

REPARATION AV SKYDDANDE YTSKIKT

RAPPORT 2015:195



Reparation av skyddande ytskikt som har skadats under drift

Repairing of protecting surface deposits damaged
during operation

JAN WÅLE

ISBN 978-91-7673-195-6 | © 2015 ENERGIFORSK

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Denna rapport är slutrapportering av projekt M 38723 Reparation av skyddande ytbeläggningar som skadats under drift (Energimyndighetens projektnummer P 38723) som faller under teknikområde material- och kemiteknik inom SEBRA, samverkansprogrammet för bränslebaserad el- och värmeproduktion.

Projektet har följts av en referensgrupp bestående av Rikard Norling ,Swerea KIMAB och Matti Huhtakangas , MH Engineering

SEBRA, samverkansprogrammet för bränslebaserad el- och värmeproduktion, är efterföljaren till Värmeforsks Basprogram och startade som ett samarbetsprogram mellan Värmeforsk och Energimyndigheten 2013. All forskningsverksamhet som bedrevs inom Värmeforsk ingår sedan den 1 januari 2015 i Energiforsk. Därför ges denna rapport ut som en Energiforskrapport.

Programmets övergripande mål är att bidra till långsiktig utveckling av effektiva miljövänliga energisystemlösningar. Syftet är att medverka till framtagning av flexibla bränslebaserade anläggningar som kan anpassas till framtida behov och krav. Programmet är indelat i fyra teknikområden: anläggnings- och förbränningsteknik, processtyrning, material- och kemiteknik samt systemteknik.

Stockholm januari 2016

Helena Sellerholm

Områdesansvarig

Bränslebaserad el- och värmeproduktion, Energiforsk AB

Sammanfattning

För att skydda panntuber mot utvändiga angrepp används skyddande ytskikt. Syftet med detta projekt är att klarlägga hur reparationer av ytskikt görs och hur de påverkar egenskaperna hos de reparerade tuberna. Målet med projektet är att ta fram tydliga riktlinjer som ska finnas till hands när skador upptäcks för att undvika förhastade beslut som leder till olämpliga åtgärder. Huvudsyftet är att förbättra tillgänglighet av anläggningen och öka personsäkerhet i de fall tubläckage kan leda till allvarliga konsekvenser.

Reparerade tubprover, som tagits ut i samband med besiktningar, har använts för undersökning i detta projekt. Totalt har 13 tubprover undersökts. Alla är tagna från sodapannor. Trots det kan de principer som beskrivs användas för andra typer av pannor. Varje tubprov har granskats visuellt och därefter undersökts i mikroskop via preparerade tvärsnitt.

Med utgångspunkt från resultaten har ett antal kritiska områden identifierats. Följande rekommendationer ges för respektive område:

- En gräns för största tillåten utbredningen av en svetsreparation bör finnas. Det innebär att svetsreparation av skador som har en utbredning som är större än acceptansgränsen kan ifrågasättas. Om sådana, trots allt, skall genomföras måste svetsningen styras upp med mål att minimera reparationens djup och tillförd värme.
- Efterbearbetning av svetsreparationer är motiverade när skademekanismen gynnas av lokala spänningskoncentrationer. Av de skademekanismer som identifierats i komponenttuber är spänningskorrosion den som mest motiverar efterbearbetning. Vid godsfortunning av ytterkomponenten genom korrosion eller sprickbildning genom termisk utmattning kan efterbearbetning inte motiveras med samma resonemang.
- Underlaget i denna undersökning är begränsat eftersom endast ett prov innehåller flera reparationer i samma område. Detta prov visar dock kraftig påverkan på innerkomponentens egenskaper. Ett konservativt förhållningssätt är att betrakta en svetsreparation som en temporär åtgärd. Ett byte av den skadade delen av tuben vid nästa planerade underhållsstopp kan starkt rekommenderas.
- Denna undersökning visar klart att djupa svetsreparationer eller reparationer med stor värmetillförsel påverkar magnetitskiktet på vattensidan. Det kan därför rekommenderas att minimera djupet på svetsreparationen och värmetillförseln för att minimera sådana effekter.
- Denna undersökning visar ett tydligt samband mellan djupet hos svetsreparationen och inverkan på innerkomponentens egenskaper. Därför finns det anledning att begränsa både djupet på svetsreparationen och den tillförda värmen för att minimera värmepåverkan på innerkomponenten.

Summary

Various types of protecting surface deposits are used to prevent carbon steel boiler tubes from attack by corrosive high temperature environment. This project is aiming to find out how such surface deposits are repaired today and how current repair methods affect the strength properties of the boiler tubes. The overall object is to present practical recommendations to be used when repairs must be carried out on site under harsh conditions and during tight time schedules. The recommendations should promote increased availability and safety in cases when boiler tube leakage may lead to hazardous situations.

Boiler tube samples containing repaired regions were cut out from boilers during shut down inspections. Totally thirteen such samples were examined in this project. All of them were taken from black liquor recovery boilers in Swedish pulp mills. The principles described may be applied to other types of boilers. Every tube sample were visually examined as well as metallographically examined in a light optical microscope by several cross-section of each repaired region.

During the evaluation of results a number of critical areas were identified. Recommendations for each area are given below:

- An upper limit for the surface extension of the weld repaired region is highly motivated; indicating that repaired regions beyond that limit should be avoided. If large repaired regions, anyhow, is necessary, special care must be taken regarding the weld procedure and weld performance.
- Grinding of the weld repaired region is motivated if the expected damage mechanism is promoted by local high stress, for example stress corrosion cracking. If wall thinning is the reason for weld repair, grinding is less important.
- Several repeated weld repairs in the same region is expected to significantly affect the properties of the internal component, and should thus be avoided. This is supported by one single sample examined during this project. A conservative recommendation is to consider every weld repair as a temporary measure, which should be replaced by a permanent one as soon as possible.
- Weld repairs with deep penetration or large heat input will harmfully affect the protecting oxide layer on the tube internal water side. This is the reason why weld penetration and heat input should be restricted during weld repair.
- Another reason to restrict the weld penetration and heat input is to limit the harmful effect on the properties of the internal component, which is readily displayed by the tube samples examined in this project.

Executive summary

Various types of protecting surface deposits are used to prevent carbon steel boiler tubes from attack by corrosive high temperature environment. This project is aiming to find out how such surface deposits are repaired today and how current repair methods affect the strength properties of the boiler tubes. The overall object is to present practical recommendations to be used when repairs must be carried out on site under harsh conditions and during tight time schedules. The recommendations should promote increased availability and safety in cases when boiler tube leakage may lead to hazardous situations.

Boiler tube samples containing repaired regions were cut out from boilers during shut down inspections. Totally thirteen such samples were examined in this project. All of them were taken from black liquor recovery boilers in Swedish pulp mills. Every tube sample were visually examined as well as metallographically examined in a light optical microscope by several cross-section of each repaired region.

The results from the visual examination are summarized below.

Summary of results of the visual examination

Recorded information	Results, numbers of examined samples
The position of the tube sample in the boiler	5 - primary air ports 4 - secondary air ports 2 - furnace bottom 1 - protection roof level
Straight or bent tubes	9 - bent tubes 3 - straight tubes
Nominal tube dimensions	Majority of tube samples - 63,5 x 7 mm
Steel grade of internal and external component	13 - 304L/P265GH
Surface are of repaired region	Min 50 x 70 mm (length x width) Max 200 x 60 mm
Height of repaired region above tube surface	2,8 - 3,2 mm
Grinding of repaired region	None of the examined samples are ground
Number of repairs in the region	10 - repaired once 1 - repaired more than three times 2 - lack of information
Cause of damage: thinning or cracking	2 - cracking 10 - thinning
Wate-side surface appearance	8 - gray surface, no signs of corrosion 3 - local corrosion attack at ends of repaired region 1 - evident reddish brown regions

During examination of cross-sections the weld penetration, heat affected zone (HAZ) extension and hardness were measured. An evident relation between depth of penetration and increasing hardness was found. The results are summarized below:

Summary of measurements on cross-sections

Sample no.	Weld penetration of internal component [mm]	Depth of HAZ in internal component [mm]	Depth of HAZ in internal component [%] of thickness	Max hardness of HAZ [HV0,3]	Average hardness of parent metal [HV0,3]
1	0	2,1	38	180	160
2	0	1	17	175	190
3	0,1	3	60	170	180
4	0,4	3,1	62	200	150
5	0,3	4,5	91	280	160
6	0,6	4,5	100	260	170
7	0,5	5	100	260	170
8	3,8	5	100	225	150
9	0,2	4	80	220	150
10	1,1	4,3	100	315	160
11	0	3	60	195	180
12	0	2,7	55	195	185
13	0	0,7	14	200	185

During the evaluation of results a number of critical areas were identified. Recommendations for each area are given below:

- An upper limit for the surface extension of the weld repaired region is highly motivated; indicating that repaired regions beyond that limit should be avoided. If large repaired regions, anyhow, is necessary, special care must be taken regarding the weld procedure and weld performance.
- Grinding of the weld repaired region is motivated if the expected damage mechanism is promoted by local high stress, for example stress corrosion cracking. If wall thinning is the reason for weld repair, grinding is less important.
- Several repeated weld repairs in the same region is expected to significantly affect the properties of the internal component, and should thus be avoided. This is supported by one single sample examined during this project. A conservative recommendation is to consider every weld repair as a temporary measure, which should be replaced by a permanent one as soon as possible.
- Weld repairs with deep penetration or large heat input will harmfully affect the protecting oxide layer on the tube internal water side. This is the reason why weld penetration and heat input should be restricted during weld repair.

- Another reason to restrict the weld penetration and heat input is to limit the harmful effect on the properties of the internal component, which is readily displayed by the tube samples examined in this project.

Innehåll

1	Inledning	11
2	Litteratur	13
2.1	Sodahuskommittén	13
2.2	BLRBAC	13
2.2.1	Allmän rekommendation	13
2.2.2	Svetsreparationer av panntuber med sprickor	14
2.2.3	Svetsreparation av förtunnad tryckbärande innerkomponent	14
2.2.4	Svetsreparation av påsvetsad rostfri ytterkomponent	15
2.2.5	Svetsreparation av homogen rostfri ytterkomponent, compoundtub	15
2.3	Babcock & Willcox	15
2.3.1	Historik	15
2.3.2	Svetsreparation	16
3	Resultat	17
3.1	Visuell undersökning, resultat	17
3.2	Visuell undersökning, kommentarer	18
3.2.1	Provets position i pannan	18
3.2.2	Storlek på svetsreparerat område	19
3.2.3	Anledning till svetsreparation	19
3.2.4	Insidans utseende	19
3.3	Undersökning av tvärsnitt, metodik	19
3.4	Undersökning av tvärsnitt, resultat	20
3.4.1	Enbart polerat skick	20
3.4.2	Etsat kolstål	20
3.4.3	Etsat svetsgods	21
4	Resultatanalys	22
4.1	Storleken på svetsreparerat område	22
4.2	Efterbearbetning av svetsreparationer	22
4.3	Antal svetsreparationer i samma område	23
4.4	Insidans utseende och färg	23
4.5	Egenskaper hos innerkomponenten	23
5	Rekommendationer	25
5.1	Storleken på svetsreparerat område	25
5.2	Efterbearbetning av svetsreparationer	25
5.3	Antal svetsreparationer i samma område	25
5.4	Insidans utseende och färg	25
5.5	Egenskaper hos innerkomponenten	25
6	Förslag till fortsatt arbete	27
7	Användning av resultaten	28

8	Referenser	29
9	Bilagor, fallstudier	30
9.1	Fall 1	31
9.2	Fall 2	34
9.3	Fall 3	37
9.4	Fall 4	41
9.5	Fall 5	44
9.6	Fall 6	47
9.7	Fall 7	51
9.8	Fall 8	55
9.9	Fall 9	59
9.10	Fall 10	62
9.11	Fall 11	65
9.12	Fall 12	69
9.13	Fall 13	73

1 Inledning

För att skydda panntuber mot utvändiga angrepp används ibland skyddande ytskikt. Dessa kan bestå av homogent material, svetsgods eller termiskt sprutade skikt samt olika typer av murning. Syftet med detta projekt är att klarlägga hur reparationer av ytskikt görs och hur de påverkar egenskaperna hos de reparerade tuberna. Projektet kommer att avgränsas till följande två typer av skyddande ytskikt:

Homogent material. Kompoundtuber består av två rör som valsats ihop. Vanligen ett rostfritt rör på utsidan och kolstål eller låglegerat stål på insidan. Det inre röret förväntas bära det inre trycket och betraktas därmed som den tryckbärande komponenten.

Svetsgods. På senare tid har det blivit vanligt att, vid tillverkning av paneler till pannväggar, svetsa på ett ytskikt med höglegerat material på tuber av t ex kolstål. Svetspläteringen görs på verkstad med svetsautomat under kontrollerade former. Fördelar med svetsplätering jämfört med komponenttuber är att enbart den sida som är utsatt för korrosiv miljö pläteras.

Vid inspektion av pannor påträffas ofta skador på skyddande skikt. Skadorna kan dels bestå av jämn godsavverkning, dels i form av sprickbildning. I båda fallen måste man ta ställning till om åtgärder måste vidtas och i så fall vilka åtgärder. I utsatta lägen inträffar ofta skador flera gånger på samma ställe. Då är det nödvändigt att ta ställning till hur många gånger man kan svetsreparera utan att materialet nära reparationen påverkas i sådan omfattning att det inte längre uppfyller de krav som ställdes i leveranstillstånd. Inspecta besiktare ett stort antal pannor med tuber av denna typ och ställs därför ofta inför de frågeställningar som behandlas i detta projekt.

Idag saknas tydliga riktlinjer för val av åtgärd och hur många gånger en åtgärd kan sättas in i samma område. Skador i ytskikt upptäcks ofta i samband med besiktning av pannor, vilket innebär att beslut måste fattas under stor tidspress. Tydliga riktlinjer och kriterier för åtgärder av de vanligaste typerna av skador förhindrar att förhastade beslut tas som kan leda till ökad risk för nya skador och oplanerade läckage.

Följande frågeställningar behöver hanteras i när skador på ytskikt påträffas:

1. Kan skadorna lämnas utan åtgärd? Detta alternativ kräver en bedömning av djup, utbredning och omfattning. Dessutom behöver man känna till hastigheten för materialavverkning. Kommer kvarvarande ytskikt att erbjuda tillräckligt skydd under nästkommande driftsäsong?
2. Kan skadorna slipas bort utan påföljande svetsreparation? Detta alternativ kräver en bedömning om djup hos skadan och tjocklek hos det återstående skiktet.

3. Kan skadorna slipas bort och därefter svetsrepareras? Detta alternativ ställer krav på svetsutförandet, där målet är att återställa skiktets skyddande effekt och försäkra sig om att svetsningen inte skadar det underliggande materialet.
4. Kan skador som utvecklas i samma områden som tidigare skadats slipas bort och svetsrepareras? I så fall hur många gånger kan detta göras i samma område? Om skadorna återkommer nära en tidigare reparation behöver man ta ställning till om en svetsreparation kan upprepas på samma ställe och hur många gånger det kan göras utan att materialet under tar skada.
5. Kan svetsreparation ersättas med termisk sprutning? För och nackdelar med termisk sprutning som alternativ till svetsreparation behöver utredas. Exempelvis ger termisk sprutning inte upphov till lika omfattande värme-påverkan i det underliggande materialet.
6. Under vilka förhållanden kan reparationer inte accepteras? När man passerat en gräns måste skadade tuber byta ut. Detta alternativ är den säkraste och sista utvägen. Samtidigt behöver acceptansgränser fastställas baserat på skadornas djup, utbredning och inverkan på underliggande material.

Målet med projektet är att ta fram tydliga riktlinjer för hantering av frågorna 3, 4 och 6. Riktlinjerna ska finnas till hands när skador upptäcks för att undvika förhastade beslut som leder till olämpliga åtgärder. Huvudsyftet är att förbättra tillgänglighet av anläggningen och öka personsäkerhet i de fall tubläckage kan leda till allvarliga konsekvenser.

2 Litteratur

Vid en sökning i öppen litteratur hittades tre dokument som anger rekommendationer för reparation av rostfria ytterkomponenter i compoundtuber.

2.1 SODAHUSKOMMITTÉN

I slutet av år 2014 presenterades rekommendation för svetsreparationer i compoundtuber i sodapannor av en grupp inom Sodahuskommittén /1/. Arbetet begränsades till sodapannor med ett maximalt tryck av 115 bar och till compoundtuber av standardtyp, d.v.s. 3L12/4L7 (304L/P265GH). Rekommendationerna omfattar både åtgärder av skador i form av sprickbildning och förtunning av den rostfria ytterkomponenten. De viktigaste rekommendationerna kan sammanfattas enligt följande:

- Svetsreparationer i samma område får inte göras fler än tre gånger.
- Svetsreparationer får inte göras av ytor som är större än 75 x 50 mm, längd x bredd.
- Svetsreparation får inte göras om sprickor i den rostfria ytterkomponenten vuxit ner i innerkomponenten.
- Svetsreparation i områden där den rostfria ytterkomponenten förtunnats så mycket att innerkomponenten blottlagts, får endast göras om man före reparationen kan visa att minsta acceptabla godstjocklek i innerkomponenten, s.k. s_{min} , innehålls.

2.2 BLRBAC

The Black Liquor Recovery Boiler Advisory Committee, BLRBAC, är en grupp som tar fram säkerhetsrutiner och rekommendationer för industrin i Nordamerika. Gruppen består av representanter från försäkringsbolag, pann-tillverkare och industriföretag. Gruppen har tagit fram ett dokument liknande /1/, som anger rekommendationer för svetsreparation av tryckbärande delar i en sodapanna /2/. Dokumentet innehåller både allmänna rekommendationer för reparationer och specifika rekommendationer för reparation av rostfri ytterkomponent av påsvetsat eller homogent material och tryckbärande innerkomponent. Man skiljer dessutom på reparation som föranleds av sprickor eller godsfortunning.

