



STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING

Blandskarvars hållfasthet vid höga temperaturer

Börje Grönvall

Blandskarvars hållfasthet vid höga temperaturer

Börje Grönvall

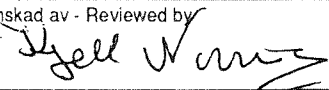
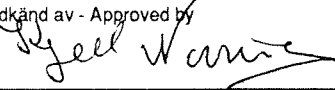
Studsvik Material

**STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING
BOX 6405 • 113 82 STOCKHOLM • TEL. 08/34 09 80**

Maj 1992

ISSN 0282-3772

Arbetsrapport - Technical Note

Projektidentifikation - Project identification	Kontonr - Internal note 4178	Datum - Date 1991-12-19	Rapport nr - Report No M-91/96
Titel och författare - Title and author BLANDSKARVARS HÅLLFASTHET VID HÖGA TEMPERATURER Börje Grönwall			
Distribution			
Granskad av - Reviewed by 	Godkänd av - Approved by 		Antal ex - No of copies
Huvudinnehåll I artskilda svetsar eller blandskarvar mellan austenitiska rostfria stål och ferritiska stål utgör det svetspåverkade materialet i det ferritiska stålet alltid den svagaste länken. Två olika svetsförband, där det ferritiska stålet varit 10CrMo910 (2.25Cr1Mo) respektive X20CrMoV121 (12Cr1Mo0.3V) har undersökts genom termisk cykling och isoterm krypprovning. Efter- som det gällt att undersöka den svagaste delen av svetsförbanden har både 10CrMo910- och X20CrMoV121-stålet stumsvetsats till sig själva enligt TIG-metoden med Inconel 82 (70Ni20Cr3Mn2.5Nb) som tillsatsmaterial. Drag- provstavar har uttagits tvärs svetsförbanden. Drifttemperaturerna för blandskarvar med 10CrMo910 och X20CrMoV121 är i en aktuell till- ämpning i PFBC-anläggningen i Värtan 500-550°C respektive 400-500°C. För att accelerera prov- ningen har topptemperaturen vid termisk cykling och temperaturen vid isoterm krypprovning legat i intervallet 600-650°C. Lågduktilt brott, som är signifikant för skadefall i praktiken, har uppnåtts genom att genomgående använda en moderat			

axiell spänning, 63 N/mm². Endast tiden till brott har noterats.

Vid den högsta temperaturen, 650°C, invercade den termiska cyklingen jämfört med isoterm provning inte på livslängden men däremot vid lägre temperaturer.

Livslängden, tiden till brott vid termisk cykling och isoterm provning, som funktion av temperaturen kan med stor noggrannhet anpassas till en exponentiell funktion, typ $t = ae^{bT}$. Genom extrapolering av erhållna värden har det befunnits att 10CrMo910 vid ogynnsam körning, termisk cykling får en livslängd vid 500°C av storleksordningen 100 000 h. Hålls temperaturen däremot konstant blir livslängden betryggande, en faktor fyra gånger längre. X20CrMoV121 däremot har en livslängd vid termisk cykling vid 500°C och relativt låg spänning av storleksordningen 3 000 000 h. Detta innebär att spänningen kan höjas påtagligt. Om temperaturen hålls konstant blir livslängden något längre.

Sprickningen vid 10CrMo910 sker i omedelbar närhet av smältgränsen medan sprickorna och brottet vid X20CrMoV121 äger rum två millimeter från smältgränsen i den svetspåverkade zonen.

THE RUPTURE STRENGTH OF DISSIMILAR JOINTS IN HIGH TEMPERATURE

Börje Grönwall

Summary

In dissimilar joints between austenitic stainless steels and ferritic steels the heat affected zone in the ferritic steel always is the weakest link.

Two different joints where the ferritic steel has been 10CrMo910 (2.25Cr1Mo) and X20CrMoV121 respectively (12Cr1Mo0.3V) has been investigated through thermal cycling and isothermal creep testing. In this case the purpose has been to investigate the weakest link and therefore both 10CrMo910 and X20CrMoV121 have been welded to themselves using the TIG-method with Inconel 82 (70Cr20Cr3Mn2).5Nb as filler wire. Crossweld specimens have been taken from the joints. The operating temperature for the dissimilar joint with 10CrMo910 and X20CrMoV121 in the PFBC-plant at Värtan, Stockholm, is 500-550°C and 400-500°C respectively.

To accelerate the testing the top temperature at thermal cycling and the temperature at isothermal creep testing has been in the region 600-650°C. Low ductile fracture, which is typical for failures in practice, has been obtained by using a moderate tensile stress, 63 N/mm². Only the time to rupture has been determined.

In the high temperature range, 650°C, the thermal cycling compared to the isothermal testing had no influence but in lower temperatures the cycling caused decreased time to rupture.

The time to rupture in thermal cycling as well as in isothermal testing as a function of testing temperature can be fitted to exponential curve of type $t = a \cdot e^{bT}$ (where t and T are time and temperature respectively). Through extrapolation of the measured data it has been found that 10CrMo910 in hard conditions that is thermal cycling has a life time at 500°C of about 100 000 h. If the operational temperature is constant the life time will be about four times longer.

The X20CrMoV121 on the other hand has a life time at thermal cycling at 500°C and moderate tensile stress of about 3 000 000 h. This means that the tensile stress can be increased considerably.

The cracks appear in 10CrMo910 closely to the fusion line but in the X20CrMoV121 steel cracking and fracture arise in the heat affected zone some millimeters from the fusion line.

Innehållsförteckning

1	Bakgrund	6
2	Material och förekommen behandling	8
2.1	Material	8
2.2	Svetsning	8
2.3	Åldring	9
2.4	Metallografisk provberedning	9
3	Apparatur och försöksbetingelser	10
3.1	Termisk cykling	10
3.2	Isoterm krypprovning	10
3.3	Synpunkter på val av provberednings- temperatur och statisk belastning	10
4	Resultat	11
4.1	Metallografi av 10CrMo910	11
4.2	Metallografi av X20CrMoV121	11
4.3	Termomekanisk provning	12
4.3.1	Provning av 10CrMo910	12
4.3.2	Provning av X20CrMoV121	12
4.3.4	Utvärdering av den termo- mekaniska provningen	12
5	Diskussion	13
6	Slutsatser	15
7	Referenser	16
	Figurer	18
	Tabeller	

1 Bakgrund

Artskilda svetsförband mellan ferritiska och austenitiska stål eller legeringar förekommer bland annat i följande typer av anläggningar för kraftproduktion:

- ångpannor med ångtemperaturer $>550^{\circ}\text{C}$
- förgasningsanläggningar
- fluidbäddar
- kärnkraftverk.

I exempelvis ångpannor med höga ångdata är det lämpligt att använda austenitiska stål i överhettare och mellanöverhettarens slutsteg där hög kryphållfasthet och god hårdighet mot oxidation krävs. I de tidigare stegen där temperaturen är lägre räcker det med ferritiska stål. Genom detta materialval blir det nödvändigt att förbinda austenitiska och ferritiska stål med varandra genom svetsning och sålunda uppstår blandskarvar eller artskilda svetsförband [1]. Blandskarvars livslängd påverkas främst av drifttemperaturen och svetsgodsets sammansättning men temperaturväxlingar inverkar också. I kärnkraftverk, där temperaturen är högst 350°C , blir påkänningarna måttliga och funktionsstabiliteten är tillfredsställande. I fossilt eldade kraftverk där temperaturen är högre blir livslängderna för blandskarvar ofta mindre än 100 000 h. Svetsgodset kan i princip bestå av antingen en nickelbaslegering eller en järnbaslegering, typ austenitiskt rostfritt stål. Nickelbaslegeringen är att föredra på grund av lämpligare längdutvidgningskoefficient och sin bromsande effekt på koldiffusionen från det ferritiska stålet. Karbidanrikade zoner vid smältgränsen med nedsatt duktilitet kan uppstå även i nickelbaslegerat svetsgodset.

I föreliggande undersökning har två artskilda svetsförband som ingår i PFBC-anläggningen i Värtan studerats. Målsättningen har varit att undersöka dessa svetsförbands egenskaper vid hög temperatur och om möjligt få fram riktlinjer hur förbandens livslängder ska kunna förbättras. Provningsen har genomförts dels genom termisk cykling, dels genom isotherm krypprovning.

Det klassiska skadefallet i blandskarv svetsad med austenitiska rostfria elektroder består av sprick-

ning i det ferritiska stålets svetspåverkade zon [1-3]. Sprickorna följer före detta austenitkorngränser och är lokaliserade till en eller två korn från smältgränsen. I blandskarvar svetsade med nickelbaseelektroder har vid laboratorieförsök med hög spänning (100 N/mm^2) en omfattande kavitetsbildning erhållits i före detta austenitkorngränser. Sprickorna ligger då ofta 50-100 μm från smältgränsen.

Skadefall i blandskarvar svetsade med nickelbaseelektroder vilka uppstått efter långvarig drift har huvudsakligen brottmekanismer som uppkommit genom tillväxt och sammanlänkning av kaviteter associerade med Typ I utskiljningar, dvs grova karbider ≥ 0.5 i smältgränsen [4]. Det finns exempel på sprickbildning i före detta austenitkorngränser även efter långvarig drift men då associerade med Typ II utskiljningar, dvs karbider jämnt fördelade i korn- och korngränser.

