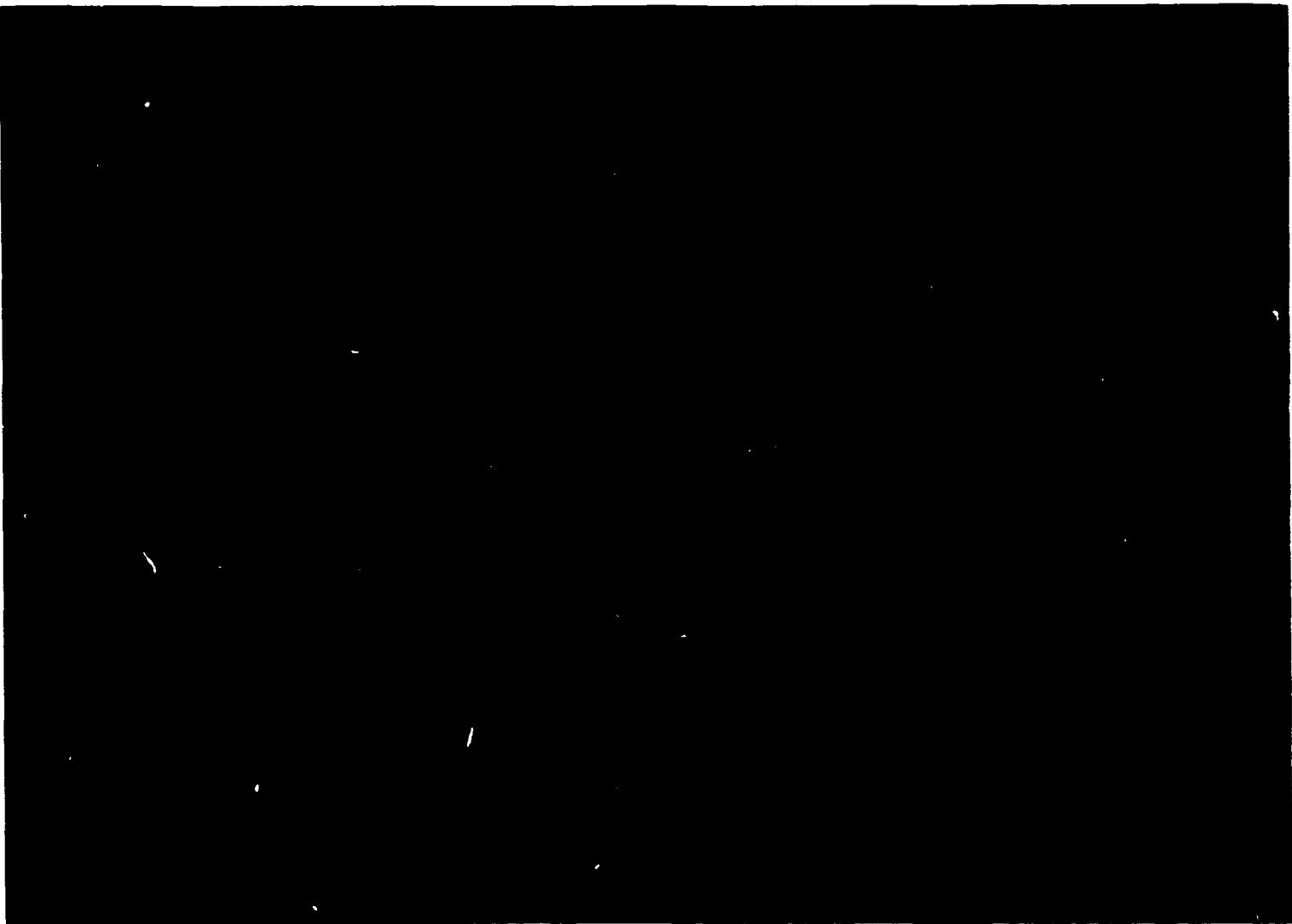


REKONSTR

VÄRMEFORSK

STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING



20 1970



Blandskarvars hållfasthet vid höga temperaturer

Börje Grönwall

Studsvik Material

STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNIK FÖRSKNING
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 BLANDSKARVARNS HÅLLFASTHET VID HÖGA TEMPERATURER Börje Grönwall			
Distribution			
Granskad av - Reviewed by <i>Börje Grönwall</i>	Godkänd av - Approved by <i>Börje Grönwall</i>	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. Eftersom 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. Dragprovstavar har uttagits tvärs svetsförbanden. Drifttemperaturerna för blandskarvar med 10CrMo910 och X20CrMoV121 är i en aktuell tillämpning i PFBC-anläggningen i Värtan 500-550°C respektive 400-500°C. För att accelerera provningen har toptemperaturen vid termisk cykling och temperaturen vid isoterm krypprovning legat i intervallet 600-650°C. Lågduktigt 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, inverkade 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°C
- förgasningsanläggningar
- fluidbäddar
- kärnkraftverk.

I exempelvis ångpannor med höga ångdata är det lämpligt att använda austenitiska stål i överhettare och mellanöverhettares 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 svetsgods.

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. Provingen 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 nickelbaselektroder har vid laboratorieförsök med hög spänning (100 N/mm²) en omfattande kavitetbildning erhållits i före detta austenitkorngränser. Sprickorna ligger då ofta 50-100 µm från smältgränsen.

Skadefall i blandskarvar svetsade med nickelbaselektroder 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-baselektroder 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 svetsad 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 $\varnothing 114 \times 11$ mm. Där emot kunde 10CrMo910 erhållas endast i dimensionen $\varnothing 200 \times 25$. På grund av detta fogbereddes 10CrMo910-stålet enligt Figur 1.

Vid svetsning av X20CrMoV121 användes två olika procedurer som skiljde sig från varandra med avseende 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 statistiska 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 statistiska 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. Aldring 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 krypprovning 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 topptemperaturer 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 krypprovningen 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 krypprovningen 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 kryp-hållfastheten 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 krypprovning 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.

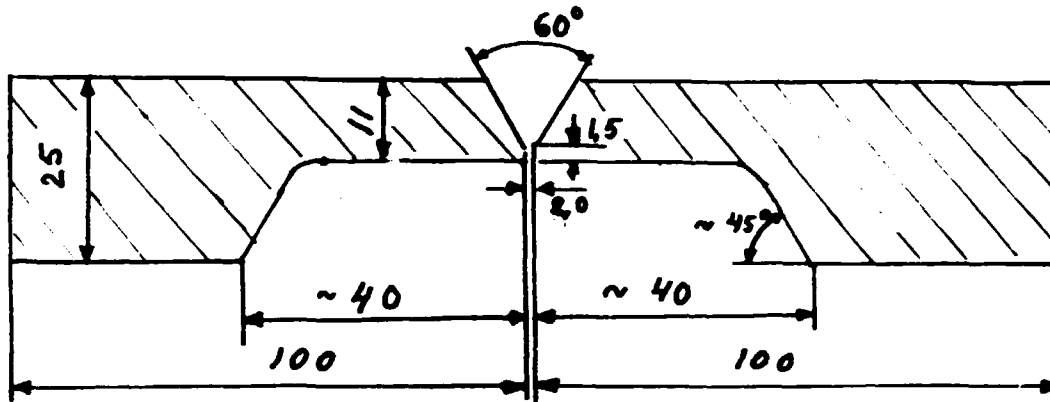
En blandskarv bestående av X20CrMoV121 svetsad mot det austenitiska rostfria stålet 253MA med Inconel 82 som tillsatsmaterial har vid 63 N/mm² påkänning samt 400°C och 500°C livslängderna 1.7·10⁹ respektive 3·10⁶ h. Den långa tiden visar att materialet tål högre belastning.

