

STIFTELSEN FÖR

# VÄRMETEKNIK FORSKNING

VÄRMETEKNIK MATERIALTEKNIK VATTENKEMI

BEHOV AV AVSPÄNNINGSGLÖDGNING  
EFTER SVETSNING AV VARMHÅLLFAST  
STÅL TYP 1Cr0.5Mo

Arne Anderdahl och Per Sjölin

1977-07-06

## SUMMARY

Stressrelief heat treatment of heat resistant steels is always done in large wall thickness but is sometimes omitted for thin materials such as boiler tubes. Tubes has been tested in an experimental boiler without any post-heat treatment with good results.

Test welds of heavier goods of 1 % Cr 0.5 % Mo has been tested in plate (15 mm) and tube (12 - 30 mm). Vickers hardness tests show very acceptable results and the Charpy-V-impact tests show a decrease in HAZ but the decrease is acceptable.

Tests have also been done with tube material in a weld simulator, but the correlation to arc-welded structures were not acceptable for fracture mechanic approach.

1977-07-06

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Sid

1. SAMMANFATTNING
2. INLEDNING
3. FÖRSÖKSUTFÖRANDE
  - 3.1 Manuell bågsvetsning
    - 3.1.1 Försöksserie A
    - 3.1.2 Försöksserie B
  - 3.2 Svetssimulering
4. FÖRSÖKSRESULTAT
  - 4.1 Hårdhetsmätning
  - 4.2 Slagseghetsprovning
5. KORNSTORLEKSBESTÄMNING
6. KOMMENTAR
7. REFERENSER

1977-07-06

## 1. SAMMANFATTNING

Avspänningsglödning av varmhållfasta stål utföres alltid vid grövre godstjocklekar, men utesluts i vissa fall för klenare dimensioner. Ett antal tubslingsor har provats i en försöksångpanna och dessa prov visar att ingen olägenhet uppstår då avspänningsglödning utesluts. Rör och plåt i SIS 2216 av grövre dimensioner har svetsats under väl kontrollerade förhållanden där hårdhet och slagseghet studerats. Hårdhetsvärdena är betryggande låga och de lägsta slagseghetsvärdena bedöms vara tillräckligt höga för att svetsförbandets funktionsstabilitet ej äventyras. De låga slagseghetsvärdena är dessutom lokaliserade till en mycket smal zon och omges således av duktilare material. Förekomsten av fullt utbildade svetsegenspänningar medför att ett eventuellt uppkommet sprödbrott i den spröda zonen omedelbart böjer av mot omgivande segt material.

Försök har även utförts med simulerade provstavar ur samma grundmaterial men full överensstämmelse i struktur och kornstorlek har ej uppnåtts, varför någon brottmekanisk utredning ej utförts.

1977-07-06

## 2. INLEDNING

1972 planerades av SVF/Ångpanneföreningen Stuart ett försöksprogram för att utröna behovet av avspänningsglödning av varmhållfasta tryckkärlskomponenter till ångpannor. Ett antal slingor svetsades och normalt tillämpad avspänningsglödning uteslöts för hälften enligt nedan

| Slinga<br>nr | Kval | Värmebehandling | Typanalys            | SIS  |
|--------------|------|-----------------|----------------------|------|
| 3            | 8R40 | ingen           | 17.5Cr, 11.5Ni       | 2338 |
| 4            | HT9  | 760°C           | 11.5Cr, 0.5Ni, 1.0Mo | -    |
| 5            | HT7  | ingen           | 9Cr, 1.0Mo           | 2203 |
| 5            | HT7  | 780°C           |                      |      |
| 6            | HT8  | ingen           | 2.3Cr, 1.0Mo         | 2218 |
| 6            | HT8  | 700 - 740°C     |                      |      |
| 7            | HT5  | ingen           | 0.9Cr, 0.45Mo        | 2216 |
| 7            | HT5  | 680 - 720°C     |                      |      |

varefter dessa monterades in i Stiftelsens försöksångpanna i Studsvik och uttogs ur denna våren 1977. Svetsskarvar ur slingor enligt ovan undersöktes okulärt samt provades med magnaflux penetrerande vätska samt ultraljud-metoderna i tillämpliga delar. Alla svetsförbanden var helt intakta.

Innan ovanstående resultat förelåg, bestämdes inom materialgruppen att utföra laboratorieprov på vissa material i olika godstjocklekar.

Som förprov utfördes plåtprov i SIS 2216, godstjocklek 15 mm. Två prover, varav det ena glödades vid 670°C och det andra lämnades utan avspänningsglödning, undersöktes med omfattande oförstörande och förstörande provning. Resultaten indikerade att avspänningsglödning skulle kunna utelämnas, varför det beslöts att en större provserie skulle utföras. Förprovet utfördes i verkstad utan speciell uppsikt, medan huvudproven utfördes med noggrann temperaturövervakning. Därför redovisas ej förprovet i detalj, medan huvudproven redovisas nedan.

1977-07-06

## 2.1 Orientering

Till värmeväxlare, överhettare och dylikt används varmhållfasta stål. Med varmhållfasthet menas att stålen behåller en väsentlig del av hållfastheten vid temperaturer över ca 400°C. Sammansättningen kan variera från låglegerade ferritiska stål med små mängder molybden och/eller krom till höglegerade austenitiska stål med superlegeringar.

SIS 2216 är ett låglegerat varmhållfast stål med ca 1 % Cr och 0.5 % Mo.

Enligt svenska standardblad bör SIS 2216 i alla godstjocklekar avspänningsglödgas efter svetsning. Anledningen till detta är framförallt att minska spänningsnivån i materialet som pga svetsegenspänningarna kan vara högt (upp till sträckgränsen). Om materialet är sprött och höga spänningar förekommer kan detta orsaka att konstruktionen havererar genom ett instabilt brott. Materialets duktilitet varierar med temperaturen och vid höga temperaturer, t ex vid en värmeanläggnings drifttemperatur, är materialet duktilt för att sedan bli sprödare vid lägre temperatur. Ett kritiskt skede är därför konstruktionens transport till montageplats och provtryckning då temperaturen är låg. I drift (hög temperatur) är normalt risken för sprött brott liten. Dock finns det risk för försprödning av materialet vid drifttemperatur. Dessa försprödningsfenomen beskrivs senare i texten.

Denna undersökning är huvudsakligen inriktad på behovet av avspänningsglödning efter svetsning och då framförallt glödningens inverkan på slagsegheten i HAZ.

## 2.2 Sprödhetsfenomen i Cr/Mo-stål

I Cr/Mo-stål kan tre olika sprödhetsfenomen uppkomma, antingen i drift eller i samband med värmebehandling efter svetsning. Dessa är:

1. Anlöpningsförsprödning
2. Försprödning i samband med krypning
3. Återvärmningssprickor (stress-relief cracking)

1977-07-06

### 2.2.1 Anlöpningförsprödning

Anlöpningförsprödning uppkommer då stålet hålls en längre tid i temperaturintervallet 375 - 575°C.

Under svetsning av en konstruktion hinner stålet inte anlöpningförsprödas utan det är under drift som en eventuell försprödning skulle kunna uppstå. Ett resultat av försprödningen är en väsentlig höjning av omslagstemperaturen för materialet.

Följande punkter är karakteristiska för anlöpningförsprödningen:

- a) Försprödningen kan förekomma i legerade stål med ferrit plus karbid i mikrostrukturen.
- b) Försprödningen förekommer endast i närvaro av speciella föroreningselement. Dessa är Sb, P, Sn och As.
- c) Försprödningen kan försvinna genom en kort uppvärmning ovanför temperaturområdet för försprödningen.
- d) Graden av försprödning är beroende av legeringsinnehållet (ämnen och halter):
  - 1. Kolstål (< 0.5 % Mn) försprödas inte.
  - 2. Små halter av Mo (< 0.5 %) och W fördröjer försprödningen.
  - 3. Cr och Mn och i mindre grad Ni ökar försprödningen. Även stora mängder Mo och W ökar försprödningen.
  - 4. En minskning av kol-halten minskar graden av försprödning.
- e) Det finns vissa bevis att i försprödade stål både förorenings- och legeringselement (såsom Cr, Ni och Mn) är koncentrerade i gamla austenitkorngränserna [20].
- f) Det finns indikationer på att försprödningen påverkar materialets flytgräns men inte dess sträckgräns [20].
- g) Vid försprödningstemperaturer något över perlit-nosen verkar en överåldring att ske. Först ökar försprödningen men sedan minskar den med tiden.

1977-07-06

- h) Ett material med större austenitkornstorlek för-  
sprödas till lägre duktilitet än ett material  
med mindre austenitkorn.
- i) Plastisk deformation efter försprödningen har en  
sänkande effekt på omslagstemperaturen. Plastisk  
deformation under försprödningen verkar ha en  
fördröjande effekt på försprödningen.

Det finns ett samband mellan Si + Mn-halten och förspröd-  
ningsfaktorn X, ur vilket man kan bedöma stålets relativa  
känslighet för anlöpningsförsprödning. I försprödnings-  
faktorn X är fyra olika försprödningselement viktade enligt  
följande:

$$X = \frac{10 P + 5 Sb + 4 Sn + As}{100}$$

Genom att kontrollera halterna av ämnen i X, tillsammans  
med halten av Si + Mn kan man reglera stålets anlöpnings-  
försprödning. Som ett mått på försprödningen används slag-  
seghet, dvs större försprödning ger lägre slagseghets-  
värde [3].

Fenomenet bakom anlöpningsförsprödning är i princip att det  
utskiljs karbider, t ex  $Mo_2C$ , som stoppar upp dislokations-  
vandringarna och därigenom försprödar materialet.

#### 2.2.2 Försprödning i samband med krypning

Försprödning på grund av krypning kan uppkomma i material  
som är belastade under en längre tid i temperaturintervallet  
420 - 600°C. Resultatet av denna försprödning blir en  
reducering av materialets brott-töjningsduktilitet.

