VÄRMEFORSK
STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING

Porbildning vid skarvsvetsning av stålrör med gas

Nils Erik Hannertz

MATERIALTEKNIK 250

Porbildning vid skarvsvetsning av stålrör med gas

NilsErik Hannerz, KTH, Inst. för Svetsteknologi

Carl-Henrik Garander, KTH, Inst. Svetsteknologi

STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING
BOX 6405 • 113 82 STOCKHOLM • TEL. 08/34 09 80
Februari 1987
ISSN 0282-3772

PORBILDNING VID SKARVSVETSNING AV RÖR MED GAS

Utredare

Professor N E Hannerz Inst. f. Svetsteknologi KTH
Ing. C-H Garander -"-

Vid besök intervjuade specialister

A. Djurås, Svetsmästare, Svejsecentr, Köpenhamn
P. Hårderup, Civ.ing., AGA
R. Jangholt. Ing. tekn.ansv. AB Rörinstallatör
B. Jönsson, Svetsare, AB Rörsystem
O. Jonsson. Ing. tekn.ansv. Calor-Celcius
J. Kamryd, Ing. produktspecialist, AGA
J-E. Lindgren, Ing. VD, AB Rörinstallatör
E. Rasmussen, Civ.ing. Forskn.ledare, Svejsecentr, Köpenhamn
L-G. Swahn, Civ.ing. kval.chef, Jordbro rörverk
V. Varis, Svetsare, AB Rörsystem

Ytterligare ett stort antal personer har intervjuats per telefon.
En mängd litteratur har också studerats.

Stockholm april 1986

Nils Erik Hannerz C-H Garander

Värmeforskningsprojekt M4-507

PORBILDNING VID SKARVSVETSNING AV RÖR MED GAS

sid

Synopsis in English 0
Sammanfattning 1
BAKGRUND, EXPERIMENTELLA STUDIER OCH INTERVJUER..... 2-9
Bakgrund 2
Äldre studier 3
TIG och andra svetsmetoder 4
Nyare studier i Schweiz 4
Senare skandinaviska undersökningar 5
Undersökning vid DTH 5
Undersökning hos AGA 6
Undersökning hos Götaverken 6
Intervjuer (Förteckning) 7
Intervjuämnen 8-9
DISKUSSION AV INTRESSANTA ASPEKTER 10-14
Varör är stålet Al-desoxiderat 10
Slaggavskiljning vid svetsning 11
Svetssmältans flytbarhet 11
Förslag till porbildningsmekanism 12
Matematisk behandling av porbenägenhet 14
REKOMMENDATIONER FÖR ACETYLENGASSVETSNING 15-17
Basmaterial 15
Märkning 15
Svetstrådens analys 15
Svetstråden diameter 16
Fogberedning 16
Renlighet, fogkant och tråd 16
Svetsmunstyckets storlek 16
Gasblandning 17
Svetsprocedur 17
Kontroll 17
Licenser 17
BEHOV AV YTTERLIGARE FORSKNING 18-19
Litteraturlista 20-23

PORE FORMATION AT TRANSVERAL GAS WELDING OF TUBES

Synopsis

The possibilities to reduce pore frequencies on joining district heating hotwater tubes with acetylenegas welding have been looked at.

It appears that with aluminium deoxidized steels wormholes and other porosities form rather more easily than if the tube steel were silicon deoxidized.

A possible model for the formation of wormholes if forwarded. The puddle oxygen and aluminium is precipitated as solid Al_2O_3 which floats to the surface of the melt, which now low in oxygen becomes expressedly fluid. Instinctly the welder pulls back the torch, whereby the puddle is reoxidized. Reoxidation leads to a local rimming reaction (local boiling) possibly enhanced by the nitrogen and hydrogen content of the weld puddle. Solid Al_2O_3 may act as a possible pore nucleant.

Following this model a number of questions arise which cannot be answered without further carefully planned experiments. Knowing the exact mechanism will facilitate fighting the defects.

At the present stage certain recommendations as to tube steel analysis and the marking of the pipes can be given. Further a certain rod analysis can be recommended as well as weld procedures in order to minimize risk for weld porosity formation.

It is further recommended that the technically responsible leader is licenced by Swedish authorities according to the new codes for pressure vessels, which involves the examination by Statens Anläggningsprovning. This will guarantee a fresh knowledge, no "inherited" licences will be accepted. The craftmanships of the welder is essential as acetylene gas welding is the weld process that requires the most skill. For a welder of no routine the chances of defect welds rise exponentially. The welder must be informed as to control and consequenses of defects.

It is important that X-ray is performed early. The tester should be head in heals of the welder to put it drastically.

The report contains lists of studied literature and interviewed specialists.