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

7 **Referenser**

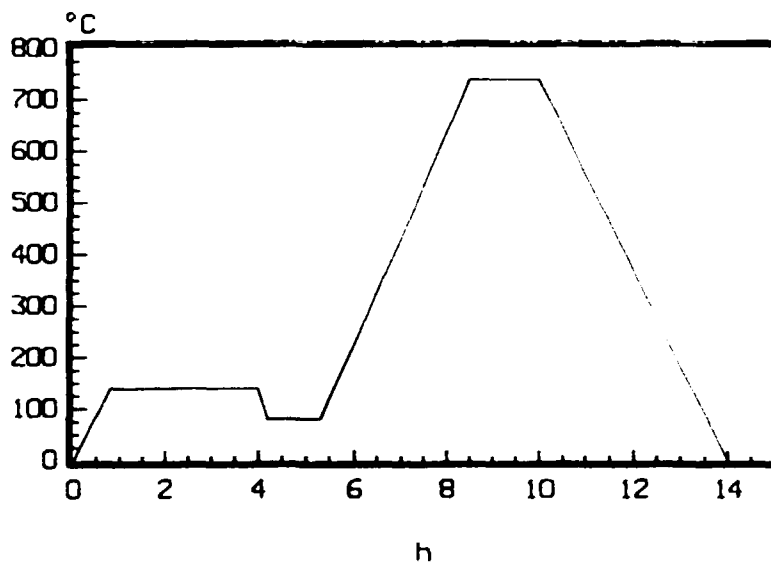
- 1 GRÖNWALL, B
Blandskarvar i ångpannor - litteratur-
studie.
Värmeforsk, Materialteknik, mars 1987.
- 2 NICHOLSON, R D
Creep-rupture properties of austenitic and
nickel-based transition joints.
Metals Technology 9 (1982) 305-313.
- 3 NICHOLSON, R D and PRIC, A T
Service experience of nickel-based transi-
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
Samlingssveising 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 grundmaterialet har frametsats. Svetsningen har utförts i V-fog. Vid provframställningen har svetsens topp- och rotsida bearbetats. 10CrMo910 ej testad (prov C16).
Etsning enligt Popov. 5.5x

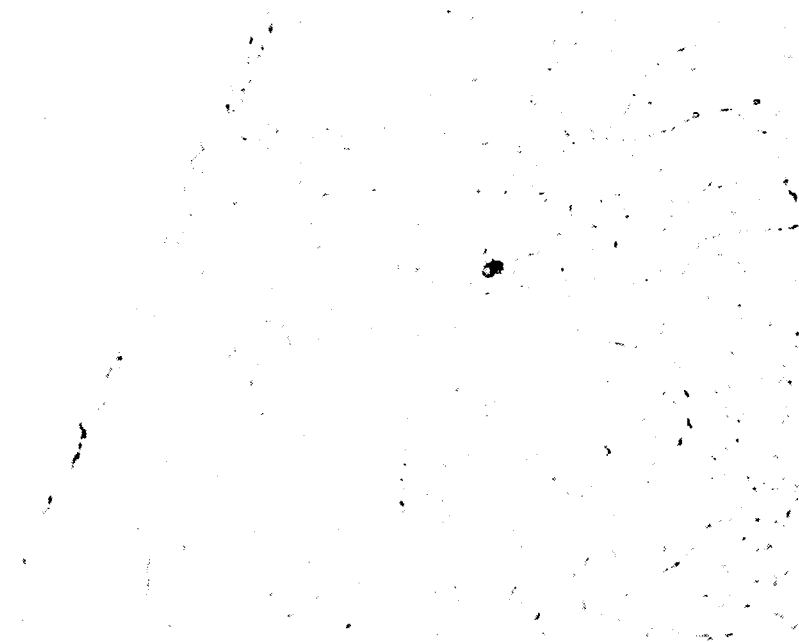


Figur 4

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

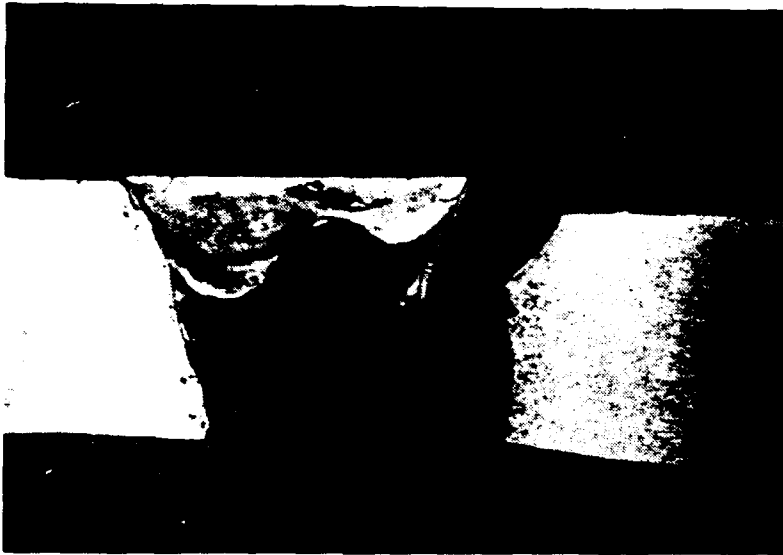
Figur 5

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 smältgräns. 10CrMo910 isotermt testad vid 630°C (prov C26).
Etsning enligt Popov. 6.2x



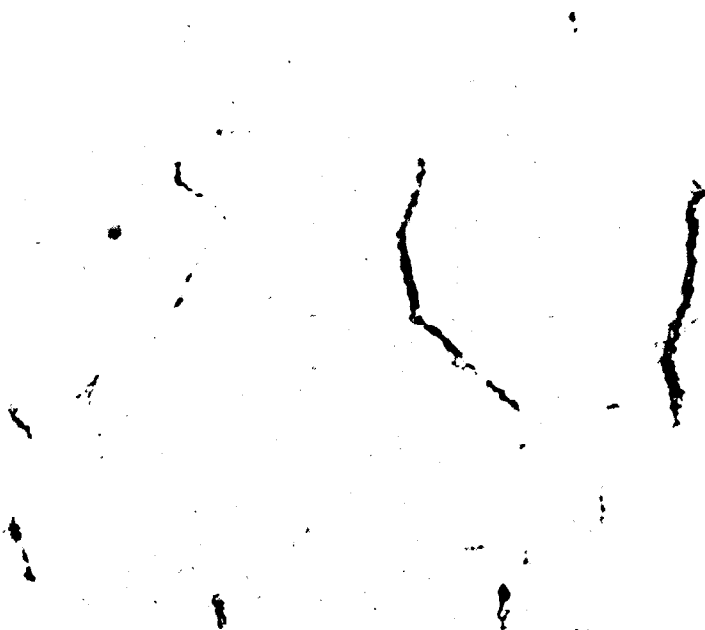
Figur 8

Brottet och sprickan följer var sin smältgräns. På vänstra sidan cm 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 midgebildning är provet nedanför sprickan något smalare. Detalj av Figur 8 (prov 31). Oetsad. 15x



Figur 10

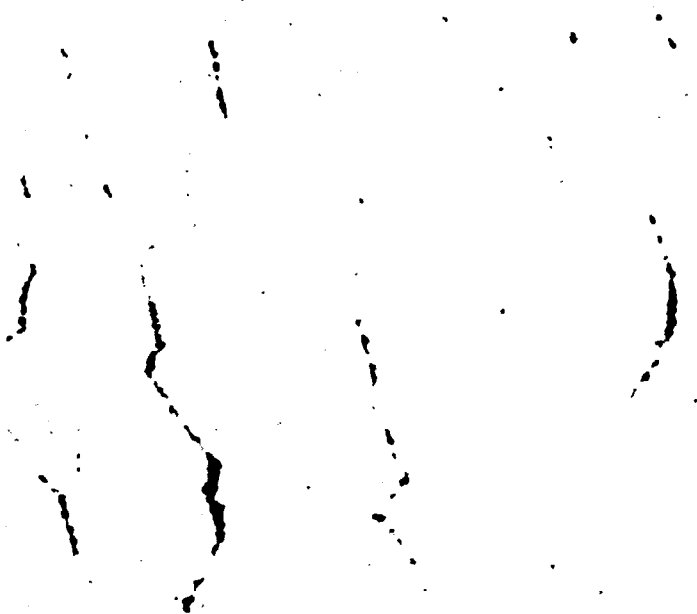
Kavitation och början till sprickor i före detta austenitkorngränser. Detalj av Figur 8 och 9. Etsning i Nital 3%. 500x



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 topptemperatur 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).