Följande punkter är karakteristiska för försprödning orsakad  
av krypning:

- a) Låglegerade varmhållfasta stål (särskilt CrMo,  
Mo och CrMoV-stål) kan, oberoende på tidigare  
värmebehandling och andra faktorer, bli för-  
sprödade av en liten krypning.
- b) Försprödningen kan väntas bli kraftig när små  
krypningar förekommer under en längre tid.

1977-07-06

- c) Försprödningen beror på spänningsnivån i matrix. Den kan väntas bli svårare i material med hög brottgräns ( $> 760 \text{ N/mm}^2$ ).
- d) Försprödning har förekommit i legeringar med ferrit plus karbid i mikrostrukturen.
- e) Försprödningen beror också på kornstorlek, mikrostruktur och drifttemperatur. Ett kornförstorat material är mer känsligt för försprödning än ett finkornmaterial. Försprödningen är farligare ju lägre drifttemperaturen är.
- f) Försprödningen kan väntas bli svårare för material som har släckts från hög austenitiserings-temperatur.
- g) Defekter i material som är försprödade på grund av krypning uppträder i gamla austenitkorngränserna på ett sätt liknande det vid anlöpningsförsprödning.
- h) Det finns faktorer som pekar på att kombinationen av ämnen som orsakar anlöpningsförsprödning (P, Sn, Sb, As) tillsammans med legeringselementen (Cr, Mo) kan vara orsaken till försprödningen.

### 2.2.3 Återvärmningssprickor (Stress-relief cracking)

Låglegerade kryphållfasta svetsade stål kan beroende på arbetstemperatur vid svetsning, glödgnings-temperatur och även andra faktorer få återvärmningssprickor. Risken för sprickor kan väntas vara värst i stål med låg kryphållfasthet.

Stress-relief cracking beror på:

- a) Spänningsnivån i matrix.
- b) Närvaron av höga spänningar. Dessa kan t ex vara termiska spänningar beroende på ojämn värmning vid värmebehandling av stora sektioner.
- c) Lokala spänningskoncentrationer orsakade av t ex konstruktionens utformning och förekommande sprickor.
- d) Omslagstemperaturen nära svetsen i oglödgat tillstånd (gäller sprickor som uppstår vid låg temperatur).
- e) Kornstorleken och glödgnings-temperaturen.
- f) uppvärmningshastigheten vid glödgnings-temperat-uren och på tidigare värmebehandlingar.

1977-07-06

Sprickorna startar på eller i närheten av ytan till en svets. Sprickorna börjar i smältgränsen eller i grundmaterialet helt nära smältgränsen och de propagerar mer eller mindre parallellt med svetsen.

Sprickorna är interkristallina och brottet visar ingen deformation.

Av legeringsämnena Cr, Mo, V, B, S, Cu, Mn, Si, Ni, C, P, Nb, Zr och Al är påverkan på låglegerade stål med avseende på sprickor större av ämnena Cr, Mo och V än av de övriga ämnena. Det finns inget samband mellan anlöpningsförsprödning och återvärmningssprickor. T ex tillsatsen av Mo i vissa mängder minskar anlöpningsförsprödningen emedan det ökar risken för återvärmningssprickor. Dessa sprickor har förekommit inom temperaturintervallet 100 - 1 000°C och i mikrostrukturer med ferrit plus karbid samt i austenitisk och martensitisk mikrostruktur.

En japansk undersökning redovisar följande formel gällande risken för återvärmningssprickor:

$$G = \text{Cr \%} + 3.3 \text{ Mo \%} + 8.1 \text{ V \%} - 2$$

Om G är större än noll så föreligger risk för återvärmningssprickor.

1977-07-06

## 3. FÖRSÖKSUTFÖRANDE

Denna undersökning är uppdelad i tre försöksserier. Dels två serier med manuellt svetsade prover, A och B, dels en serie med svetssimulerade prover, C.

Material, materialdimensioner samt den kemiska sammansättningen för de undersökta materialen redovisas i Tabell 1 och 2 nedan.

| Försöks-serie | Rör nr | Dimension      | Material    |
|---------------|--------|----------------|-------------|
| A             | 1      | Ø 191 x 12.5   | 13CrMo44    |
|               | 2      | Ø 329.5 x 30   | 13CrMo44    |
| B             | 3      | Ø 139.7 x 16   | SIS 2216    |
|               | 4      | Ø 168.8 x 22   | 13CrMo44    |
|               | 5      | Ø 139.7 x 17.5 | 13CrMo44    |
| C             | 2      |                | Ur rör nr 2 |

Tabell 1 Sammanställning över rördimensioner

1977-07-06

|                  | C            | Mn           | Si           | P     | S     | Cr           | Mo           | Cu   | Ni   | N     | V      |
|------------------|--------------|--------------|--------------|-------|-------|--------------|--------------|------|------|-------|--------|
| Rör 1            | 0.15         | 0.54         | 0.17         | 0.024 | 0.017 | 0.95         | 0.41         |      |      |       |        |
| Rör 2            | 0.13         | 0.57         | 0.25         | 0.021 | 0.018 | 0.85         | 0.44         | 0.03 | 0.04 | 0.003 | <0.005 |
| Rör 3            | 0.13         | 0.56         | 0.28         | 0.013 | 0.005 | 0.90         | 0.47         |      |      |       |        |
| Rör 4            | 0.15         | 0.58         | 0.20         | 0.011 | 0.016 | 0.88         | 0.49         |      |      |       |        |
| Rör 5            | 0.13         | 0.55         | 0.25         | 0.010 | 0.015 | 0.86         | 0.48         |      |      |       |        |
| SIS standardblad | 0.10<br>0.18 | 0.40<br>0.70 | 0.15<br>0.35 |       |       | 0.70<br>1.10 | 0.45<br>0.65 |      |      |       |        |

Tabell 2 Aktuella analyser för använt material.  
Rör 2 är en kontrollanalys, de övriga är chargeanalyser.

Under den manuella svetsningen vid försöksserie A registrerades temperaturförloppet intill smältgränsen med hjälp av inborrade termoelement (Pt-10%RhPt) och en skrivare. De registrerade temperaturförloppen låg sedan till grund för den temperatur-kurva som användes vid svetssimuleringen.

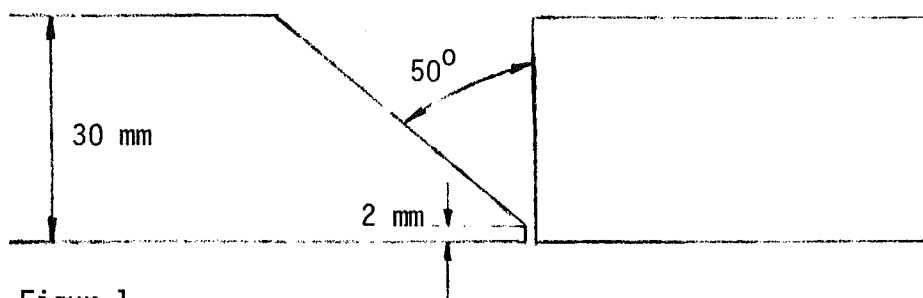
Undersökning av slagsegheten hos grundmaterialet vid några olika temperaturer har utförts på material från rör 2. se Fig 15.

### 3.1 Manuell bågsvetsning

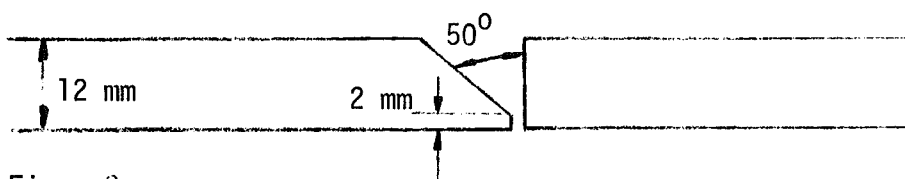
#### 3.1.1 Försöksserie A

Fyra rör har svetsats i material 13CrMo44 (= SIS 2216). Två rör med dimensionen 191 x 12.5 mm och två med dimensionen 329.5 x 30 mm. Svetsningen har utförts med belagda elektroder (OK 76.18). Rören har svetsats med 1/2 V-fog som fogförberedning, se Fig 1 och 2.

1977-07-06



Figur 1.



Figur 2.

Arbetstemperaturen under svetsningen har varit  $200 - 300^{\circ}\text{C}$  för den grövre dimensionen och  $150 - 200^{\circ}\text{C}$  för den klenare. Efter svetsningen har ett rör i varje dimension avspänningsglödgats i 30 minuter vid  $670^{\circ}\text{C}$  medan de två andra rören inte har genomgått någon efterföljande värmebehandling.

Rören har sedan röntgats och ultraljudprovats och inga sprickor har kunnat påvisas.

Ur rören har prov tagits ut, dels för dragprov och slagseghetsprov, dels för mikroskopstudier, Fig 16 - 22, och hårdhetsmätning (HV). Slagprovstaverna togs ut ur svetsgods, smältgräns och den överhettade zonen, se Fig 4 och 6.

Vid dragproven blev brottspänningen  $495$  resp  $534 \text{ N/mm}^2$  för de oglödgade rören och  $478$  resp  $530 \text{ N/mm}^2$  för de glödgade. Dragproven utfördes tvärs svetsen och brotten gick i grundmaterial.

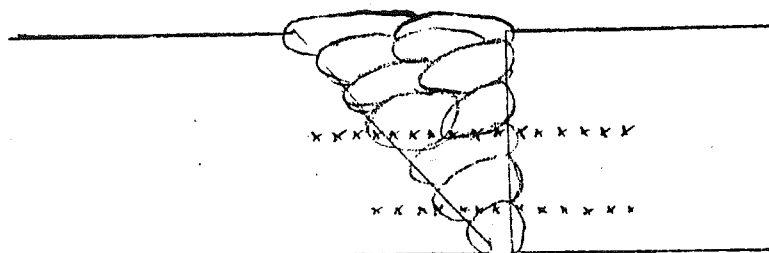


Fig 3. Fogutformning, svetssträngar samt läge för hårdhetsmätning i 30 mm godstjocklek.