2.2.1 Allmän rekommendation

När en skada detekteras rekommenderas följande sekvens för bedömning:

- Behöver en reparation genomföras? Bör en skadeutredning genomföras? Om en reparation är nödvändig, vilka blir konsekvenserna för fortsatt drift och säkerhet?
- Bestäm omfattning och typ av reparation.
- Upprätta en plan för reparationen.
- Kontrollera nödvändiga kvalificeringar. Finns godkänd svetsprocedur och certifierade svetsare? Finns certifierad provningspersonal för nödvändig OFP? Finns procedur för värmebehandling?
- Genomför reparationen.
- Genomför nödvändig provning för verifiering av acceptans.
- Dokumentera reparationens läge och utbredning för framtida besiktning och provning.

2.2.2 Svetsreparationer av panntuber med sprickor

Rekommendationerna är anpassade för sprickbildning genom töjningsinducerad korrosion, SICC, men kan användas generellt:

- Hela sprickan avlägsnas genom slipning samtidigt som slipningen skall minimeras.
- Resultatet verifieras med lämplig ytprovning, OFP.
- Svetsreparation genomförs enligt kvalificerad svetsprocedur.
- Vid genomgående sprickor, beaktas eventuell förekomst av föroreningar från beläggningar på vattensidan vid val av svetsprocedur.
- Genomgående sprickor genom SICC skall inte repareras enligt ovan. De skall repareras enligt procedur framtagen för denna typ av sprickmekanism.

2.2.3 Svetsreparation av förtunnad tryckbärande innerkomponent

Reparation får endast göras om kvarvarande godstjocklek är tillräcklig för att förhindra brott. Följande tre alternativ ges:

- Avstå från reparation om förtunningen är så liten att den kan lämnas till nästa revision. Detta bedöms baserat på tidigare provning och trender för korrosionshastighet.
- Gör lokal svetsreparation med godkända svetsprocedurer.
- Byt ut förtunnad del av tuben.

2.2.4 Svetsreparation av påsvetsad rostfri ytterkomponent

Följande förfarande rekommenderas:

- Genomför lokal svetsreparation enligt godkänd svetsprocedur.
- Minimera uppsmältning av tryckbärande innerkomponent.
- Återstående godstjocklek av tryckbärande innerkomponent skall minst motsvara minsta acceptabla tjocklek, s_{min} . Om minsta acceptabla tjocklek underskrids skall svetsning först göras med ett tillsatsmaterial anpassat för materialet i innerkomponenten. Därefter fylls upp med tillsatsmaterial motsvarande materialet i den rostfria ytterkomponenten.
- Alternativt kan termisk sprutning med ett material motsvarande den rostfria ytterkomponenten ersätta svetsreparation.

2.2.5 Svetsreparation av homogen rostfri ytterkomponent, compoundtub

Följande förfarande rekommenderas:

- Återstående tjocklek av tryckbärande innerkomponent skall minst motsvara minsta acceptabla godstjocklek, s_{min} . Om minsta acceptabla tjocklek underskrids skall svetsning först göras med ett tillsatsmaterial motsvarande materialet i innerkomponenten.
- Därefter genomförs lokal svetsreparation av rostfri ytterkomponent enligt godkänd svetsprocedur.
- Alternativt kan termisk sprutning med ett material motsvarande den rostfria ytterkomponenten ersätta svetsreparation.

Dokumentet /2/ innehåller även rekommendationer för termisk sprutning av skikt med syfte att bromsa mekanismer som leder till godsförtunning. Både alternativa processer och material föreslås. Dessa får dock endast användas i de fall återstående godstjocklek är större än minsta acceptabla godstjocklek.

2.3 BABCOCK & WILLCOX

I ett dokument från pannstillverkaren Babcock & Willcox från 1999 sammanfattas utvecklingen av skador hos sodapannor i Nordamerika under 80- och 90-talet /3/. Därefter ges rekommendationer för reparation av skador i tryckbärande delar av pannan.

2.3.1 Historik

Kompoundtuber av standardutförande, 3L12/4L7 (304L/P265GH), har varit i bruk sedan början av 1980. I installationer från tidigt 80-tal började sprickor i löphål utvecklas redan efter ett par års drift. Sprickor i vägguber under löphål och i nedre delen av luftportar blev vanliga efter ca 8 års drift. Efter drygt 10 år detekterades de första sprickorna i bottentuber och i nedre delen av vägguber.

Från 1980 till sent 90-tal har miljön i eldstaden successivt blivit mer korrosiv, p.g.a. ökad torrhalt och ökad slutningsgrad, vilket medfört ökad halt av klorider och kalium. Därför har under 90-talet högre legerade material i ytterkomponenten blivit vanliga. Sprickor i Sanicro 38 (Alloy 825) har främst detekterats i löphål och luftportar. Sprickorna stannar vid gränsen mot kolstålet eller böjer av 90 grader vid gränsskiktet. Erfarenheter från användning av nickelbaslegeringen Alloy 625 i ytterkomponenten hos compoundtuber i löphål är goda baserad på fem års drift 1994-99.

2.3.2 Svetsreparation

I /3/ ges endast rekommendationer för svetsreparationer av sprickor i compoundtuber, inte godsförtunning. Man delar in sprickorna i sådana som är förgrenade i ytled, sådana som är orienterade i omkretsled och sprickor i membran (fenor).

Om sprickutseendet är förgrenat på ytan växer sprickorna vanligtvis inte ner i kolstålet utan böjer av vid gränsskiktet mellan ytter- och innerkomponent. Om kolstålet blottas vid bortslipning av sprickorna måste en svetsreparation genomföras med tillsatsmaterial typ 309 eller nickelbas. Svetsreparationen skall tangera den ursprungliga ytan men får inte bli högre. Om kolstålet inte blottas behöver en svetsreparation inte genomföras.

Sprickor orienterade i omkretsled växer ofta ner i kolstålet. I sådana fall måste tuben bytas ut. Om man kan visa att den inte växer ner i kolstålet får reparation genomföras.

Tvärsprickor i fenor som växer in i svets mot tub slipas bort. Om kolstål i compoundfenor blottläggs skall dessa svetsrepareras. Axiella sprickor som följer svetstån mot tuben i kälsvetsen mellan fena och tub kommer sannolikt att växa in i tuben. I sådana fall skall skadad del av tuben bytas ut. Flera läckage har orsakats av sådana sprickor. Om man kan visa att sådana sprickor inte växer in i kolstålet i tuben skall de slipas bort.

3 Resultat

Reparerade tubprover som tagits ut i samband med besiktningar har använts för undersökning i detta projekt. Totalt har 13 tubprover undersökts. Alla proverna är tagna från sodapannor. Varje tubprov har granskats visuellt och därefter undersökts i mikroskop via preparerade tvärsnitt. Resultaten redovisas i detalj för varje tubprov i avsnitt 9. I det här avsnittet görs en sammanställning av resultaten.

Av de 13 tubprover som undersökts är samtliga komponenttuber tillverkade av en innerkomponent i material motsvarande P265GH och en ytterkomponent av austenitiskt rostfritt stål, motsvarande 1.4307 (304L). Alla proverna har en nominell diameter av 63,5 eller 76,2 mm, vilket innebär tjocklekar på inner- och ytterkomponenten enligt Tabell 1 /4/. Av tabellen framgår att tjockleken på både inner- och ytterkomponenten är ungefär densamma för båda dimensionerna.

Tabell 1. Typiska mått för komponenttuber

Table 1. Typical dimensions of composite tubes

Ytterdiameter [mm]	Tjocklek Total [mm]	Tjocklek Innerkomponent [mm]	Tjocklek Ytterkomponent [mm]
63,5	6,6	4,9	1,7
76,2	6,6	5,0	1,7

3.1 VISUELL UNDERSÖKNING, RESULTAT

För varje tubprov har en visuell undersökning och uppmätning av prov och svetsreparerat område gjorts. Vad som dokumenterats visas i Tabell 2, där även resultaten sammanställts.

Tabell 2. Sammanfattning av resultat från visuell undersökning

Table 2. Summary of results of the visual examination

Uppgifter som dokumenteras	Resultat
Provets position i pannan	5 st primär luftnivå 4 st sekundär luftnivå 2 st pannbotten 1 st skyddstaksnivå
Är provet taget från raka tuber eller undanböckade	9 st undanböckningar 3 st raka tuber
Nominell tubdimension	Majoriteten av tubproverna har dimension 63,5 x 7 mm
Material i inner- och ytterkomponent	13 st - 304L/P265GH
Storleken på svetsreparerat område	Min 50 x 70 mm (längd x bredd) Max 200 x 60 mm
Höjd på svetsreparerat område	2,8 - 3,2 mm
Efterbearbetning av svetsreparation	Inga av de undersökta proverna har slipade reparationer
Antal reparationer i samma område	10 st endast en gång 1 st fler än tre gånger 2 st information saknas
Anledning till svetsreparation: godsfortunning eller sprickbildning	2 st sprickor 10 st förtunning
Insidan utseende och färg	8 st jämn grå yta utan spår av korrosion 3 st lokala angrepp i ändarna av rep 1 st tydliga bruna stråk under rep

3.2 VISUELL UNDERSÖKNING, KOMMENTARER

I följande avsnitt kommenteras några av resultaten redovisade i Tabell 2.

3.2.1 Provets position i pannan

Av naturliga skäl inträffar skador på compoundskiktet i positioner där tuberna utsätts för stora påkänningar. Det kan vara hög temperatur, höga flöden eller avvikande kemi. Typiska positioner där sådana förhållanden kan utvecklas är vid undanböckningar, t ex för luftportar. Av de undersökta proverna kommer 9 st från sådana positioner, vilket visar att denna position är en av de mest utsatta i dagens pannor. Två av tubproverna är tagna från ugsnbotten, vilket indikerar att skador i denna position inte är lika vanlig idag som för 15-20 år sedan.

3.2.2 Storlek på svetsreparerat område

I /1/ ges en rekommendation att svetsreparationer inte bör ha en utsträckning som är större än 75 x 50 mm (längd x bredd). Av de undersökta tubproverna har åtta svetsreparationer med en längd över 75 mm, men majoriteten ligger mellan 75 och 90 mm. Endast fyra har svetsreparationer med en längd över 120 mm.

3.2.3 Anledning till svetsreparation

Av tolv undersökta tubprover har tio reparationer gjorts p.g.a. godsfortunning av den rostfria ytterkomponenten och två p.g.a. av sprickbildning. Det visar att sprickbildning främst uppträder i bottenuber medan godsfortunning är den vanligaste typen av skada vid undanbockningar.

3.2.4 Insidans utseende

Av tretton undersökta prover finns kraftig inverkan på provets vattensida i endast ett fall och måttlig inverkan i två prover. Hos övriga prover finns ingen effekt från svetsreparationen på tubens insida. De tre där vattensidans oxidskikt är påverkat har i samtliga fall en synlig värmepåvekad zon, HAZ, genom hela innerkomponenten, se även 3.4.1.

3.3 UNDERSÖKNING AV TVÄRSNITT, METODIK

Målet var att preparera tre tvärsnitt genom varje svetsreparation. Om området är reparerat med parallella svetssträngar orienterade axiellt i tuben placerades ett tvärsnitt orienterat tvärs tuben mitt i reparationen och de andra två symmetriskt placerade på halva avståndet från mitten ut till änden av reparationen. Om reparationen gjorts med svetssträngar orienterade tvärs tuben orienteras tvärsnitten axiellt. När tillgången på provmaterial varit begränsad har endast ett eller två tvärsnitt undersökts.

Varje tvärsnitt har undersökts i följande steg:

Enbart polerat skick

Magnetit och beläggning på vattensidan under reparationen granskades, uppmättes och dokumenterades. Målet var att bedöma svetsreparationens påverkan av magnetitskikt och passivitet på tubens vattensida.

Etsad kolstålsdel

Dimensioner på svetsreparationen mättes upp i form av återstående kolstål under reparationen och dess inträngningsdjup i kolstålet. Minsta och största värden mättes upp och dokumenterades för varje tvärsnitt.

Mikrostrukturen karakteriserades och dokumenterades i HAZ och det största djupet hos HAZ i förhållande till totala tjockleken hos innerkomponenten mättes upp.

Hårdhetsmätning gjordes i HAZ och i kolstålets grundmaterial, framförallt i zoner med hårdstruktur. Målet var att fånga upp zoner med högst hårdhet i HAZ, vilket normalt är den grovkorniga zonen närmast svetsreparationen. Om mikrostrukturen saknade hårdstruktur gjordes endast hårdhetsmätning på ett av de tre tvärsnitten.

Eventuellt förekommande mikrodefekter i svets, HAZ och kolstålets grundmaterial mättes upp och dokumenterades.

Etsat svetsgods

Antal svetssträngar, strängföljd och utseende dokumenterades.

Svetsgodsets mikrostruktur granskades och dokumenterades, framförallt i området nära kolstålet.

Eventuellt förekommande mikrodefekter i svetsgodset mättes upp och dokumenterades.

3.4 UNDERSÖKNING AV TVÄRSNITT, RESULTAT

3.4.1 Enbart polerat skick

Av tretton undersökta prover noterades inverkan på oxidskikten på vattensidan hos tre, varav ett prov var kraftigt påverkat. Övriga uppvisade ingen inverkan. Det finns således en tydlig koppling mellan djupet hos HAZ och inverkan på vattensidans oxidskikt, se även avsnitt 3.2.4.

Värt att notera är att, trots tydliga spår av färgförändringar i oxiden i tre av proverna där HAZ trängt igenom hela innerkomponenten, hade vattensidan ett acceptabelt magnetitskikt vid det tillfälle tubprovet tagits. Det indikerar att vattensidan passiveras under drift trots de skador som orsakas av svetsreparationen.

3.4.2 Etsat kolstål

I avsnitt 9 visas resultaten i detalj för respektive prov. I tabell 3 visas en sammanställning över de mätningar som gjorts på tvärsnitt genom svetsreparationerna. Av resultaten framgår tydligt sambandet mellan djupet hos svetsreparationen och effekten på materialegenskaperna i innerkomponenten, i det här fallet hårdheten. I fall där reparationer trängt djup ner i innerkomponenten har en hög hårdhet uppmätts i den grovkorniga delen av HAZ. De sex fall där hårdheten i HAZ är väsentligt högre än i grundmaterialet har markerats med fet stil i tabell 3. Hög hårdhet indikerar hög martensithalt, vilket har verifierats vid mikroskopundersökning, se avsnitt 9.

Tabell 3. Sammanställning av uppmätningar på tvärsnitt

Table 3. Summary of measurements on cross-sections

Prov nr	Uppsmältning av innerkomponent [mm]	Djup hos HAZ [mm]	Djup hos HAZ [%] av godstjocklek	Max hårdhet i HAZ [HV0,3]	Hårdhet i grundmaterial [HV0,3]
1	0	2,1	38	180	160
2	0	1	17	175	190
3	0,1	3	60	170	180
4	0,4	3,1	62	200	150
5	0,3	4,5	91	280	160
6	0,6	4,5	100	260	170
7	0,5	5	100	260	170
8	3,8	5	100	225	150
9	0,2	4	80	220	150
10	1,1	4,3	100	315	160
11	0	3	60	195	180
12	0	2,7	55	195	185
13	0	0,7	14	200	185

3.4.3 Etsat svetsgods

Några väsentliga defekter eller andra negativa faktorer har inte observerats i något av de undersökta proverna. Mikroporer förekommer dock i svetsreparationen hos flera av proverna. Ett undantag är prov 8 där svetsreparationen innehåller mikrosprickor.

4 Resultatanalys

4.1 STORLEKEN PÅ SVETSREPARERAT OMRÅDE

Fyra av de undersökta svetsreparationerna är längre än 120 mm. Dessa är prov nr 5, 6, 8 och 9 i tabell 3. Av dessa har alla lett till djup inträngning och höga hårdheter i HAZ. Det är inte självklart att en svetsreparation med stor utbredning nödvändigtvis behöver vara djup. Underlaget i denna undersökning antyder dock att det finns ett sådant samband. En övre gräns för storleken på svetsreparationer är därmed motiverad. En sådan gräns finns i /1/ men inte i /2/ eller /3/.

Två exempel på korta reparationer som även de lett till djup inträngning och hög hårdhet i HAZ är prov nr 7 och 10. Det visar att det är nödvändigt att reglera även andra parametrar än svetsreparationens utbredning för att minimera inverkan på egenskaperna i den tryckbärande innerkomponenten. En sådan parameter är mängden tillförd värme vid svetsningen. Svetsreparationen i prov nr 7 och 10 har sannolikt genomförts med högre värmetillförsel än exempelvis de i tubprover nr 5, 6, 8 och 9.

För att en grovkornig HAZ skall utvecklas i innerkomponenten krävs att svetsreparationen minst tangerar gränsen mellan ytter- och innerkomponent. Om gränsen för uppsmältning ligger i ytterkomponenten kommer den grovkorniga delen av HAZ att återfinnas i ytterkomponenten och väsentlig påverkan på innerkomponenten kan inte förväntas. Exempel på sådana fall i tabell 3 är prov nr 1, 2, 11, 12 och 13. Där är hårdheten i HAZ närmast gränsen mot ytterkomponenten inte nämnvärt högre än i grundmaterialet.