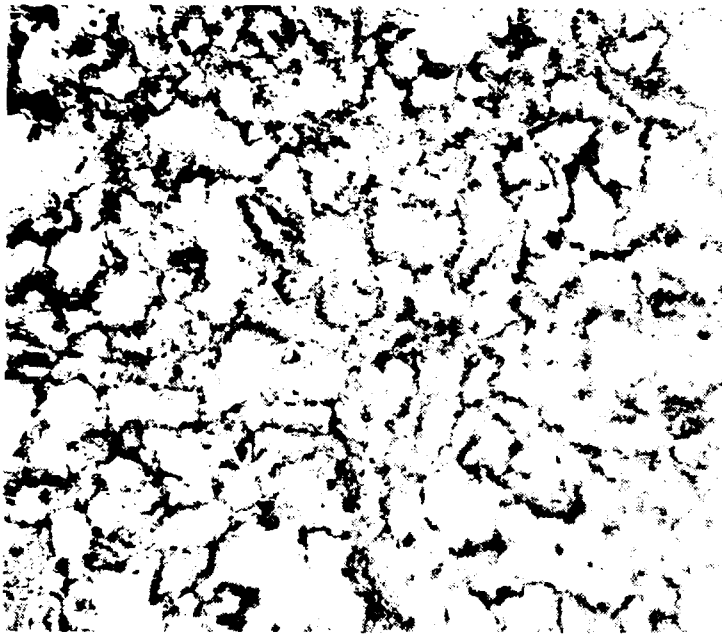
Etsning enligt Popov. 6.2x



Figur 14

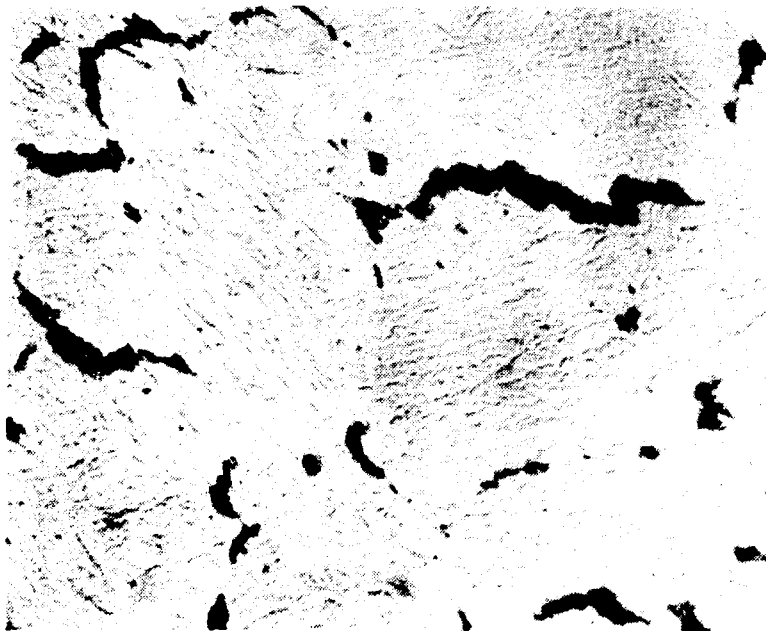
Duktilt brott efter termisk cykling. X20CrMoV121 svetsat enligt procedur 1. Värmebehandlad vid för hög temperatur, över 800°C (prov X5).

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 toptemperatur 644°C (prov X4).
Etsning enligt Marble. 500x



Figur 16

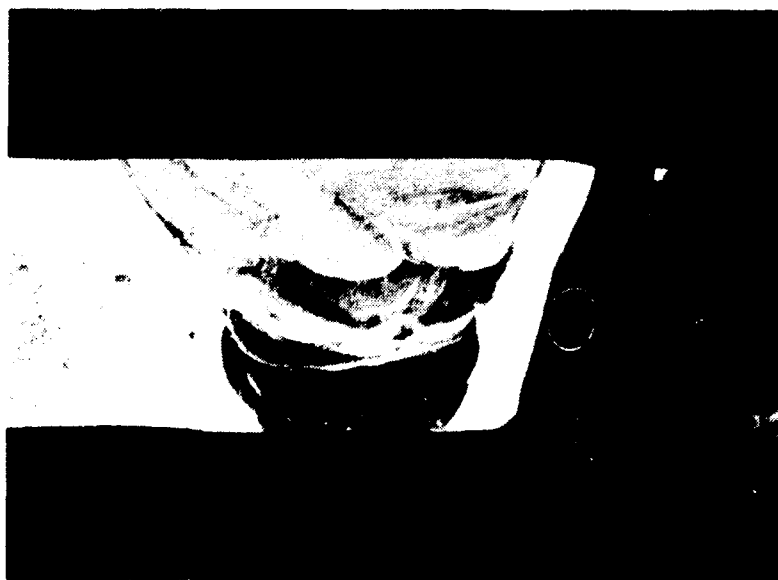
I svetsens omvandlingszon består grundmassan av martensit och i före detta austenitkorngränser finns perlit. X20CrMoV121 (prov X4).
Etsning enligt Marble. 1000x