1977-07-06

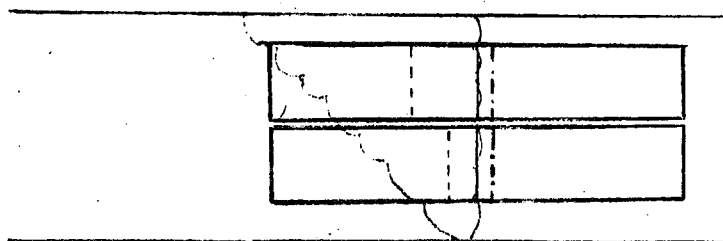


Fig 4. Läget för uttag av slagprovstavarna i 30 mm godstjocklek



Fig 5. Fogutformning, svetssträngar samt läge för hårdhetsmätning i 12 mm godstjocklek.

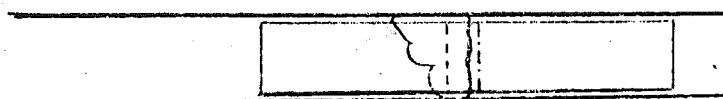


Fig 6. Läget för uttag av slagprovstavarna i 12 mm godstjocklek.

1977-07-06

### 3.1.2 Försöksserie B

Tre rör har svetsats i material SIS 2216 (13CrMo44). Rörens dimensioner var 139.7 x 16 mm, 168.8 x 22 mm och 139.7 x 17.5 mm. Svetsningen har utförts med belagda elektroder (OK 76.18). Rören har svetsats med 1/2 V-fog enligt Fig 1 och 2.

Arbetstemperaturen under svetsningen har varit 150 - 250°C. Efter svetsningen har rören halverats och den ena hälften har avspänningsglödats i 30 minuter vid 670°C medan den andra hälften inte har genomgått någon efterföljande värmebehandling.

Ur rören har prov tagits för slagseghetsprovning. Slagprovstavarerna togs ut ur svetsgods, smältgräns och den överhettade zonen.

### 3.2 Svetssimulering

Med svetssimulering uppnår man några väsentliga fördelar jämfört med manuell svetsning. Dessa fördelar är:

- god reproducerbarhet.
- en tillräckligt bred homogen zon för mekanisk provning, typ slagseghetsprovning.
- betydligt mindre mängd material erfordras. Den simulerade materialvolymen är i allmänhet ca 1 cm<sup>3</sup> (t ex 5 x 10 x 10 mm för slagprovstavar).

De främsta nackdelarna med simulering är:

- spänningsförhållandena är inte desamma i simulerade provstavar som i svetsade förband.
- vid simulering av temperaturförlopp som gäller för den överhettade zonen i HAZ blir i allmänhet austenitkornstorleken större för simulerade än för svetsade prov. Detta kan ge upphov till strukturskillnader som i sin tur ger skillnader i mekaniska egenskaper.

1977-07-06

Svetssimulatoren kan kortfattat beskrivas genom ett block-schema, se nedan, där provstaven värms genom resistans-uppvärmning och temperaturen registreras med hjälp av påsvetsade termoelement.

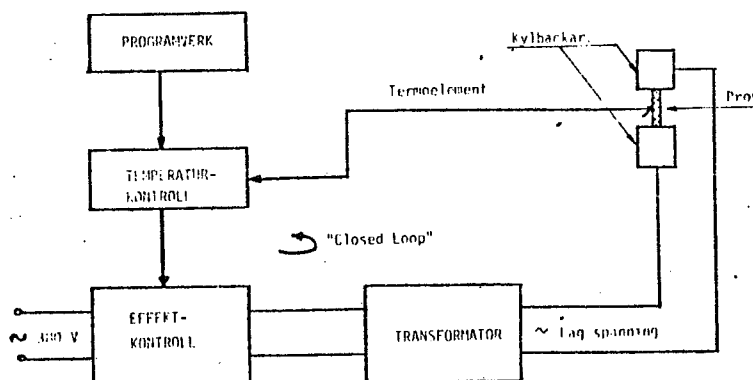
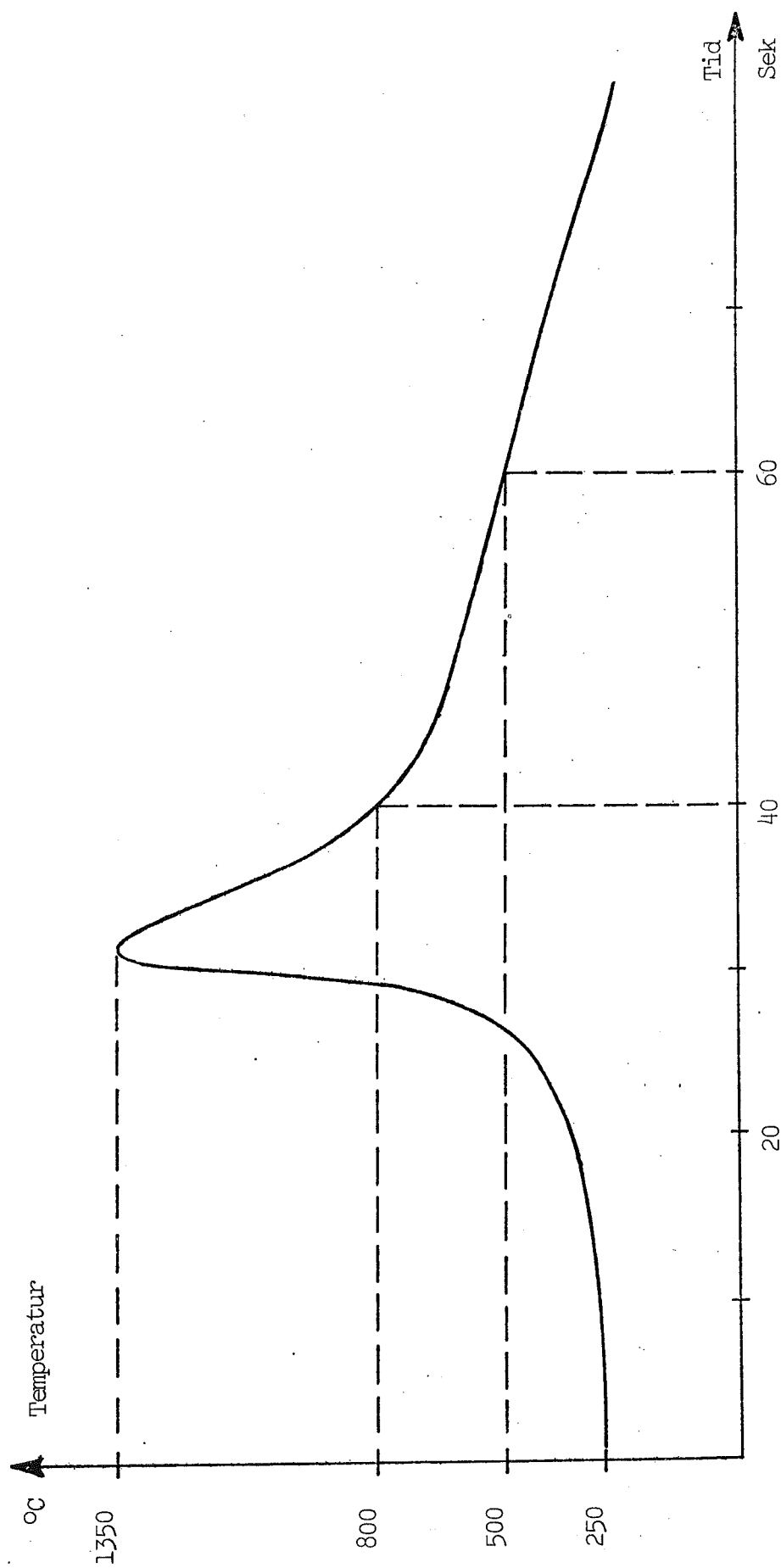


Fig 7. Schematisk bild över byggnaden av simulerings-utrustningen. Provet resistansuppvärms mellan 2 st kylbackar. Temperaturförloppet i provet styrs av ett återkopplat reglersystem. Programmerad och mätt temperatur jämförs i temperaturkontrollenheten, vilken styr effektkontrollenheten som i sin tur bestämmer effekten som matas in i transformatorn.

Den i undersökningen programmerade tid-temperaturkurvan, se Fig 8.

Till svetssimuleringen togs tio provstavar (dimension 10 x 10 x 90 mm) ut ur röret med 30 mm godstjocklek. Dessa stavar simulerades med temperaturcykeln enligt Fig 8. Hälften av stavarna glödgades efter simuleringen i 30 min vid 670°C. Hårdhetsmätning utfördes sedan på tre av stavarna, två oglödgade och en glödgad. Åtta av stavarna bearbetades till slagprovstavar (Charpy-V) och två användes för mikroskopstudier. Slagseghetsprovningen utfördes vid 0°C.



Figur 8.

Tid-temperaturkurva för programmering vid svets-simulering.

Tiden för svalning från 800° till 500° är 20 sekunder.

## 4.1 Hårdhetsmätning:

Vickershårdhet med 2kp belastning har utförts på försöksserie A och C. Se Fig. 9-11.