4.2 EFTERBEARBETNING AV SVETSREPARATIONER

Av de tubprover som undersökts är det bara nr 13 som har en slipad svetsreparation. Detta prov är ett procedurprov som aldrig varit i drift. Det finns anledning att misstänka att ett sådant prov inte är helt representativt för svetsning som görs i panna under ett underhållsstopp. Övriga svetsreparationer har inte slipats, vilket visar att det vanligtvis inte sker någon slipning av reparationer.

I de fall reparationen görs med anledning av godsfortunning p.g.a. korrosion eller erosion finns det knappast någon anledning att lägga tid på resurskrävande slipning. Däremot kan det finnas skäl att slipa svetsen om anledningen till reparationen är sprickbildning, framförallt i botten av sodapannor. Det är allmänt accepterat att sprickmekanismen i dessa fall är spänningskorrosion och då kan man förvänta sig bättre livslängd hos en svetsreparation om man minskar lokala spänningskoncentrationer genom att runda av mellan svetssträngar och runt reparationens kanter.

Denna undersökning innehåller bara två tubprover från ugnsbotten. Det skulle behövas ett större underlag för att verifiera hur vanligt det är med slipning i sådana positioner.

4.3 ANTAL SVETSREPARATIONER I SAMMA OMRÅDE

Av de undersökta tubproverna har i endast ett fall flera svetsreparationer gjorts i samma område, prov 6. I övriga har endast en reparation genomförts. I provet med flera reparationer har svetsen trängt ned djupt och orsakat hög hårdhet och höga martensithalter i HAZ. För att dra några säkra slutsatser om inverkan av flera reparationer i samma område behövs ett större underlag än vad som kunnat tas fram i denna undersökning.

4.4 INSIDANS UTSEENDE OCH FÄRG

Undersökningen visar tydligt att djupa svetsreparationer bryter ner magnetiten på vattensidan och leder till korrosion när pannan startas efter reparationen. I de tre fall som ingår i denna undersökning har dock insidan passiviserats och ny magnetit återbildats. Det förutsätter dock en bra vattenkemi. En tendens till ökad omfattning och djup hos frätgropar har dock noterats i de tre nämnda fallen. Det är ett viktigt motiv att undvika alltför djupa svetsreparationer.

4.5 EGENSKAPER HOS INNERKOMponentEN

I en compoundtub betraktas innerkomponenten som den tryckbärande delen och ytterkomponenten enbart som ett korrosionsskydd. Det innebär att en svetsreparation inte får påverka innerkomponenten i sådan grad att den inte längre uppfyller de krav på hållfasthet och seghet som regelverket anger. Förutom kravet på minsta acceptabla godstjocklek måste även hållfasthets-egenskaperna motsvara de minimikrav som anges för materialet i innerkomponenten i respektive materialstandard.

I de tubprover där hårdheten i HAZ inte är väsentligt högre än i grundmaterial som är opåverkat av svetsning kan materialets egenskaper inte förväntas vara nämnvärt påverkade. Däremot i de fall där hårdheten är minst 50 enheter högre än i grundmaterialet finns en zon i HAZ med egenskaper som avviker från grundmaterialets. Den förmildrande omständigheten är att sådana zoner är små och, i de fall som omfattas av denna undersökning, ligger inuti materialet. Det finns inte någon praktisk möjlighet att bestämma draghållfasthet eller seghet i sådana mikroområden. Ett mål att sträva efter är dock att genomföra svetsreparationer på ett sådant sätt att områden med hög hårdhet i innerkomponenten undviks.

I de fall där skadorna är så djupa att det blir nödvändigt att smälta upp väsentliga delar av material i innerkomponenten behöver rekommendationerna i [1], avsnitt 2.1 och [2], avsnitt 2.2.5 beaktas. Dels bör återstående tjocklek i innerkomponenten bestämmas och jämföras med minsta acceptabla,

dels bör svetsning först göras med ett tillsatsmaterial avpassat för innerkomponenten. Därefter svetsas med överlegerat tillsatsmaterial. I prov nr 8 i Tabell 3 har nästan 80 % av innerkomponenten smälts upp vid svetsreparationen som i sin helhet gjorts med överlegerat tillsatsmaterial. I detta fall kan man förväntas att egenskaperna i det reparerade området avviker väsentligt från de i originalmaterialet.

5 Rekommendationer

I detta avsnitt ges rekommendationer baserade på resultaten i avsnitt 3 och 4.

5.1 STORLEKEN PÅ SVETSREPARERAT OMRÅDE

En gräns för största tillåten utbredningen av en svetsreparation bör finnas. Den bör vara av samma storleksordning som anges i /1/. Det innebär att svetsreparation av skador som har en utbredning som är större än acceptansgränsen kan ifrågasättas. Om sådana trots allt skall genomföras måste svetsningen styras upp med mål att minimera reparationens djup och tillförd värme. En praktisk svårighet i detta sammanhang är att reparationens utbredning kan mätas med enkla medel medan djupet inte kan fastställas utan avancerade provningsmetoder. Även tillförd värme kan vara svår att bestämma vid svetsning av ett begränsat område.

5.2 EFTERBEARBETNING AV SVETSREPARATIONER

Efterbearbetning av svetsreparationer är motiverade när skademekanismen gynnas av lokala spänningskoncentrationer. Av de skademekanismer som identifierats i compoundtuber är spänningskorrosion i bottentuber den som mest motiverar efterbearbetning. Underlaget i denna undersökning är dock för litet för att visa effekten av utebliven efterbearbetning. Vid godsfortunning av ytterkomponenten genom korrosion/erosion eller sprickbildning genom termisk utmattning kan efterbearbetning inte motiveras med samma resonemang.

5.3 ANTAL SVETSREPARATIONER I SAMMA OMRÅDE

Underlaget i denna undersökning är mycket begränsat eftersom endast ett prov innehåller flera reparationer i samma område. Detta prov visar dock kraftig påverkan på innerkomponentens egenskaper. Ett konservativt förhållningssätt är att betrakta en svetsreparation som en temporär åtgärd. Ett byte av den skadade delen av tuben vid nästa planerade underhållsstopp kan därför rekommenderas.

5.4 INSIDANS UTSEENDE OCH FÄRG

Denna undersökning visar klart att djupa svetsreparationer eller reparationer med stor värmeförsel påverkar magnetitskiktet på vattensidan. Det rekommenderas därför att minimera djupet och värmeförseln för att minimera sådana effekter.

5.5 EGENSKAPER HOS INNERKOMponentEN

Denna undersökning visar ett tydligt samband mellan djupet hos svetsreparationen och inverkan på innerkomponentens egenskaper. I likhet med

diskussionen i avsnitten ovan finns det anledning att begränsa både djupet hos reparationen och tillförd värme för att minimera värmepåverkan på innerkomponenten.

6 Förslag till fortsatt arbete

Trots att denna undersökning omfattar 13 tubprover med svetsreparationer blir underlaget begränsat eller saknas helt när man önskar utvärdera detaljer. Följande behov av kompletterande undersökningar har identifierats:

- Denna undersökning omfattar endast prover av s.k. standardcompoundtuber i material 1.4307/P265GH. En naturlig förklaring är att sådan är vanligast och har varit i drift under längst tid, framförallt i sodapannor. På sikt kan det vara av intresse att göra liknande undersökningar av compoundtuber i mer höglegerade material som idag förekommer i sodapannans mest utsatta positioner och i andra typer av pannor i kraftvärmebranschen. Exempel på höglegerade skikt är Inconel 625, hårdpåsvetsning och metallisering.
- Denna undersökning omfattar endast homogena compoundtuber, d.v.s. två rör som valsats ihop. Idag används även panntuber där ytterkomponenten svetsats på innerkomponenten. På sikt kan det vara av intresse att undersöka skador och reparationer även i sådana tuber.
- Denna undersökning omfattar endast undanböckningar från primärluftsnivån och uppåt och bottentuber. Det kan vara av intresse att även undersöka andra positioner i pannan, t ex raka vägguber och undanböckningar för löphål.
- Fler tubprover där flera svetsreparationer gjorts i samma område skulle även förbättra det statiska underlaget, vilket även gäller generellt. I detta sammanhang kan det även vara av intresse att göra provsvetsningar i laboratorium för att klarlägga inverkan från olika svetsparametrar och svetsutföranden.
- I skenet av detta projekt inses att det kan finnas anledning att i ett senare arbete försöka ta ett större och mer systematiskt grepp för att belysa problematiken i flera typer av pannor inom kraftvärmebranschen.

7 Användning av resultaten

Trots att samtliga undersökta prover i detta projekt kommer från massa-industrins sodapannor kan de principer som beskrivs för reparationer och begränsningar användas för liknande reparationer i andra typer av pannor där skador genom sprickbildning och förtunning behöver åtgärdas. För ett ännu bättre underlag behöver dock kompletterande undersökningar göras enligt förslag i föregående avsnitt.

8 Referenser

- /1/ Sodahuskommittén; Rekommendationer för svets-reparation av komponenttuber i sodapannans eldstad, Rapport 2014-3, september 2014
- /2/ The Black Liquor Recovery Boiler Advisory Committee; Materials and Welding Guidelines for Black Liquor Recovery Boilers, April 2013
- /3/ Barna, John; Rivers, Keith; Improving Recovery Boiler Furnace Reliability with Advanced Materials and Application Methods, Babcock & Willcox, BR-1668, Januari 1999
- /4/ Sandvik Materials Technology,
<http://smt.sandvik.com/en/products/tube-pipe-fittings-and-flanges/tubular-products/composite-tubes/>

9 Bilagor, fallstudier

9.1 FALL 1

Visuell granskning

Svetsreparationens position	Bottentub
Svetsreparationens storlek	90 x 45 mm
Svetssträngarna orientering	Längst tuben, 8 strängar
Svetsreparationens utseende	Ingen efterbehandling har skett
Antal reparationer	1
Anledning till reparation	Sprickor i ytterkomponent
Ovalisering av tub	Inte möjlig att utvärdera
Insidas utseende	Jämnt grå yta
Material	3R12/4L7 (304L/P265GH)



Bild 1:1. Läge för svetsreparationer.



Bild 1:2. Utseende hos insida.

Granskning av tvärsnitt

Tre tvärsnitt orienterade tvärs svetssträngarna i reparationen har undersökts.

Enbart polerat skick

Tvärsnittens skärning med vattensidan har granskats med avseende på magnetitskikt, beläggningar och korrosionsangrepp:

- Heltäckande tunn magnitit.
- Inga väsentliga beläggningar.
- Ingen väsentlig korrosion.

Etsat kolstål

Tvärsnittet har granskats med avseende på återstående tjocklek hos innerkomponenten, utbredning av den värmepåverkade zonen (HAZ) i djupled, mikrostruktur och hårdhet.

- Endast marginell inträngning lokalt av svetsreparationen i innerkomponenten, Tabell 1:1 och bild 1:3.
- Största utbredning av HAZ i djupled är 2,1 mm, vilket innebär 38 % av innerkomponentens tjocklek, se Tabell 1:1 och Bild 1:3.
- Mikrostrukturen i den mest kritiska delen av HAZ uppvisar en finkornig struktur och innehåller ingen hårdstruktur.
- Hårdheten i HAZ har som mest uppmätts till 180 HV, vilket verifierar att det inte finns någon hårdstruktur i HAZ.

Etsat svetsgods

Tvärsnittet har granskats med avseende på stränguppbyggnad och utseende hos svetsreparationen. Återstående rostfri ytterkomponent, som inte smälts upp vid svetsningen, har också granskats.

- Normal mikrostruktur i svetsgodset. Inga väsentliga svetsdefekter.
- Svetsreparationen har endast smält upp delar av innerkomponenten, se bild 1:4.

Tabell 1:1. Svetsens inträngning, HAZ utbredning och hårdhet

Tvärsnitt nr	Svetsens inträngningsdjup [mm]	Djup hos HAZ [mm]		Djup hos HAZ/tjocklek [%]		Hårdhet i HAZ [HV0,3]	Hårdhet i grundmat. [HV0,3]
		min	max	min	max	max	
1	0	1,0	1,8	18	32	180	156
2	0	1,2	2,1	21	38	173	160
3	0	0,8	1,9	14	34	179	162

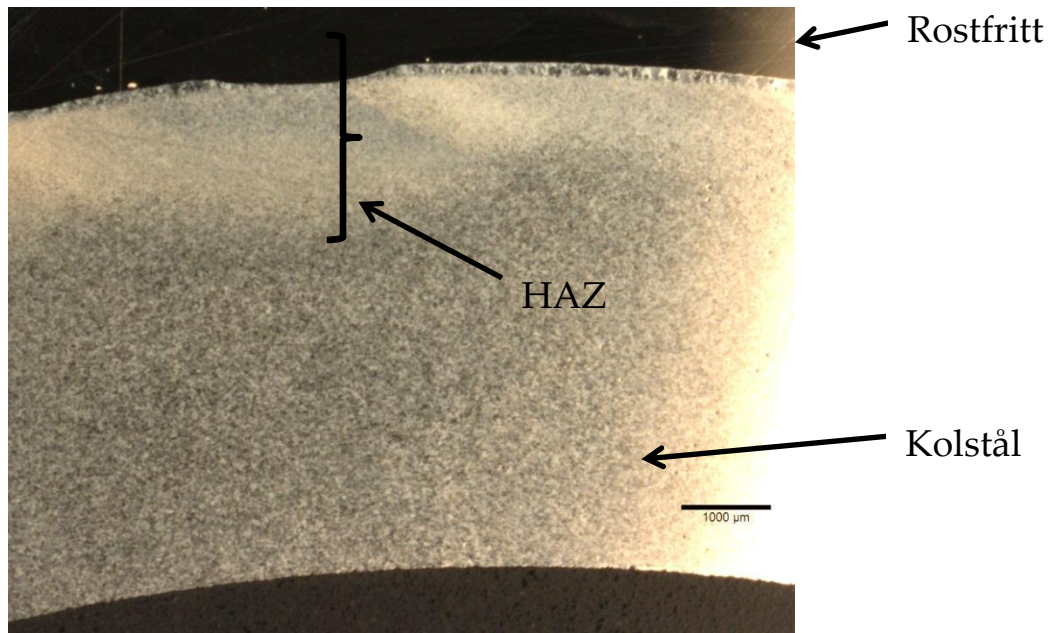


Bild 1:3. Tvärsnitt efter etsning av kolstål.

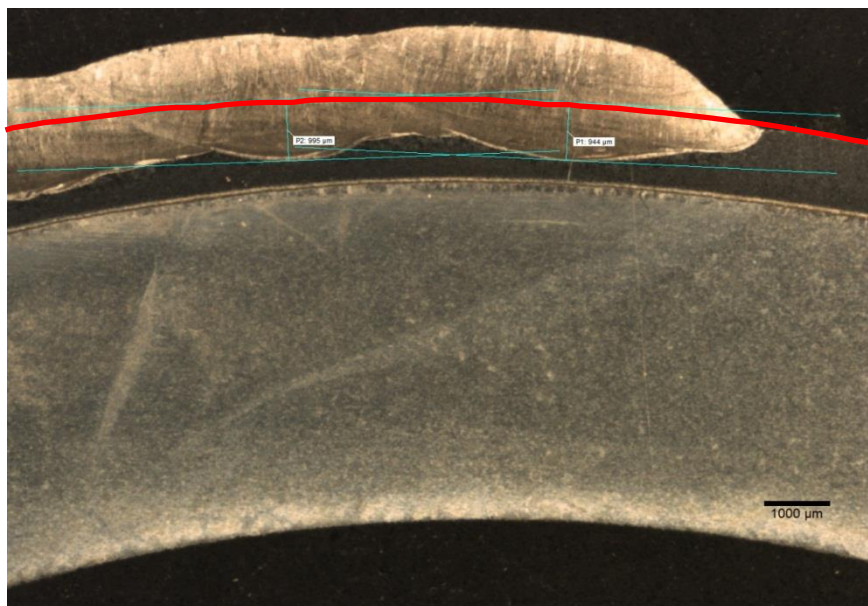


Bild 1:4. Tvärsnitt efter etsning av svetsgods.

9.2 FALL 2

Visuell granskning

Svetsreparationens position	Bottentub
Svetsreparationens storlek	80 x 43 mm
Svetssträngarna orientering	Längst tuben
Svetsreparationens utseende	Ingen efterbehandling har skett
Antal reparationer	1
Anledning till reparation	Sprickor i ytterkomponent
Ovalisering av tub	Inte möjlig att utvärdera
Insidas utseende	Mörkt grå med rödbruna områden
Material	3R12/4L7 (304L/P265GH)



Bild 2:1. Läge för svetsreparationer.



Bild 2:2. Utseende hos insida.

Granskning av tvärsnitt

Tre tvärsnitt orienterade tvärs svetssträngarna i reparationen har undersökts.

Enbart polerat skick

Tvärsnittens skärning med vattensidan har granskats med avseende på magnetitskikt, beläggningar och korrosionsangrepp:

- Ojämn vattensida med fräckvis magnitit, bild 2:10
- Korrosion tycks pågå när tubprovet togs ut.
- Vattensidans utseende är lika över hela tubprovet, vilken indikerar att korrosionsangreppen inte gynnats av svetsreparationen.

Etsat kolstål

Tvärsnittet har granskats med avseende på återstående tjocklek hos innerkomponenten, utbredning av den värmepåverkade zonen (HAZ) i djupled, mikrostruktur och hårdhet.

- Ingen inträngning av svetsreparationen i innerkomponenten, Tabell 1 och bild 2:5.
- Största utbredning av HAZ i djupled är 1 mm, vilket innebär 17,5 % av innerkomponentens tjocklek, se Tabell 1 och Bild 2:7.
- Mikrostrukturen i den mest kritiska delen av HAZ uppvisar en finkornig struktur och innehåller ingen hårdstruktur, Bild 2:6
- Hårdheten i HAZ har som mest uppmätts till 177 HV, vilket är lägre än grundmaterialet. Det verifierar att det inte finns någon hårdstruktur i HAZ.