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



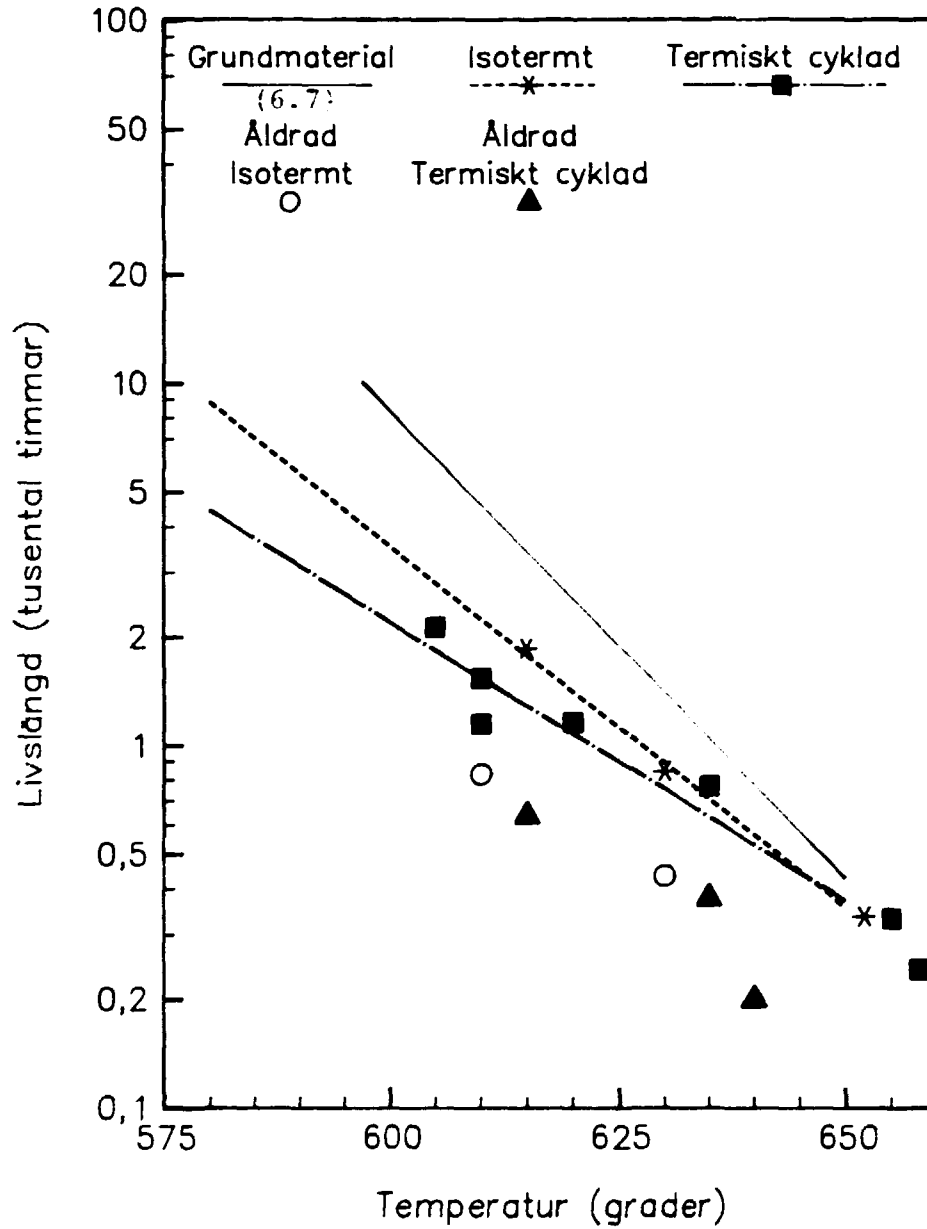
Figur 19

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



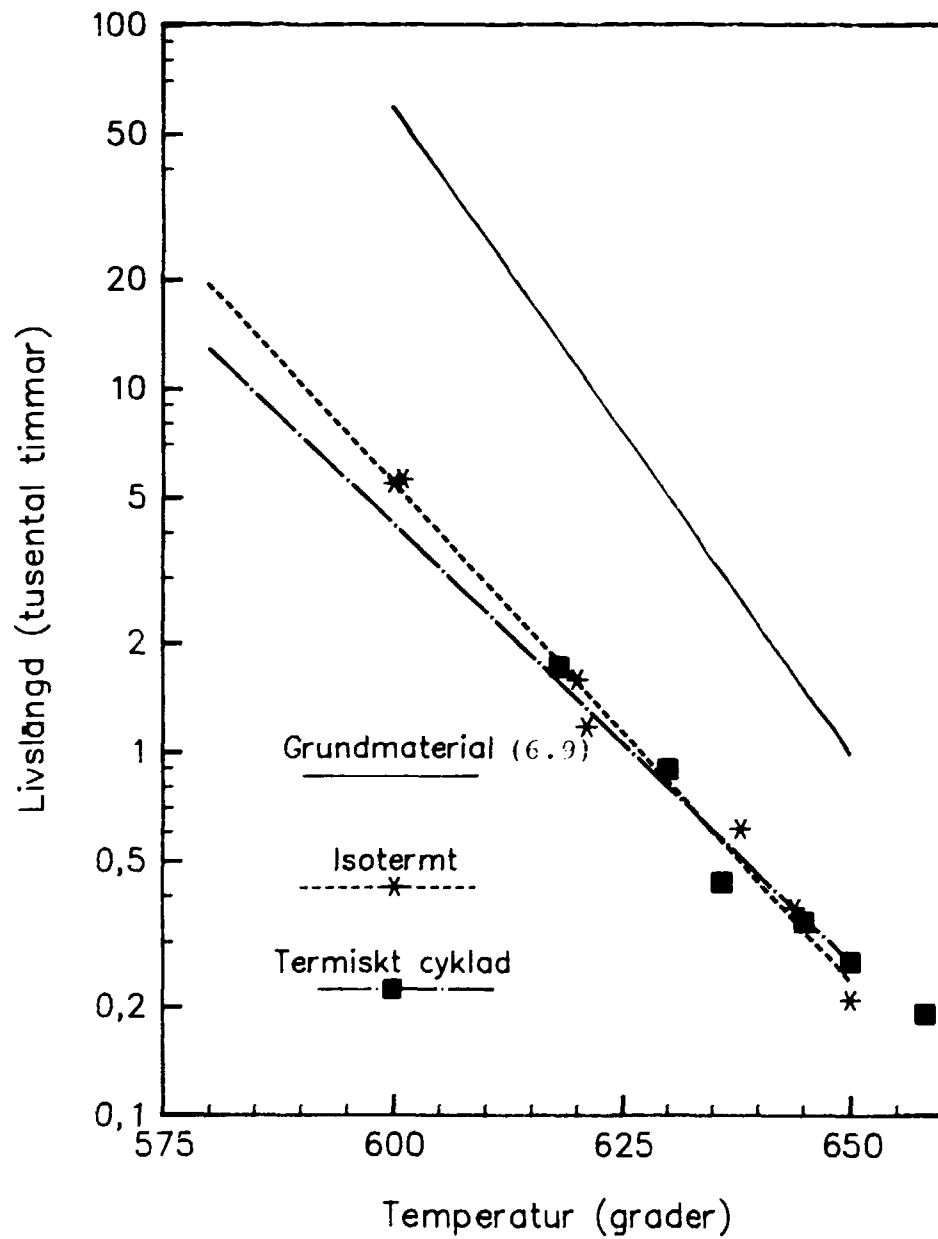
Figur 20

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 B2		≤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 (σ _{1.0%}) 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			
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	Aldring 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	Aldrad
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 h	580 h	500 h	400 h			R	a	b	
10CrMo910												
Grundmtrl	Härdat och anlöpt	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	
X20CrMoV121												
Grundmtrl	Härdat och anlöpt	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	

Rapportförteckning

- 196 Avgasning av matarvatten vid termisk jämvikt
Göran Dahlén, Bo Jacobsson, Hans Åkesson,
ÅF-Energikonsult AB
Augusti 1985
- 197 Kontroll över bränsle- luftförhållandet i pulverbrännare
Martin Gierse, Jan Sieurin
Studsvik Energiteknik AB
Augusti 1985
- 198 Korrosion vid tubroster i träbränsleeldade
hetvattenpannor - Fältprov från Vilhelmina
Värmeverk 1983-1984
Eric Norelius, ÅF Energikonsult AB
Fredrik Brunno ÅF-IPK AB
Augusti 1985
- 200 Rökgasrening - sammanställning av
Battelle rapporter och andra
Marita Linné, Ener Chem AB
Augusti 1985
- 201 Funktionsfixerade fjärrvärmeledningar.
Fältmätningar i Lund. Del 2.
Dan Olofsson, Scandia-Consult, Jan Molin VBB
Kurt Bergendorff, Lunds Energiverk
Augusti 1985
- 202 Havsvattenkorrosion - Uppföljning och rådgivning
Sture Henniksson, Korrosionsinstitutet
November 1985
- 203 Kolfickor - problemanalys
Lars Eriksson, Per Levén
November 1985
- 204 Heltorr rökgasavsvavling - försök i pilotskala
Maria Gårding, Gunnar Svedberg
November 1985
- 205 CWM-eldning
Mats Eriksson, Lars Fredriksson, Erik Larsson
Hed Sintorn.
November 1985
- 206 Evaluation of Non-US Coals Emission
Performance with the Distributed Mixing Burner
A R Abele, S L Chen, S B Greene, Y Kwan,
B J Overmoe and R Payne
Maj 1985
- 207 Evaluation of Non-US Coals Emission
Performance with the Distributed Mixing Burner
A R Abele, S L Chen, S B Greene, Y Kwan,
B J Overmoe and R Payne
Maj 1985
- 208 Prov med 5 MW hetvattenpanna vid Surahammar
Värmeverk
Kurt Fransson
November 1985
- 209 Korrosion i havsvattensystem - inverkan av
klorening
Lennart Dahl
November 1985
- 210 Rökgasmätningar och analyser utförda vid
Ålidhems sotförbränningsanläggning i Umeå.
Roger Moström, Owe Dahlgren, Göran Sandström
November 1985
- 211 Mätning av kvicksilveremissioner vid kolförbrän-
ning i snabb fluidiserad bädd.
Maria Jacobsson
Januari 1986
- 212 Avsvavling genom kalkinblåsning - försök i
falltubsugn
Per Alvtors, Gunnar Svedberg
Februari 1986
- 213 Torvbläsning på rörlig snedrost vid Djupedsverket,
Hudiksvall
Claes Sparre, Mats Collin
Februari 1986
- 214 NO_x-emissioner vid nordiska pannor större än
10 MW
Jan Seurin
Februari 1986
- 215 Förbränningssegenskaperna hos polska och
ryska kol - En Litteraturstudie
Jacek Gromulski
Mars 1986
- 216 Karakterisering av elva kol och deras
förbränningssegenskaper
Margareta Bengtsson
Mars 1986
- 217 Förbränningskarakterisering av elva kol i
falltubsugn
Jacek Gromulski
Mars 1986
- 218 Karakterisering av tjugo kol och deras
förbränningssegenskaper
Margareta Bengtsson
Mars 1986
- 219 Utveckling och provning av sond för mätning
av slagning och fouling
Margareta Bengtsson, Niklas Berge,
Gunnar Dillner, Bertil Karlsson
Mars 1986
- 220 Utvecklingslinjer inom den tillämpade
naturgasforskningen
Mikael Näslund
April 1986
- 221 Säkerhet vid elpannedrift
bertil Köhler
April 1986
- 222 Väteinducerad sprickbildning i ferritiska rostfria
stål och titan
Sture Henniksson
April 1986
- 223 Växelverkan med askmineral med kalciumsorberent i
eldstad
henrik Aldén, Walter Hübner
April 1986
- 224 Minskning av kväveoxid vid torvförbränning
Göran Eklund, Göran Blomqvist
Maj 1986
- 225 Kondenskorrosion - en litteraturstudie
Lennart Dahl
Maj 1986
- 226 Skumutylindad i kulvertskarvar
Lars Blomqvist, John Ljungqvist
Maj 1986
- 227 Uppföljning av kondensatorers prestanda
- försök med granulatbollar
Lars Brantthall
Maj 1986