Sökord

Oxyacetylene gas welding
Aluminiumkilled steel
Porosities
District heating pipes

PORBILDNING VID SKARVSVETSNING AV STÅLRÖR MED GAS

Sammanfattning

Frågan om frekvensen av porbildning vid skarvsvetsning av stålrör med acetylengas kan nedbringas till rimliga nivåer har utretts. Utredningen har tillgått så att nyckelpersoner i sammanhanget intervjuats och adekvat litteratur har synats. Det får anses som belagt att porer t.ex. av typ wormholes dvs långsträckta porer lättare bildas om stålet är aluminiumdesoxiderat än om det är kiseldesoxiderat.

En tänkbar mekanism för hur porerna uppstår föreslås. Denna går ut på att smältans syre och aluminium avskiljs, varvid smältan blir extremt lättflytande. Svetsaren drar undan brännaren varvid en lokal reoxidation erhålles. Denna reoxidation för till bildningen av en rimreaktion (lokalt kok) eventuellt förstärkt av smältans innehåll av kväve och väte. Möjligt är att fast Al_2O_3 fungerar som kärnbildare för porositeten.

I anslutning till denna modell uppstår följdfrågor som borde kunna besvaras med ledning av omsorgsfullt planerade försök. Om vi med bestämdhet vet hur de aktuella porerna uppstår borde de lättare kunna bekämpas!

Redan nu kan emellertid vissa rekommendationer beträffande röranalys samt märkning av rör göras. Vidare kan viss trådanalys rekommenderas liksom den svetsmetodik som skall användas för att minimera risken för porbildning.

Vidare kan det rekommenderas att den för svetsningen tekniskt ansvarige har en licens enligt SA (nya tryckkärlsreglerna), vilket garanterar att licensen är färsk och icke är "ärvd", vilket kunnat förekomma tidigare. Svetsarens yrkeskunnande är i sammanhanget avgörande. Acetylengassvetsning är faktiskt den process som kräver mest vana av svetsaren och för den orutinerade svetsaren ökar riskerna för porbildning exponentiellt. Ett godkänt svetsarprov är inte tillräckligt. Svetsaren måste också ha fältmässig vana vid metoden och vara informerad om kontrollomfattning och konsekvenserna av svetsfel.

Viktigt är att röntgenprovningen utförs på ett tidigt stadium i entreprenaden. Röntgenprovarna skall följa i hälarna på svetsarna för att uttrycka det hela drastiskt.

Rapporten innehåller en lista på aktuell litteratur samt förteckning över intervjuade personer.

BAKGRUND, EXPERIMENTELLA STUDIER OCH INTERVJUER

Bakgrund

En serie reklamationsfall vid acetylengassvetsning av varmvattenrörsystem i slutet på 70-talet pekade på att aluminiumtätade stål är svårare att svetsa porfritt än otätade eller kiseltätade stål. Den typ av porer som gav underkända röntgensvetsar förekom i stor utsträckning just i skarvsvetsar hos rör som tillverkats i aluminiumtätat stål. Porerna som avslöjades först vid röntgenprovning var ofta långsträckta av den typ som i anglosaxisk litteratur brukar benämnas wormholes, alltså maskhål. Bland större entreprenader där reklamationerna gav genljud i fack och lokalpress kan nämnas värmeverksprojekten i Örebro, Växjö, Uppsala och Piteå. Det får anses som något av en bragd eller ingenjörsmässig intuition i den högre skolan att den aktuella svetsdefekten kom att hänföras just till ståltypen och: desoxidationstillståndet, eftersom man vid den tiden endast med svårighet kunde få fram hur stålet var tillverkat. Den som hela tiden aktivt initierat svetsfirmor och stålverk att forska runt fenomenet är svetsingenjören vid Calor Celcius, Ove Jonsson som också synes vara den som satt fingret på den ömma punkten, nämligen om stålet är Al-desoxiderat eller ej.

Värmeverksföreningen har också varit aktivt pådrivande då det gällt att få fram vettiga rörspecifikationer som bl a minimerar risken för porbildning.

Äldre studier

Sedan gammalt är känt att vid autogen acetylengassvetsning av radiatorer övergång till halvtätat stål försvårat svetsningen, vilket manifesterades i slaggbildning och dålig bindning efter en viss svetssträcka. Slaggen följer med smältan och anrikas successivt för att vid en viss punkt vålla avbrott.

Detta föranledde Domnarvets Järnverk att 1967 genomföra en mycket ambitiös jämförelse av ett otätat stål och ett kiselhalvtätat med avseende på autogensvetsbarhet. Undersökningen visade att otätat (vattenlockat) stål hade den bästa autogensvetsbarheten men att också ett kiselhalvtätat stål kan svetsas. Enligt senare (ej verifierade) framkomna uppgifter var det kiselhalvtätade stålet som ingick i studien också aluminiumbehandlat.