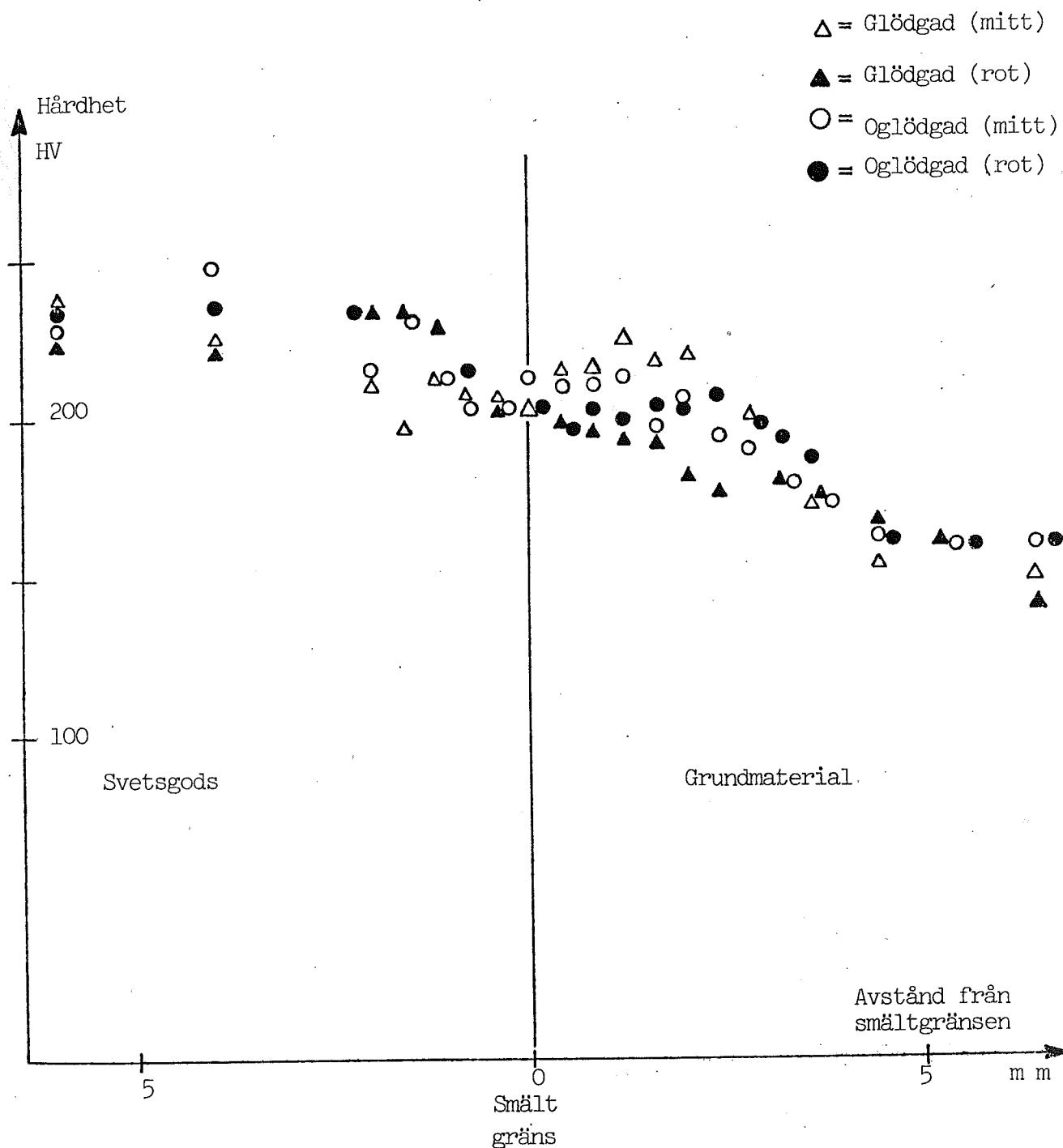


Fig. 9. Figuren visar resultaten från hårdhetsmätning på svetsar 30 mm godstjocklek, försöksserie A.

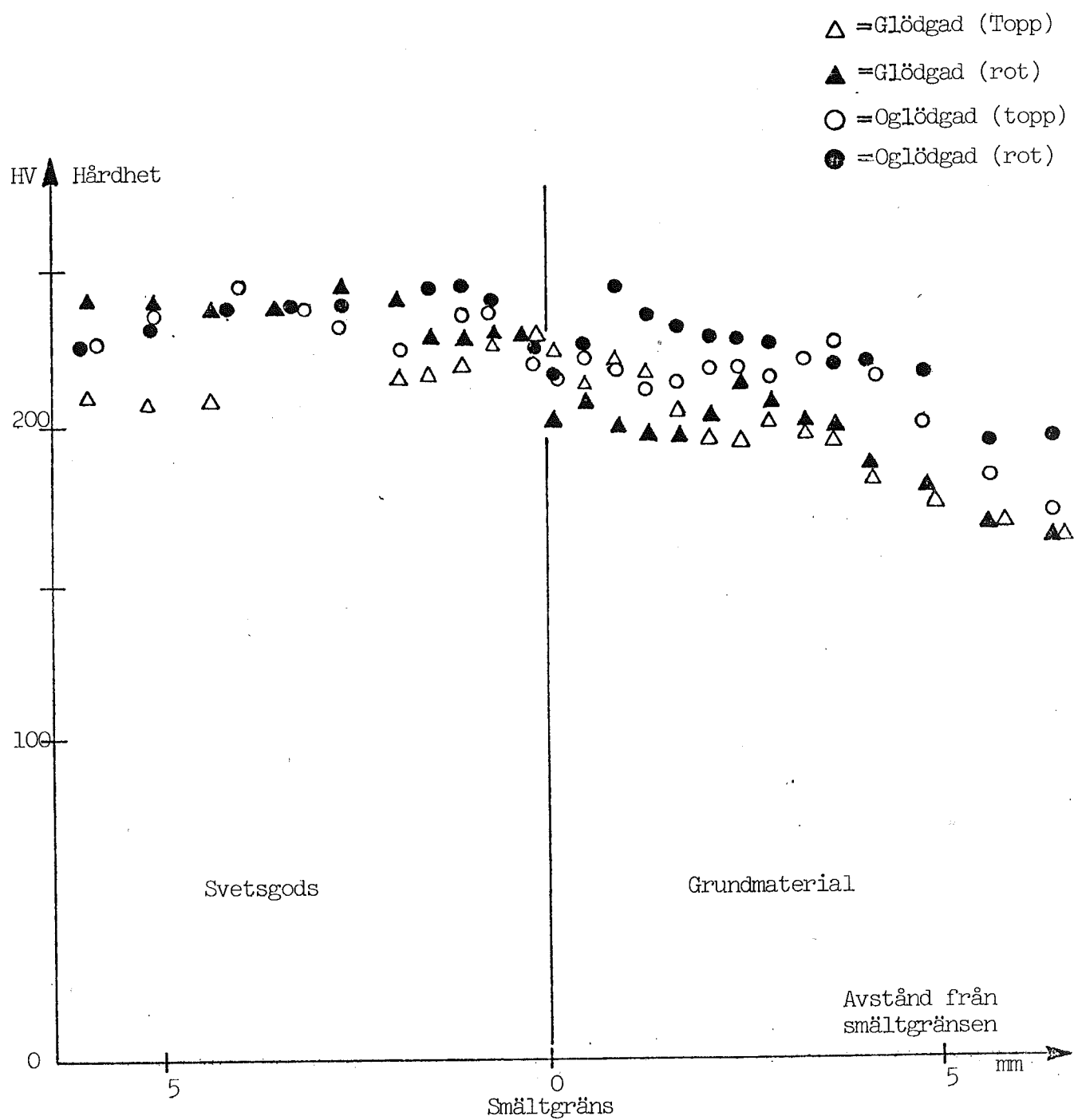


Fig.10.

Figuren visar hårdhetsmätning på svetsar i 12 mm godstjocklek, försöksserie A.

