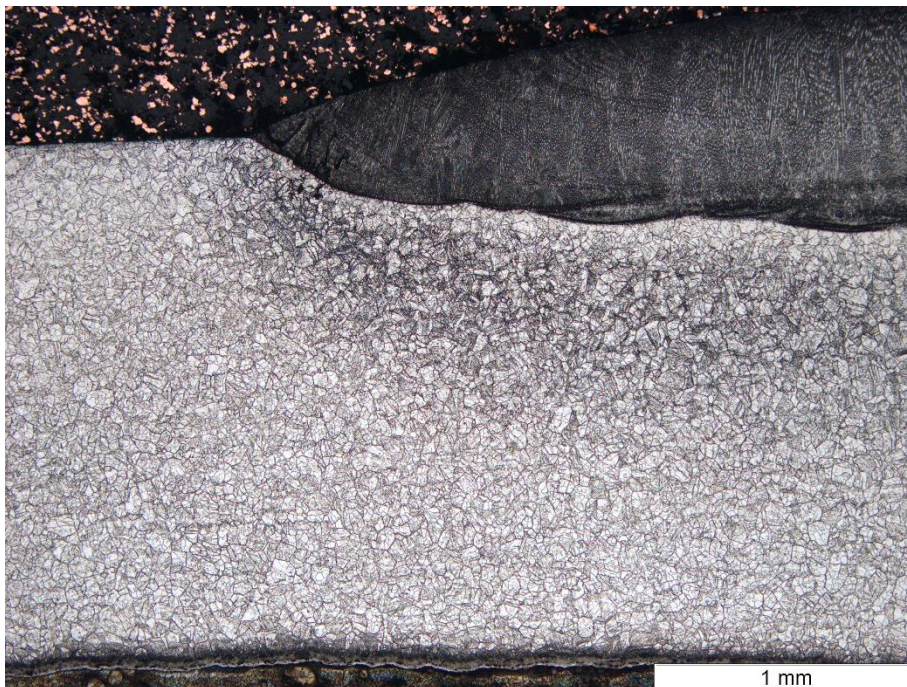
Efter elektrolytisk etsning av mitt-snittet urskiljs flera zoner av svetsgods. Den aktuella lagningen är den zon som ligger överst, medan de två zonerna under och närmast tätjärnet som båda sannolikt tillhör originalfogen. Noteras att lagningens svetsgods inte når långt ner i tubens höglegerade skikt. Kolstålet har ingen synlig HAZ (utvärderat före elektrolytisk etsning). Hårdhetsvärden utan anmärkning.



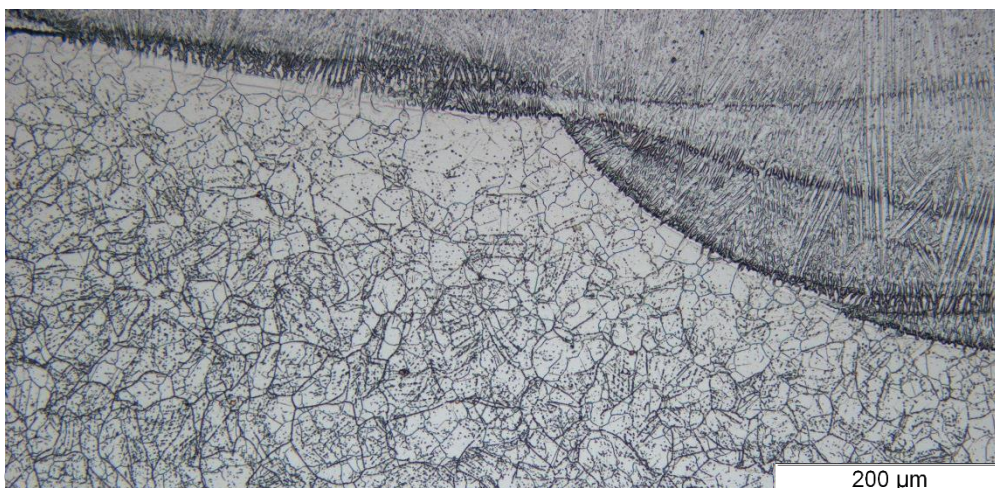
Avslutande delen är lagningens svetsgods mer avsmalnat samt med viss råge.