Åldring 6000 h vid 630°C av 10CrMo910 producerar Typ I karbider vid smältgränsen i svetsförband svetsad med Ni-baseelektroder som har samma storlek, typ och morfologi som finns i denna typ av skarvar efter långvarig drift. Ovannämnda värmebehandling är med hänsyn till utskiljningar ekvivalent med 153 000 h vid 565°C [4].

2 Material och förekommen behandling

2.1 Material

Följande två legeringsmässigt olika svetsförband, som båda förekommer i Värtaverket, har utvalts för undersökning:

- 1 10CrMo910 svetsad mot SS2338, drifttemperatur 500-550°C
- 2 X20CrMoV121 svetsat mot 253MA, drifttemperatur 400-500°C.

De ingående materialens sammansättning och mekaniska egenskaper samt egenskaper vid höga temperaturer framgår av Tabell 1 respektive Tabell 2.

2.2 Svetsning

Av litteraturen framgår att den svagaste länken i en artskild svets mellan ett ferritiskt och austenitiskt stål är det ferritiska stålets svetspåverkade zon [1]. Istället för att svetsa de ferritiska stålen mot respektive austenitiska stål fick förband 1 representeras av 10CrMo910 svetsad mot 10CrMo910 och X20CrMoV121 svetsad likaså mot X20CrMoV121. I bägge fallen användes Inconel 82, som tillsatsmaterial.

Svetsningen av stål 10CrMoV910 utfördes enligt Tabell 3.

Avsikten var från början att skaffa de båda stålen i rörform med godstjockleken omkring 10 mm. X20CrMoV121 fanns i rätt dimension Ø114x11 mm. Där- emot kunde 10CrMo910 erhållas endast i dimensionen Ø200x25. På grund av detta fogbereddes 10CrMo910-stålet enligt Figur 1.

Vid svetsning av X20CrMoV121 användes två olika procedurer som skiljde sig från varandra med avse- ende på arbetstemperatur och anlöpning. Svetsdata var i båda fallen enligt Tabell 4.

Temperaturförloppet vid procedur 1, som är en austenitisk metod, var vid svetsning av rot- och fyllnadssträngarna 250°C respektive 425°C. Den anslutande värmebehandlingen skedde vid en tempera-

tur över 800°C. Detta resulterade i en struktur med dåliga krypegenskaper och svetsningen fick göras om. Vid procedur 2, som är en martensitisk svetsmetod, framgår temperaturförloppet av Figur 2. Data har i det senare fallet tagits ur referens 5.

2.3 Åldring

Ett antal prov i stål 10CrMo910 värmebehandlades 6000 h vid 630°C för att åstadkomma utskiljning och tillväxt av karbider, jämför pkt 1. Ovannämnda temperatur ger maximal karbidstorlek.

2.4 Metallografisk provberedning

Vid provberedningen för metallografi etsades proven enligt Popov. Detta innebär att det ferritiska stålet etsas först i 3% Nital eller HCl+alkohol. Det austenitiska svetsgodset etsas därefter elektrolytiskt i 10% kromsyra.

3 Apparatur och försöksbetingelser

3.1 Termisk cykling

För termisk cykling användes tre krypmaskiner (Bofors). Originalregleringen togs bort och ersattes med tidsproportionerande PID-regulatorer, vilka matades med av varandra oberoende temperaturprogram från en dator (Victor V286C). Temperaturen cyklade mellan en topptemperatur, 600-650°C, hålltid 3 h och en lägsta temperatur, omkring 280°C. Temperaturcykelns längd var cirka 8 h. Provstavarna utsattes dessutom för en statisk belastning, 63 N/mm². På varje provstav mättes temperaturen med termoelement fästade på tre ställen, i mitten av svetsen samt vid 30 mm på vardera sidan av svetsen. Tiden till brott registrerades.

3.2 Isoterm krypprovning

Isoterm provning utfördes i tre andra krypmaskiner inom temperaturintervallet 600-650°C. Den statiska belastningen var 63 N/mm². Temperaturen mättes på samma sätt som vid termisk cykling och tiden till brott registrerades.

3.3 Synpunkter på val av provningstemperatur och statisk belastning

Det vanligast sättet att accelerera ett krypförlopp är att höja temperaturen. I föreliggande fall valdes temperaturintervallet 600-650°C, enligt pkt 3.1 och 3.2

Den använda statiska belastningen, 63 N/mm², är identisk med kryphållfastheten (100 000 h) vid 565°C för stål 10CrMo910. Nicholson [2] har i en liknande undersökning med isoterm provning använt belastningarna 62 och 100 N/mm².

Motsvarande kryphållfasthet för X20CrMoV910 är 118 N/mm². Då kombinationen svetsprocedur 1 och denna högre belastning ledde till duktila brott efter korta tider beslöts att genomgående, även för X20CrMoV910 svetsad enligt procedur 2, använda spänningen 63 N/mm².

4 Resultat

4.1 Metallografi av 10CrMo910, Tabell 5

Strukturen hos svetsgodset och svetspåverkat grundmaterial visas i Figur 3-5. I svetsens omvandlingszon består strukturen av anlöpt bainit, Figur 4 och 5. Åldring 6 000 h i 630°C har medfört att både Typ I och Typ II karbider vuxit, Figur 6. Typ I karbiderna med storlek $\geq 0.5 \mu\text{m}$ har utskiljts längs en linje 0-5 μm från smältgränsen.

Brott uppkomna antingen genom isoterm kryppprovning eller genom att termisk cykling var lågduktila och följde smältgränserna, Figur 7 och 8. Detta gällde fullt ut om temperaturen hade varit lägre än 650°C. Vid högre temperaturer (658°C) hade jämsides med det spröda brottet längs svetsens ena smältgräns en viss mindre deformation ägt rum i svetspåverkat grundmaterial, Figur 8 och 9. Sprickbildningen var interkristallin i begynnelseskedet, när kaviteter bildades och växte samman till sprickor, Figur 10-12. I samtliga åldrade prov hade under termisk cykling eller isoterm provning bildats midja. Sprickor, som kunde sättas i samband med påvisade I-karbider, förekom i smältgränsen men själva brottet uppstod längre bort i det svetspåverkade materialet i midjan.

4.2 Metallografi av X20CrMoV121, Tabell 5

Prov tillverkade av svetsförband som svetsats och värmebehandlats enligt procedur 1 brast duktilt, efter påtaglig deformation, Figur 13 och 14. Detta skedde i samband med termisk cykling med topp temperaturer under 650°C och på kort tid, 328 h. Orsaken till den dåliga kryphållfastheten var att svetsförbanden värmebehandlats vid för hög temperatur så att en stor mängd perlit fallit ut i före detta austenitkorngränser, Figur 15 och 16.

När prov tillverkats enligt procedur 2 skedde brotten i det närmaste utan deformation i svetspåverkat grundmaterialet omkring 2 mm från smältgränsen, Figur 17 och 18. Strukturen i det spruckna området bestod av anlöpt martensit. I svetsens omvandlingszon, ca 50 μm från smältgränsen, startade

sprickbildningen genom kavitetbildning, åtminstone delvis i före detta austenitkorngränser, Figur 19 och 20.

4.3 Termomekanisk provning

4.3.1 Provning av 10CrMo910

Resultatet av den isoterma kryppprovningen och den termiska cyklingen redovisas i Tabell 6 och 7 samt Figur 21. Åldringen har medfört förändringar i materialet så att tiden till brott minskat.

4.3.2 Provning av X20CrMoV121

Resultatet av den isoterma kryppprovningen och den termiska cyklingen redovisas i Tabell 8 och 9 samt Figur 22.

4.3.4 Utvärdering av den termomekaniska provningen

Genom extrapolering av erhållna värden har det befunnits att 10CrMo910 vid ogynnsam körning, termisk cykling, får en livslängd vid 500°C av storleksordningen 100 000 h, Tabell 10. Hålls temperaturen däremot konstant blir livslängden betryggande, en faktor fyra gånger längre. X20CrMoV121 däremot har en livslängd vid termisk cykling vid 500°C och relativt låg spänning av storleksordningen 3 000 000 h. Detta innebär att spänningen kan höjas påtagligt. Vid isoterm provning blev livslängden något längre.

Av Figurerna 21 och 22 och Tabell 10 framgår att den termiska cyklingen jämfört med isoterm provning inverkar minskande på livslängderna vid temperaturer under 650°C.

Sambandet mellan livslängd och temperatur har enligt minsta kvadratmetoden anpassats till en exponentiell funktion, typ $t = ae^{bT}$, där T är temperaturen vid isoterm provning och topptemperaturen vid termisk cykling.

5 Diskussion

Undersökningar av inträffade skadefall har visat att drifttemperaturen och sekundärspänningar på grund av hindrad expansion ofta haft avgörande inflytande på blandskarvars livslängd. Detta har behandlats utförligt i litteraturstudien, Värmeforsk 270 (1). I föreliggande undersökning har proven varit belastade med en axiell dragspänning, 63 N/mm². Resonemanget vid val av den statistiska spänningen har redovisats under pkt 3.3.