Hofmann och Müller[2] uppmärksammade redan 1956 att det var en skillnad mellan ståls autogensvetsbarhet avhängigt stålets desoxidation.

I Schweiz hade man också noterat denna skillnad i gassvetsbarhet mellan olika plåtar levererade enligt en och samma specifikation St 10.03 och en större undersökning av 14 olika plåtar publicerade av Hesse 1969[3]. Observation av slaggbildning liksom sprut, ytutseende, varmsprickning och porförekomst. Hesse hänför den sämre svetsbarheten hos aluminiumtätat stål till större ansamlingar av Al_2O_3 slagger i basmaterialet.

I en holländsk undersökning huvudsakligen ägnad radiatorplåts TIG svetsbarhet konstaterar Bosman et al[4] 1978 att aluminiumtätat stål ibland är mer svårsvetsat med acetylengas än otätat stål.

Det fanns alltså tidigare vaga indikationer att aluminiumtätat stål kan vara något mer svårsvetsat än otätat stål eller kiseltätat vid autogen svetsning (utan tillsatstråd). Att problem skulle komma att uppträda vid svetsning av aluminiumtätat stål vid bruk av tillsatstråd kan inte utläsas av denna tidigare oftast svåråtkomliga information.

TIG- och andra svetsmetoder

Desoxidationens inverkan på svetsporer har nämnts också i andra sammanhang. Främst gäller det TIG-svetsning. Bakgrunden är införande av såväl nya svetsprocesser som stålprocesser under 70-talet.

Meitzner[5] jämförde porförekomst vid TIG-svetsning av otätat och aluminiumtätat stål redan 1968 och fann då att aluminiumtätat var överlägset, vilket bekräftades av Bosman et al[4] 1978. Killing[6] hänvisar 1978 till problem i Sverige och konstaterar att aluminiumtätade stål i vissa fall visat sig svårare att svetsa porfritt än motsvarande kiseltätade stål,och anför autogen TIG-svetsning och elektroslaggsvetsning som exempel. Huvudparten av referenserna (och de mest underbyggda) visar att aluminiumtätade stål är bättre än otätade med avseende på porer i TIG-svetsad tunnplåt. Kiseltätad plåt har dock inte jämförts i Meitzners eller Bosmans studier, däremot Killings diskussionsinlägg gäller aluminium versus kiseltätning.

Nyare studier i Schweiz

ARFA, dvs tillverkaren av de rör som bedömdes som porkänsliga av svenska entreprenörer beställde i samband med de omtalade reklamationssamtalen undersökningar av svetsbarheten som genomfördes vid Schweiziska Föreningen för Svetsteknik i Basel den stad där också ARFA har sin rörtillverkning. Två försöksserier genomfördes[7, 8]. Den första gäller svetsning vid rumstemperatur. Fem rör och sex rörstål blev föremål för gassvetsning. Undersökningen visade att aluminiumtätade rör kan gassvetsas om riktig metodik används. Vid svetsning av rör kylda till -20°C märktes ingen menlig inverkan av den låga temperaturen, konstateras i den andra rapporten som gäller två aluminiumtätade rör. Bägge rapporterna har översatts till svenska. Dessutom har ARFA producerat en skrift vari fördelarna med aluminiumtätat stål framhålles[9].

Thyssen som levererar stål till ARFA gjorde i samband med de nämnda reklamationerna ett antal litteraturstudier och sammanställningar angående aluminiumtätade stål t ex[10].

Senare skandinaviska undersökningar

I samband med de diskussioner som föranleddes av de tidigare nämnda reklamationerna 1978 - 80 beslöt Svenskt Stål och AGA att gemensamt studera fenomenet. Svenskt Stål har dubbelt intresse som leverantör av plåt och svetstråd. På samma sätt har AGA ett dubbelt intresse som leverantör av svetstråd, gas och svetsutrustning. Danmarks Tekniska Högskola DTH önskade också deltaga i en studie under förutsättning att Svenskt Stål levererade material. Efter ett antal famlande förförsök vid DTH och diskussioner med Svenskt Stål och AGA beslöts att DTH skulle koncentrera sig på den autogena svetsbarheten (utan tråd) medan AGA studerade trådanalysens inverkan på svetsens porbenägenhet. Undersökningarnas experimentella del är för AGA liksom för DTH avslutade. Viss avrapportering föreligger även om den ännu inte utformats för extern publicering. Aktivt medverkande i såväl studierna vid AGA som vid DTH har varit Gustav Westerberg och Börje Backström vid Svenskt Stål AB. Svenskt Stål har försett DTH med experimentella plåtar av förutbestämd analys och AGA med experimenttrådar av likaledes förutbestämd analys. Resultatet av de experimentella studierna skall i korthet relateras nedan.