Etsat svetsgods

Tvärsnittet har granskats med avseende på stränguppbyggnad och utseende hos svetsreparationen. Återstående rostfri ytterkomponent, som inte smälts upp vid svetsningen, har också granskats.

- Normal mikrostruktur i svetsgods. Inga väsentliga svetsdefekter.
- Svetsreparationen har endast smält uppdelar av innerkomponenten, bild 2:9.

Tabell 2:1. Svetsens inträngning, HAZ utbredning och hårdhet

Tvärsnitt nr	Svetsens inträngningsdjup [mm]	Djup hos HAZ [mm]		Djup hos HAZ/tjocklek [%]		Hårdhet i HAZ [HV0,3]	Hårdhet i grundmat. [HV0,3]
		min	max	min	max	max	
1	0	0	1	0	17,5	175	191
2	0	0	1	0	17,5	173	181
3	0	0	0,9	0	15,7	177	191

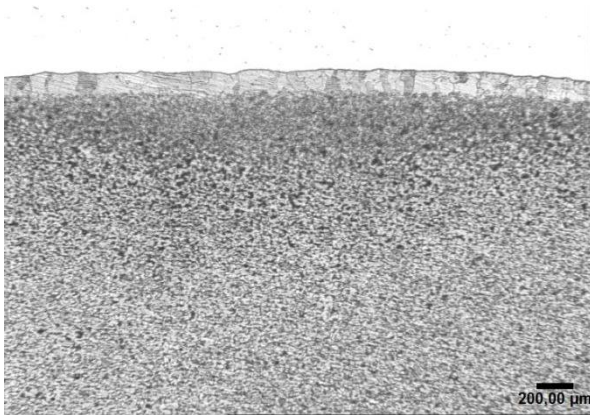


Bild 2:5. Inträngning av svetsreparation (ljus område i bildens överkant).

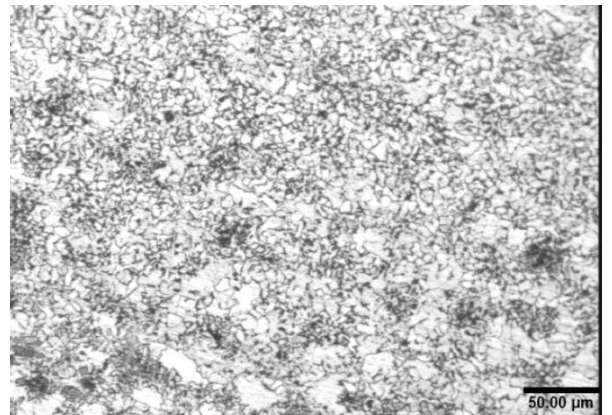


Bild 2:6. Finkornig zon närmast under svetsen.

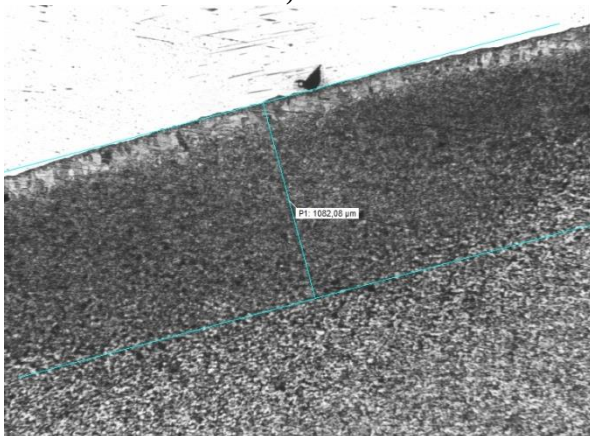


Bild 2:7. Djup hos HAZ i innerkomponenten

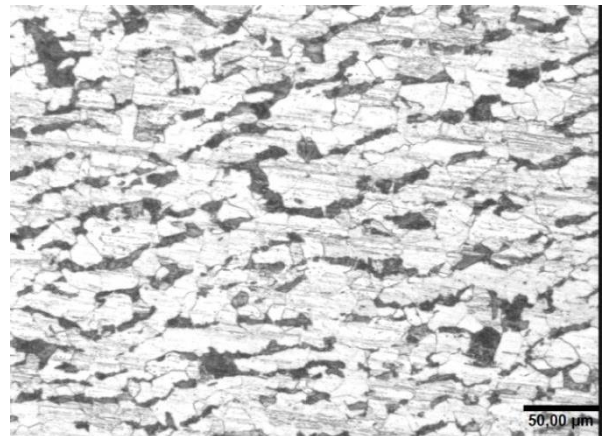


Bild 2:8. Representativ mikrostruktur för grundmaterial

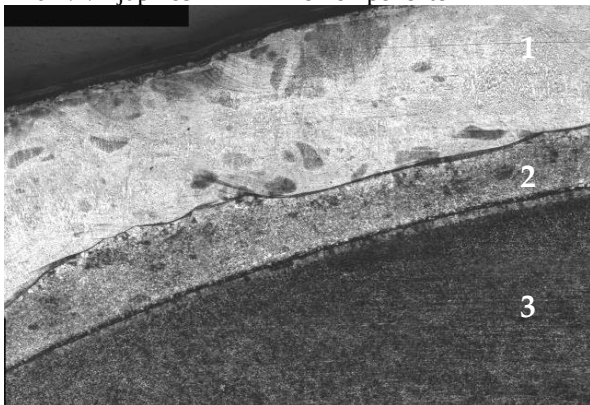


Bild 2:9. Svetsreparation i lågförstoring. 1) svetsreparation, 2) ytterkomponent, 3) innerkomponent.

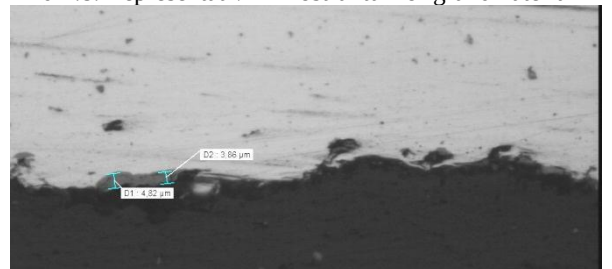


Bild 2:10. Tvärsnitt genom vattensidan. Svetsreparationen har inte påverkat vattensidan.

9.3 FALL 3

Visuell granskning

Svetsreparationens position	I nedre delen av primär luftport
Svetsreparationens storlek	95 x 50 mm
Svetssträngarnas orientering	Tvårs tuben, 19 strängar
Svetsreparationens utseende	Ingen efterbearbetning, skarp övergång, höjd ca 3 mm över omgivande yta
Antal reparationer	En
Anledning till reparation	Godsförtunning
Ovalisering av tub	Försumbar
Insidans utseende	Jämn grå färg. Inga spår av korrosion
Material	304L/P265GH



Bild 3:1. Läge för svetsreparationer.



Bild 3:2. Undersökt prov från vänstra reparationen i bild 3:1.



Bild 3:3. Utseende hos insida. Inga spår av korrosion.



Bild 3:4. Utseende hos tvärsnitt. Ingen ovalisering.

Granskning av tvärsnitt

Tre tvärsnitt orienterade tvärs svetssträngarna i reparationen har undersökts.

Enbart polerat skick

Tvärsnittens skärning med vattensidan har granskats med avseende på magnetitskikt, beläggningar och korrosionsangrepp:

- Magnetitskiktet är vidhäftande och heltäckande.
- Marginell förekomst av beläggning.
- Ett fåtal grunda frätgropar förekommer. De är passiva.
- Slutsats: svetsreparationen har inte gynnat korrosion från vattensidan.

Etsat kolstål

Tvärsnitten har granskats med avseende på återstående tjocklek hos innerkomponenten, utbredning av den värmepåverkade zonen (HAZ) i djupled, mikrostruktur och hårdhet i HAZ.

- Ingen mätbar inträngning av svetsreparationen i innerkomponenten, se Tabell 3:1 och Bild 3:5.
- Största utbredning av HAZ i djupled är 3 mm, vilket innebär 60 % av innerkomponentens tjocklek, se Tabell 3:1 och Bild 3:6.
- Mikrostrukturen i den mest kritiska delen av HAZ har ett normalt utseende och innehåller inga väsentliga andelar av hårdstruktur, se Bild 3:7.
- Hårdheten i HAZ har som mest uppmätts till 173 HV, vilket verifiera att det inte finns några väsentliga andelar av hårdstruktur i HAZ, se Tabell 3:1.

Etsat svetsgods

Tvärsnitten har granskats med avseende på stränguppbyggnad och utseende hos svetsreparationen. Återstående rostfri ytterkomponent, som inte smälts upp vid svetsningen, har också granskats.

- Normal mikrostruktur i svetsgods. Inga väsentliga svetsdefekter. I alla tre tvärsnitten tangerar svetsgodset gränsskiktet mot kolstålet. I tvärsnitt 3 finns en marginell uppsmältning av innerkomponenten, se bild 3:8.
- Några enstaka små porer finns i svetsgodset vid gränsskiktet mot kolstålet.

Tabell 3:1. Svetsens inträngning, HAZ utbredning och hårdhet

Tvärsnitt nr	Svetsens inträngningsdjup [mm]	Djup hos HAZ [mm]		Djup hos HAZ/tjocklek [%]		Hårdhet i HAZ [HV0,3]	Hårdhet i grundmater. [HV0,3]
		min	max	min	max	max	
1	0	1,1	2,6	22	52	166	183
2	0	1,1	2,3	22	46	155	
3	0,1	1,5	3	30	60	173	



Bild 3:5. Svetsreparation tangerar innerkomponenten (mörk i bildens underkant).

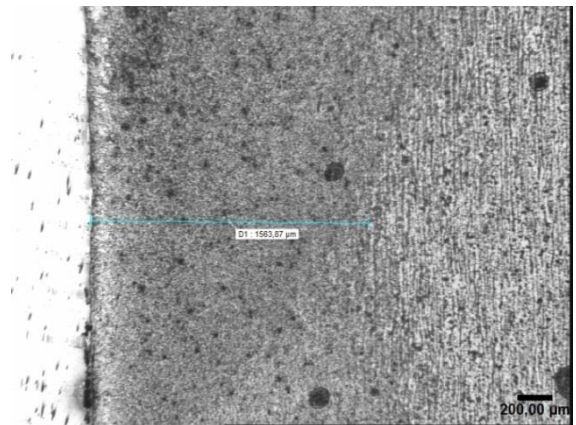


Bild 3:6. Djup hos HAZ i innerkomponenten. Svetsreparation i bildens vänstra del.

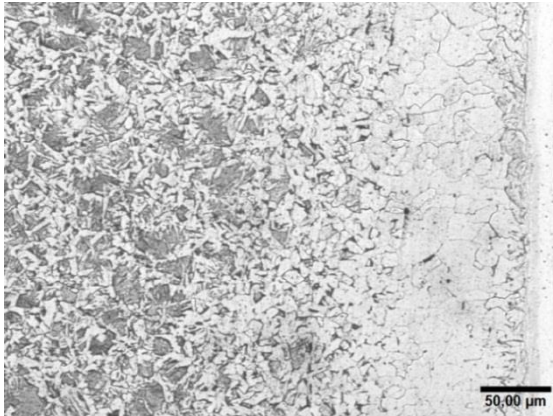


Bild 3:7 Representativ mikrostruktur i HAZ.
Svetsreparation i bildens högra del.

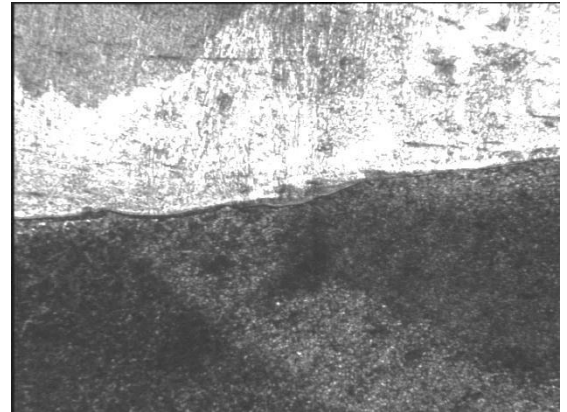


Bild 3:8 Marginell inträngning i innerkomponenten
(mörk i bildens underkant).

9.4 FALL 4

Visuell granskning

Svetsreparationens position	I nedre delen av primär luftport
Svetsreparationens storlek	70 x 50 mm
Svetssträngarnas orientering	Tvårs tuben, 18 strängar
Svetsreparationens utseende	Ingen efterbearbetning, skarp övergång, höjd som mest 3,2 mm över omgivande yta
Antal reparationer	En
Anledning till reparation	Godsförtunning
Ovalisering av tub	Försumbar
Insidans utseende	Jämnt grå yta, inga spår av korrosion
Material	304L/P265GH



Bild 4:1. Läge för svetsreparationer.



Bild 4:2. Undersökt prov från högra reparationen i bild 4:1.



Bild 4:3. Utseende hos insida. Inga spår av korrosion.

Granskning av tvärsnitt

Tre tvärsnitt orienterade tvärs svetssträngarna i reparationen har undersökts.

Enbart polerat skick

Tvärsnittens skärning med vattensidan har granskats med avseende på magnetitskikt, beläggningar och korrosionsangrepp:

- Magnetitskiktet är vidhäftande och heltäckande, se Bild 4:7.
- Marginell förekomst av beläggning.
- Ett fåtal grunda frätgropar förekommer, men de är passiva.
- Slutsats: svetsreparationen har inte gynnat korrosion från vattensidan.

Etsat kolstål

Tvärsnittet har granskats med avseende på återstående tjocklek hos innerkomponenten, utbredning av den värmepåverkade zonen (HAZ) i djupled, mikrostruktur och hårdhet i HAZ.

- Ingen mätbar inträngning av svetsreparationen i innerkomponenten, se Tabell 4:1 och Bild 4:5.
- Största utbredning av HAZ i djupled är 3,1 mm, vilket innebär 62 % av innerkomponentens tjocklek, se Tabell 4:1 och Bild 4:6.
- Mikrostrukturen i den mest kritiska delen av HAZ har ett normalt utseende och innehåller inga väsentliga andelar av hårdstruktur.
- Hårdheten i HAZ har som mest uppmätts till 203 HV, vilket verifierar att det inte finns några väsentliga andelar av hårdstruktur i HAZ, se Tabell 4:1.

Etsat svetsgod

Tvärsnittet har granskats med avseende på stränguppbyggnad och utseende hos svetsreparationen. Återstående rostfri ytterkomponent, som inte smälts upp vid svetsningen, har också granskats.

- Normal mikrostruktur i svetsgod. Inga väsentliga svetsdefekter. I tvärsnittet 3 tangerar svetsgodset gränsskiktet mot kolstålet. I tvärsnitt 1 och 2 finns en marginell uppsmältning av innerkomponenten, se bild 4:8.
- Några enstaka små porer finns i svetsgodset vid gränsskiktet mot kolstålet.

Tabell 1. Svetsens inträngning, HAZ utbredning och hårdhet

Tvärsnitt nr	Svetsens inträngningsdjup [mm]	Djup hos HAZ [mm]		Djup hos HAZ/tjocklek [%]		Hårdhet i HAZ [HV0,3]	Hårdhet i grundmat. [HV0,3]
		min	max	min	max	max	
1	0,4	1,5	2,7	30	54	187	148
2	0,15	1,4	3,1	28	62	203	143
3	0	1,5	2,5	30	50	199	165

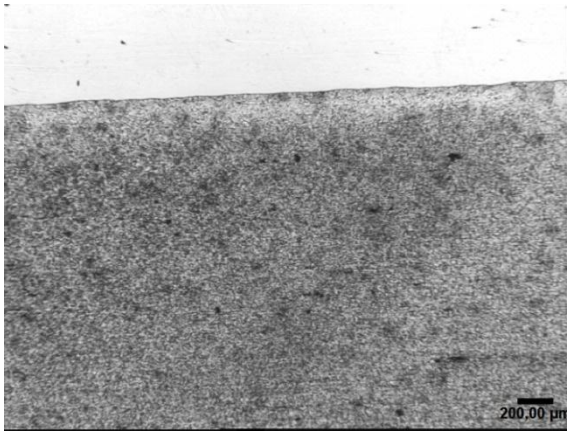


Bild 4:5. Svetsreparation tangerar innerkomponenten (mörk i bildens nedre del).

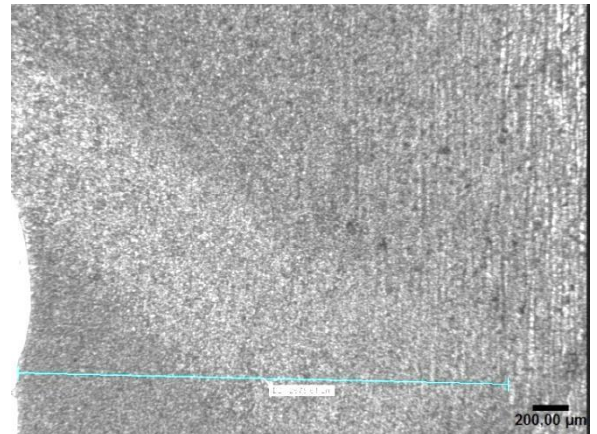


Bild 4:6. Djup hos HAZ i innerkomponenten.