Prov i stål X20CrMoV121 svetsade enligt procedur 1 brast duktilt till och med vid låg spänning, vilket visar att materialet kräver stor noggrannhet för att tillfredsställande hållfasthet vid höga temperaturer ska uppnås. Utvecklingen går emellertid mot varmhållfasta stål med 9% Cr, som är lättare att svetsa och har bättre egenskaper vid temperaturer >540°C (10-13). Det är en klar förbättring att gå över från austenitiska rostfri elektrod till nickelbaselektrod. Livslängden ökar i det senare fallet med 3-5 gånger. De vanligaste nickelbaselektroderna är ENiCrFe-1 (Inconel 132), ENiCrFe-2 (Inconel A) och ERNiCr-3 (Inconel 82). Det har emellertid visat sig att dessa elektroder tenderar till att bilda Typ I karbider vid smältgränsen. När denna typ av karbider väl har bildats minskar kryphållfastheten och när karbiderna uppnått kritisk storlek börjar brottprocessen. Inom EPRIs forskningsprojekt RP1874 pågår utveckling av en nickelbaslegering kallas HFS6 (Ni43-50Cr7.5-9.5C≤0.04), som är lovande trots att den har benägenhet att bilda mikrosprickor [15]. Fogens form har också betydelse. En stor fasvinkel i det ferritiska stålet är fördelaktig.

Avsikten har varit att undersöka om de lokala spänningar som uppstår genom termisk cykling och beror på de ingående materialens olika längdutvidgningskoefficienter har betydelse. Den termiska cyklingen kan påverkas även i metallurgiskt hänseende. Det har hävdats att α - γ -gränsen rör sig, vid stigande temperatur mot α -sidan och vid sjunkande temperatur mot γ -sidan [14].

Det högre legerade stålet X20CrMoV121 har bättre varmhållfasta egenskaper, vilket också framgår av Tabell 10. Livslängderna för 10CrMo910 och X20CrMoV121 vid termisk cykling vid topptempera-

turen 400°C är av storleksordningen 10^6 respektive 10^9 timmar.

Vid 650°C, som överensstämmer med de båda materia-
lens maximala användningstemperatur (NGS470, 1985),
var det ingen skillnad på livslängderna.

I föreliggande undersökning cyklades proven mellan
en högsta temperatur, 600-650°C, och en lägsta
temperatur, 250-300°C. En större effekt kunde
givetvis uppnås genom att sänka den lägsta tempera-
turen ytterligare men ugnarnas stabila konstruktion
gjorde att en lägre temperatur inte var tänkbar med
hänsyn till att cykelns längd bestämdes till
omkring 8 h.

De erhållna värdena för 10CrMo910 stämmer väl över-
ens med litteraturdata [2].

6 Slutsatser

Kombinationen av isoterm kryppprovning och termisk cykling är ett bra sätt att prova blandskarvars sannolika livslängd. Dessa två provningsmetoder kompletterar varandra och ger möjlighet att bedöma de artskilda materialens förenlighet under givna förhållanden.

En blandskarv bestående av 10CrMo910 svetsad mot ett austenitiskt rostfritt, typ S2338 med Inconel 82 som tillsatsmaterial, har vid 63 N/mm² påkänning och drifttemperaturen 400°C en livslängd kring 3·10⁶ h. Åldring 6000 h vid 630°C medför utskiljning och tillväxt av karbider som i sin tur halverar livslängden.

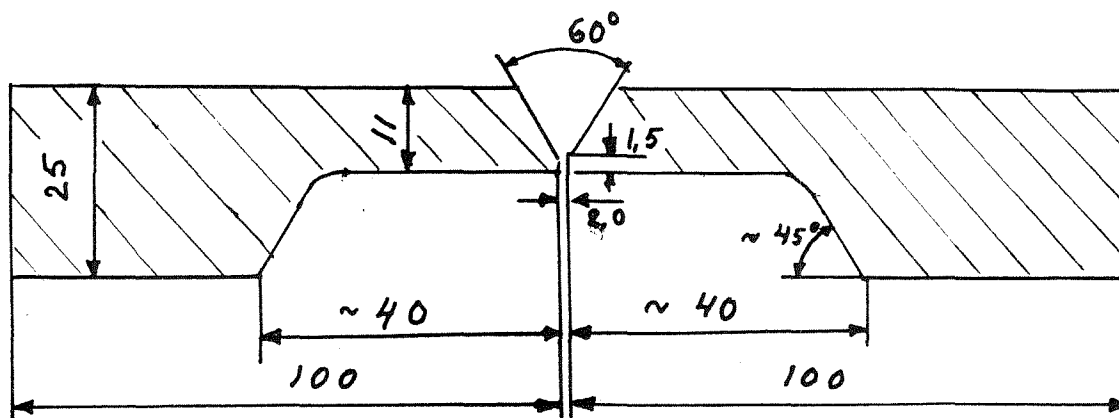
En blandskarv bestående av X20CrMoV121 svetsad mot det austenitiska rostfria stålet 253MA med Inconel 82 som tillsatsmaterial har vid 63 N/mm² påkänning samt 400°C och 500°C livslängderna 1.7·10⁹ respektive 3·10⁶ h. Den långa tiden visar att materialet tål högre belastning.

Blandskarvars livslängd påverkas av temperaturen men även spänningar från systemet har betydelse.

7 **Referenser**

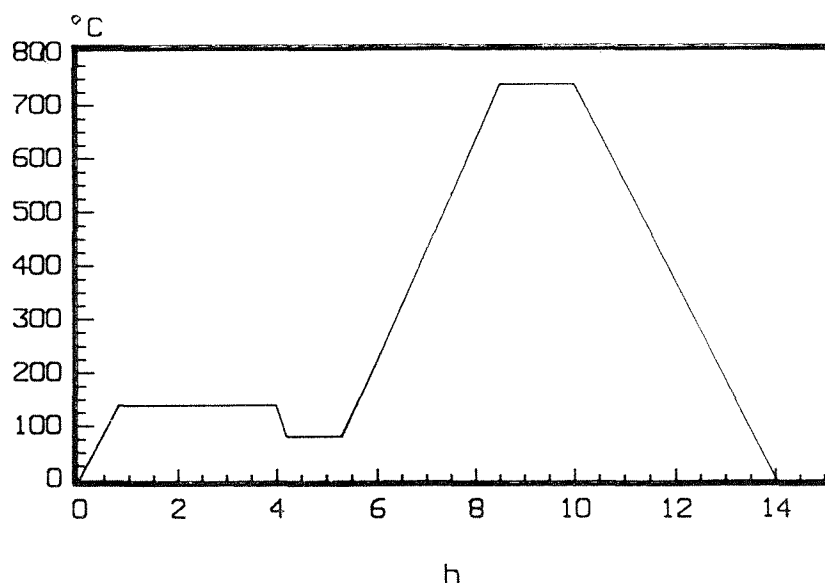
- 1 GRÖNWALL, B
Blandskarvar i ångpannor - litteratur-
studie.
Värmeforsk, Materialteknik, mars 1987.
- 2 NICHOLSON, R D
Creep-rupture properties of austenitic and
nickel-based transition joints.
Metals Technology 9 (1982) 305-313.
- 3 NICHOLSON, R D and PRIC, A T
Service experience of nickel-based transi-
tion joints.
Welding Dissimilar Metals, published by
the Welding Institute 1986, p 53-57.
- 4 NICHOLSON, R D
Effect of aging on interfacial structures
of nickel-based transition joints.
Metals Technology 11 (1984) 115-124.
- 5 SKJØDT, N
Samlingssveisning af overhederrør X20 til
austenitiske rør.
Examensarbete publicerat vid Danmarks
Tekniske Højskole, augusti 1989.
- 6 JESPER, H, KAUTZ, H R
Eigenschaften, Verarbeitung und Bewährung
des Stahles X20CrMo(W)V121 im Kraftwerk.
VGB Konferenz "Werkstoffe und Schweiss-
technik im Kraftwerk 1985", 7-8 Februar
1985 in Essen, 275-316.
- 7 MÜSCH, H, BENDICK, W und WEBER, H
Betriebsverhalten von Schweissverbindungen
im Zeitstandbereich.
VGB-Sondertagung 1987-12-15.
- 8 JAHN, E
Zeitstandprüfung von Rohr-Schweissver-
bindungen der Stähle 13CrMo44 und
10CrMo910.
VGB Kraftwerkstechnik, Mitteilungen der
VGB 52 (1972) 258-270.

- 9 JESPER, H und KAES, H
Werkstoffprobleme beim Bau und Betrieb von
fossilfeuertem Dampferzeugern und Rohrlei-
tungen.
VBB Kraftwerkstechnik 64 (1984) 690-
- 10 BRÜHL, F, CERJAK, H, MÜSCH, H, NIEDERHOFF,
K und ZSCHAU, M
Verhalten des 9% Chromstahles X10CrMoVNb91
im Kurz- und Langzeitversuch.
VGB Kraftwerkstechnik 69 (1989) 1225-1231.
- 11 METCALFE, E, MIDDLETON, C J, TOWNSEND, R D
CEGB development programmes on ferritic
steels for advanced plants.
Second International Conference on
Improved Coal-Fired Power Plants, 2-4
November 1988, Palo Alto, California,
p 19/4-19/28.
- 12 PELABON, J, PELLICANI, F
Comparative evaluation of tubular products
in T91 and P91 with X20CrMoV12-1 grades.
Proceedings of an "International Confer-
ence on Advances in Material Technology
for Fossil Power Plants", 1-3 September
1987, Chicago, Illinois, USA, p 243-250.
- 13 HAARMANN, K, KALWA, G P
Practical experience with pipe materials
suitable for use in the temperature range
from 540°C to 620°C. Ibid.
- 14 Welded joints between dissimilar stainless
steels and between stainless and low alloy
steels.
IIW Commission IX, Subcommission IXH, Doc
IXH-66/77.
- 15 ROBERTS, D I, RYDER, R H, THURGOOD, B E
WISWANATHAN
Improved dissimilar welds for superheater
and reheater tubes.
Proceeding from "The International Confer-
ence on Advances in Material Technology
for Fossil Power Plants", September 1-3,
1987, Chicago, p 337-342.