Undersökning vid DTH

Vid DTH har studerats autogensvetsbarheten hos 17 olika 3 mm plåtar med kisel och aluminiumhalter permuterade[11]. Plåtarna fästades i 120° vinkel och det svetsades lodrätt stigande autogent (utan tråd). Vid försöket uppmättes antalet hål i svetsen (man tappar smältan), antalet porer, flytbarhet, gnistbildning etc. Av denna undersökning framkom att bästa svetsresultat när allt vägdes samman gav ett stål med 0,15 till 0,20% kisel och 0,060% aluminium max.

Också 6 mm plåt med permuterat innehåll av kisel och aluminium undersöktes (5 charger)[12]. I detta fall kunde det inte svetsas lodrätt stigande och antalet hål (tappad smälta) kunde inte studeras. Denna undersökning visade på att antalet porer minskade då badet blev mer trögflytande och att acetylengasöverskott gav ett mer trögflytande bad. Minsta antalet porer gav ett såväl kisel- som aluminiumtätat stål. Enbart aluminiumtätat stål var mycket känsligt för gasblandningen såväl avseende flytbarhet som porförekomst.

Bägge DTH undersökningarna visar att aluminium i förening med 0,3% kisel inte är farligt ur porsynpunkt, men att vid svetsning av enbart aluminiumtätat stål problem kan uppstå, speciellt om lågan inte är optimalt inställd.

I ingen av undersökningarna har wormhole porer erhållits. Generellt sett har porerna varit små, under 1 mm, och dispergerade så att röntgenbetyg i vanlig mening blir 4 eller 5.

Undersökning hos AGA

59 svetstrådar av olika analys och åtta porkänsliga basmaterial ingick i AGAs undersökning[13] som omfattar inalles 283 provsvetsningar utförda av fem svetsare totalt. Inte heller AGA har i större utsträckning fått wormholes men porbildningen har medgett röntgenbetygsättning varierande från 1 till 5.

Svetsarna har också fått betygsätta svetstråden, alltså om de tyckte att den svetsade bra eller dåligt. Hårderup som lett AGAs studie konkluderar att kiselhalter över 0,23% i svetstråden ger bättre resultat både vad avser små porer, stora porer, röntgenbetyg och svetsarbetyg jämfört med trådar med kiselhalter mindre än 0,23% Si.

Motsvets ger bättre resultat än frånsvets. Molybdenlegerad tråd ger inte bättre resultat. Svetsaren upptäcker ej själv porbildningen.

Undersökning hos Götaverken

Utöver de ovan två relaterade studierna har Calor Celcius beställt en studie av dåvarande Götaverken Laboratorium[14] (numera Projekt

Lindholmen). Undersökningen visade att wormholes är metalliskt rena på insidan, kan erhållas även i enbart kiseltätade rör och att slutligen det gick att provocera fram wormholes om fogkanten beströs med tektyl eller våt lera. Vatten, vattenånga, luftdrag etc. gav däremot ej avlånga porer. Huruvida de framprovocerade porerna erhölls i aluminiumtätat stål eller ej framgår ej av rapporten.

Intervjuer

Intervjuer har utförts enligt nedan

Datum	Intervjuade personer/företag	Rapport
19de nov 1985	Tre svetsare vid AB Rörsystem Fotografier tagna. Kallt och rått väder.	NEH/198/85
15de jan 1986	Civ.ing. Per Hårderup AGA Ing. Jan Kamryd	NEH/5/86
27de jan 1986	Ing. Jan Erik Lindgren Ing. Ragnar Jangholt AB Rörinstallatör	NEH/6/86
29de jan 1986	Civ.ing. Lars-Gunnar Swahn Gränges Jordbro	NEH/20/86
13de febr 1986	Ing. Ove Jonsson Calor-Celsius Civ.ing. Per Hårderup AGA	NEH/30/86
27de febr 1986	Civ.ing. Erik Rasmussen Svetsmästare Arnold Djurås Svejsecentralen Glostrup	NEH/31/86

Diskuterat vid intervjuerna är bland annat:

Svetsaren

Prövning och certificering, ålder, synförändringar, vana vid gassvets-svetsning etc.

Licens, tekniskt ansvarig

Ärvda licenser. Konsult som tekniskt ansvarig. Nya licensen med prov hos SA och godkännande av Arbetarskyddsstyrelsen.

Reklamationsärenden och problem på fältet

Äldre reklamationer och problem med porer från 1974. Problem också i Tyskland och Holland främst dock i Sverige från 1978.

Krav på plåtanalys

Kisel eller aluminiumtätning eller bådadera.

Krav på trådanalys

Kisel och molybdenhalt men också andra element. Godkännande av Svetskomm, TÜV och SA. Diameter. Förkopprad eller blank eller svart.