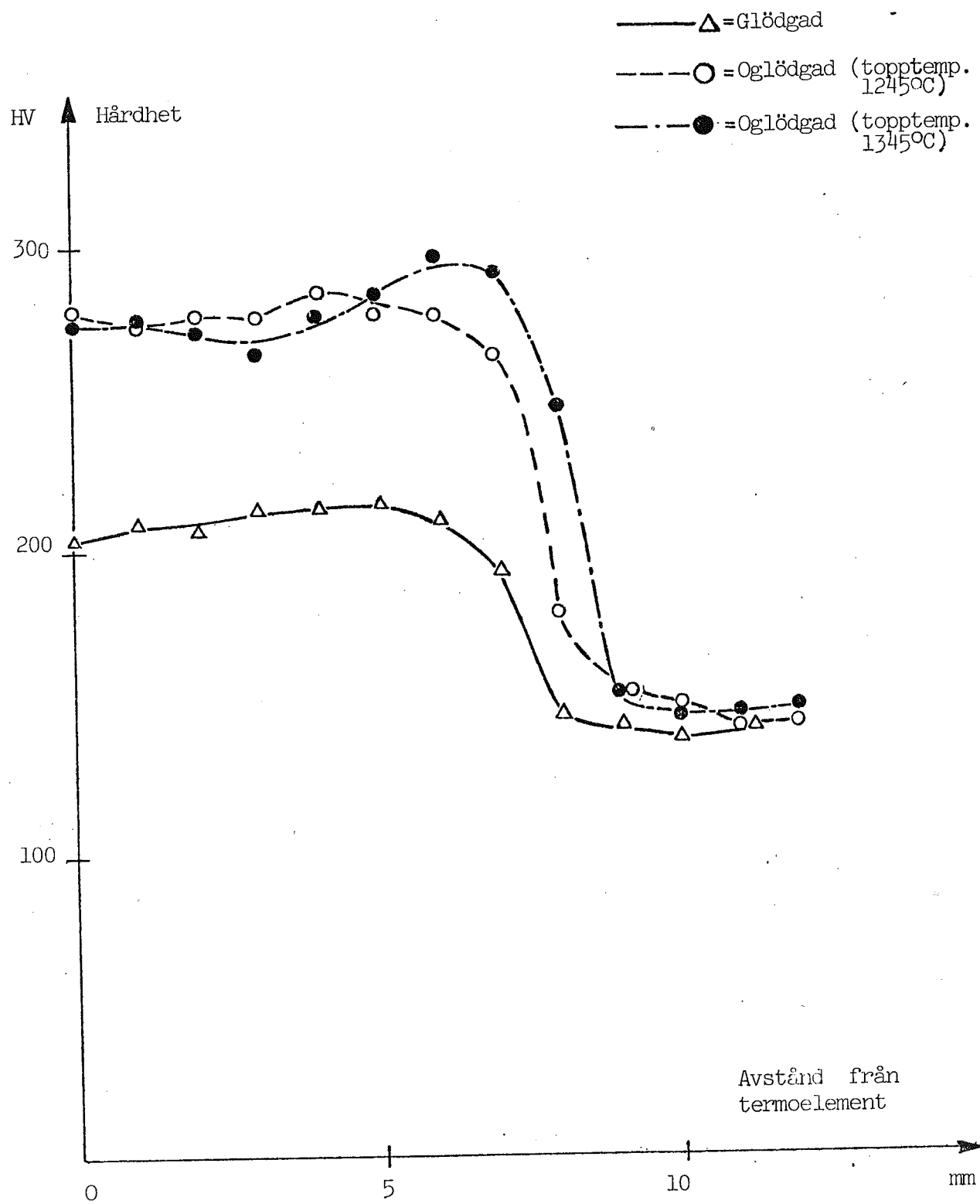
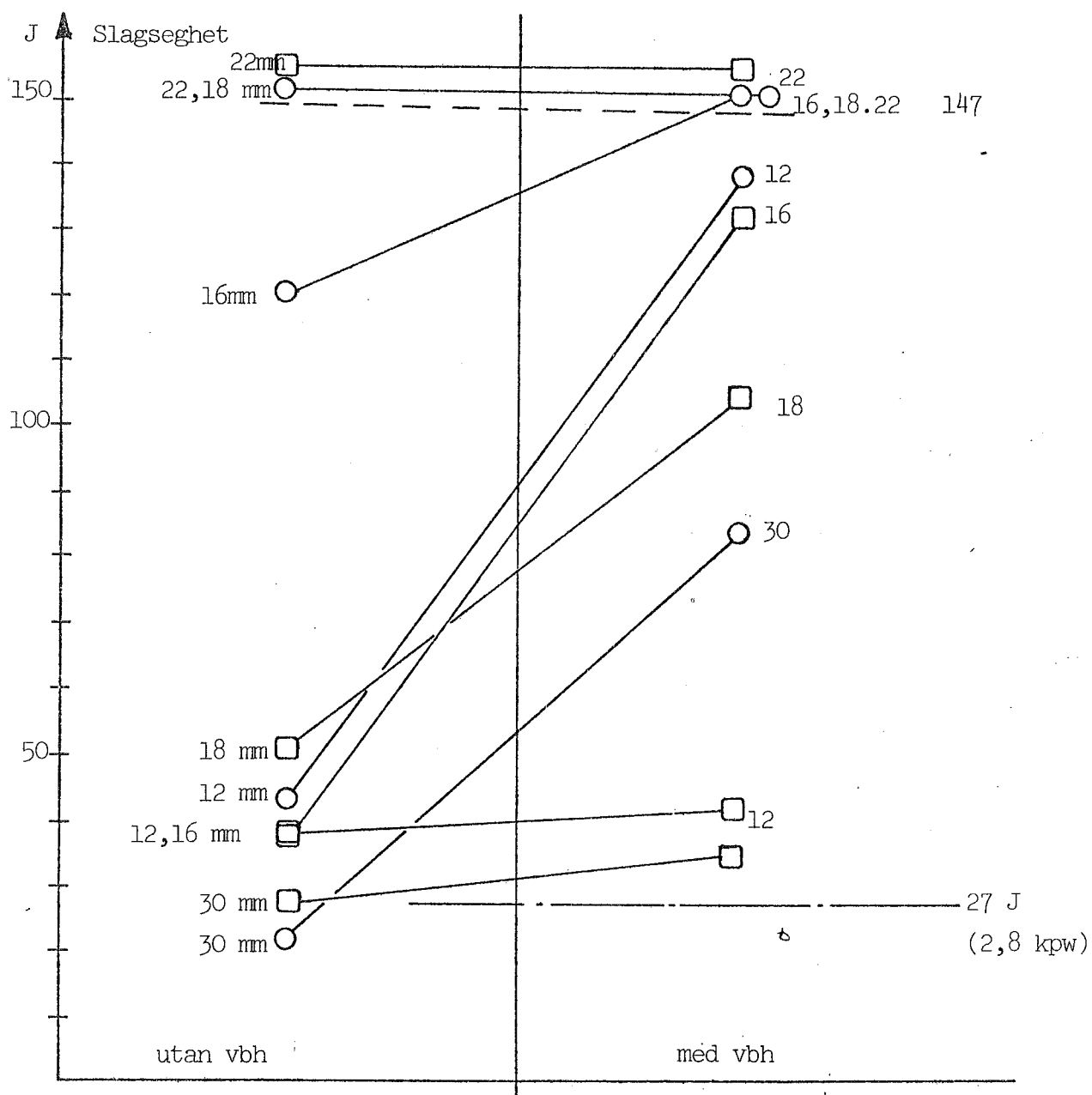


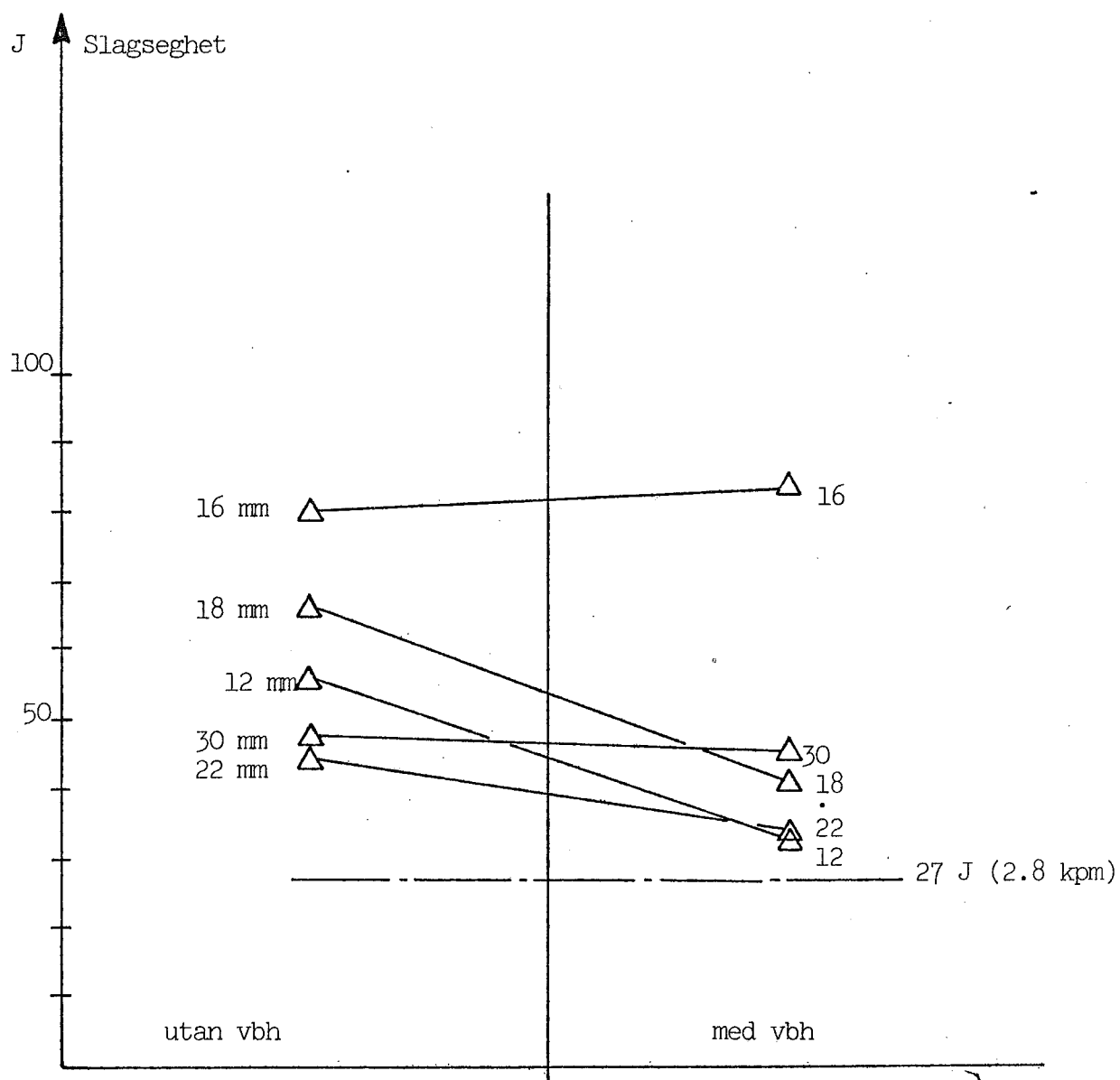
Fig.11. Figuren visar hårdhetsmätning på simulerade provstavar, försöksserie C.



□ Smältgräns

○ HAZ

Fig. 12. Svetsade rör. Jämförelse i slagseghet mellan värmebehandlat och inte vbh material. Glödningen ger en höjning av duktiliteten i smältgräns och HAZ. Svetsgodsets slagseghet sjunker däremot efter vbh. Se fig. 13.



△ Svetsgods

Fig. 13. Svetsade rör. Svetsgodsets slagseghet med och utan värmebehandling i olika godstjocklekar ( o. charger). Anmärkningsvärt är att i de flesta fall slagsegheten sjunker efter glödning.