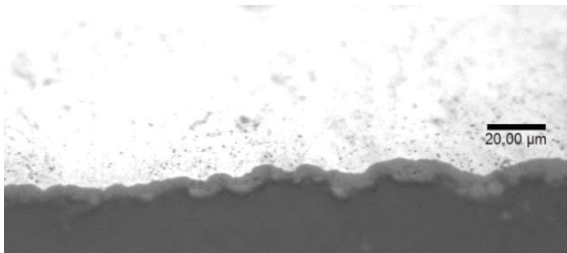


Bild 4:7 Magnetit på vattensida (ljus område är stål och grå zon är magnetit).

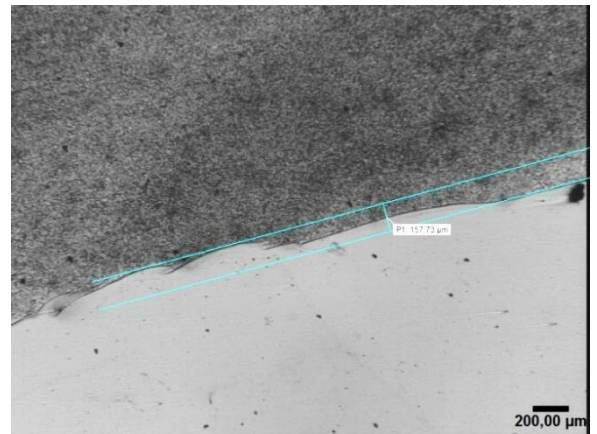


Bild 4:8 Marginell inträngning i innerkomponenten (ljus i bildens nedre del).

9.5 FALL 5

Visuell granskning

Svetsreparationens position	Öppning för skyddstaksbalk
Svetsreparationens storlek	>200 x 60 mm
Svetssträngarnas orientering	Längs tuben
Svetsreparationens utseende	Ingen efterbearbetning, skarp övergång, höjd ca 1 mm över omgivande yta
Antal reparationer	En
Anledning till reparation	Godsförtunning
Ovalisering av tub	Marginell
Insidans utseende	Inga spår av korrosion
Material	304L/P265GH



Bild 5:1. Läge för tubprov. Öppning för balk till skyddstak.



Bild 5:2. Undersökt prov. Svetsreparationens utseende.

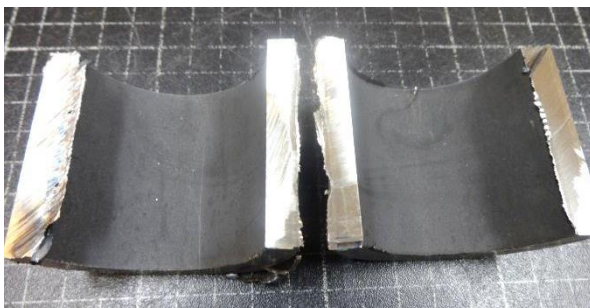


Bild 5:3. Utseende hos insida. Inga spår av korrosion.



Bild 5:4. Utseende hos tvärsnitt. Ingen ovalisering.

Granskning av tvärsnitt

Tre tvärsnitt orienterade tvärs svetssträngarna i reparationen har undersökts.

Enbart polerat skick

Tvärsnittens skärning med vattensidan har granskats med avseende på magnetitskikt, beläggningar och korrosionsangrepp:

- Utseende på vattensidan är något ojämn men magnetitskiktet är vidhäftande, dock inte heltäckande, se Bild 5:7.
- Marginell förekomst av beläggning.
- Ett fåtal grunda frätgropar förekommer, men de är passiva.
- Slutsats: svetsreparationen har inte gynnat korrosion från vattensidan.

Etsat kolstål

Tvärsnitten har granskats med avseende på återstående tjocklek hos innerkomponenten, utbredning av den värmepåverkade zonen (HAZ) i djupled, mikrostruktur och hårdhet.

- Ingen väsentlig inträngning av svetsreparationen i innerkomponenten, se Tabell 5:1 och Bild 5:5.
- Största utbredning av HAZ i djupled är 4,5 mm, vilket innebär 91 % av innerkomponentens tjocklek, se Tabell 5:1.
- Hårdstruktur förekommer i HAZ, se Bild 5:8.
- Hårdheten i HAZ har som mest uppmätts till 280 HV, se Tabell 5:1.

Etsat svetsgod

Tvärsnitten har granskats med avseende på stränguppbyggnad och utseende hos svetsreparationen. Återstående rostfri ytterkomponent, som inte smälts upp vid svetsningen, har också granskats.

- Normal mikrostruktur i svetsgod. Inga väsentliga svetsdefekter. I alla tre tvärsnitten tangerar svetsgodset gränsskiktet mot kolstålet på en del området, se bild 5:8.
- Några enstaka små porer finns i svetsgodset vid gränsskiktet mot kolstål.

Tabell 5:1. Svetsens inträngning, HAZ utbredning och hårdhet

Tvärsnitt nr	Svetsens inträngningsdjup [mm]	Djup hos HAZ [mm]		Djup hos HAZ/tjocklek [%]		Hårdhet i HAZ [HV0,3]	Hårdhet i grundmat. [HV0,3]
		min	max	min	max	max	
1	0,3	0	0,5	0	10	280	158
2	0	0	2	0	40	230	170
3	0	0	4,5	0	91	205	159

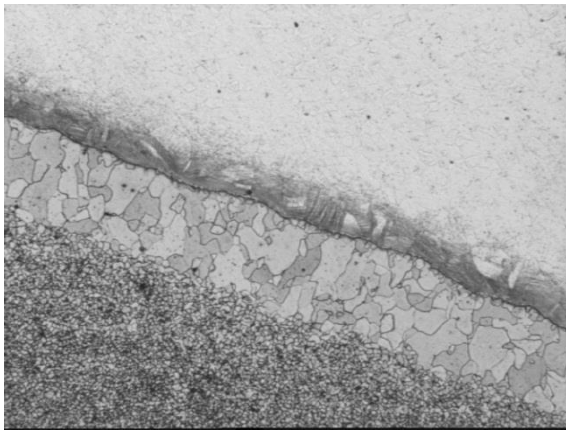


Bild 5:5. Svetsreparation tangerar innerkomponenten (i bildens underkant).

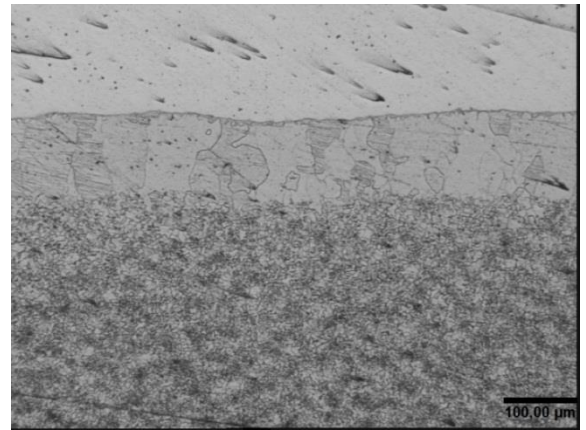


Bild 5:6. Kornstruktur under svetslagning.

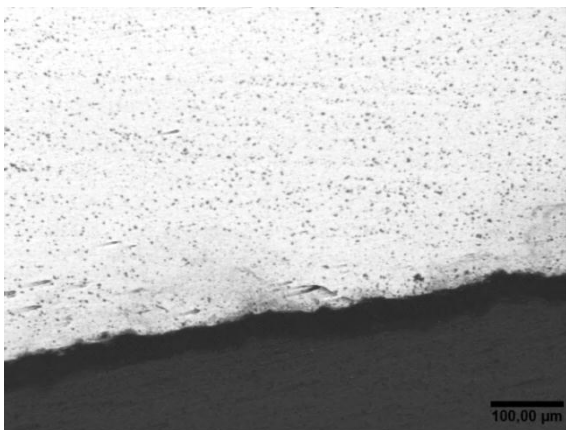


Bild 5:7 Tvärsnitt genom vattensidan (ljus område är stål).

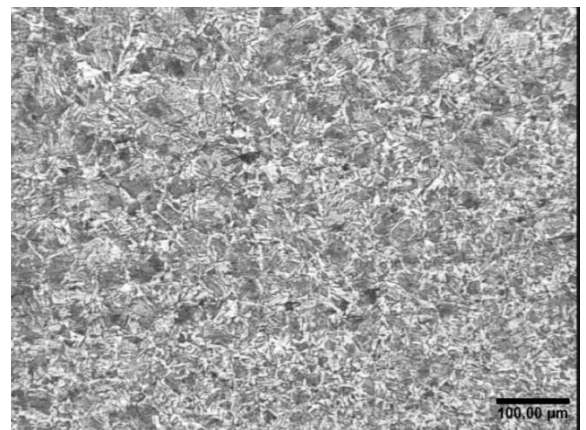


Bild 5:8. Mikrostruktur hos kritiskt område av HAZ.

9.6 FALL 6

Visuell granskning

Svetsreparationens position	Primärluftsport 1 på bakväggen
Svetsreparationens storlek	130 x 50 mm
Svetssträngarna orientering	Tvärs tuben, över 30 strängar
Svetsreparationens utseende	Ingen efterbearbetning, skarp övergång, hög reparation
Antal reparationer	3-6 gånger
Anledning till reparation	Sprickbildning i det rostfria skiktet
Ovalisering av tub	1 - 6 %
Insidans utseende	Under svetsreparationerna finns tydliga rödbruna fläckar på vattensidan. Övrig yta mörkt grå.
Material	304L/P265GH



Bild 6:1. Läge för svetsreparation.

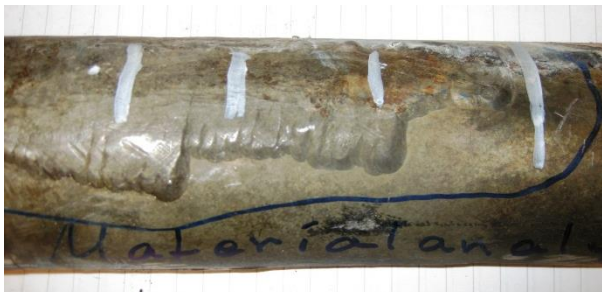


Bild 6:2. Undersökt svetsreparation.



Bild 6:3. Utseende hos insida.

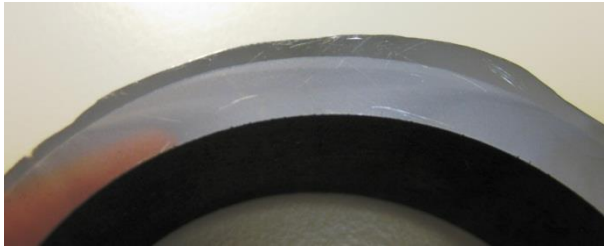


Bild 6:4. Utseende hos tvärsnitt. Viss ovalisering.

Granskning av tvärsnitt

Tre tvärsnitt orienterade tvärs tuben i reparationen har undersökts.

Enbart polerat skick

Tvärsnittens skärning med vattensidan har granskats med avseende på magnetitskikt, beläggningar och korrosionsangrepp:

- Magnitit och beläggning finns men är inte heltäckande.
- Ett fåtal grunda frätgropar förekommer.
- Slutsats: Svetsreparationen har temporärt påverkat vattensidan och därmed gynnat korrosion.

Etsat kolstål

Tvärsnittet har granskats med avseende på återstående tjocklek hos innerkomponenten, utbredning av den värmepåverkade zonen (HAZ) i djupled, mikrostruktur och hårdhet.

- 0,6 mm inträngning av svetsreparationen i innerkomponenten.
- Största utbredning av HAZ i djupled är ca 5 mm, vilket innebär 100 % av innerkomponentens tjocklek.
- Hårdstruktur förekommer i HAZ, se Bild 6:5 och 6:6.
- Hårdheten i HAZ har som mest uppmätts till 263 HV, vilket verifierar att det finns hårdstruktur, se Tabell 1.

Etsat svetsgods

Tvärsnittet har granskats med avseende på stränguppbyggnad och utseende hos svetsreparationen. Återstående rostfri ytterkomponent, som inte smälts upp vid svetsningen, har också granskats.

- Normal mikrostruktur i svetsgods. Inga väsentliga svetsdefekter förutom några enstaka porer vid smältgränser.
- Några enstaka små porer finns i svetsgodset vid gränsskiktet mot kolstål och återstående rostfri yttrekomponent.

Tabell 1. Svetsens inträngning, HAZ utbredning och hårdhet

Tvärsnitt nr	Svetsens inträngningsdjup [mm]	Djup hos HAZ [mm]		Djup hos HAZ/tjocklek [%]		Hårdhet i HAZ [HV0,3]	Hårdhet i grundmat. [HV0,3]
		min	max	min	max	max	
1	0,2	0	4	0	80	263	167
2	0,3	0	4,5	0	90	256	170
3	0,6	0	*	0	100	201	*

*Hela snitten består av HAZ

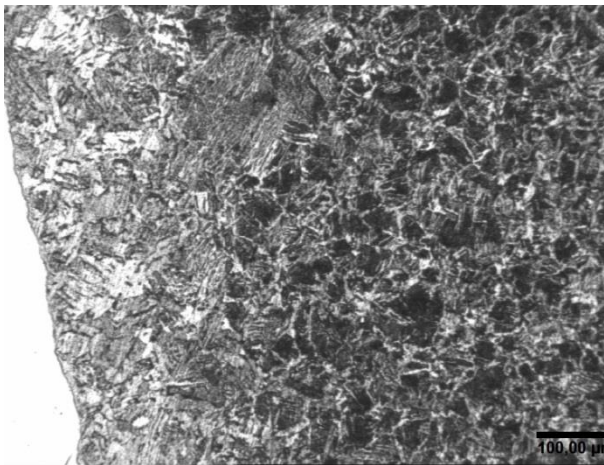


Bild 6:5. Svetsreparation tangerar innerkomponenten.

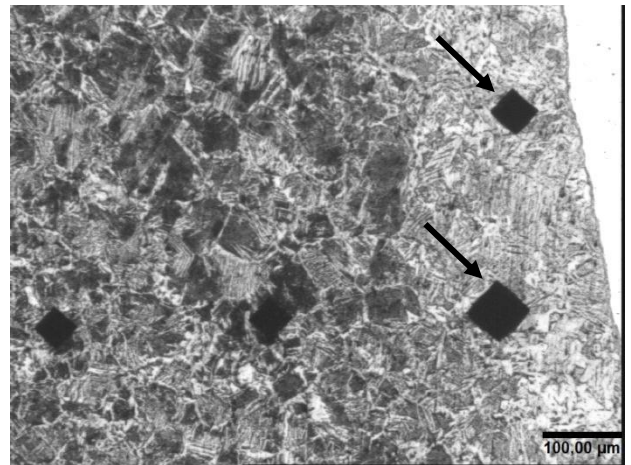


Bild 6:6. Mikrostruktur varierar längst HAZ, likaså hårdheten (2 mätpunkter markerade).

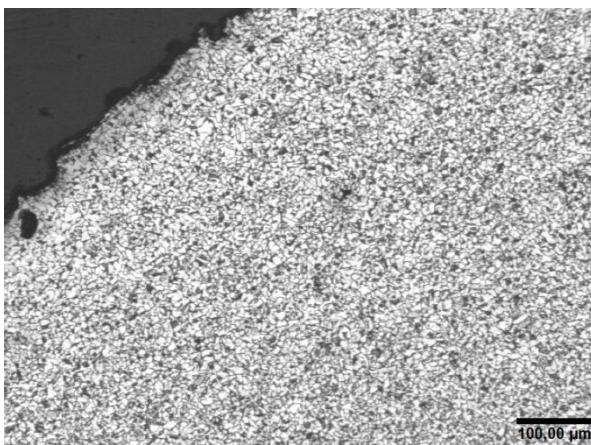


Bild 6:7. Vattensidan i övre vänstra hörnet.

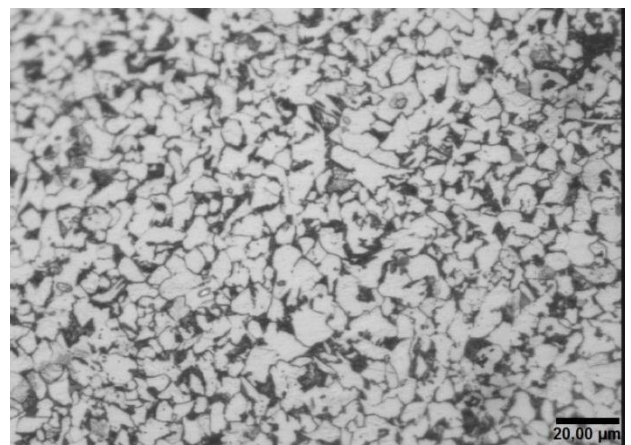


Bild 6:8. Representativ mikrostruktur i kolstål.

Svetsreparation
Rostfri ytterkomponent
Innerkomponent i kolstål



Bild 6:9. Översikt av tvärsnitt genom svetsreparation.

9.7 FALL 7

Visuell granskning

Svetsreparationens position	Luftport
Svetsreparationens storlek	65x60 mm
Svetssträngarna orientering	Längst tuben, ca 8 strängar
Svetsreparationens utseende	Ingen efterbearbetning, skarp övergång, höjd ca 1 mm
Antal reparationer	En
Anledning till reparation	Förtunning
Ovalisering av tub	Marginell
Insidans utseende	45°-sprickor i oxid och märkbar värmepåverkan se Bild 7:3
Material	304L/P265GH
Övrigt	Sprickdjup på insida max 0,2 mm



Bild 7:1. Läge för svetsreparationer.



Bild 7:2. Undersökt svetsreparationen.



Bild 7:3. Utseende hos insida. 45°-sprickor samt märkbar värmepåverkan.

Granskning av tvärsnitt

Tre tvärsnitt orienterade tvärs svetssträngarna i reparationen har undersökts.