Skador på rörsystem

Korrosion utifrån vanligast. Ovanligt att svets är skadepunkt. Bälgar och expansionsslingor. Krav på aluminium mot spänningskorrosion.

Svetsprocess

Motsvets - frånsvets, enlager resp. tvålagersvets. Gasmunstyckets storlek, tråddiameter. Gasåtgång. Syre eller acetylenöverskott. Spalt.

Krav på genomsvetsning och betyg

Engelska krav 2/3 genomsvetsning. Högsta krav TIG i rotsträng.

Provning

Tryckning dubbla designtrycket. Röntgen 10-100%.

Konstruktion

Konstruktör ofta helt omedveten om problem för entreprenörer. Rören tål förvånande stor förspänning och böjning. Bälgar ersätts med förspänning.

Elsvetsning

Belagda elektroder 4800 eller 4600. TIG Nya lätta strömkällor kan konkurrera ut acetylengassvets (tror någon).

Subjektiv svetsbarhet hos tråd

Olika bedämning labbsvetsare,fältsvetsare.

Temperatur och väder

Inverkan av snö, regn och låg temperatur. Fördel acetylen, kan torka fogen.

I fortsättningen skall den samlade informationen syntetiseras till slutsatser beträffande mekanismen vid bildandet av svetsporer, rekommendationer till procedurer för undvikande av porer, och slutligen förslag till fortsatt forskning.

DISKUSSION AV INTRESSANTA ASPEKTER

Varför är stålet aluminiumtätat

Det förfaller klart att de problem med långsträckta porer i svetsar som man haft på flera ställen,hänför sig till aluminiumtätade stål även om wormholes kan erhållas också i kiseltätade stål. Varför används då aluminiumbehandlade stål och varför enbart aluminiumbehandlade.
Skälen är flera. Det är känt att med korrekt smältprocedur blir ett aluminiumbehandlat stål renare. Ett aluminiumtätat stål är också några kronor billigare per ton stål. Vidare vill man gärna använda en och samma metodik vid stålframställningen vare sig det rör sig om pressplåt eller varmband för rör. Pressbar tunnplåt måste aluminiumbehandlas för att dess pressbarhet inte skall förändras genom åldring. På samma sätt vill man inte ha kisel i dessa stål för att de inte skall bli för hårda. Skall tunnplåten förzinkas vilket blir allt vanligare är det en nackdel om den innehåller kisel. Varmförzinkningen blir svårare att styra pga den sk Sandelineffekten.

I begynnelsen hade man problem vid stränggjutning av aluminiumbehandlade stål, som bl a yttrade sig i att gjutrören ville sätta igen sig, men idag är alla problem av den arten eliminerade och stränggjutning av aluminiumtätade stål är numera rutin.

För varmband som används till rör bortfaller många av de argument som gäller tunnplåt, men självfallet är det en fördel för ståltillverkaren om man kan hålla sig till en inarbetad smältprocess.

För rörstål tillkommer ytterligare ett argument för aluminiumbehandling. Sedan gammalt är det nämligen känt att ett stål som är nitridstabiliserat med aluminium är mindre känsligt för alkalisk (anodisk) spänningskorrosion. Spänningskorrosion i varmvattenrör för fjärrvärme är ovanligt i Sverige, med där slutna varmvattensystem med ty följande låga vattensyrehalter är regel. I andra länder är förhållandena annorlunda och man må betänka att rörmarknaden är om inte internationell så dock nordeuropeisk. Önskvärt för rörtillverkaren är givetvis att specifikationer är likartade oberoende av land.

Mycket talar alltså för att också varmvattenrör för fjärrvärmesystem skall tillverkas i aluminiumtätat stål. Då har emellertid inte hänsyn tagits till acetylensvetsbarheten. Väges denna helt speciella form av svetsbarhet in bör kanske stålet vara såväl kisel- som aluminiumtätat.

Slaggavskiljning vid svetsning

Det kan tydligt ses att då stålet är aluminiumtätat flyter det upp små fasta partiklar ur smältan. Dessa partiklar flyter på badytan och har en ljusare färg än smältan. Det anses att slagg genom successiv ansamling kan vålla avbrott i svetsningen. Vid gassvetsning av kiseltätat stål ser man på badytan en mycket tunn smält film av slagg utan den accentuerade ansamling av slagg som erhålles vid höga aluminiumhalter.

En svetsare kan plötsligt smälta upp en volym där det redan finna en större ansamling av fast slagg som kan bestå av aluminiumoxid eller av mangansilikater. Man får sålunda skilja mellan slaggpartiklar som bildas vid svetsningen och slagg som redan finnes i stålet.

Det är omvittnat att olika rör från en och samma stålcharge kan uppvisa stora avvikelser i svetsbarhet, vilket kan sammanhänga just med ojämn fördelning av slaggstråk i stålet.