Figur 1

Fogberedning av rör $\varnothing 200 \times 25$ i 10CrMo910-stål.



Figur 2

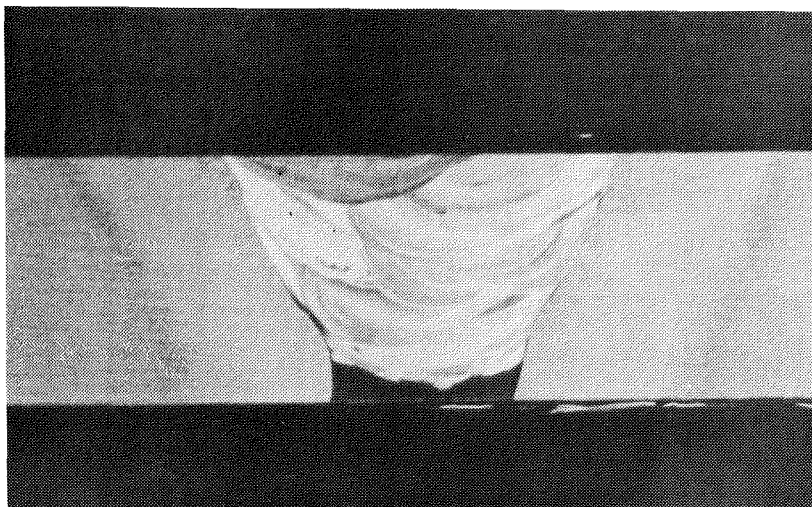
Temperaturförloppet vid svetsning av X20CrMoV121 mot X20CrMoV121 för att åstadkomma 100% anlöpt martensit. x5

Förvärmning: ingen.

Arbetstemperatur: 125-150°C.

Anslutande värmebehandling: efter svetsning svalning till 50°C, hålltid ≥ 1 h och därefter anlöpning vid 760-780°C, hålltid 1.5 h.

Uppvärmnings- och svalningshastigheter: högst 200°C/h.



Figur 3

Svetsgodsets olika strängar samt svetspåverkade zoner i grundmaterialiet har framsetsats. Svetsningen har utförts i V-fog. Vid provframställningen har svetsens topp- och rotsida bearbetats. 10CrMo910 ej testad (prov C16).
Etsning enligt Popov. 5.5x



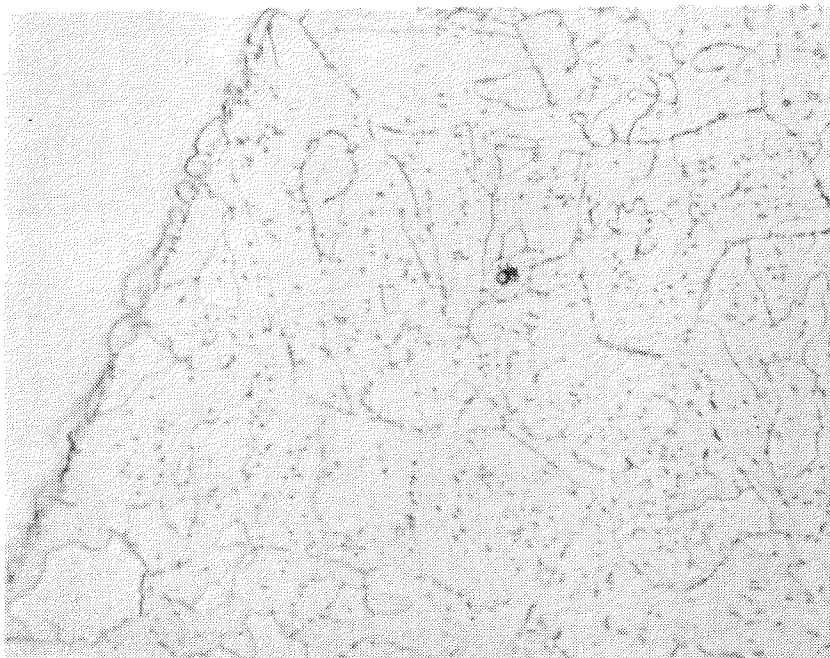
Figur 4

Det svetspåverkade grundmaterialiet intill smältgränsen består av anlöpt bainit. 10CrMo910 (prov C16).
Etsning i Nital 3%. 500x.



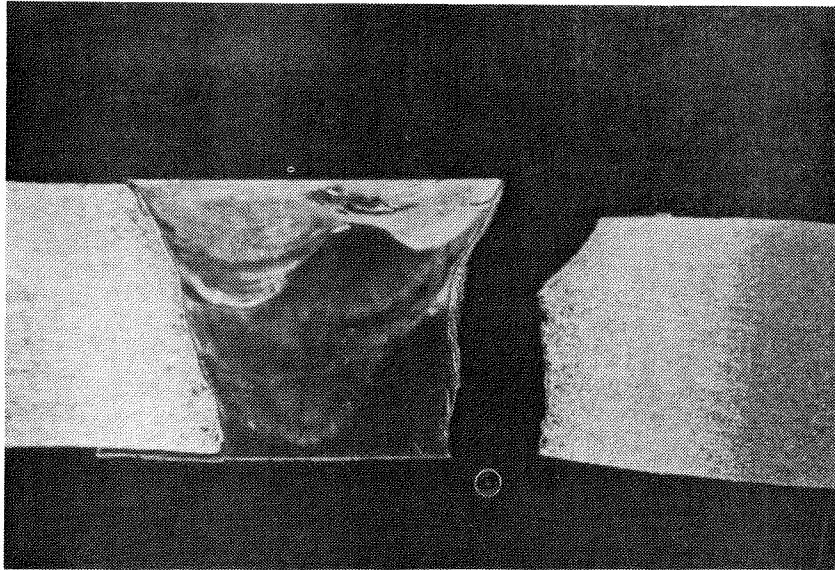
Figur 5

Strukturen i omvandlingszonen består av anlöpt bainit (prov C16).
Etsning i Nital 3%. 1000x



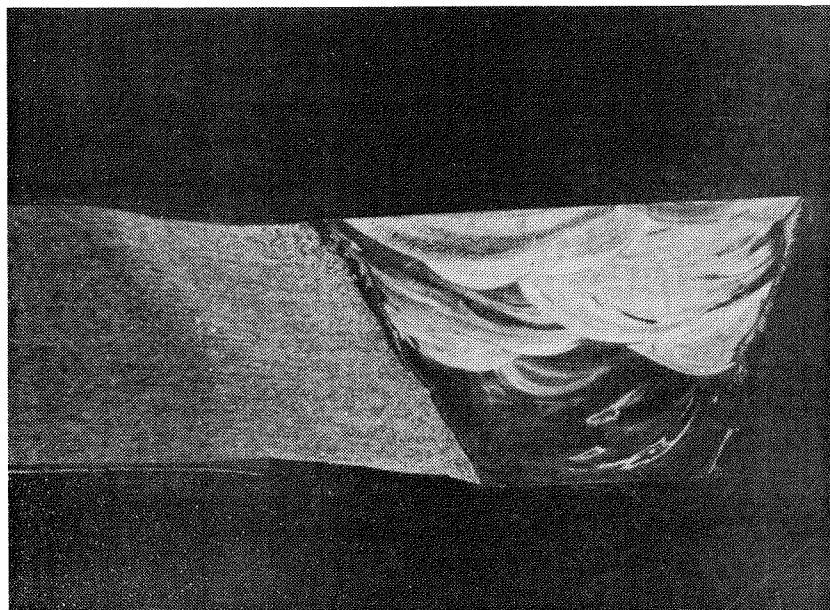
Figur 6

Utskiljningarna har vuxit på grund av åldring (6000 h vid 630°C). 0-5 µm från smältgränsen finns Typ I karbider utskiljda längs en linje. Inuti kornen och i före detta austenitkorngränser finns Typ II karbider. Skadefall i praktiken startar vanligen genom kavitation vid Typ I karbider.
Etsning i Nital 3%. 1000x



Figur 7

Brottet är sprött och följer smältgränsen. 10CrMo910 isotermt testad vid 630°C (prov C26).
Etsning enligt Popov. 6.2x