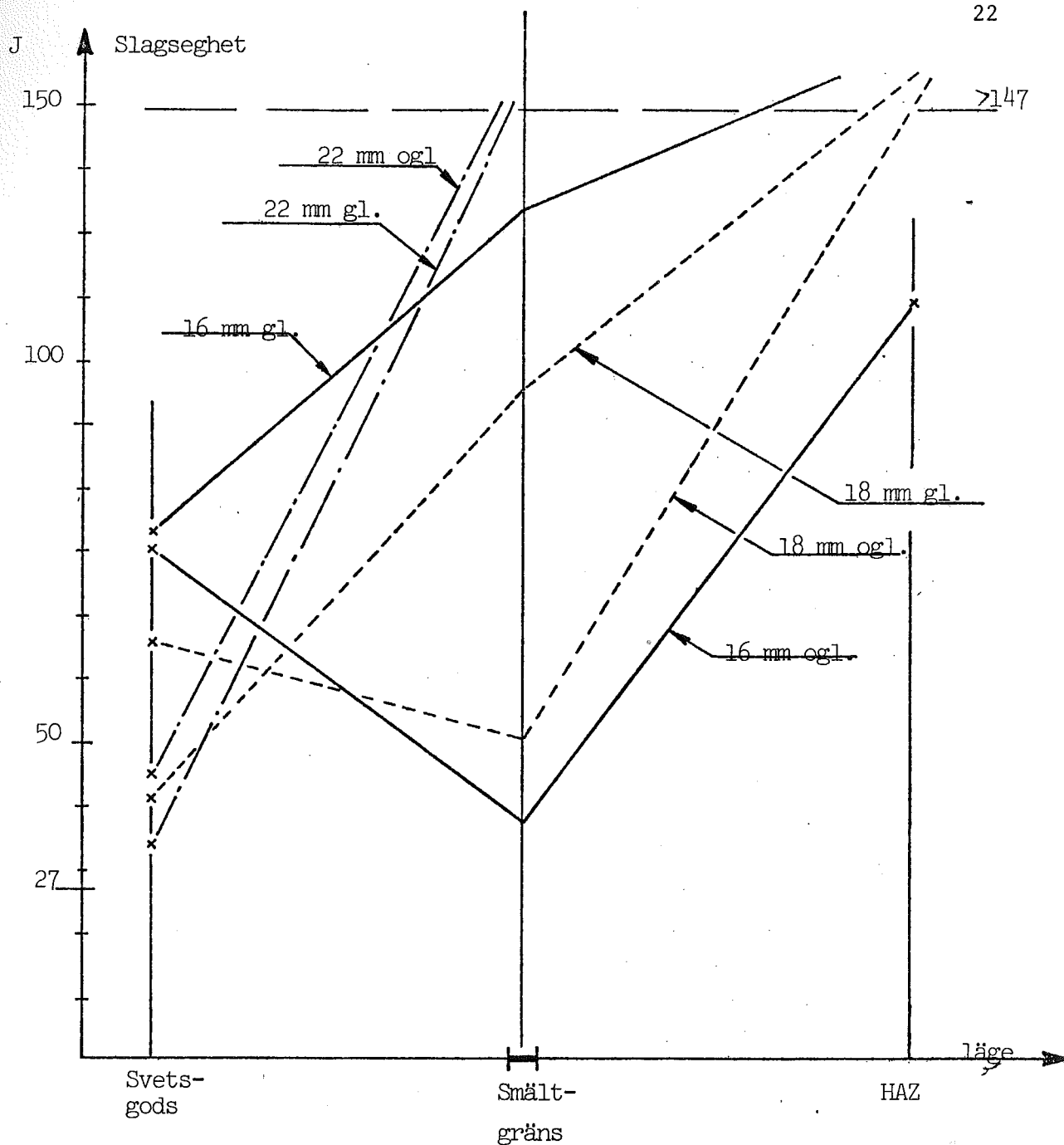


Fig. 14. Svetsade rör. Slagsegheten som funktion av läge notch, godstjocklek samt värmebehandling. I dessa fall synes de oglödgade rörens duktilitet minska i området kring smältgränsen vilket inte är fallet för de glödgade rören.

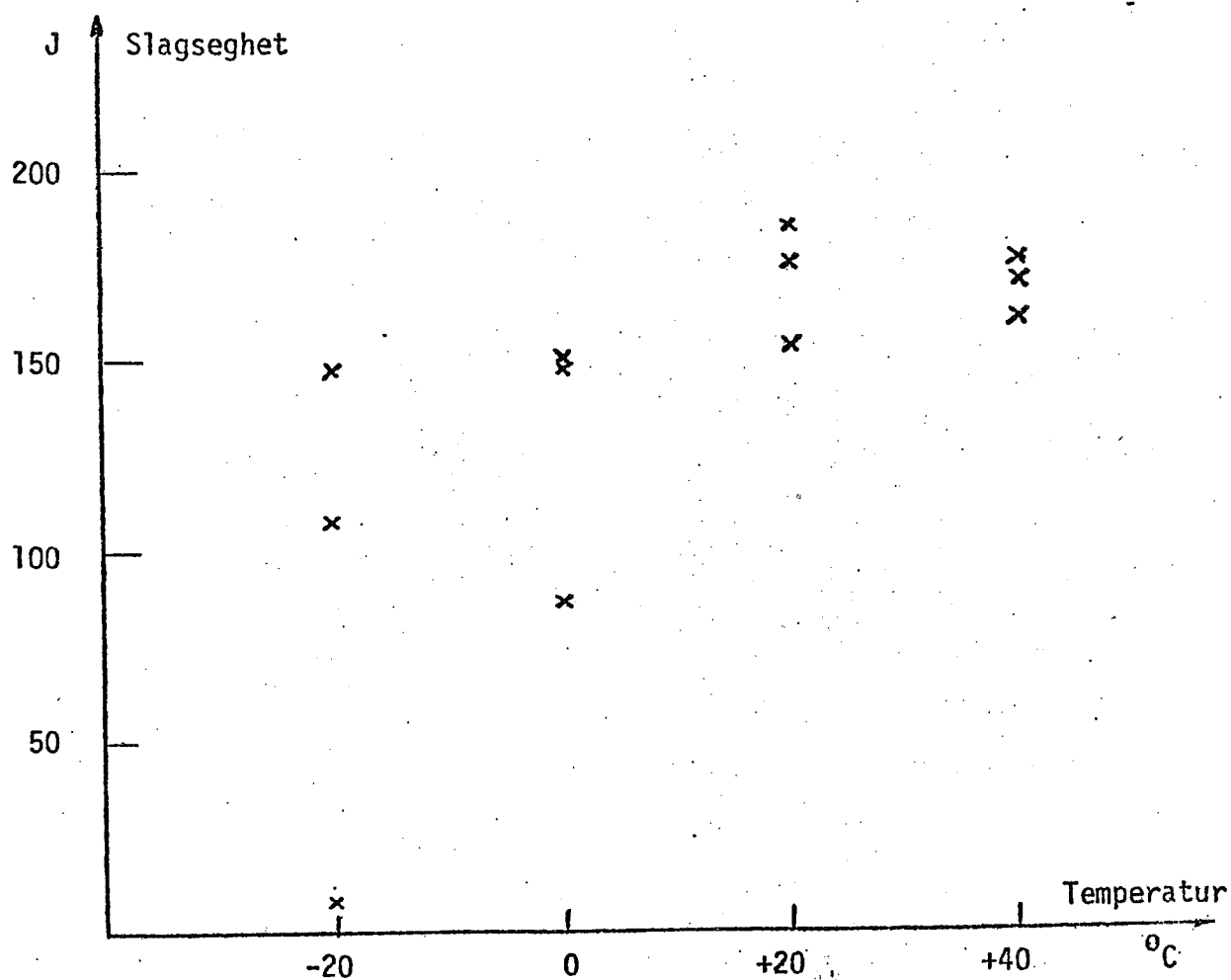


Fig.15. Grundmaterialets slagseghet som funktion av temperaturen.  
Provstaverna gjordes av material från 30 mm-röret, rör nr.2

5. Kornstorleksbestämning

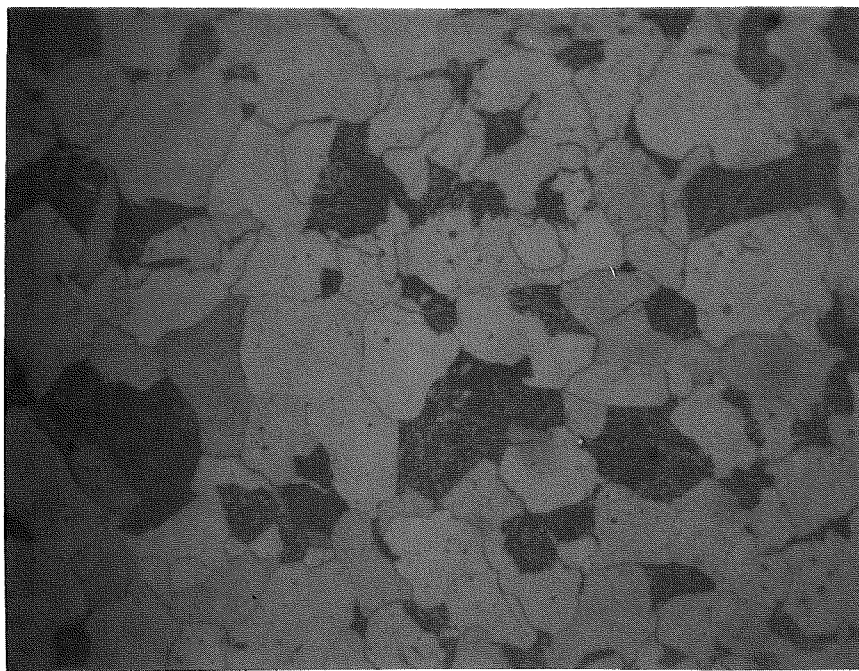


Fig. 16. Opåverkat grundmaterial i oglödgat rör nr. 2.  
23  $\mu\text{m}$ . 345x.