Enbart polerat skick

Tvärsnittens skärning med vattensidan har granskats med avseende på magnetitskikt, beläggningar och korrosionsangrepp:

- Magnitit och beläggning finns men är inte heltäckande.
- Ett fåtal grunda frätgropar förekommer samt sprickor med ett djup av max 200 µm.
- Slutsats: svetsreparationen har påverkat vattensidan och därmed gynnat korrosion.

Etsat kolstål

Tvärsnittet har granskats med avseende på återstående tjocklek hos innerkomponenten, utbredning av den värmepåverkade zonen (HAZ) i djupled, mikrostruktur och hårdhet.

- 0,2 mm inträngning av svetsreparationen i innerkomponenten, Tabell 7:1 och Bild 7:5.
- Största utbredning av HAZ finns i snitt 3 där hela kolstålet har blivit påverkat, se Tabell 7:1.
- Hårdstruktur förekommer i HAZ, se Bild 7:7.
- Hårdheten i HAZ har som mest uppmätts till 263 HV, vilket verifierar att det finns hårdstruktur, se Tabell 7:1.

Etsat svetsgods

Tvärsnittet har granskats med avseende på stränguppbyggnad och utseende hos svetsreparationen. Återstående rostfri ytterkomponent, som inte smälts upp vid svetsningen, har också granskats.

- Normal mikrostruktur i svetsgods. Inga väsentliga svetsdefekter förutom några enstaka porer vid smältgränser.
- Några enstaka små porer finns i svetsgodset vid gränsskiktet mot kolstål och återstående rostfri yttrekomponent.

Tabell 7:1. Svetsens inträngning, HAZ utbredning och hårdhet

Tvärsnitt nr	Svetsens inträngningsdjup [mm]	Djup hos HAZ [mm]		Djup hos HAZ/tjocklek [%]		Hårdhet i HAZ [HV0,3]	Hårdhet i grundmat. [HV0,3]
		min	max	min	max	max	
1	0,2	0	4	0	80	263	167
2	0,3	0	4,5	0	90	256	170
3	0,5	0	hela	0	100	201	-

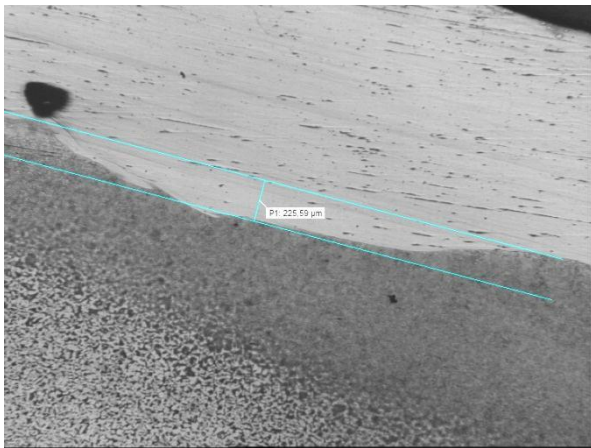


Bild 7:4. Marginell inträngning i innerkomponenten

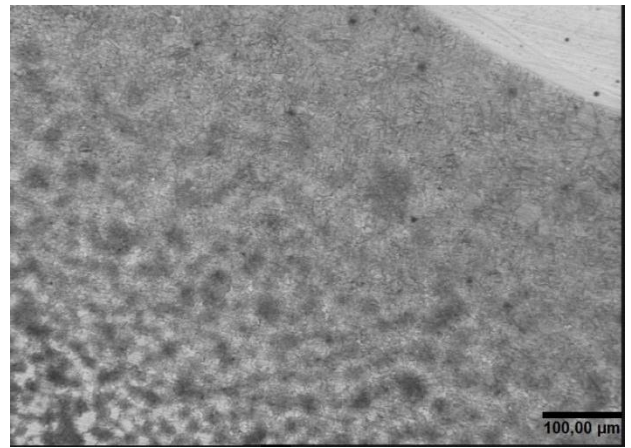


Bild 7:5. Djup hos HAZ i kolstål.



Bild 7:6 Representativ mikrostruktur i HAZ.

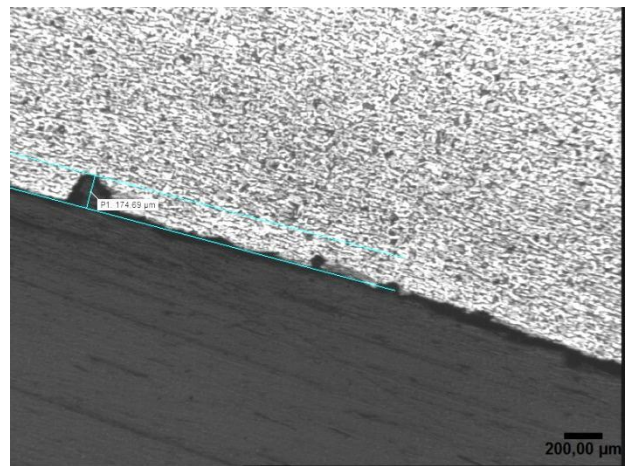
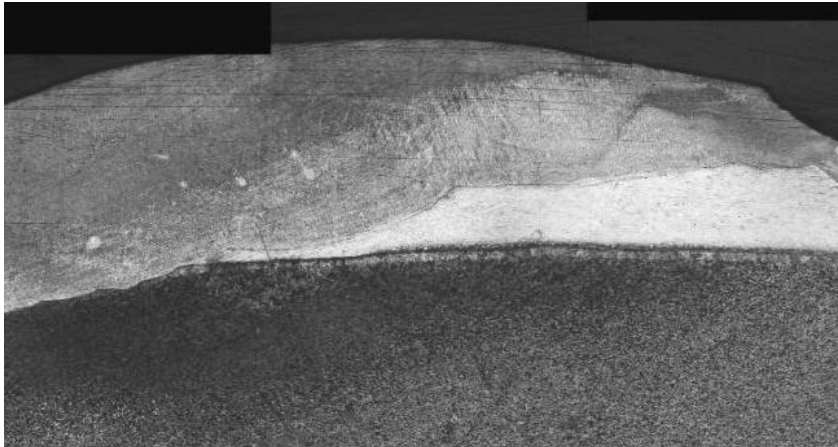


Bild 7:7. Tvärsnitt genom 45°-spricka som upptäcktes på vattensidan.



Svetsreparation

Rostfri ytterkomponent

Innerkomponent i kolstål

Bild 7:8: Översikt av tvärsnitt genom svetsreparation.

9.8 FALL 8

Visuell granskning

Svetsreparationens position	Luftport
Svetsreparationens storlek	120 x 55 mm
Svetssträngarna orientering	Tvårs tuben, ca 7 strängar
Svetsreparationens utseende	Viss efterbearbetning , ojämn övergång, höjd ca 1,2 mm
Antal reparationer	En
Anledning till reparation	Förtunning
Ovalisering av tub	Marginell
Insidans utseende	Grå yta med frätgropar
Material	304L/P265GH



Bild 8:1. Läge för svetsreparationer.



Bild 8:2. Undersökta snitt.



Bild 8:3. Utseende hos insida.

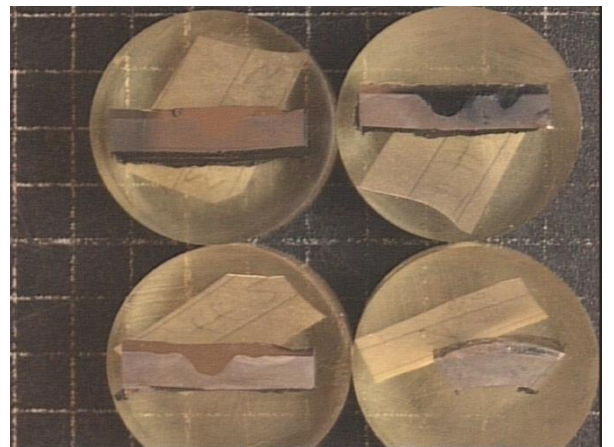


Bild 8:4: Översikt av undersökta tvärsnitt.

Granskning av tvärsnitt

Tre tvärsnitt orienterade tvärs svetssträngarna i reparationen har undersökts.

Enbart polerat skick

Tvärsnittens skärning med vattensidan har granskats med avseende på magnetitskikt, beläggningar och korrosionsangrepp:

- Magnetitskiktet är vidhäftande och heltäckande, se Bild 8:8.
- Marginell förekomst av beläggning.
- Ett fåtal grunda frätgropar förekommer, men alla är passiva.
- Slutsats: Svetsreparationen har inte gynnat korrosion på vattensidan.

Etsat kolstål

Tvärsnittet har granskats med avseende på återstående tjocklek hos innerkomponenten, utbredning av den värmepåverkade zonen (HAZ) i djupled, mikrostruktur och hårdhet i HAZ.

- Inträngning av svetsreparationen ca 3,8 mm i innerkomponenten, se Tabell 8:1 och Bild 8: 4.
- HAZ 100 % av innerkomponentens tjocklek, se Tabell 8:1 och Bild 8:6.
- Hårdstruktur förekommer i HAZ.
- Hårdheten i HAZ har som mest uppmätts till 227 HV, vilket verifierar en viss andel hårdstruktur, se Tabell 1.

Etsat svetsgods

Tvärsnittet har granskats med avseende på stränguppbyggnad och utseende hos svetsreparationen. Återstående rostfri ytterkomponent, som inte smälts upp vid svetsningen, har också granskats.

- Normal mikrostruktur i svetsgods. Sprickor förekommer både på ytsvetsen och i svetsmaterial. Alla tre tvärsnitten visar en svets som är djup, se bild 8:8.
- Mikrosprickor förekommer i snitt 1 och 2.

Tabell 8:1. Svetsens inträngning, HAZ utbredning och hårdhet

Tvärsnitt nr	Svetsens inträngningsdjup [mm]	Djup hos HAZ [mm]		Djup hos HAZ/tjocklek [%]		Hårdhet i HAZ [HV0,3]	Hårdhet i grundmat. [HV0,3]
		min	max	min	max	max	
1	3,8	0	5	0	100	227	153
2	3,5	0	5	0	100	205	170
3	3,2	0	5	0	100	178	130

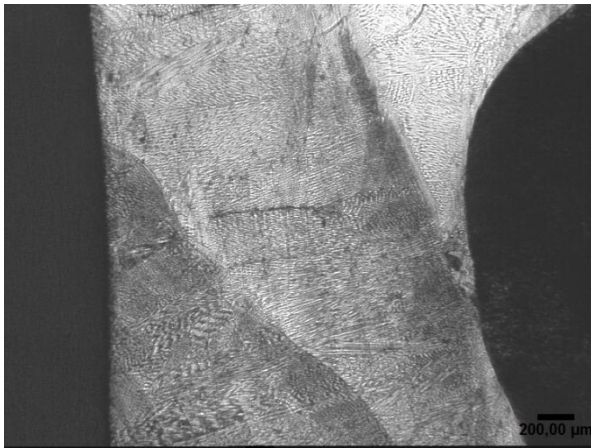


Bild 8:5. Tre svetssträngar syns på bilden. Kolstål till höger.

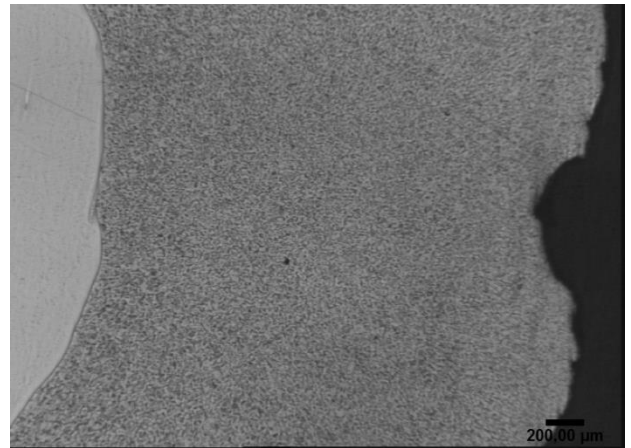


Bild 8:6. HAZ utbredning genom hela innerkomponenten. Svetsreparation till vänster.

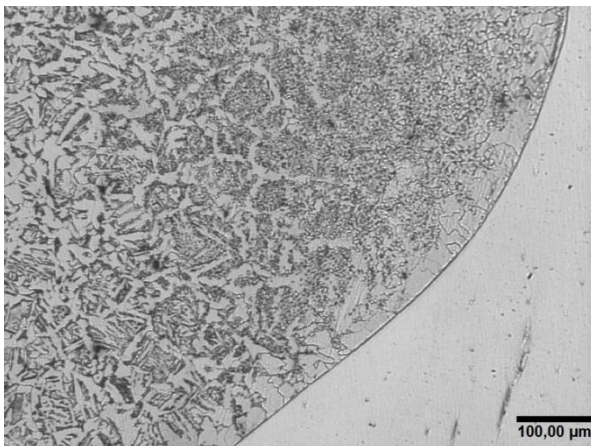


Bild 8:7 Representativ mikrostruktur i HAZ.

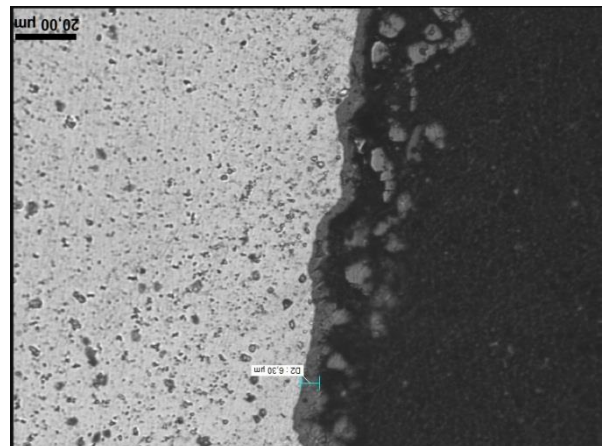
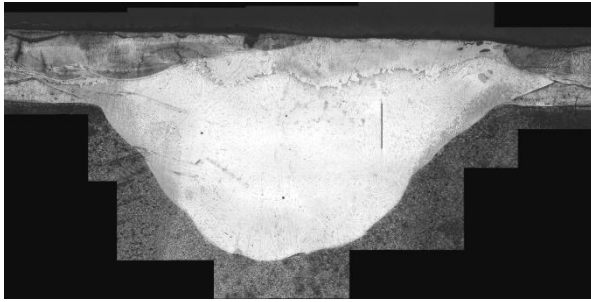


Bild 8:8 Tvärsnitt genom vattensidan.



Svetsreparation
Rostfri ytterkomponent

Innerkomponent i kolstål

Bild 8:8 Djup del av svetsreparation.

9.9 FALL 9

Visuell granskning

Svetsreparationens position	Undanböckning i sekundärluftsnivå
Svetsreparationens storlek	>170x60mm
Svetssträngarna orientering	Längs tuben, okänd antal strängar.
Svetsreparationens utseende	Ojämn ytan på grund av korrosion. Slipning av reparation har eventuellt skett.
Antal reparationer	En (2010)
Anledning till reparation	Godsförtunning
Ovalisering av tub	Viss ovalisering, eventuellt från böckning
Insidans utseende	Jämnt grå, ingen synlig påverkan från svetsreparation
Material	3R12/4L7 (304L/P265GH)



Bild 9:1. Läge för svetsreparationer.



Bild 9:2. Undersökt prov. Nedre tuben i bild 9:1.



Bild 9:3. Utseende hos insida. Inga spår av korrosion.



Bild 9:4. Utseende hos tvärsnitt. Viss ovalisering.

Granskning av tvärsnitt

Tre tvärsnitt orienterade tvärs svetssträngarna i reparationen har undersökts.

Enbart polerat skick

Tvärsnittens skärning med vattensidan har granskats med avseende på magnetitskikt, beläggningar och korrosionsangrepp:

- Tuben har ett heltäckande och kontinuerligt magnetitskikt på vattensidan, se Bild 9:7.
- Frätgroparna var grunda och passiva.
- Slutsats: Svetsreparationen har inte påverkat vattensidan.

Etsat kolstål

Tvärsnitten har granskats med avseende på återstående tjocklek hos innerkomponenten, utbredning av den värmepåverkade zonen (HAZ) i djupled, mikrostruktur och hårdhet.

- Svetsreparationen har ett största inträngningsdjup av 0,2mm i innerkomponenten, se Tabell 9:1 och Bild 9: 5.
- Största utbredning av HAZ i djupled är 4 mm, vilket innebär 80 % av innerkomponentens tjocklek, se Tabell 9:1.
- Hårdstruktur förekommer i små mängder i HAZ, se Bild 9:6.
- Hårdheten i HAZ har som mest uppmätts till 223 HV, se Tabell 9:1.

Etsat svetsgods

Tvärsnitten har granskats med avseende på stränguppbyggnad och utseende hos svetsreparationen. Återstående rostfri ytterkomponent, som inte smälts upp vid svetsningen, har också granskats.

- Normal mikrostruktur i svetsgods. Inga väsentliga svetsdefekter.
- På en del ställe saknas det rostfria skiktet helt.