4.6 Mikroskopi

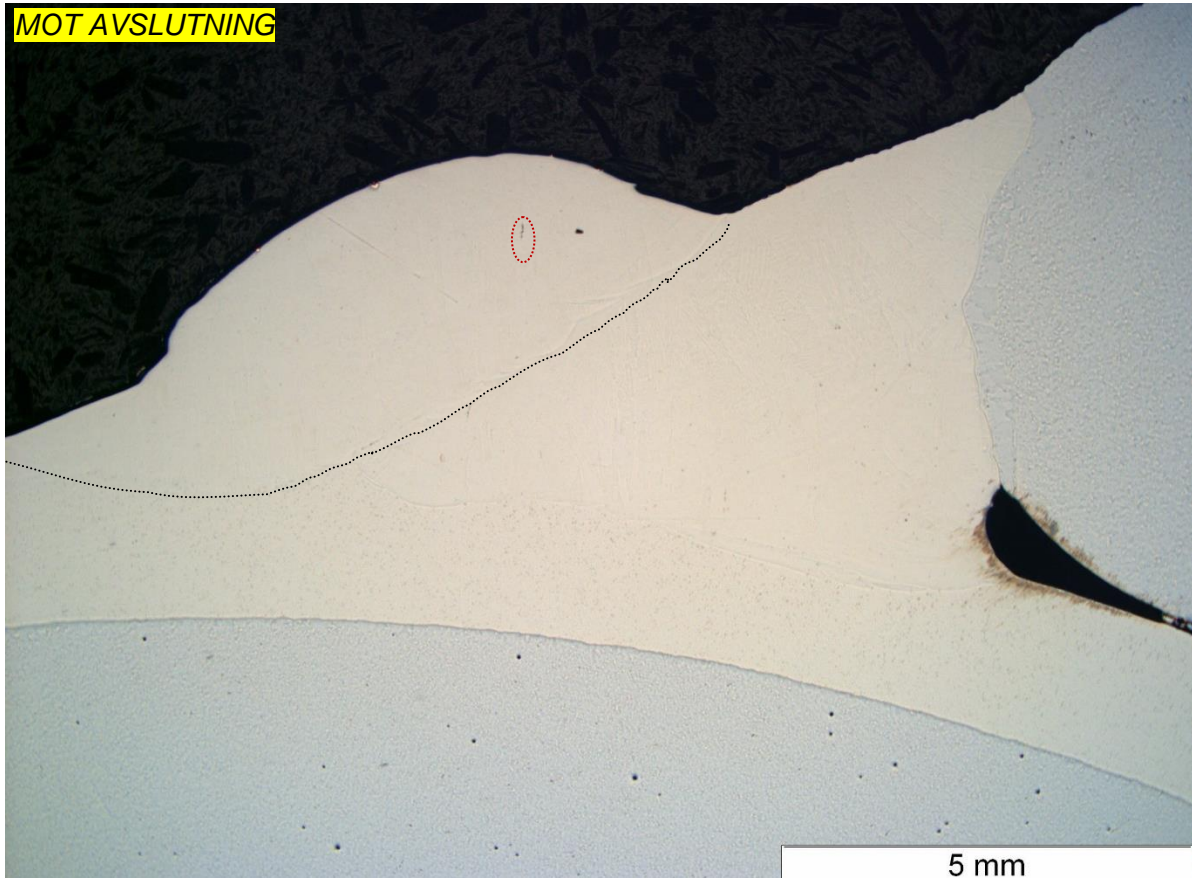




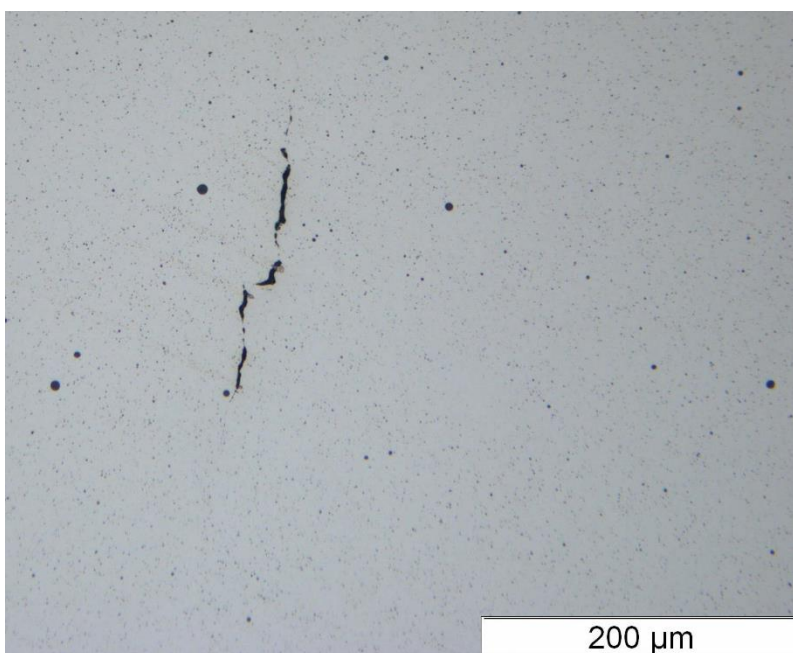
Efter elektrolytisk etsning. Svetsgodset och tubens höglegerade skikt.



Närmre bild av gränsoområdet mellan svetsgods och tubens höglegerade skikt. Värmepåverkan antyds i tubens kornstruktur.



Före etsning. En mindre förmodad stelningsspricka återfanns i lagningens svetsgods (inringat). Streckade linjen är inritad för för påsvetsgodsets förmodade gräns mot ursprungligt material.



Sprickan i högre förstoring (utan etsning). Karaktär av typisk stelningsspricka.