- 228 Utsläpp av svavel- och kväveoxider till luft från fasta anläggningar - jämförbara mätningar
Göran Hellén
Maj 1986
- 229 Driftserfarenheter av kontinuerliga mätsystem för övervakning av utsläpp till luft från fasta anläggningar
Max Lundström
Maj 1986
- 230 Optimering av avsvävning genom kalkstensinblåsning till eldstad vid rosteldning
Anders Wahlgren
Maj 1986
- 231 Optimala data för 10-50 MW kraftvärmeverk
Nils-Ove Rasmusson
Maj 1986
- 232 Proving av torveldning på spreadertoker vid kraftvärmeverket i Borås
Claes Sparre, Mats Collin
Maj 1986
- 233 Återanvändning av restprodukt från SO₂-avskiljning i låg NO_x-brännare
Hans Karlsson
Juni 1986
- 234 Rökgasrening och värmeåtervinning vid sotförbränning i Avesta
Georg Schuisky, Jan Thörnkvist, Klas Hedman
Juli 1986
- 235 Termisk avdrivning av kvicksilver från kol
Ying-Hua Lee, Bengt Steen
Augusti 1986
- 236 Naturgasbaserade kraftvärmeverk för fjärrvärmeproduktion - tekn. och ekon. aspekter
Bjorne Norén, Tord Torisson
Augusti 1986
- 237 Underhållsplanering av fjärrvärmenät
Thomas Asp, Anders Eriksson, Håkan Danielsson, Stig hård, Bertil Wiktorén
Augusti 1986
- 238 Emissionsmätningar våt - torr rökgasrening
Hans Karlsson
Oktober 1986
- 239 Reduktion av NO_x genom tillsatseldning med trä- eller torvpulver
Göran Blomqvist, Niklas Berge
Oktober 1986
- 240 Barkavvattning - slutrapport från barkavvattningskommittén
SPCI
Oktober 1986
- 241 Korrosionsproving i stillastående och strömmande sodasmälta vid 757 °C
Stefan Poturaj
Oktober 1986
- 242 Materialerfarenheter från fluidbäddar
Eric Häggblom
Oktober 1986
- 243 Austenitiska rostfria stål som överhettar material i kolpulvereldade kraftverk - Litteraturstudie
Börje Grönwall
Oktober 1986
- 244 Korrosion i klorerat nordsjö-vatten
Sture Henriksson
Januari 1987
- 245 Emission och reduktion av NO_x i förblandade naturgas- luftförbrännare
Göran Holmstedt
Januari 1987
- 246 Styning och reglering av utblåsning av pannvatten
Folke Persson, Bo Ramsbäck
Januari 1987
- 247 Utvärdering av EMP-utspädningssystemet för mätning av utsläpp till luft
Göran Hellén
Januari 1987
- 248 Upplöjning av kostnader för drift och underhåll vid eldningsanläggningar för torv och träbränslen.
Sven Stndsberg
Januari 1987
- 249 Metod för röntgenradiografiering av isolerskikt i kulverror för fjärrvärmeledningar
Stig dahn
Februari 1987
- 250 Porbildning vid skarvsvetsning av stålror med gas
Nils-Erik Hannertz
Februari 1987
- 251 Upplöjning av drifterfarenheter med akryljonbytare
Folke Persson, Bo Ramsbäck
Februari 1987
- 252 Inventering av existerande och förväntade materialproblem i ångkraftverk
Stefan Poturaj, Börje Grönwall, Eric Häggblom
Februari 1987
- 253 Bäddmaterial i pannor av fluid bäddtyp
Christian Karnik
Mars 1987
- 254 Testning av kol och sorbenter från låg NO_x- och SO_xreduktionsförsöken vid Stignaesverket samt försöksresultat från Stignaesverket.
Margareta Bengtsson
Mars 1987
- 255 Inkoppling av varmvattenberedare vid installation av värmepump
Göran Dahén
Mars 1987
- 256 Markförlagda fjärrvärmeledningars temperaturhöjande effekt för intilliggande ledningar
Håkan Carlsson, Jan Molin
Mars 1987
- 257 Skador på mantelrörskarvar
John Ljungqvist, Bert Oddving, Rolf Westin
Mars 1987
- 258 Spänningsanalys av fjärrvärmeledningar Del 3 Dimensioneringsanvisningar och dimensioneringsprogram för T-stycken.
Sture Andersson, Håkan Carlsson, Jan Molin
Mars 1987
- 259 Kvalitetsproving av PUR-skumisolerung
John Ljungqvist, Rolf Westin
- 260 Skumkvalitet vid låga omgivningstemperaturer
Lars Blomqvist, John Ljungqvist
Mars 1987