Tabell 1. Svetsens inträngning, HAZ utbredning och hårdhet

Tvärsnitt nr	Svetsens inträngningsdjup [mm]	Djup hos HAZ [mm]		Djup hos HAZ/tjocklek [%]		Hårdhet i HAZ [HV0,3]	Hårdhet i grundmat. [HV0,3]
		min	max	min	max	max	
1	0,2	0	3	0	60	223	137
2	0	0	3	0	60	218	127
3	0	0	4	0	80	222	197

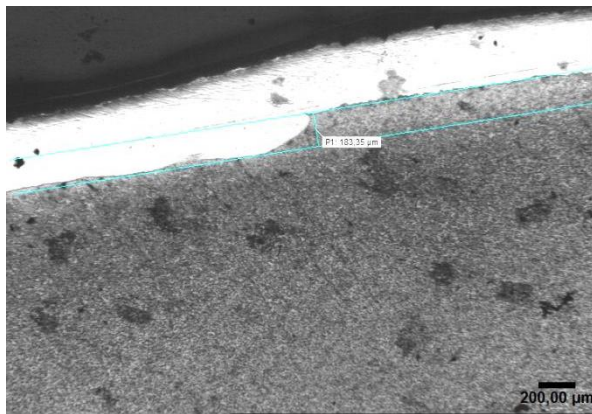


Bild 9:5. Inträngning av svetsreparation

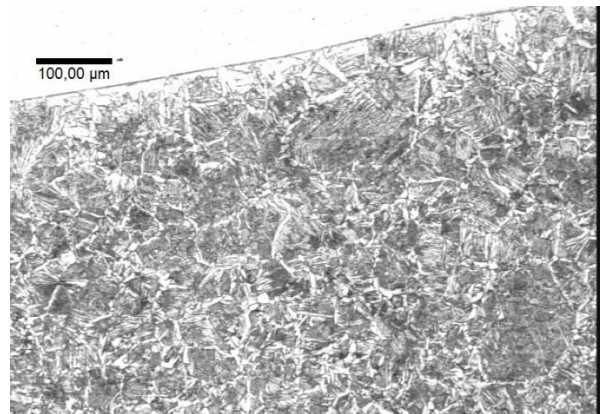


Bild 9:6. Struktur under svetsen

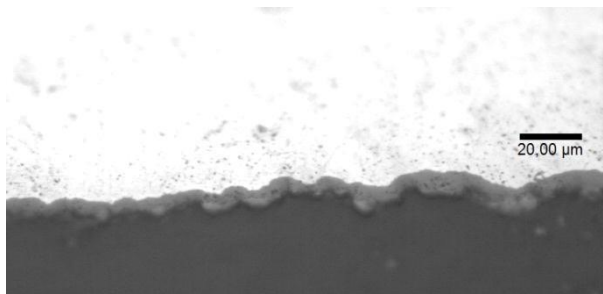


Bild 9:7 Svetsreparationen har inte påverkat vattensidan (kolstål i bildens övre del).

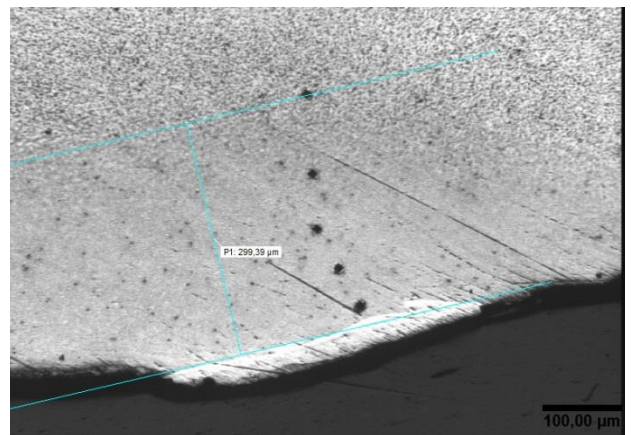


Bild 9:8 Den yttre rostfria skikt saknas delvis.

Svetsreparation
Rostfri ytterkomponent
Innerkomponent i kolstål

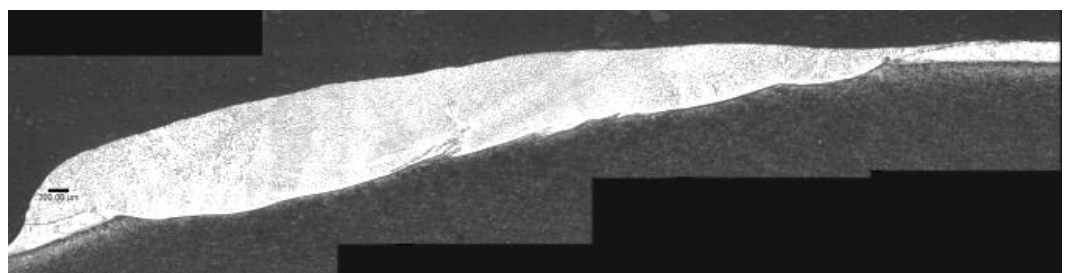


Bild 9:9 Översikt av tvärsnitt genom svetsreparation

9.10 FALL 10

Visuell granskning

Svetsreparationens position	Undanböckning i sekundärluftsnivå
Svetsreparationens storlek	Kunde inte bestämmas
Svetssträngarna orientering	Längst tuben, okänd antal sträng
Svetsreparationens utseende	Ojämn ytan på grund av korrosion. Slipning av reparation har eventuellt skett.
Antal reparationer	En (2011)
Anledning till reparation	Godsförtunning
Ovalisering av tub	Ja
Insidans utseende	Ingen märkbar påverkan av svetsreparation
Material	3R12/4L7 (304L/P265GH)



Bild 10:1. Läge för svetsreparationer är markerad i den översta tuben.



Bild 10:2. Undersökt prov. Övre tub i bild 10:1

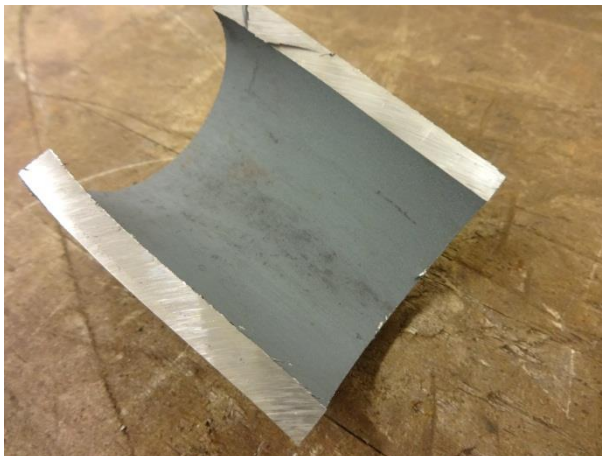


Bild 10:3. Utseende hos insida. Ingen synlig korrosion.

Granskning av tvärsnitt

Två tvärsnitt orienterade tvärs svetssträngarna i reparationen har undersökts.

Enbart polerat skick

Tvärsnittens skärning med vattensidan har granskats med avseende på magnetitskikt, beläggningar och korrosionsangrepp:

- Insidan har ett heltäckande och vidhäftande magnetitskikt, se Bild 10:7.
- Påträffade frätgroparna var grunda och passiva.
- Slutsats: Svetsreparationen har inte påverkat vattensidan.

Etsat kolstål

Tvärsnittet har granskats med avseende på återstående tjocklek hos innerkomponenten, utbredning av den värmepåverkade zonen (HAZ) i djupled, mikrostruktur och hårdhet.

- Svetsreparationen har ett största inträngningsdjup av 1,08 mm i innerkomponenten, se Bild 10:5 och Tabell 10:1.
- Största utbredning av HAZ i djupled är 4,3 mm, vilket innebär 88 % av innerkomponentens nominella tjocklek, se Tabell 10:1.
- Hårdstruktur förekommer i HAZ, se Bild 10:6.
- Hårdheten i HAZ har som mest uppmätts till 317 HV, vilket verifierar förekomst av hårdstruktur, se Tabell 10:1.

Etsat svetsgods

Tvärsnittet har granskats med avseende på stränguppbyggnad och utseende hos svetsreparationen. Återstående rostfri ytterkomponent, som inte smälts upp vid svetsningen, har också granskats.

- Normal mikrostruktur i svetsgods. Inga väsentliga svetsdefekter, se Bild 10:8.
- Några enstaka små porer finns i svetsgodset.

Tabell 1. Svetsens inträngning, HAZ utbredning och hårdhet

Tvärsnitt nr	Svetsens inträngningsdjup [mm]	Djup hos HAZ [mm]		Djup hos HAZ/tjocklek [%]		Hårdhet i HAZ [HV0,3]	Hårdhet i grundmat. [HV0,3]
		min	max	min	max	max	
1	0,58	0	4,3	0	100	232	177
2	1,08	0	3,8	0	100	317	148

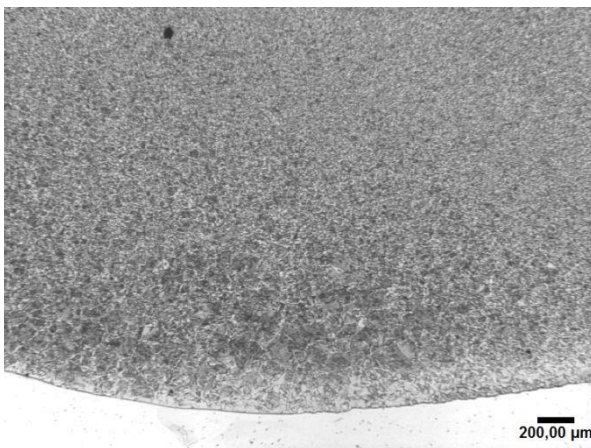


Bild 10:5. Inträngning av svetsreparation

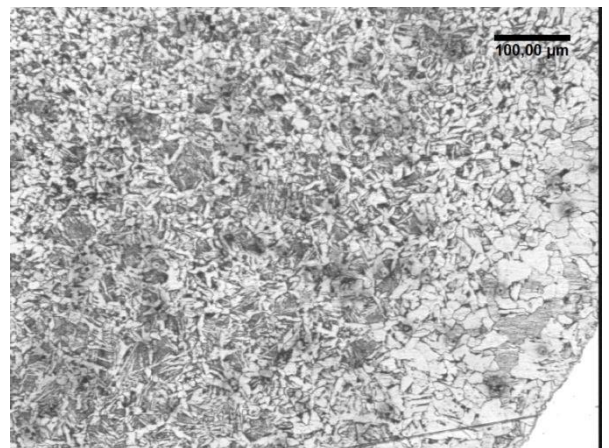


Bild 10:6. Struktur under svetsen

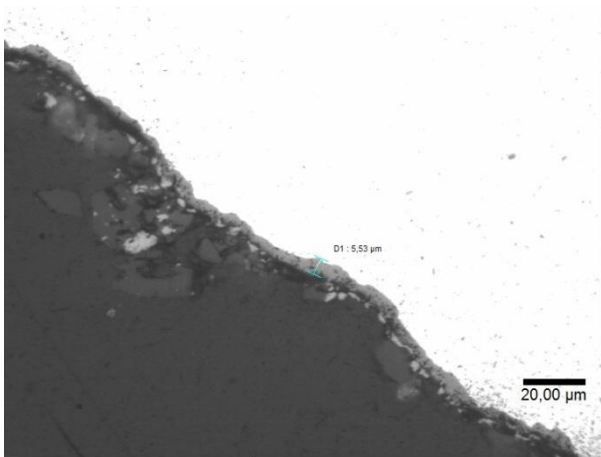


Bild 10:7 Tvärsnitt genom vattensidan. Kolstål vitt, magnetit grå. Svetsreparationen har inte påverkat vattensidan.

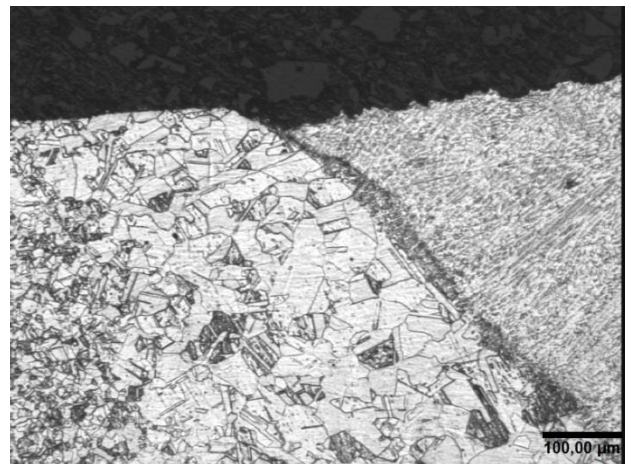


Bild 10:8 Gräns mellan svetsreparation och rostfri ytterkomponent (till vänster).

9.11 FALL 11

Visuell granskning

Svetsreparationens position	Port i sekundärlufts-nivån
Svetsreparationens storlek	80 x 35 mm
Svetssträngarna orientering	Tvärs tuben, ca 16 strängar
Svetsreparationens utseende	Delvis jämn ytan p.g.a. korrosion.
Antal reparationer	En
Anledning till reparation	Förtunning
Ovalisering av tub	Nej
Insidans utseende	Ett antal frätgropar där svetsreparation börjar och slutar. För övrigt jämn grå färg.
Material	3R12/4L7 (304L/P265GH)



Bild 11:1. Läge för svetsreparationer.

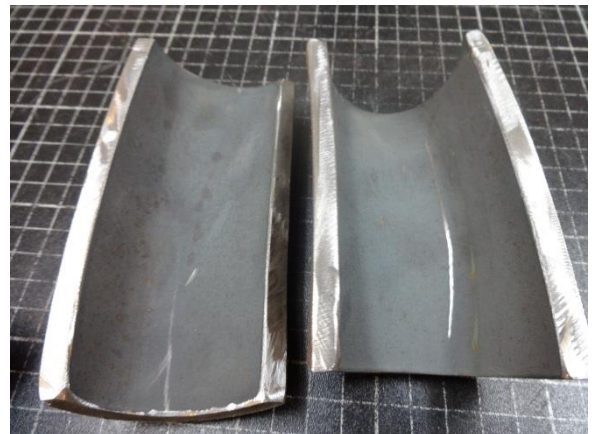


Bild 11:2. Utseende hos insida.



Bild 11:3. Korrosion och eventuella sprickor i området där svetsning börjar och slutar.

Granskning av tvärsnitt

Tre tvärsnitt orienterade tvärs svetssträngarna i reparationen har undersökts.

Enbart polerat skick

Tvärsnittens skärning med vattensidan har granskats med avseende på magnetitskikt, beläggningar och korrosionsangrepp:

- Tuben har ett heltäckande och vidhäftande magnetitskikt på vattensidan.
- Påträffade frätgroparna var grunda och passiva.
- Under svetsreparation finns fler frätgropar än utanför och grunda ytsprickor i början eller slutet av reparationen.
- Slutsats: Svetsreparationen har medfört viss påverkan på vattensidan.

Etsat kolstål

Tvärsnittet har granskats med avseende på återstående tjocklek hos innerkomponenten, utbredning av den värmepåverkade zonen (HAZ) i djupled, mikrostruktur och hårdhet.

- Svetsreparationen har inte trängt in i innerkomponenten i något av de undersökta tvärsnitten, se Tabell 11:1.
- Största utbredning av HAZ i djupled är 3 mm, vilket innebär 60 % av innerkomponentens nominella tjocklek, se Tabell 11:1.
- Mycket finkornig HAZ utan spår av hårdstruktur, se Bild 11:5.
- Hårdheten i HAZ har som mest uppmätts till 196 HV, vilket verifierar att hårdstruktur inte förekommer, se Tabell 11:1.

Etsat svetsgods

Tvärsnittet har granskats med avseende på stränguppbyggnad och utseende hos svetsreparationen. Återstående rostfri ytterkomponent, som inte smälts upp vid svetsningen, har också granskats.

- Normal mikrostruktur i svetsgods. Inga väsentliga svetsdefekter.

Tabell 1. Svetsens inträngning, HAZ utbredning och hårdhet

Tvärsnitt nr	Svetsens inträngningsdjup [mm]	Djup hos HAZ [mm]		Djup hos HAZ/tjocklek [%]		Hårdhet i HAZ [HV0,3]	Hårdhet i grundmat. [HV0,3]
		min	max	min	max	max	
1	0	0	2	0	40	193	181
2	0	0	3	0	60	181	181
3	0	0	2,3	0	46	196	187

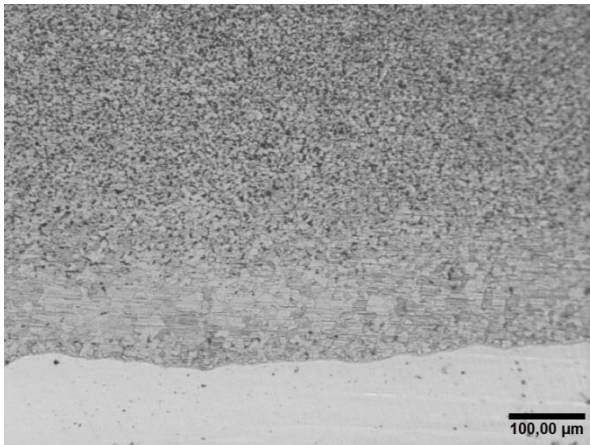


Bild 11:4. Utseende hos HAZ.

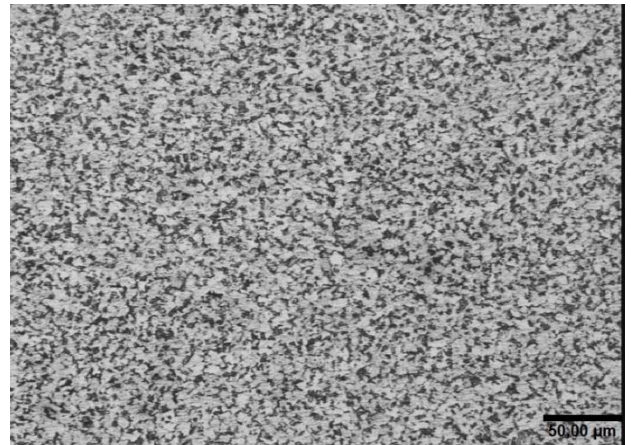


Bild 11:5. Finkornig mikrostruktur i kolstål under svetsreparationen.