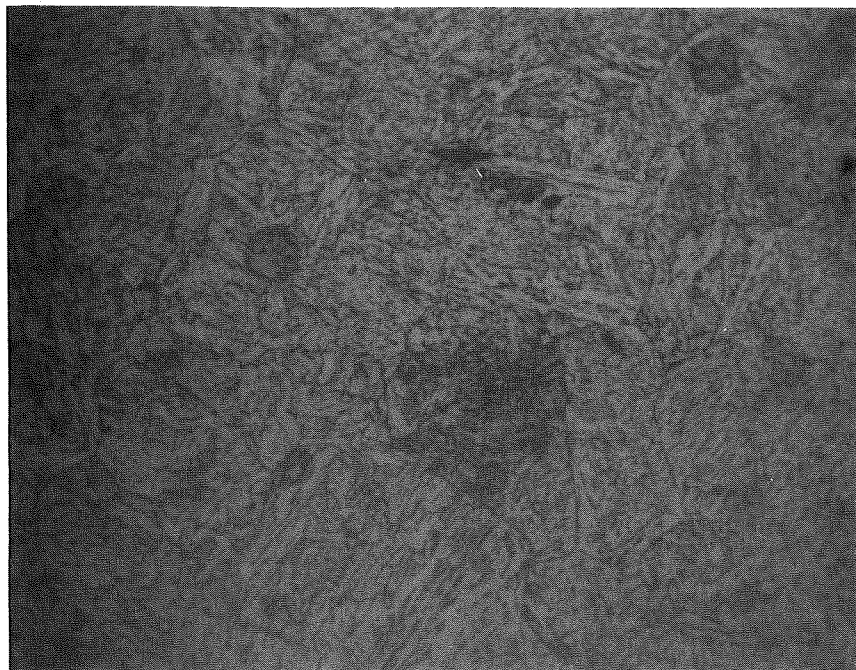


Fig. 17. Överhettan zon i glödgat rör nr. 2.  
48  $\mu\text{m}$ . 345x.

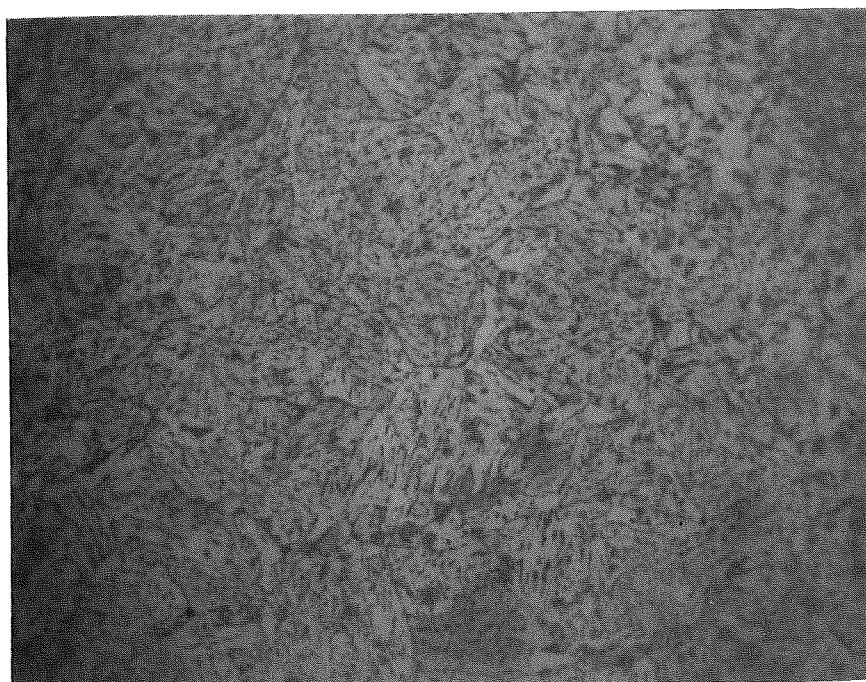


Fig. 18. Överhettad zon i oglödgat rör nr. 2.  
Korndiameter 41  $\mu\text{m}$ . 345x.

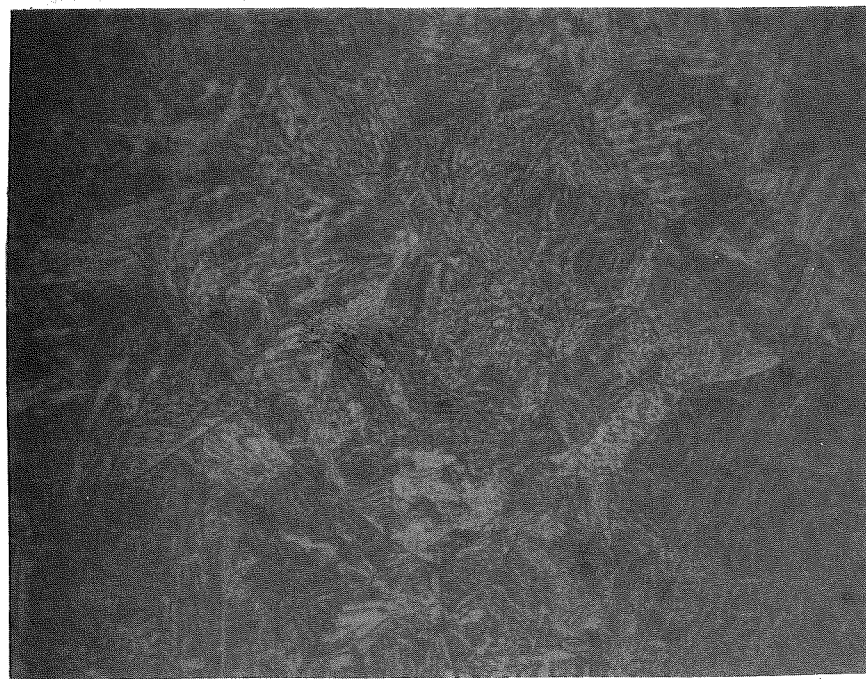


Fig. 19. Simulerad, överhettad zon i rör nr. 2.  
Korndiameter 57  $\mu\text{m}$ . 345x.

De områden i grundmaterialet som har undergått en betydande värmepåverkan av efterföljande svetssträng har fått en extra kornförstoring samt utskiljning i korngränserna, se bilderna nedan. Det är dock ingen skillnad i hårdhet mellan dessa områden och de med en mindre grad av kornförstoring.

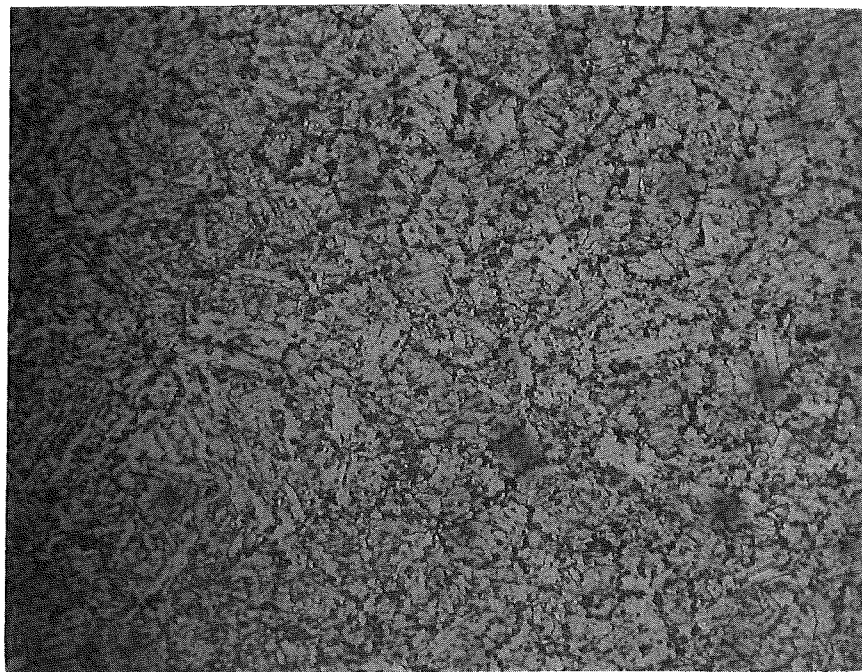


Fig. 20. Område med korngränsutskiljning i överhettade zonen ur glödgat rör nr 2. 138x.



Fig. 21. Område med korngränsutskiljning i överhettade zonen ur oglödgat rör nr. 2. 138x.

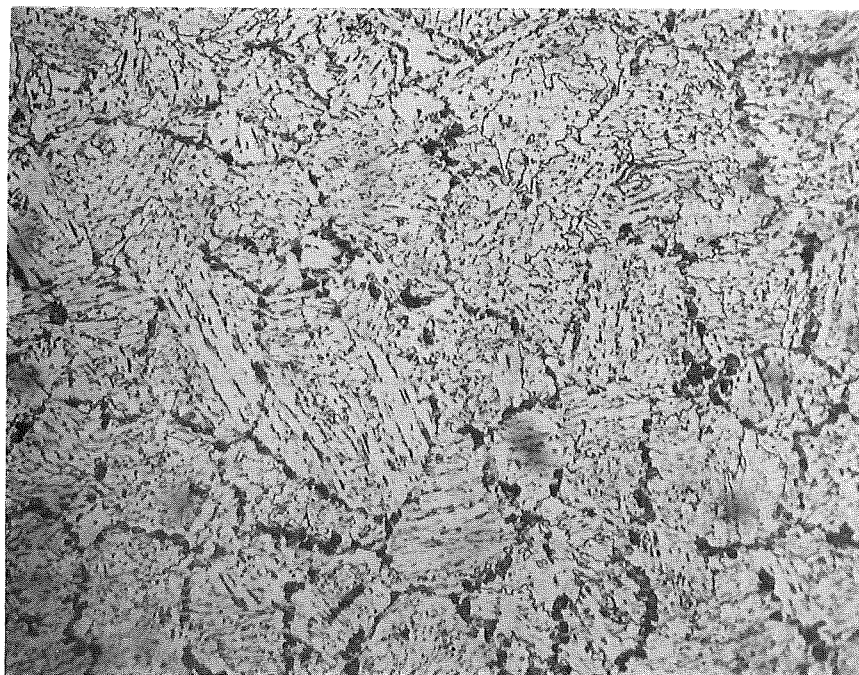


Fig. 22. Samma område som Fig. 21.  
Medelkorndiameter 55  $\mu\text{m}$ .