Svetssmältans flytbarhet

Vid experimentella försök avseende autogen svetsning framgår det tydligt att det enbart aluminiumtätade stålets svetssmälta flyter lättare. Det förefaller faktiskt att flyta som vatten och smältan måste då i motsvarande grad bli svårare att balansera i svåra svetslägen.

Litteraturen angående viskositet och främst då avseende legerings- och föroreningselements inverkan har sammanfattats av Krieger[15]. Fem referenser anger att ökad syrehalt ökar viskositeten, medan två mer dubiösa referenser anger motsatsen. Kiselhalt och aluminiumhalt har i sig själva

rätt liten effekt, men anses båda minska viskositeten med ökande halt. För kol minskar viskositeten upp till peritektikum med ökande kolhalt, alltså inom det område som vi intresserar oss för. Att man för syre fått avvikande resultat i två referenser kan sammanhänga med svårigheten att experimentellt renodla inverkan av ett element. Molyoden ökar viskositeten något.

Baserat på ovanstående kan man förklara svetssmältans lättflutenhet då aluminiumtätat stål smältes. Syre bindes där vid aluminium i form av fast Al_2O_3 som avskiljes till badets yta. Smältan blir således helt fri från de komplex av syre och järn som gör smältan mer seg, varvid lättflutenheten ökar.

Det återstår ett antal frågetecken i samband med lättflutenhet och gasinnehåll. Har t ex kväve eller vätehalten en inverkan. Kommer smältans vätehalt eller syrehalt att bestämmas av gaslågan etc.

En intressant iakttagelse har gjorts av de ryska forskarna Kreschanovsky och Sidorenko[15]. De visade att en smälta tillkommen genom sammansmältning av olika legeringar är segare vid viss temperatur om man närmar sig denna nedifrån (som vid acetylengassvetsning) beroende på legeringskomplex i smältan.

Förslag till porbildningsmekanism

Porbildning är vanligt förekommande vid all slags svetsning liksom vid gjutning, och porer i mikroskala får man nog alltid räkna med.

Flera faktorer påverkar, bland annat stålets krympning vid stelnande och svalnande som gör att godset är utsatt för dragspänningar. Starkast torde smältans innehåll av gas inverka. Smältan löser väsentligt mer kväve och väte än de stelnade svetsgodset, vilket underlättar porbildningen. Väsentligt bidrag ger kolets oxidation i smältan. Denna reaktion ger i ett otätat stålgöt upphov till rimblåsor, vilket är porer som växer med samma hastighet som stålet stelnar. Den reaktion som förser blåsorna med gas kan skrivas

$$C_l + O_l \rightarrow CO_g$$

Vad som av allt att döma sker då det aluminiumtätade stålet svetsas är att

1. Stålet smälter
2. Syret i stålet avskiljes i form av fast Al_2O_3 varvid smältan blir lättflytande.
3. Svetsaren drar instinktivt undan lågan varvid smältan återoxideras.
4. Rimreaktionen C + O→CO kommer igång lokalt vid stelningsfronten eventuellt genom kärnbildning vid en oxidpartikel.
5. Gas matas successivt till blåsan med samma hastighet som svetsningen äger rum, varvid en långsmal por bildas.

Poren ligger inbäddad och följer svetsens längsaxel. Porer av liknande geometri har erhållits vid TIG-svetsning av rostfritt stål.

Det är omvittnat att en svetsare inte märker att smältan är porbenägen. Porerna går inte upp till ytan. Ej heller bubblar smältan. Detta pekar på att det måhända rör sig om en rimreaktion i initialskedet men att poren fortsätter att växa genom att smältans väte och måhända också något kväve kondenserar i blåsan genom diffusion i fast fas vilket kan illustreras med den saxade fig 4.

Mekanismen för bildning av wormholes kan i detalj skilja sig från den för dispergerade porer, men i huvudsak bör samma faktorer gynna bägge portyperna. Vissa geometriska betingelser kan vid lägessvetsning främja wormholes på de dispergerade porositeternas bekostnad.

Vad som kan tänkas vara nytt i ovanstående modell är förslaget att svetsaren genom att lyfta på brännaren ger upphov till en porositet. Svetsaren drar undan brännaren därför att smältan är extremt lättfluten. Lokal återoxidation av smältan erhålles med en följande rimreaktion, varvid poren kärnbildas. Vid de intervjuer som gjordes varnades just för att lyfta undan brännaren för snabbt. Lokal reoxidation följd av en rimreaktion anses också förklara bildningen av pinholes i stålgjutgods enligt en mekanism presenterad 1963 av Josefsson och Bergh[17].