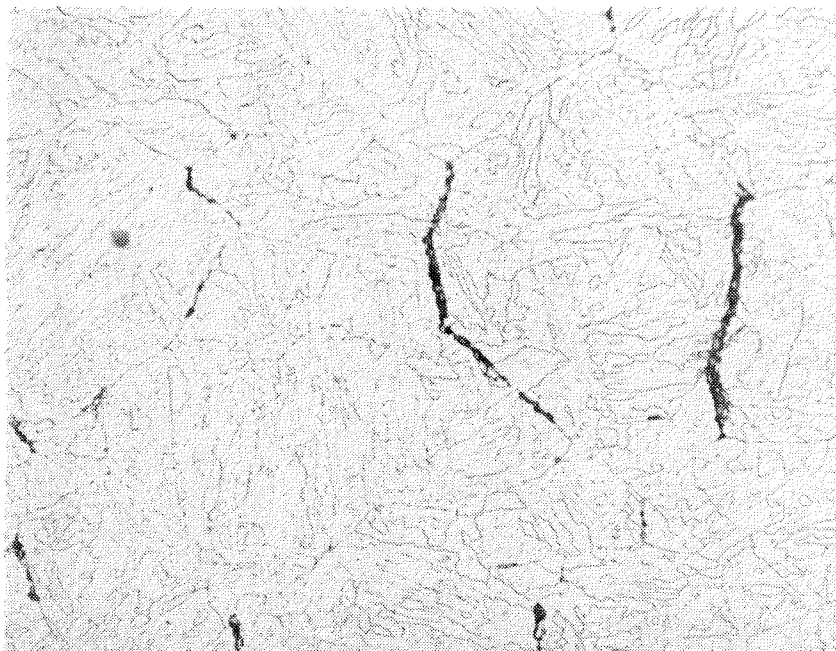
Figur 8

Brottet och sprickan följer var sin smältgräns. På vänstra sidan om svetsen finns en antydning till midjebildning. 10CrMo910 termiskt cyklad med topp temperatur 658°C (prov C31).
Etsning enligt Popov. 6.2x



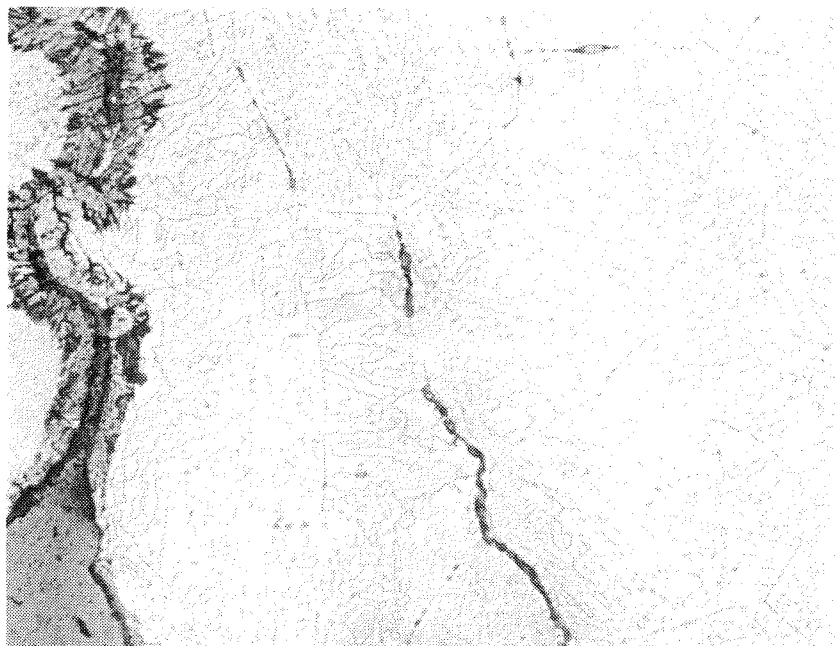
Figur 9

Sprickan följer smältgränsen. På grund av midjebildning är provet nedanför sprickan något smalare. Detalj av Figur 8 (prov 31).
Oetsad. 15x



Figur 10

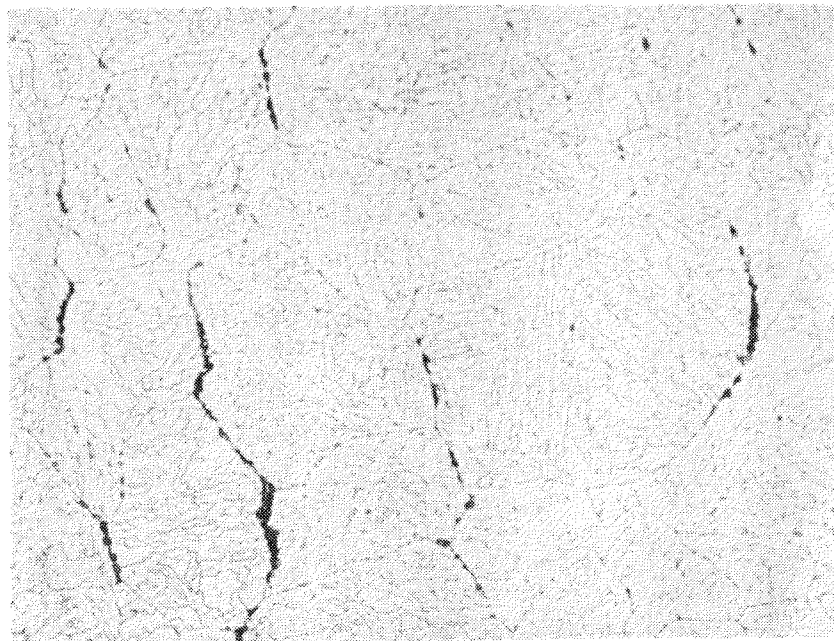
Kavitation och början till sprickor i före detta austenitkorngränser. Detalj av Figur 8 och 9.
Etsning i Nital 3%. 500x



Figur 11

Kavitation, början till sprickor och utvecklade sprickor i före detta austenitkorngränser med pärlband av karbider. Detalj av Figur 7.

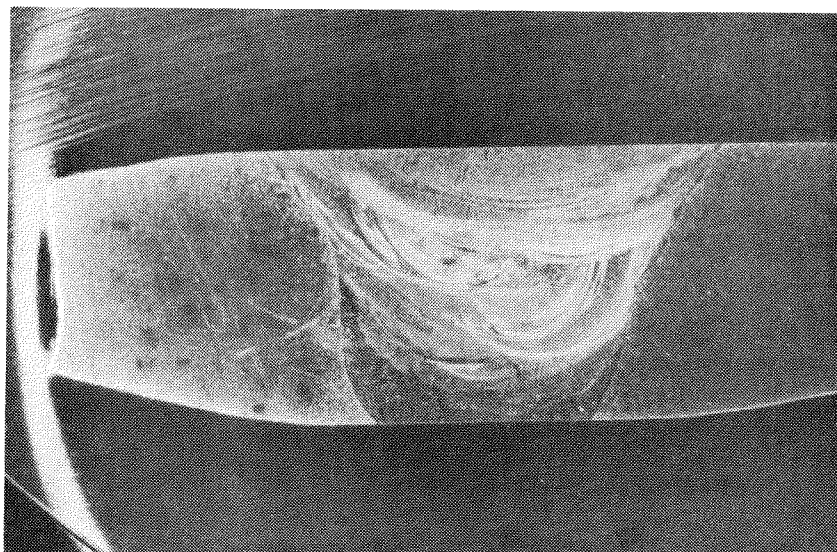
Etsning i Nital 3%. 500x



Figur 12

Kavitation och början till sprickor i före detta austenit- korn- gränser med pärlband av karbider. 10CrMo910 termiskt cyklad med topp temperatur 635°C (prov C29).

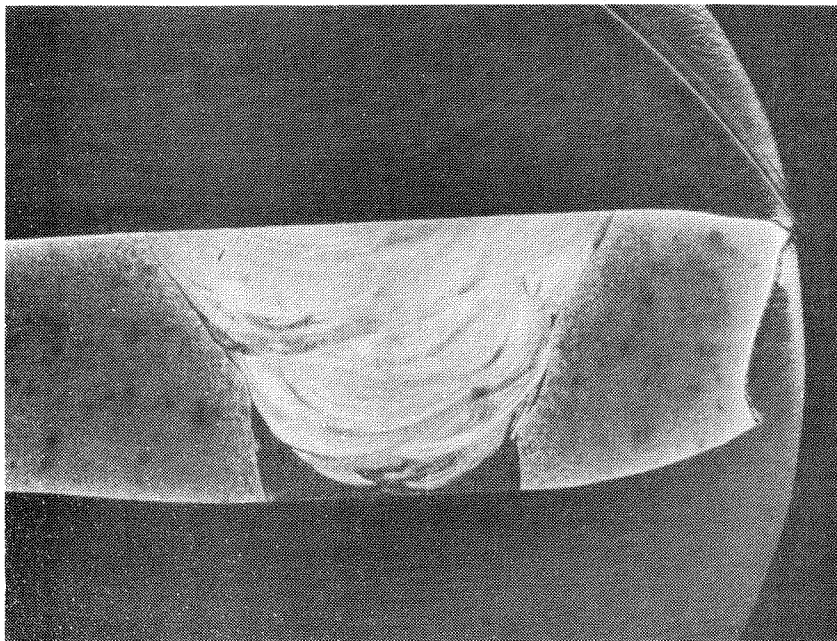
Etsning i Nital 3%. 500x



Figur 13

Duktilt brott efter termisk cykling. X20CrMoV121 svetsat enligt procedur 1 varvid värmebehandlingen skedde vid för hög temperatur, över 800°C (prov X4).