- 261 Ångstrålevarmepump för värmeåtervinning ur förbränningsgaser
Per Lundqvist
April 1987
- 262 Test av referensgaser, SO₂ och NO
Göran Hellén
Maj 1987
- 263 Kvicksilveravskjujning i filterflaskor
Björn Hall, Evert Ljungström, Oliver Lindqvist
Maj 1987
- 264 Humus kontrollmetoder - bestämning av TOC-halter i pgb-området med analysinstrument från Banstead och Xertex
Ivan Falk
Maj 1987
- 265 Elbesparingar i industriella ventilationsanläggningar
Roy Gustafsson
Juni 1987
- 266 Energiredovisning i en massa- och pappersindustri
Lennart Delin, Christer Martinsson, Johan Nygaard
Maj 1987
- 267 Undercentraler - Litteraturstudie av tidigare arbeten
Rajja Leppänen
Maj 1987
- 268 Förstudie av viktiga strömningstekniska faktorer vid inblåsning av kalkpulver för avsvavling av rökgaser
Lars Ljung
Juni 1987
- 269 Kondenserade villagaspanna med rökgasåtervärmning - en anpassning till svenska förhållanden
Mikael Näslund
Juni 1987
- 270 Blandskarvar i ångpannor - Litteraturstudie
Börje Grönwall
Juni 1987
- 271 Emission vid byte av gaskvalitet
Mikael Näslund
Juni 1987
- 272 Avkyllning av fjärrvärmevatten i befintliga abonnentcentraler
Annika Winberg, Sven Werner
Augusti 1987
- 273 Bestämning av värmevärde för fasta bränslen
Lars-Henrik Österholm, Lars Andersson
Augusti 1987
- 274 Optimering av avsvavling genom kalkstensinsprutning i eldstad vid rosteldning i Kalmar
Jan Åbom
Augusti 1987
- 275 Sameldningsförsök med kolpulver och träpulver i befintlig oljecentral
Gunnar Thuring
Augusti 1987
- 276 Restprodukter från förbränning i fluidiserande bäddegenskaper vid deponering och återanvändning
Christer Nilsson
Augusti 1987
- 277 Metoder för mätning och kontroll av pulverbränsle/luftflöde
Adil Karim
Augusti 1987
- 278 Kontinuerlig mätning av SO₂, NO, CO₂ och flöde
Gunnar Nyquist, Jonas Radö, Vaclav Vesely
Oktober 1987
- 279 Sekundär tillförsel av trä- och torrpulver vid kolpulvereldning. En undersökning av inflytandet på NO_x-emissionen
Lars Rudling
Oktober 1987
- 280 NO_x-mätningar i Södertälje och Helsingborg, Etapp 1, mätningar vid Igelstaverket
Kurt Fransson
Oktober 1987
- 281 Erfarenheter av korrosion och korrosionsskydd i de svenska värmekraftverkens saltvattensystem
Sture Henriksson
Oktober 1987
- 282 Korrosionsprovning av rostfria stål i klorerat havsvatten vid 45 °C
Sture Henriksson
November 1987
- 283 Utvecklingsläget för heltorr rökgasavsvavling i Förenta Staterna
Gunnar Svedberg
Oktober 1987
- 284 Studie över kombinationen förbränningsteknik/värmeåtervinning ur rökgaser vid förbränning av olika fasta bränslen inom effekterintervaller 0,5 - 10 MW
Lars Wrangsten
Oktober 1987
- 285 NO_x-optimering Wanderrost
Prov hos Perstorp AB
Claes Sparre
Oktober 1987
- 286 Larmsystem - Kompatibilitet
Christer Bodin, John Ljungqvist, Tor Rundström
December 1987
- 287 Energisystemstyrning i värmeproduktionsanläggning - Förstudie
Lars Wester, Robert Schuster
December 1987
- 288 Rökgaskondensering - Beskrivning av installationer och driftserfarenheter vid träbränsleeldade anläggningar
Göran Dahlén, Lars Hägglund
December 1987
- 289 Kontinuerlig övervakning av utsläpp till luft i Västtyskland.
Lagar, mätinstrument och driftserfarenheter
Gunnar Nyqvist, Börje Borgström, Göran Hellén
December 1987
- 290 NO_x-utsläpp från spreaderstokerpannor
Litteraturstudie
Anna-Karin Hjalmarsson
December 1987
- 291 Erosionskorrosion i ångledningar
Juri Tavast
Mars 1988
- 292 Inventering av materialtekniska erfarenheter av svenska fluidbäddar
Eric Häggborn
Mars 1988

- 293 Studie över möjligheten till ökad elproduktion i industrier och kraftvärmeverk med utnyttjande av befintliga pannor
Lars Wrangén
Mars 1988
- 294 Ackumulatorsystem för driftjämnning
Bertil Köhler
Mars 1988
- 295 Undersökning av syrereduktion med sulfit-regenererad anjonbytare
Folke Persson, Bo Ramsbäck
Mars 1988
- 296 Absorptionsvärmepumpars konkurrenskraft
Göran Dahlén, Jan Nordling
Mars 1988
- 297 Avgasning av späd- och processvatten
Folke Persson, Björn Carlsson
Mars 1988
- 298 Inventering av datorprogram för simulering och optimering av fjärrvärmesystem
Hans Gransell, Anders Östergren
Mars 1988
- 299 Torv- och fliseldning i identiskt lika anläggningar
Per-Erik Appelberg, Bengt-Olof Hecktor
Mars 1988
- 300 Kolfickor - Problemanalys - Kolföde
Lars Eriksson, Per Levén, Per Lysedal
April 1988
- 301 Användning av restprodukt för täckning av avfallsupplag
Erik Mattsson, Ulf Qvarfort
April 1988
- 302 Diagnostikutrustning för 2-stegskopplade abonnentcentraler
Ulf Jansson
April 1988
- 303 Korrosion i kondenserande rökgas
Fältförsök etapp I och II
Marian de Pourbaix
April 1988
- 304 Konditionsmedel för hetvatten- och ångpannesystem
Ivan Falk
April 1988
- 305 Eldning med avfallsbränslen i fluidiserad bädd. Undersökning av dolomitillsats, påverkan på beläggningar och sintringsegenskaper
Lars Ruding
Maj 1988
- 306 Utspädningssystem för mätning av utsläpp till luft. Erfarenheter av långtidsdrift
Gunnar Nyqvist, Jonas Fladö, Vaclav Vesely
Maj 1988
- 307 Duplexa rostfria stål för kraftverkstillämpningar
Litteraturstudie
Börje Grönwall
Augusti 1988
- 308 Duplexa rostfria stål för kraftverkstillämpningar
Spänningskorrosionsprovning i syre- och kloridhaltigt högttemperaturvatten
Anders Molander
Augusti 1988
- 309 Repeter- och reducerbarhet vid bestämning av svavelhalt i lågsvavliga kol
Karin Berglund, Margret Månsson, Björn Lundgren
Augusti 1988
- 310 Lågtemperaturkorrosion på eftereldtor i hetvattenpannor vid eldning med torv och träbränsle
Leif Kiessling
Augusti 1988
- 311 Termisk NO_x-reduktion med additiv
Karin Persson
Augusti 1988
- 312 Låg NO_x-brännare för tung eldningsolja
Robert Schuster
Oktober 1988
- 313 IR-strålare för industriellt bruk
Michael Johansson, Åke Jansson
Oktober 1988
- 314 Rekuperativa och regenerativa brännare i industriella processorer
Sören Dahlin
Oktober 1988
- 315 Skumkvalitet vid låga omgivningstemperaturer och varierande mediatorer
Johan Ljungqvist
Oktober 1988
- 316 Humus, sönderdelningsprodukter
Analysmetodik för identifiering och bestämning av kolväten
Kristofer Warman, Miljökonsterna
Ivan Falk, Studsvik Nuclear
Oktober 1988
- 317 On-line instrument för övervakning av kvaliteten hos vatten och ånga vid energiproduktionsanläggningar - en marknadsundersökning
Natanael Fahlgren, Folke Persson
Oktober 1988
- 318 Sänkt drifttemperatur i fjärrvärmesystem - konsekvenser i distributionssystemet
Jan Molin, Ronny Nilsson, Helge Bergström
Oktober 1988
- 319 Högtemperaturoxidation av jämbaserade och nickelbaserade metaller
En litteraturstudie
Ulf Engman
Oktober 1988
- 320 Leveranssäkerhet vid värmedistribution
Lennart Josefsson, Hans Åkesson
Oktober 1988
- 321 Undercentralers reglering
Michael Thiede
Oktober 1988
- 322 Långtidsuppföljning av NO_x-emissioner från Västhamnsverket i Helsingborg
Anna-Karin Hjalmarsson
November 1988
- 323 Driftuppföljning av fluidiserade bäddar
Claes Sparre
November 1988
- 324 Sekundär bränsletillförsel till kolpulverflamma för reducering av NO_x-emissionen
Lars Ruding
November 1988