Matematisk behandling av porbenägenhet

Försök att beräkna porbildningstendens, jämviktsradie på porer och annat har gjorts av ett flertal forskare för såväl gjutgods som svetsgods. Faktorer som antas påverka är

krympning
ytenergi
viskositet
gasinnehåll
stelnande typ
diffusion av gas i fast fas
diffusion av gas i smälta
kärnbildning

Vid beräkningar av porbildningsbenägenhet kan hänsyn tas till en eller flera av ovan nämnda faktorer. Pionjär då det gäller mer komplexa beräkningar är Piwonka[18]. Han beräknade jämviktsförhållandena vid en viss diameter på porositeten och tog hänsyn till de första fem faktorerna, samt ytterligare en nämligen det metallostatiska trycket. Alla faktorer förvandlades till dimensionen tryck och en balans av tryck som vill minska respektive öka porens storlek gav jämviktsdiametern.

Piwonka har efterföljare och det har faktiskt utbildats en speciell disciplin inom detta område. Då det kommer till stål och legerings- och föroreningselementets inverkan, gjorde Hannerz[19] en beräkning baserad på Piwonkas formler redan 1968. Beräkningar har gjorts där diffusion i fast fas av väte till porositeten styr dennas tillväxt[20] liksom beräkningar där diffusion i smälta av kväve styr tillväxten[21].

Viskositet och ytenergi kan antas variera med tätningsgrad liksom gasbildningsbenägenhet.

Vid svetsning i läge kan viskositet verka på två sätt. Smält metall vill lättare rinna in i en por om gravitationen hjälper till och tvärtom i vissa lägen. Trots denna extra komplikation bör det inte vara omöjligt för t ex en doktorand att komma vidare med den matematiska behandlingen, även om det primära vid studier av den nu aktuella typen av porositeter måste vara att kartlägga Wie es eigentlich ist. Till detta skall återkommas i ett senare avsnitt.

REKOMMENDATIONER FÖR ACETYLENGASSVETSNING AV STÅLRÖR FÖR VÄRMEVERK

Baserat på litteratur, interna rapporter och intervjuer och vad som i övrigt framkommit kan följande rekommenderas beträffande material och svetsprocess.

Basmaterial (rörstålet)

Basmaterialet bör vara kiseltätat, men också aluminiumbehandlat, med 0,020% Al min och 0,060% Al max. En analys enligt ovanstående bör ge en god svetsbarhet också vid acetylengassvetsning. Dessutom fås en viss säkerhet mot spänningskorrosion.

Märkning

Rören bör vara märkta

Al för aluminiumtätade rör

Si för kiseltätade rör

Al + Si för aluminium och kiseltätade

Annan kodning kan naturligtvis väljas. Det bör emellertid klart framgå hur rörstålet är desoxiderat.

Svetstrådens analys

Svetstråden bör ha så hög kiselhalt som möjligt inom ramen för gällande normer. DIN sätter 0,25% Si max och denna siffra ligger nära det ideala ur porsynpunkt. En tråd bör därför hålla 0,20 till 0,25% Si. Tråden bör ej innehålla aluminium. Tråden kan också innehålla molybden, som enligt vissa svetsare gör smältan mer lättarbetad. Upp till 0,5% Mo kan accepteras.

Svetstrådens diameter

Diametern på svetstråden bör vara 2,5 mm. Om en dokumenterat van svetsare kräver att få svetsa med trådar av en annan diameter bör detta accepteras.

Fogberedning

Många rörtillverkare levererar fasade rör. Om kravet på röntgenbetyg är tre, behöver fogytorna ej slipas. Vid högre betygskrav rekommenderas häftning och därefter slipning med 2 mm skiva. Spalten bör vara 2 till 3 mm. Häftorna 3 till 4 st fördelas symmetriskt runt röret.

Renlighet fogkant och tråd

Fogkanter bör icke vara överdragna av lera, färg eller olja. Samma gäller tråd. Svetsaren bör t ex se upp med ev olja på handskarna. Oljan kan överföras till tråden.

Svetsmunstyckets storlek

Svetsning motsvets kräver ett munstycke enligt 125 l/h mm plåttjocklek.

Detta motsvarar vid

6 mm plåttjocklek 750 l/h eller så kallat 4 munstycke

4,8 mm plåttjocklek 600 l/h eller så kallat 3,5 munstycke

4 mm plåttjocklek 500 l/h eller så kallat 3 munstycke

3,5 munstycket, som ligger utanför standardstorlekar, har speciellt tagits fram för denna typ av svetsning och kan rekommenderas genomgående, liksom 2,5 mm tråd. Om en dokumenterat van svetsare kräver att få använda ett annat munstycke bör också detta accepteras. Bör dock endast gälla svetsare med mångårig vana av rörsvetsning.

För frånsvetsning och tunnare gods än 3 mm hänvisas till handböcker i ämnet exempelvis AGAs nya pamflett.

Gasblandning

Lågan skall vara normal. Ett mycket litet acetylengasöverskott är en fördel. Oxygenöverskott får absolut inte förekomma.