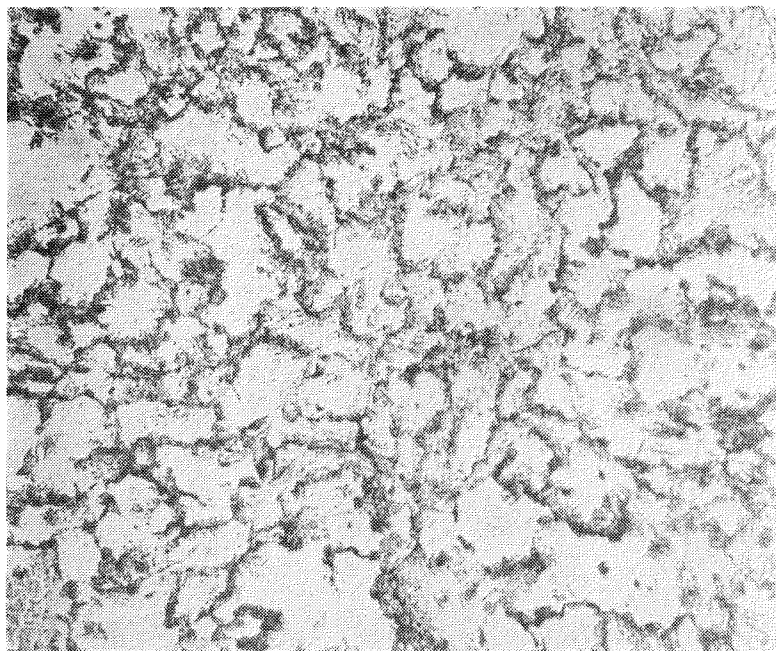
Etsning enligt Popov. 6.2x



Figur 14

Duktilt brott efter termisk cykling. X20CrMoV121 svetsat enligt procedur 1. Värmebehandlad vid för hög temperatur, över 800°C (prov X5).

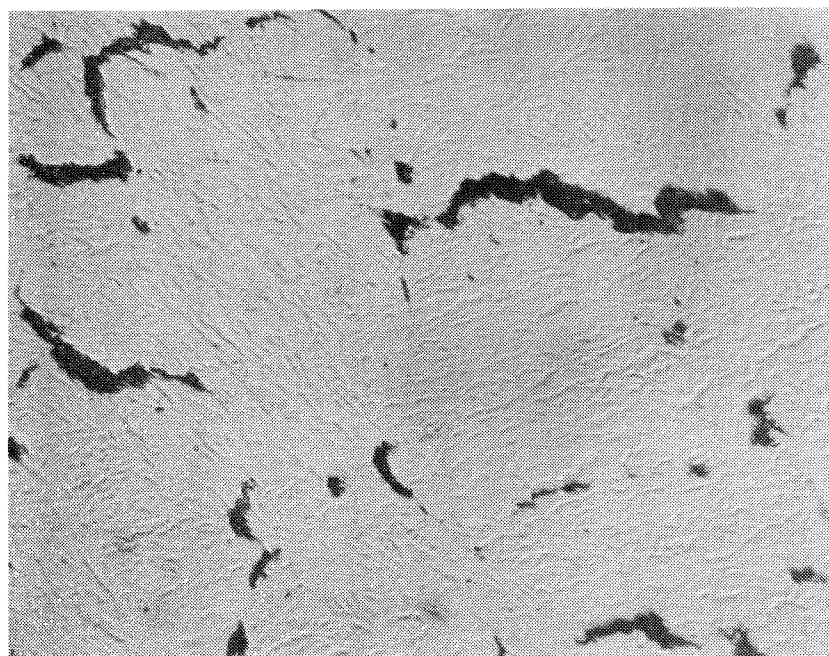
Elytetsning. 6.2x



Figur 15

4 mm från smältgränsen har grundmaterialet en struktur innehållande stor mängd perlit (mörka partier) i före detta austenit-korngränser. Anlöpningen i samband med svetsningen har skett vid för hög temperatur, över 800°C. X20CrMoV121, termisk cyklad med topptemperatur 644°C (prov X4).

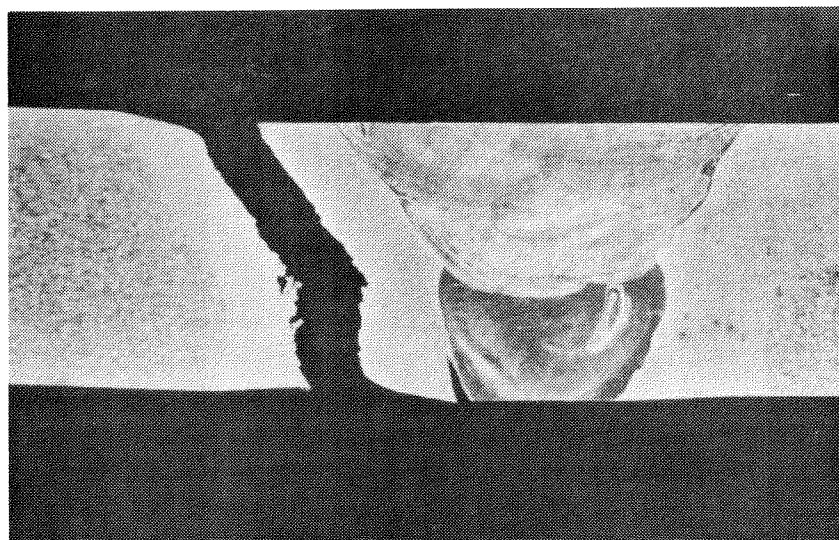
Etsning enligt Marble. 500x



Figur 16

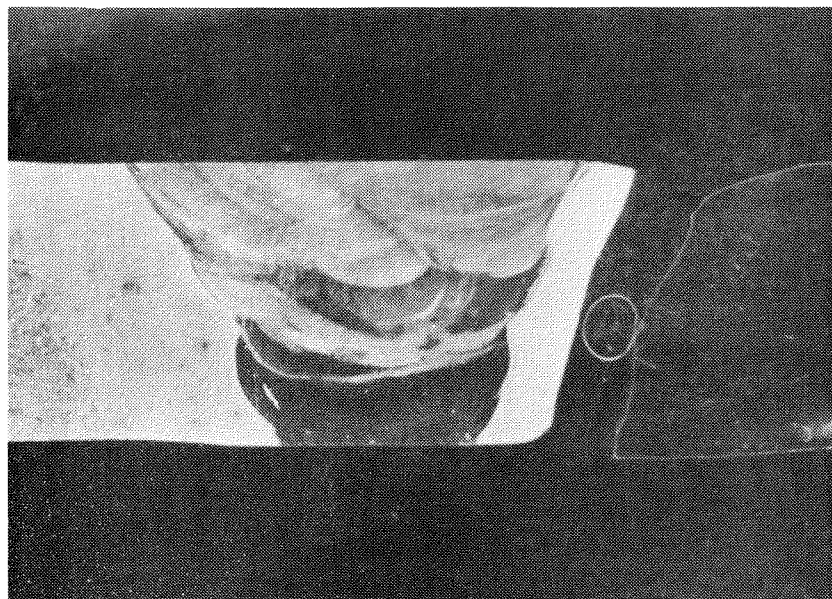
I svetsens omvandlingszon består grundmassan av martensit och i före detta austenitkorngränser finns perlit. X20CrMoV121 (prov X4).

Etsning enligt Marble. 1000x



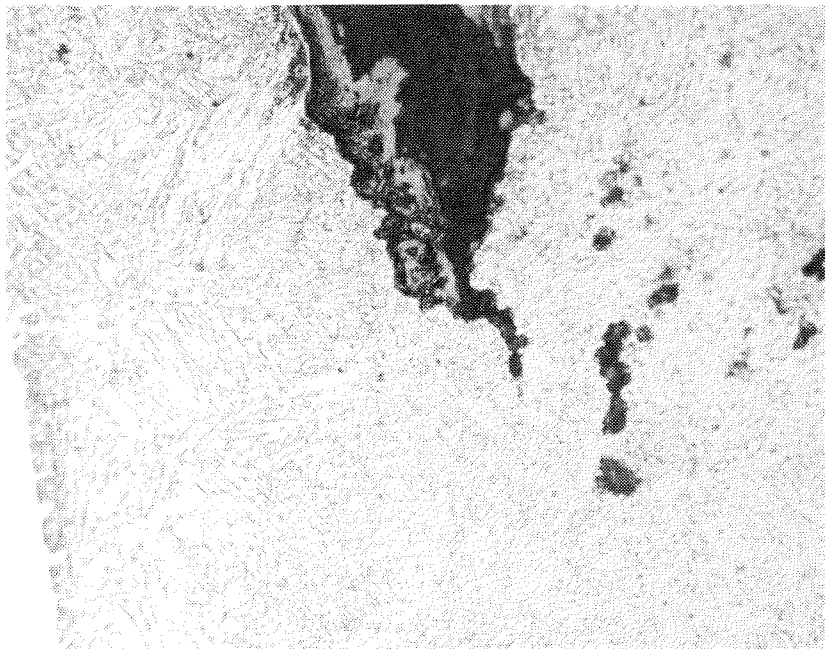
Figur 17

Brottet ligger i det svetspåverkade grundmaterialet, 1.8 mm från smältgränsen. Sprickan vid svetsens rot följer smältgränsen. X20CrMoV121 svetsad enligt procedur 2, isotermt testad vid 627°C (prov X53).
Etsning enligt Popov. 6.2x