- 325 Kväveföreningar i kol, torv och oljor
Litteraturstudie
Margareta Bengtsson
November 1988
- 326 Ökad elproduktion genom installation av naturgaseldade gasturbiner före befintliga ångpannor i Ryaverket, Borås
Axel Engshagen
November 1988
- 327 Installation av naturgaseldade gasturbiner före befintliga pannor och turkar i Wargöns Bruk
Lennart Delin
November 1988
- 328 Rökgasmätningar och analyser utförda efter renovering av gammal sopugn vid Ålithems sotförbränningsanläggning i Umeå
Roger Moström, Owe Dahlgren, Göran Sandström
November 1988
- 329 Dikväveoxidemission från förbränning
Lisa Fuller, Göran Blomqvist
December 1988
- 330 Inventering av numeriska beräkningsprogram för att simulera blandningsförlopp vid avsvavling i förbränningsanläggningar
Lars Ljung
Mars 1989
- 331 Studie av emissioner till luft och elverkningsgrad hos gasturbiner och dieslar för naturgas, gasol och olja (1-50 MW_e)
Axel Engshagen, Håkan Stigander
Mars 1989
- 332 Gasol- och naturgaseldning i eldrörs pannor
Sune Andersson, Rolf Christensen
April 1989
- 333 Korrosionsprovning av det ferritautenitiska rostfria stålet Sandvik 2507 i havsvatten med och utan klor tillsats
Sture Henriksson, Göran Nyström
April 1989
- 334 Optimal humusreduktion vid totalavsaltning
Folke Persson
April 1989
- 335 Anvisningar för schaktning och andra arbeten i närheten av direktskummande PUR-kulvertar
Håkan Carlsson, Jan Molin
- 336 Erfarenheter av rökgasmätning med DOAS-teknik
Vaclav Vesely, Gunnar Nyquist, Christer Jansson
Maj 1989
- 337 Anvisningar för prestandaprov vid pannanläggningar
Kurt Fransson, Erik Larsson
Maj 1989
- 338 Driftoptimering i små och medelstora värmeverk
Mickael Ahlström, Gunnar Dahlin, Björn Qvist, Pia Rydh
Maj 1989
- 339 Känsligheten för väteförspädning i samband med katodiskt skydd av rostfria duplexa stål
Sture Henriksson
Maj 1989
- 340 Corona-behandlingens betydelse för mantelrör till fjärrvärmeledningar samt metod och krav för kvalitetskontroll
Lars-Eric Jansson
Maj 1989
- 341 Energistyrning
Mickael Ahlström, Peeter Normark, Björn Qvist
Maj 1989
- 342 Teknik för framställning av ultrarent vatten
Ivan Falk, Folke Persson, Bo Ramsbäck
Juli 1989
- 343 Färgämne för läckageindikering i fjärrvärmesystem
Torsten Bauer, Björn Carlsson, Folke Persson
Juli 1989
- 344 Luftstrålars penetration i en sodapannas eldstad
Lars Andersson
Juli 1989
- 345 Kolförbränningsens restprodukter
Jan Hartén, Jan Rogbeck, Leif Lindau, Christer Nilsson
Juli 1989
- 346 Utvärdering av mätresultat och uppföljning av NO_x, N₂O- och SO₂-emissioner under längre tidsperioder vid en industriell cirkulerande fluidbädd
Etapp 1
Lars Wrangén
Juli 1989
- 347 "SO₃" - mätning i rökgaser - en litteraturstudie
Martin Fern
Juli 1989
- 348 Kontinuerlig emissionsmätning - Analysinstrument för kontinuerlig rökgasmätning och beräkning av emissioner
Lars Eriksson, Kurt Fransson
Juli 1989
- 349 Utvärdering av förgasningsanläggning i Vilhelmina
Håkan Johansson
September 1989
- 350 Diodlaser-system för kontinuerlig emissionsmätning av fastformiga förbränningsprodukter
Henrik Ahlberg
September 1989
- 351 Metoder för samtidig SO₂- och NO_x-reduktion
Ulrika Jantze, Karin Persson
September 1989
- 352 Mätning av NO_x-emissionen vid Öresundsverkets oljeeldade panna P16
Roland Lundberg, Mats Renntin
September 1989
- 353 Reduktion av svavelemission genom kalkinblåsning i förbränningsanläggningens eldstad
Rolf-Bertil Fklund
Oktober 1989
- 354 Referat från 1989 Joint Symposium on Stationary Combustion NO_x Control
Anna-Karin Hjalmarsson
Oktober 1989
- 355 Fjärranalys av undercentraler
Joakim Marklund
Oktober 1989
- 356 Erfarenhet av autenitiska material i fossileldade ångpannor
Juri Tavast
Oktober 1989
- 357 Ersättning av elmotorer med drivturbiner i effektområdet 0-3 MW
Axel Engshagen, Hans Nilsson
Oktober 1989

- 358 Undersökning av olika sorbentkombinationers förmåga att reducera saltsyra och svaveldioxid samt påverkan på dioxinproduktionen vid avfallseldning
Lars Rudling
November 1989
- 359 Avgassystem vid naturgassystem
Kjell Wanselius
December 1989
- 360 Laboratorieprovning av villaabonnentcentraler
Johan Winberg
December 1989
- 361 Organiska beläggningar på rostfritt stål som skydd mot spaltkorrosion i havsvatten
Sture Henriksson
December 1989
- 362 Inverkan av järn på olegrat titans hårdighet mot korrosion och väteabsorption
Sture Henriksson
December 1989
- 363 Leveranssäkerhet i fjärrvärmesystem
Sture Andersson, Carl Mattsson
December 1989
- 364 Underhållsstrategi för distributionsnät
Förstudie
Lennart Strömwall, Leif Lemmeke
Mars 1990
- 365 Dynamisk provning av värmeväxlare med hjälp av processidentifiering
Håkan Wallekun
Bengt-Göran Bergdahl
Bert Oddving
Mars 1990
- 366 Kartläggning av organisk substans i spädvatten
Ivan Falk
Mars 1990
- 367 Tvåmediaprocesser för värmekraftproduktion
Litteraturstudie
John Murray
Eva Olsson
Gunnar Svedberg
Mars 1990
- 368 NO_x-utvärdering av Västhamnsverkets kolpanna, Helsingborg
Lennart Nordenberg
Mars 1990
- 369 NO_x-mätningar vid oljeeldade värmeverk i Värtaverket
Kent Hjelm
Mars 1990
- 370 Stabilisering och deponering av rökgasreningsprodukter från sotförbränning
Sten Kullberg
Ann-Marie Fällman
Anders Höjlund
Juni 1990
- 371 Förbränningstekniska åtgärder för emissionsbegränsning i torveldad panna med rörlig rost- och rökgasåterföring
Robert Schuster
Juni 1990
- 372 Utvärdering av mätresultat och uppföljning av NO_x, N₂O- och SO₂-emissioner under längre tidsperioder vid en industriell CFB
Lars Wrangsten
Augusti 1990
- 373 Studier av koldioxidutsläpp och dess konsekvenser i samband med förbränning av olika bränslen
Per Rosén
Tord Torisson
Augusti 1990
- 374 Vakuumisolering för kondenserad naturgas
Stefan Swebilus
Augusti 1990
- 375 Korrosionshårdighet i havsvatten hos svetsskarvar i höglegerade rostfria stål
Sture Henriksson
Augusti 1990
- 376 Erosionsbeständighet hos några keramiska och metalliska material i simulerad fluidbäddmiljö
Ulf Engman
Augusti 1990
- 377 Erfarenhet beträffande korrosions- och materialproblem i rökgasreningsutrustningar m m från avfallseldade anläggningar i Sverige
Lennart Dahl
Augusti 1990
- 378 Uppföljning av driftskostnader II
mars 1990
Sven Stridsberg
September 1990
- 379 Marknadsundersökning av givare och instrument som kan mäta fukthalt i rökgaser
Ove Johansson
Henrik Lännerbo
September 1990
- 380 Korrosionsstudier av emaljerade varmvattenberedare
Britt-Marie Svensson
November 1990
- 381 Konvertering till naturgas-
Förändring i prestanda och emissioner
Lennart Gustavsson
November 1990
- 382 Integrerad energi- och miljöanalys med datorbaserade modeller
Staffan Görtz
Bert Gustafsson
November 1990
- 383 Energiåtervinning genom "NOHEX" värmeväxlare
Ragnar Werner
Lars-Gunnar Hellman
November 1990
- 384 NO_x-reduktion vid naturgaseldning genom vatteninsprutning
Göran Fernbäck, Ulrika Jantze,
Mikael Jedeur-Palmgren,
Kjell Wanselius
November 1990
- 385 Mät- och analysverktyg för minimering av NO_x, SO₂ och CO med hjälp av processidentifiering
Bengt-Göran Bergdahl
Ritsuo Oguma
December 1990