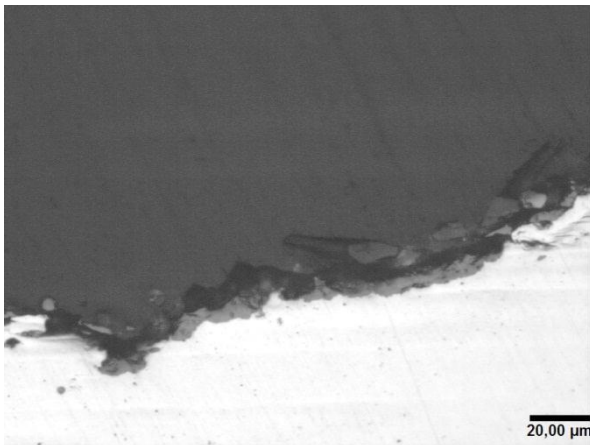


Bild 11:6 Tvärsnitt genom vattensida. Kolstål vitt och magnetit grå. Svetsreparationen har inte påverkat vattensidan.

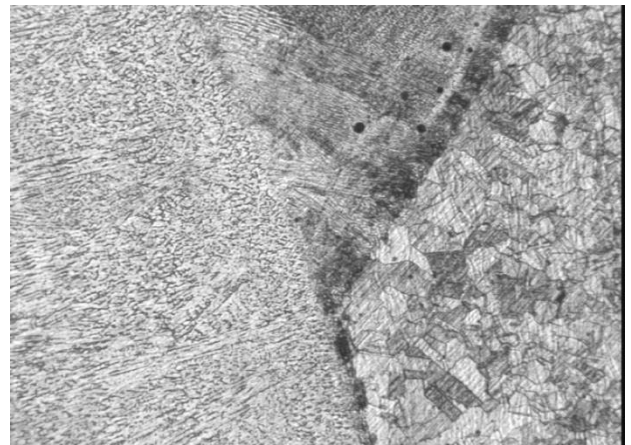
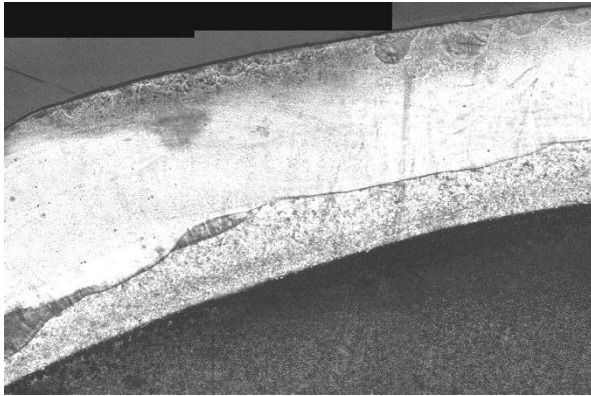


Bild 11:7 Gräns mellan svetsreparation och rostfri ytterkomponent (till höger i bilden).



Svetsreparation

Rostfri ytterkomponent

Innerkomponent i kolstål

Bild 11:8 Översikt av tvärsnitt genom svetsreparation.

9.12 FALL 12

Visuell granskning

Svetsreparationens position	Port i sekundärlufts-nivån
Svetsreparationens storlek	60 x 38 mm
Svetssträngarna orientering	Tvårs tuben, ca 14 strängar
Svetsreparationens utseende	Delvis jämnytan p.g.a. korrosion, ev. slipning.
Antal reparationer	1
Anledning till reparation	Förtunning
Ovalisering av tub	Nej
Insidans utseende	Ett fåtal synliga frätgropar.
Material	3R12/4L7 (304L/P265GH)



Bild 12:1. Läge för svetsreparationer.



Bild 12:2. Undersökt svetsreparation.



Bild 12:3. Utseende hos insidan. Inga spår av korrosion.

Granskning av tvärsnitt

Tre tvärsnitt orienterade tvärs svetssträngarna i reparationen har undersökts.

Enbart polerat skick

Tvärsnittens skärning med vattensidan har granskats med avseende på magnetitskikt, beläggningar och korrosionsangrepp:

- Magnetitskiktet är vidhäftande och heltäckande, se Bild 12:6.
- Marginell förekomst av beläggning.
- Under svetsreparation finns flera frätgropar och grunda ytsprickor i början och slutet av reparationen.
- Slutsats: Svetsreparationen har i viss utsträckning påverkat vattensidan och gynnat temporär korrosion.

Etsat kolstål

Tvärsnittet har granskats med avseende på återstående tjocklek hos innerkomponenten, utbredning av den värmepåverkade zonen (HAZ) i djupled, mikrostruktur och hårdhet.

- Ingen inträngning av svetsreparation har skett i något av de undersökta tvärsnitten, se Bild 12:8 och Tabell 12:1.
- Största utbredning av HAZ i djupled är 2,7 mm, vilket motsvara 55 % av innerkomponentens nominella tjocklek, se Bild 12:5 och Tabell 12:1.
- Ingen hårdstruktur förekommer i HAZ och det högsta uppmätta hårdhet är 194 Hv, se Bild 12:4 och Tabell 12:1.

Etsat svetsgods

Tvärsnittet har granskats med avseende på stränguppbyggnad och utseende hos svetsreparationen. Återstående rostfri ytterkomponent, som inte smälts upp vid svetsningen, har också granskats.

- Normal mikrostruktur i svetsreparationen.
- Inga väsentliga svetsdefekter.

Tabell 1. Svetsens inträngning, HAZ utbredning och hårdhet

Tvärsnitt nr	Svetsens inträngningsdjup [mm]	Djup hos HAZ [mm]		Djup hos HAZ/tjocklek [%]		Hårdhet i HAZ [HV0,3]	Hårdhet i grundmat. [HV0,3]
		min	max	min	max	max	
1	0	0	2,6	0 %	53	193	184
2	0	0	2,4	0 %	49	194	189
3	0	0	2,7	0 %	55	187	183

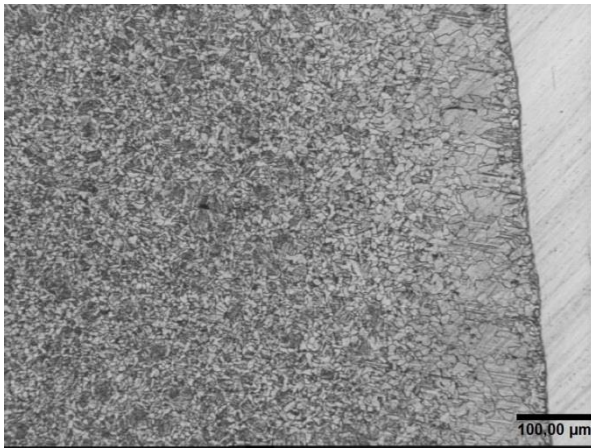


Bild 12:4. Mikrostruktur hos kolstål under svetsen.

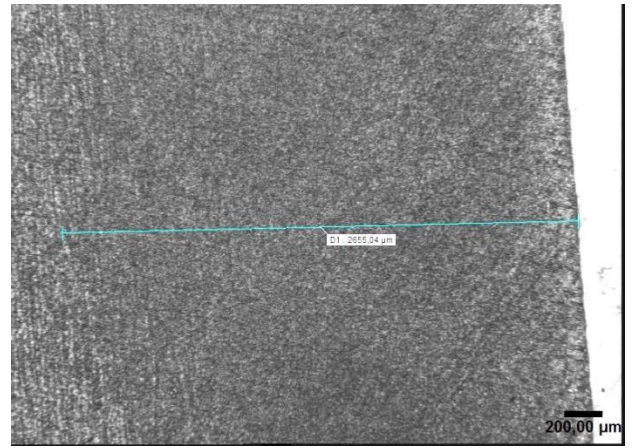


Bild 12:5. Utbredning av HAZ.

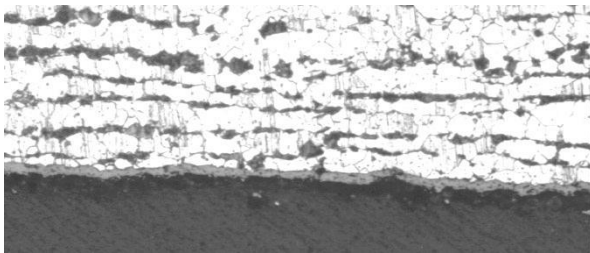
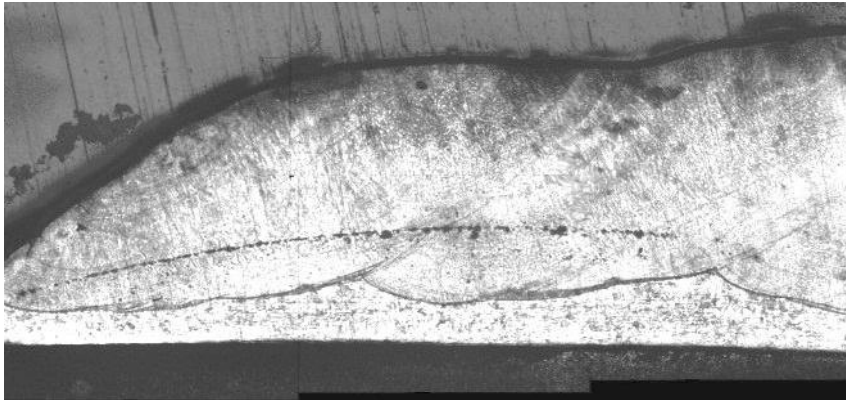


Bild 12:6 Tvärsnitt genom vattensidan. Kolstål randig, magnetit grått ytskikt. Svetsreparationen har inte påverkat vattensidan.



Bild 12:7 Mikrostruktur i rostfri ytterkomponent.



Svetsreparation

Rostfri ytterkomponent
Innerkomponent i kolstål

Bild 12:8: Översikt av tvärsnitt genom svetsreparation.

9.13 FALL 13

Visuell granskning

Svetsreparationens position	Arbetsprov, aldrig varit i drift
Svetsreparationens storlek	>25 x 40 mm
Svetssträngarna orientering	Tvårs tuben
Svetsreparationens utseende	Slipad yta på svetsreparationens topp. Kanter mot tub branta och obearbetade.
Antal reparationer	1
Anledning till reparation	Ingen skada (arbetsprov)
Ovalisering av tub	Nej
Insidans utseende	Jämn grå färg (ej driftsatt)
Material	3R12/4L7 (304L/P265GH)



Bild 13:1. Undersökt svetsreparation.



Bild 13:2. Utseende hos insida.

Granskning av tvärsnitt

Två tvärsnitt orienterade tvärs svetssträngarna i reparationen har undersökts.

Enbart polerat skick

Tvärsnittens skärning med vattensidan har granskats med avseende på magnetitskikt, beläggningar och korrosionsangrepp:

- Saknar intresse eftersom det är ett arbetsprov som inte har varit i drift.

Etsat kolstål

Tvärsnitten har granskats med avseende på återstående tjocklek hos innerkomponenten, utbredning av den värmepåverkade zonen (HAZ) i djupled, mikrostruktur och hårdhet.

- Ingen inträngning av svetsreparation i innerkomponenten, se Bild 13.8.
- Största utbredning av HAZ i djupled är 0,7 mm, vilket motsvara 14 % av innerkomponentens nominella tjocklek, se Bild 13:5 och Tabell 13:1.
- Ingen hårdstruktur förekommer i HAZ som i sin helhet är finkorning.
- Den högsta uppmätta hårdheten i HAZ är 200 HV.

Etsat svetsgods

Tvärsnitten har granskats med avseende på stränguppbyggnad och utseende hos svetsreparationen. Återstående rostfri ytterkomponent, som inte smälts upp vid svetsningen, har också granskats.

- Normal mikrostruktur i svetsreparation.
- Inga väsentliga svetsdefekter

Tabell 1. Svetsens inträngning, HAZ utbredning och hårdhet

Tvärsnitt nr	Svetsens inträngningsdjup [mm]	Djup hos HAZ [mm]		Djup hos HAZ/tjocklek [%]		Hårdhet i HAZ [HV0,3]	Hårdhet i grundmat. [HV0,3]
		min	max	min	max	max	
1	0	0	0,4	0	8	200	185
2	0	0	0,7	0	14	193	186

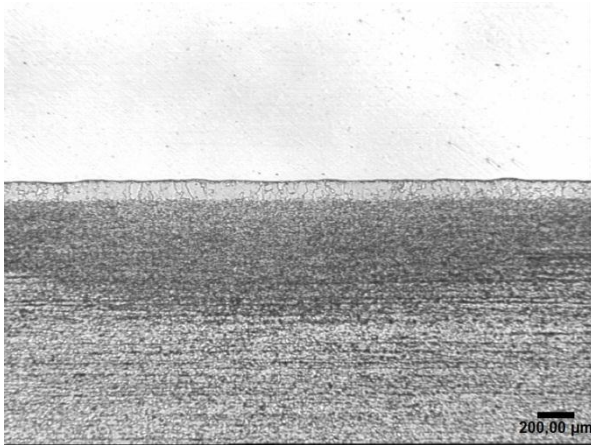


Bild 13:5. Utbredning av HAZ i innerkomponenten.

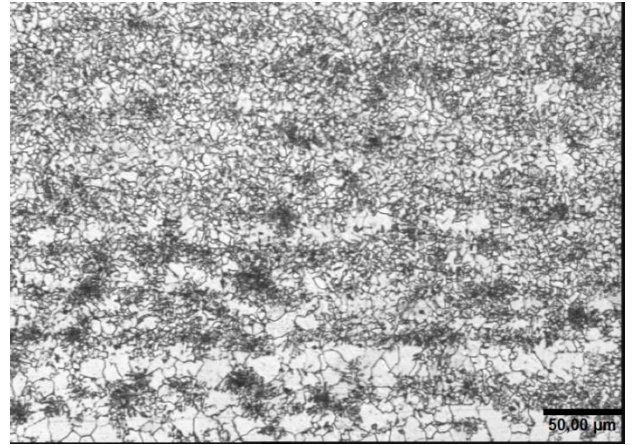


Bild 13:6. Finkorning mikrostruktur i HAZ.

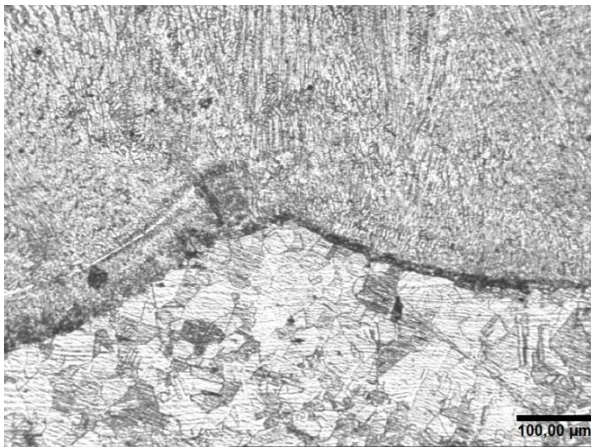


Bild 13:7 Mikrostruktur hos svetsreparation och rostfri yttrekomponent (i bildens nedre del).

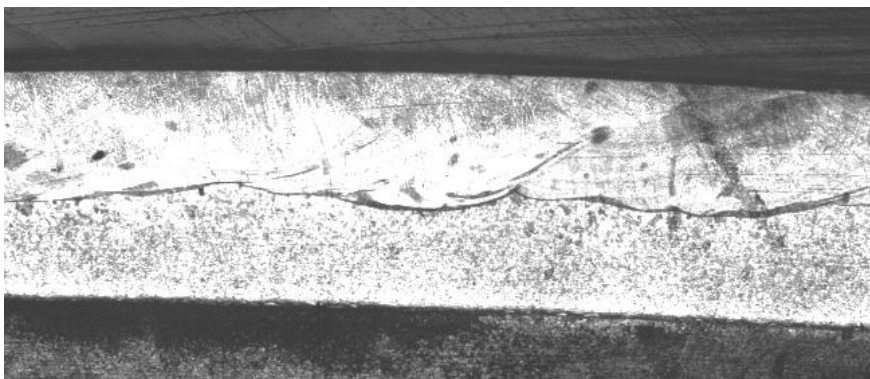


Bild 13:8 Översikt av tvärsnitt genom svetsreparation.

Svetsreparation

Rostfri yttrekomponent

Innerkomponent i kolstål

REPARATION AV SKYDDANDE YTSKIKT

Syftet med projektet var att klargöra hur reparationer av ytskikt görs och hur de påverkar egenskaperna hos de pannrör som repareras. Målet var att ta fram riktlinjer för att undvika förhastade beslut som leder till olämpliga åtgärder och att på så sätt förbättra tillgänglighet av anläggningen och öka person-säkerheten.

Totalt har 13 rörprover tagits ut från pannor och undersökts. Baserat på resultaten från undersökningarna kan följande rekommendationer ges:

- En gräns för utbredningen av en svetsreparation bör finnas. Om gränsen måste överskridas bör svetsningen styras upp med mål att minimera reparationens djup och tillförd värme.
- Efterbearbetning av svetsreparationer är i vissa fall motiverad.
- En svetsreparation bör betraktas som en temporär åtgärd. Ett byte av den skadade delen av røret vid nästa planerade underhållsstopp rekommenderas.
- Djupa svetsreparationer eller reparationer med stor värmetillförsel påverkar magnetitskiktet på vattensidan. Därför rekommenderas att djupet på svetsreparationen och tillförd värme minimeras.
- Det finns ett tydligt samband mellan djupet hos svetsreparationen och inverkan på innerkomponentens egenskaper. Därför finns det anledning att begränsa både djupet på svetsreparationen och den tillförda värmen för att minimera sådan inverkan.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se



Energiforsk