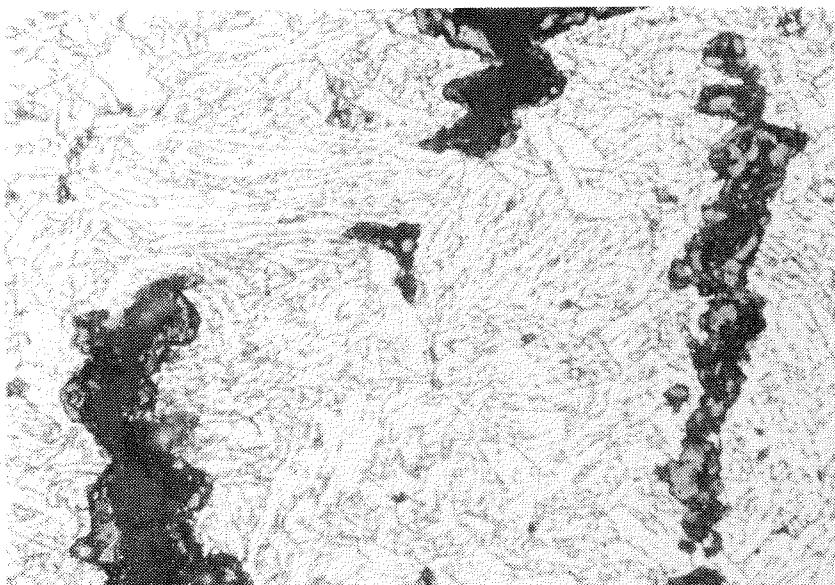
Figur 18

Brottet ligger i det svetspåverkade grundmaterialet, 1.4 mm från smältgränsen. Sprickor 0-90 µm från smältgränsen. X20CrMoV121 svetsad enligt procedur 2, termiskt cyklad med topptemperatur 636°C (prov X65).
Etsning enligt Popov. 6.2x



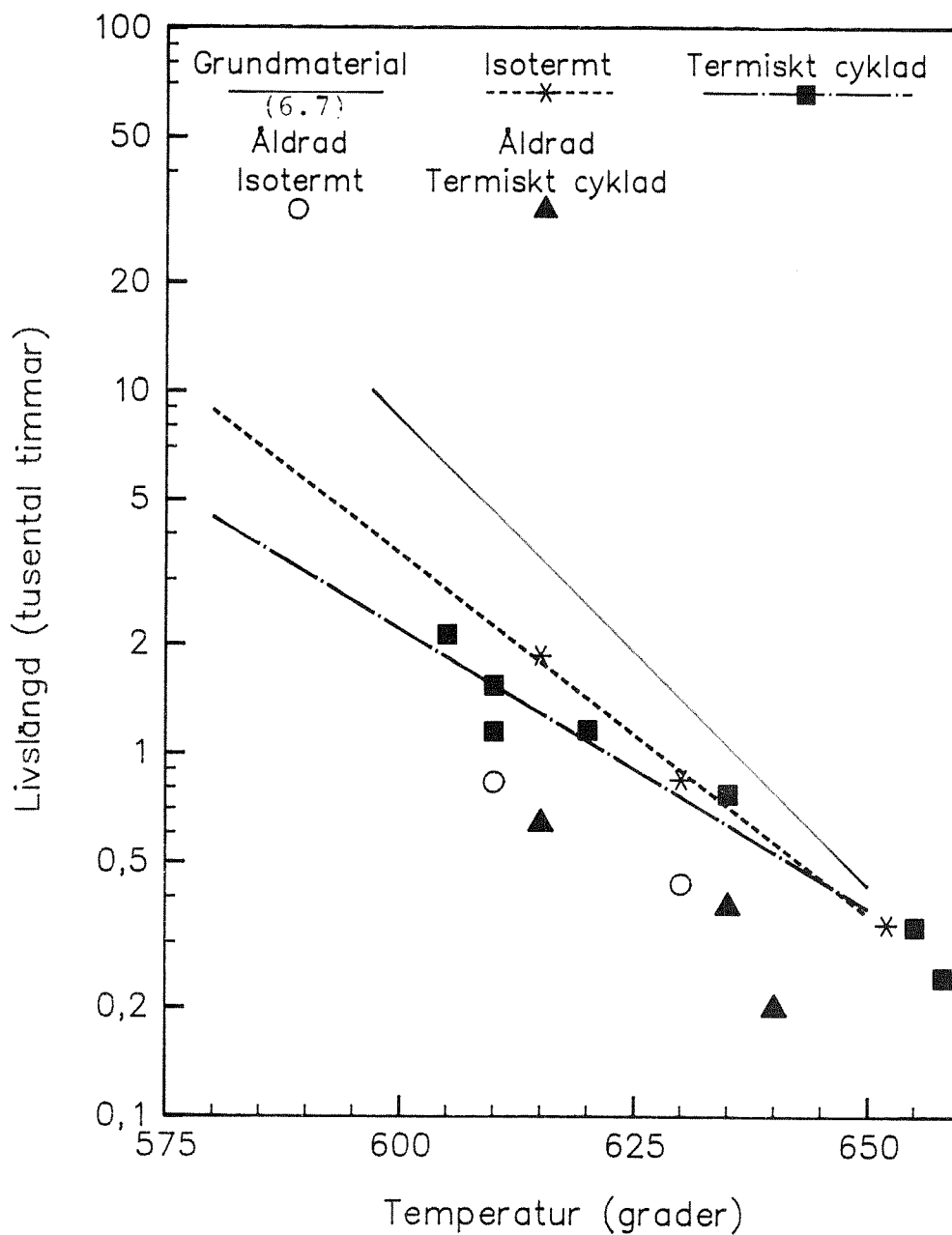
Figur 19

Kaviteter och sprickor i svetsens omvandlingszon. Defekterna ligger delvis i före detta austenitkorngränser. Strukturen består av anlöpt martensit. Detalj av Figur 17.
Etsning i HCl+alkohol. 500x



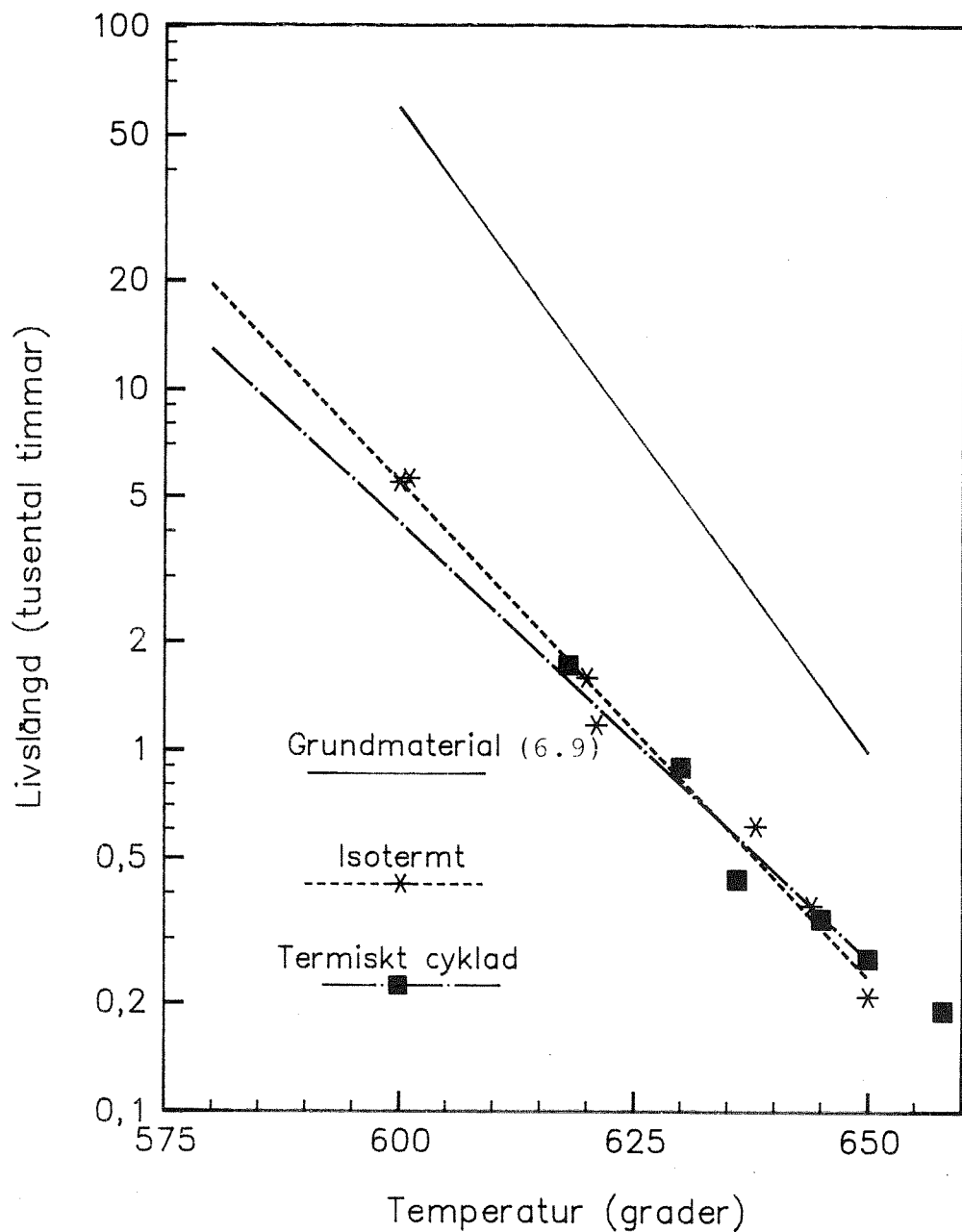
Figur 20

Kaviteter och sprickor i svetsens omvandlingszon ca 50 μm från smältgränsen. Defekterna ligger delvis i före detta austenitkorngränser. Strukturen består av anlöpt martensit. Detalj av Figur 18.
Etsning i HCl+alkohol. 1000x



Figur 21

Livslängden som funktion av temperaturen hos isotermt respektive termiskt cyklade prov i stål 10CrMo910, som TIG-svetsats med Inconel 82 som tillsatsmaterial. Den axiellt pålagda spänningen har varit konstant, 63 N/mm².