- 386 Drifterfarenheter från anläggningar med utrustning för selektiv katalytisk reduktion (SCR) av kväveoxid
Erik Larsson
Per Levén
December 1990
- 387 Förbränningstekniska åtgärder för emissionsbegränsning i skogsbränsleeldad panna med rörlig rost, rökgasåterföring och befuktning av förbränningsluft
Robert Schuster
December 1990
- 388 Jämförande studier mellan cirkulerande och bubblande fluidbädd
Kurt Fransson
Erik Larsson
Mars 1991
- 389 Kemiska förlopp vid förbränning av torv och träbränslen i cirkulerande och bubblande fluidbäddar i Östersund (25MW). Bränslets och olika driftparametrars inverkan på SO₂- och NO_x-emissioner
Anders Nordin
Mars 1991
- 390 Studie av slitage och korrosion med samhörande driftstörningar i fastbränsleanläggningars transportsystem
Ingemar Goldkuhl
Mars 1991
- 391 IEA Låg-NO_x-brännarpjekt - STEG 3 - Slutrapport
Roy Payne
Mars 1991
- 392 Jämförelse mellan Opsis och extraktiva metoder för NO och NO₂-analys i rökgaser
Mats Sjöberg
Mars 1991
- 393 Inverkan av avsvavling på NO_x-bildningen vid CFB-förbränning
Boo Ljungdahl
Maj 1991
- 394 Reduktion av NO_x-emissioner vid övergång från Eo5 till Eo1
Börje Kjellén
Maj 1991
- 395 Undersökning av FTIR-teknik för rökgasanalys
Lars Rudling
Maj 1991
- 396 Utveckling av brännare för katalytisk förbränning av naturgas
Jan Brandin
Fredrik Ahlström
Maj 1991
- 397 Kemisk rengöring av kromlegerade ferritiska stål i överhettartuber
Ivan Falk
Maj 1991
- 398 Industriell kraftvärme
Janne Sjödin
Lennart Delin
Lars Eriksson
Maj 1991
- 399 Kartläggning av resurser och kompetens inom gastekniska området
AnnCharlotte Bauer
Maj 1991
- 400 Nedbrytning av tjärprodukter vid torvförgasning för minskning av NO_x-emissioner
Lars Waldheim
Ramond Gustafsson
Henrik Aldén
Juni 1991
- 401 NATURGASMODEL! EN - En spridningsmodell anpassad till persondatorer
Hans Backström
Gunnar Omstedt
Juni 1991
- 402 Förnkad mätmetod för vattensidiga beläggningar i ångpannetuber
Ivan Falk
Juni 1991
- 403 Drifterfarenheter från industrianläggningar med precoatfilter
Björn Carlsson
Juli 1991
- 404 Anvisningar för emissionsmätningar på stationära gasmotorer
Lennart Eriksson
Juli 1991
- 405 Mätning av NO_x, SO₂, H₂O och NH₃ i rökgaser med diodlaserteknik
Henrik Ahlberg
Juli 1991
- 406 Indirekt fuktbestämning av bränsle
Joakim Marklund
Robert Schuster
Juli 1991
- 407 Luftkvaliteter i lokaler vid direktutsläpp av rökgaser från naturgasförbränning
Ulrika Jantze
Mikael Jedeur Palmgren
Juli 1991
- 408 Ammoniakhantering
Myndigheter och regler samt råd för transport, lagring och hantering av ammoniak
Gunnar Nordberg
Hans A Andersson
Augusti 1991
- 409 Utvärdering av temperatur- och olinearitetseffekters inverkan på DOAS-teknikens tillförlitlighet vid rökgasanalys
Håkan Axelsson
Johan Melqvist
Vaclav Vesely
Augusti 1991
- 410 Utsläpp av oförbrända kolväten vid biobränsleeldning.
Mona Olsson
Eva Marie Persson
Oktober 1991
- 411 Inverkan på returtemperaturen vid ackumulering av tappvarmvatten i abonnentcentraler
Sture Sikström
December 1991
- 412 Läcksokning i fjärrvärmekulvertar
Heinz Thumer
December 1991
- 413 Skadeinventering, Abonnentcentraler
Bo Östlund
December 1991
- 414 Spannmålsförbränning på wanderrost
Lars Rudling
December 1991

- 415 Spannmålsförbränning i en cirkulerande fluidiserad bädd
Lars Rudling
December 1991
- 416 Förbränning av Salix i CFB
Anders Victorén
December 1991
- 417 Låg NO_x-brännare för eldningsolja (Teknik och kostnader 1991)
Robert Schuster
December 1991
- 418 Metodundersökning masspektrometer – konventionell mätteknik
Kristina Larsson
December 1991
- 419 Tungmetaller i fasta restprodukter från rökgasrening
Frank Zintl
December 1991
- 420 Låg-NO_x system ROFA – Reduktion av kväveoxider vid eldning av olja
Göran Moberg
Bo Andersson
Lars-Erik Hägerstedt
December 1991
- 421 Studie av aktuella föreskrifter och kvalitetskrav för installation av rökgasanalytutrustning i USA samt amerikanska erfarenheter av dispersiv optisk mätteknik för rökgasanalys
Håkan Axelsson
David Cooper
Mars 1992
- 422 Konvertering till träpulver i en kolpulvereldad anläggning
Gunnar Nordberg
Johan Alsparr
Christer Högberg
Mars 1992
- 423 Kondenserande villagaspanna med avgasåtervärmning – fältförsök och beräkning av skorstenförlopp
Mikael Näslund
Maj 1992
- 424 Spektralfördelning och verkningsgrad för gaseldade IR-strålare
Michael Johansson
Maj 1992
- 425 Förstudie över kostnadseffektivitet vid emissionsbegränsande åtgärder på en industriell fastbränslepanna vid Gruvöns bruk
Ingvar Larsson
Kenneth Mårtensson
Börje Johansson
Maj 1992
- 427 Skandinaviska anläggningar där åtgärder vidtagits för att minska NO_x-emissionerna
Anna-Karin Hjalmarsson
Maj 1992
- 428 Gasturbinstudie
Studie av drift- och underhållskostnader vid gasturbinanläggningar i mellaneuropa
Hans Gähnsch
Janne Sjödin
Maj 1992
- 429 Freonria isolermaterial för fjärrvärmekulvertar. Vacuumpulverisolering och CO₂-bläst polyuretan-skum
Bert Oddving
Heimo Zinko
Maj 1992
- 430 Hetluftturbin i kombination med fastbränsleeldad hetvattenpanna – Förstudie
H.A. Andersson
W. Hildebrandt
M. Rydén
E. Wahlman
Maj 1992
- 431 Pulverteknisk framställning av nya 12% Cr-stål
Samuel Fällman
Maj 1992
- 432 Korrosion i rökgasreningssystem för kol- och avfallseldade anläggningar – en litteraturoversikt.
Lennart Dahl
Maj 1992
- 433 Integrerad energi- och miljöstudie för Piteå samt en utvärdering av studien
Ulf Boman
Håkan Sköldberg
Staffan Görtz
Maj 1992
- 434 Tillämpning av membranteknik för behandling av processvatten vid energiproduktionsanläggningar
Ivan Falk
Jan Svenson
Maj 1992
- 435 Oxidationshastigheten hos ferritiska överhettarmaterial
Ivan Falk
Maj 1992
- 436 Blandskarvars hållfasthet vid höga temperaturer
Börje Grönvall
Maj 1992