1977-07-06

## 4.2 Slagseghetsprovning

### Försöksserie A och B

Tabell nr 3 nedan visar resultaten av slagseghetsprovning (Charpy-V) i svetsförband (provstavar 10 x 10 mm).

Provningstemperatur 0°C.

| Rör<br>nr |             | Godstj (mm) | Värmebehandl | Slagseghetsvärde (J) |                        | Antal<br>stavar |
|-----------|-------------|-------------|--------------|----------------------|------------------------|-----------------|
|           |             |             |              | medelvärde           | max värde<br>min värde |                 |
| 2         | smältgr+HAZ | 30          | Nej          | 22                   | 44<br>6                | 3 + 6           |
| 2         | "           | 30          | Ja           | 66                   | 188<br>8               | 3 + 6           |
| 1         | "           | 12          | Nej          | 41                   | 78<br>18               | 3 + 3           |
| 1         | "           | 12          | Ja           | 91                   | 158<br>38              | 3 + 3           |
| 2         | svetsgods   | 30          | Nej          | 48                   | 60<br>38               | 3               |
| 2         | "           | 30          | Ja           | 46                   | 62<br>29               | 3               |
| 1         | "           | 12          | Nej          | 55                   | 66<br>40               | 3               |
| 1         | "           | 12          | Ja           | 32                   | 49<br>21               | 3               |
| 3         | smältgr     | 16          | Nej          | 38                   | 59<br>25               | 3               |
| 3         | "           | 16          | Ja           | 133                  | 140<br>133             | 3               |
| 4         | "           | 22          | Nej          | >147                 | >147                   | 3               |
| 4         | "           | 22          | Ja           | >147                 | >147                   | 3               |
| 5         | "           | 18          | Nej          | 51                   | 55<br>46               | 3               |
| 5         | "           | 18          | Ja           | 105                  | 147<br>67              | 3               |
| 3         | HAZ         | 16          | Nej          | 120                  | 254<br>38              | 3               |
| 3         | "           | 16          | Ja           | >147                 | >147                   | 3               |
| 4         | "           | 22          | Nej          | >147                 | >147                   | 3               |
| 4         | "           | 22          | Ja           | >147                 | >147                   | 3               |
| 5         | "           | 18          | Nej          | >147                 | >147                   | 3               |
| 5         | "           | 18          | Ja           | >147                 | >147<br>146            | 3               |
| 3         | svetsgods   | 16          | Nej          | 80                   | 91<br>71               | 3               |
| 3         | "           | 16          | Ja           | 83                   | 111<br>58              | 3               |
| 4         | "           | 22          | Nej          | 45                   | 46<br>42               | 3               |
| 4         | "           | 22          | Ja           | 33                   | 42<br>26               | 3               |
| 5         | "           | 18          | Nej          | 66                   | 85<br>53               | 3               |
| 5         | "           | 18          | Ja           | 41                   | 48<br>35               | 3               |

1977-07-06

Försöksserie C

Tabell nr 4 nedan visar resultaten av slagseghetsprovning i svetssimulerade provstavar (10 x 10 mm). Provningstemperatur 0°C.

| Värmebehandling | Slagseghetsvärde (J) |                        |
|-----------------|----------------------|------------------------|
|                 | medelvärde           | max värde<br>min värde |
| Nej             | 21                   | 28<br>14               |
| Ja              | 87                   | 148<br>34              |

Tabell 4

1977-07-06

## 6. KOMMENTAR

Slagprovstavar togs ut ur de svetsade proven för undersökning av slagsegheten i olika zoner i svetsförbandet. Svetsgods, smältgräns och HAZ provades. På grund av svetsmetoden blir inte smältgräns och HAZ helt raka, varför provstavarna efter att ha slagits slipades och etsades för att kunna undersökas var brotten egentligen hade gått. Det visade sig att brotten inte hade gått bara i smältgränsen eller bara i HAZ utan att de t ex initierades i HAZ och sedan propagerade in i smältgränsen och tvärtom, eller initierades i smältgränsen och sedan propagerade in i svetsgodset. Detta kan vara en anledning till varför det är så stor spridning i slagseghetsvärde på stavar som initierats i samma zon. Det bör dock noteras att de lägsta slagseghetsvärdena vid de glödgade proven och vid de oglödgade proven är ungefär lika. För att försäkra sig om att brotten vid slagseghetsprovning går i den zon man ämnar prova kan man simulera denna zon och på så sätt få den bredare. Temperaturcykeln för en sträng vid manuell bågsvetsning registrerades på en skrivare. Denna temperaturcykel användes sedan vid simulering. Det går dock inte att direkt jämföra det simulerade provet med det svetsade eftersom det simulerade provet endast genomgått en temperaturcykel emedan det svetsade provet blir värme-påverkat av efterföljande sträng. En utveckling av simuleringen är att simulera med flera temperaturcykler motsvarande de efterföljande strängarna eller att simulera den struktur som man är intresserad av. Nackdelar med simulering är att kornstorleken på grund av temperaturgradienten blir större än vid svetsning samt att spänningstillståndet är annorlunda.

Denna undersökning visar att på de svetsade proven hade avspänningsglödgningen ingen avsevärd inverkan på de mekaniska egenskaperna hårdhet (HV 2 kp), slagseghet och statisk draghållfasthet. För att ytterligare utröna behovet av avspänningsglödgning kan faktorer såsom svetsegenspänningar, strukturförändringar vid glödgning och olika legeringshalter av t ex C, Mn, P, Si, Sb, Sn och As studeras.

1977-07-06

7. REFERENSER
1. HALLOCK, CAMPBELL, C  
Influence of carbon on stress rupture properties of Cr-Mo weld metal.  
Welding Research Supplement Feb 65, s 64 - 71.
  2. MURRAY, J D  
Stress-relief cracking in carbon and low alloy steels.  
BR W Journal, Aug 67, s 447 - 456.
  3. BRUSCATO, R  
Temper embrittlement and creep embrittlement of Z1/4Cr-1Mo shielded metal-arc weld deposits.  
Welding Research Supplement, Apr 70, s 148 - 156.
  4. Proceedings of the conference on welding creep-resistant steels.  
The Welding Institute, Feb 70.
  5. SWIFT, R A et al  
A critical review of weld metal embrittlement.  
Welding Research Supplement, Aug 71, s 357 - 371.
  6. International conference on welding research related to power plant. The notch toughness of 2CrMo manual metal arc weld metals.  
17 - 21 sept 72.
  7. International conference on welding research related to power plant. Use of weld simulation tests to study susceptibility to reheat cracking.  
17 - 21 sept 72.
  8. BROUWER, G  
The welding of creep-resistant steels.  
Philips Welding Reporter 1972/4.
  9. TOYOOKA, T et al  
On the effects of postweld heat treatment.  
Welding Research Supplement, Jun 73, s 247 - 254.
  10. FABRITIUS, H et al  
Restlebensdauer und ..... Stählen.  
VGB Kraftwerkstechnik, Apr 74/4, s 250 - 267.
  11. Rohrleitungssymposium 1973 in Essen.  
Schweissen und Schneiden 1974/3.
  12. Betrachtung zur Versprödung von 2.25%Cr-1%Mo-Stahl-Schriftums Übersicht.  
Schweissen und Schneiden 1974/2.
  13. MILLER, R C et al  
Reheat cracking in  $1/2\text{CrMoV}/2\frac{1}{4}\text{CrMo}$  welded joints.  
Metal Construction, Nov 75, s 550 - 558.

1977-07-06

14. RADAJ, D  
Peculiarities in ..... structures.  
Schweissen und Schneiden, Jun 15, s 211 - 214.
15. The toughness of weld heat-affected zones.  
National seminar, Mar 74. The Welding Institute.
16. TOYOOKA, T et al  
Embrittlement in weld strain-affected zone in  
carbon steel.  
Welding Research Supplement, Nov 75.
17. STENBACKA, N  
Simulering av temperaturcyklerna vid svetsning.  
KTH, Inst f svetstekn, Nov 75.
18. OTTERBERG, R  
Litteraturstudie om avspänningsglödning.  
Institutet för Metallforsk, Feb 75.
19. SWIFT, R A et al  
Study of creep embrittlement of 2-1/4Cr-1Mo steel  
weld metal.  
Welding Research Supplement, Jul 76.
20. EMMER, L G  
Critical literature Review of embrittlement in  
2 1/4Cr-1Mo steel.  
WRC Bulletin 183.
21. COCHRANE, R C et al  
Root-run toughness in multi-pass manual metal-arc  
weld.  
Welding and Metal Fabrication, Jul/Aug 76.
22. Welding problems in power station operation.  
Welding and Metal Fabrication, Maj 76.
23. JONES, W K C  
Reheat cracking ..... metals.  
Welding Research Supplement, Feb 76, s 42 - 46.
24. HANNERZ, N E  
Auswirkung des Spannungs-armglühens .....  
Schweissen und Schneiden 76/10.
25. OTTERBERG, R  
Avspänningsglödning hos några olika typer av  
stål och mässingslegeringar.  
Institutet för Metallforsk, Feb 77.