Figur 22

Livslängden som funktion av temperaturen hos isotermt respektive termiskt cyklade prov i plåt X20CrMoV121 som TIG-svetsats med Inconel 82 som tillsatsmaterial. Den axiellt pålagda spänningen har varit konstant, 63 N/mm².

Tabell 1

Sammansättning och mekaniska egenskaper hos provmaterial.

Stål	Charge	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	RP _{0.2}	Rm	A	Z	Provn	Leverantör
		%	%	%	%	%	%	%	%	N/mm ²	N/mm ²	%	%	temp °C	
10CrMo910	82082	0.10	0.26	0.46	0.018	0.011	2.27	0.97		356	533	26	69.0	20	Mannesmann- röhrenwerke AG 1)
X20CrMoV121	108023	0.20	0.28	0.60	0.015	0.005	10.38	0.90	0.74	0.28V	581	811	21	20	" 2)
Inconel 82		≤0.10	≤0.50	2.50- 3.50			18.00- 22.00		≥67.00	2.00- 3.00Nb					

Anm. 1) Certifikat 221/71 7560 utfärdat 1971-08-24 av TÜV, Rheinland.

2) Certifikat 6/26004181/5 utfärdat 1988-08-12 av TÜV, Essen.

Tabell 2

Hållfasthet vid höga temperaturer enligt Stahlschlüssel utgiven 1986.

Stål	Krypgräns (δ1.0%) N/mm ²						Krypbrotthållfasthet N/mm ²									Anm
	1000 h (°C)			10 000 h (°C)			10 000 h (°C)						100 000 h (°C)			
	500	550	600	500	550	600	500	550	600	500	550	600	500	550	600	
10CrMo910	206	118	64	157	83	44	108	49	27	206	113	63	147	74	39	
X20CrMoV121	314	206	108	255	157	59	206	118	39	343	216	118	255	147	49	

Tabell 3

Data vid svetsning av 10CrMo910

Sträng	Svets- metod	Tillsats- material	Strömart polaritet	Ampere Volt	Rak- sträng	Pend- ling	Borst- ning	Slip- ning	Brännare l/min	Arbets- temp °C
Rot	GTAW	Inconel 82 Ø2.4	= -	130-150 A 14-20 V	x		x	x	Ar SR 8	ca 250*
1-5	"	"	= -	130-150 A 14-20 V		x	x	x	"	"

* Uppvärmnings- och avsvältningshastigheterna var lägre än 200°C/h.

Tabell 4

Data vid svetsning av X20CrMoV121.

Sträng	Svets- metod	Tillsats- material	Strömart polaritet	Ampere Volt	Rak- sträng	Pend- ling	Borst- ning	Slip- ning	Brännare l/min	Arbets- temp °C
Rot	GTAW	Inconel 82 /2.4	= -	115-120 A 14-20 V	x		x	x	Ar SR	ca 135
1-6	"	"	= -	135-150 A 14-20 V		x	x	x	"	130-150

Tabell 5

Iakttagelser vid metallografisk undersökning.

Prov	Material	Termisk cyklad topptemp °C	Isoterm provning °C	Brottets avstånd till smältgräns mm	Sprickors avstånd till smältgräns mm	Anmärkning	Figurer
C16	10CrMo910	-	-	-	-	Ej provad	3-5
C7	10CrMo910			-	-	Åldrad, ej provad	6
C3	10CrMo910			-	-	Åldrad, ej provad	7-8
C26	10CrMo910		630	0	1.4		9-10
C29	10CrMo910	635		0	0		
C4	10CrMo910		610	6	0	Åldrad, midja	
C31	10CrMo910			0	0		
X18	X20CrMoV121			-	-	Proc 1, ej provad	
X4	X20CrMoV121	644		6.2	0.07-0.4	Proc 1, midja	11-12
X5	X20CrMoV121	647		4.4	4.4	Proc 1, midja	
X53	X20CrMoV121		627	1.8		Proc 2, lågduktilt	
X65		636		1.4		Proc 2, lågduktilt	

Tabell 6

Isoterm krypprovning av 10CrMo910.

Prov	Temperatur	Tid till brott, h	Anm
C19	615	1846	
C26	630	838	
C18	652	334	
C4	610	826	Åldring 6000 h 630°C
C5	630	432	"

Tabell 7

Termisk cykling av 10CrMo910.

Prov	Topp- temperatur °C	Tid till brott h	Tid vid topp- temperatur °C	Antal cykler	Anm
C15	610	3927	1529	491	
C23	605	5638	2114	705	
C17	610	3039	1140	380	
C13	620	3066	1150	383	
C29	635	2040	765	255	
C14	655	880	330	110	
C31	658	642	240	80	
C1	615	1692	634	212	Åldrad
C12	635	1000	375	125	"
C3	640	522	198	65	"

Tabell 8

Isoterm krypprovning av stål X20CrMoV121.

Prov	Temperatur	Tid till brott, h	Anm
X57	601	5989	
X58	600	5450	
X59	621	1166	
X53	620	1578	
X54	638	610	
X55	644	368	
X61	650	207	

Tabell 9

Termisk cykling av X20CrMoV121.

Prov	Topp- temperatur °C	Tid till brott h	Tid vid topp- temperatur °C	Antal cykler	Anm
X52	618	4097	1708	569	
X50	630	2450	891	318	
X65	636	1102	435	145	
X64	645	874	339	109	
X56	650	682	264	85	
X60	658	507	190	63	

Tabell 10

Jämförelse av livslängden hos grundmaterial och svetsar vid stål 10CrMo910 och X20CrMoV121 erhållna vid isoterm krypprovning och termisk cykling.

Material	Tillstånd	Typ av provning	Temperatur T°C				T _{1/10} h/°C	T _{1/2} °C	t=a·e ^{bT}			Anm
			650	580	500	400			R	a	b	
			h	h	h	h						
<u>10CrMo910</u>												
Grundmtrl	Härdat och anlöp	Isoterm	435	2.6·10 ³	2.8·10 ⁶	9.7·10 ⁷	11.8	39.4	1.000	1.4·10 ¹⁹	-0.0585	Ref 6, 7
Svets	"	"	216	6.2·10 ³	2.9·10 ⁵	3.5·10 ⁷	14.4	48.0		7.7·10 ¹⁵	-0.0480	Ref 8, 2
Svets	"	"	357	8.9·10 ³	3.5·10 ⁵	3.4·10 ⁷	15.1	50.2	0.972	3.19·10 ¹⁵	-0.0459	
Svets	"	Termiskt cyklad	375	4.8·10 ³	8.7·10 ⁴	3.3·10 ⁶	19.3	64.0	0.92	6.69·10 ¹²	-0.036	
<u>X20CrMoV121</u>												
Grundmtrl	Härdat och anlöp	Isoterm	10 ³	1.8·10 ⁶	1.8·10 ¹⁰	1.8·10 ¹⁵	6.0	20.0		1.8·10 ³⁵	-0.115	Ref 6, 9
Svets	"	"	10 ³		1·10 ⁹	1·10 ¹³				10 ¹³		Ref 9, 10
Svets	"	"	233		3.3·10 ⁶	2.0·10 ⁹	10.9	36.1	0.987	2.37·10 ²⁰	-0.064	
Svets	"	Termiskt cyklad	235		3.0·10 ⁶	1.7·10 ⁹	12.5	41	0.959	1.24·10 ¹⁸	-0.0555	

Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeteknisk forskning och utveckling. Stiftelsens forskningsprogram är tillämpningsinriktat och fokuseras på energi- och processindustriernas behov och problem. Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Kraftverksföreningens utvecklingsstiftelse, VAST
- Statens Vattenfallsverk
- Studsvik Energiteknik AB
- Svenska Cellulosa- och Pappersbruksföreningen/Ångpanneföreningen
- Svenska Gasföreningen
- Svenska Värmeverksföreningen
- Tillverkande Industri

Värmeforsk samarbetar med Statens Råd för Byggnadsforskning (BFR), Statens Energiverk och Styrelsen för Teknisk Utveckling.