Svetsprocedur

Svetsning skall utföras som motsvetsning så snart godstjockleken överstiger 3 mm. Kan röret rullas så är svetsning kl 10 till 2 ett bra svetsläge. Motsvets fallande är att föredraga framför motsvets stigande.

Svetsningen skall tillgå så att basmaterialet smältes upp. Tråden smältes genom doppning i det smälta basmaterialet framom svetslågan under en pendlande rörelse (se t ex broschyr från AGA 1984). Det är viktigt att basmaterialet i fogen smältes upp. Eljest kan bindfel (som kanske inte syns på röntgen) erhållas. Vid stora krav på god svets, betyg 4 och 5, bör svetsningen utföras som tvålagerssvetsning.

Kontroll

Röntgenkontroll skall sättas in på ett mycket tidigt stadium i entreprenaden, absolut inte först då hela systemet är färdigsvetsat.

Den svetsande personalen skall vara informerad rörande omfattningen av kontroll och konsekvenser av svetsfel i form av reklamationer etc.

Licenser

Tekniskt ansvarig skall ha godkännande enligt det nya systemet med examination av SA.

Svetsaren skall ha avlagt godkänt prov för gassvetsning och skall dessutom vara van vid gassvetsning av rör. Tekniskt ansvarig skall inte endast lita till godkänd svetsarprövning.

BEHOV AV YTTERLIGARE FORSKNING

De forskningsprojekt som på senare år genomförts i samarbete Svenskt Stål, AGA och DTH har tillfört ny kunskap. Bland annat baserat på just denna nyvunna kunskap kan vissa rekommendationer utfärdas avseende procedurer och materialspecifikationer. De nämnda forskningsprojekten har emellertid givit upphov till följdfrågor, som borde kunna besvaras först efter ett antal noggrant planerade försök och ytterligare litteraturstudier.

Frågor att besvara är t ex

1. Påverkas smältans flytbarhet av vätehalt.
2. I så fall: Kan vätehalten påverkas med hjälp av syreacetylenförhållandet?
3. Inverkar kvävehalten hos stålet påtagligt på porbenägenheten. Skall kvävehalten maximeras.
4. Vilken inverkan har stålets svavelhalt. Skall också denna specificeras på en låg nivå.
5. Vad är syrehalten hos en porbenägen svets och vad är kolhalten.
6. Kan långsmala wormhole porer framprovoceras genom extrema svetsförhållanden.
7. Kan gasinnehållet i en por analyseras? Diskussioner med fackmän, som tidigare analyserat svetsporer i Tyskland respektive England har gett negativa resultat. Specialutrustningen för ändamålet är nedmonterad.
8. Vilken inverkan har ojämnt fördelade slagger i stålet t ex så kallade aluminatstråk. Detta borde kunna bestämmas genom ultraljudstudie av ett stålband och klassificering av områden som rena respektive orena följt av svetsförsök.
9. Vilken inverkan har porer på hållfastheten hos varmvattenrör vid statisk respektive utmattningsbelastning. Kan porer accepteras mer än nu är fallet? Är röntgenkrav 4 befogat.

Kan man som i England acceptera 2/3 genomsvetsning? Frågan är något polemisk, men illustrerar behovet av beräkningar och kanske också försök.

Ovanstående är inte ett forskningsprogram i egentlig mening men exemplifierar att det nu bör vara möjligt att gå vidare i saken. Ett detaljerat projektförslag skulle kunna tas fram av en arbetsgrupp med representanter för stål och rörtillverkare, rörentreprenörer, svetsfirmor och institutionen för Svetsteknologi vid KTH.

Litteratur

1. Erika Eriksson: Gasschweissversuche an Radiatorblech, Donnarvets Jernverk Undersökningsrapp U88/67 (1967)

2. W Hofmann u R Müller: Werkstoffeinflüsse bei der autogenen Dunnblech-schweissung von Stahl. Schweissen u Schneiden (1956) 278-280

3. M Hesse: Verhalten von beruhigten und unberuhigten Feinblechen aus St 10.03 beim Gasschweissen. Zeitschr f Schweisstechn/Journ de Soudure (1969) No 9,251-260

4. AWM Bosman, M W Kolder, WM de Haas: TIG welding of radiators Res and Development Laboratories, Hoogovens,IJmuiden. 1978.

5. YCF Meitzner: Effect of sheet steel composition on porosity in gas tungsten arc welds. Welding Journal (1968) 529s-533s.

6. R Killing: Schwierigkeiten beim Verbinden von Silizium- mit aluminiumberuhigten Stählen? Der Praktiker (1978) No 5 s 97.

7. Jämförande gassvetsprov av stålrör. Schweiziska Föreningen för Svetsteknik. Provningsrapport Nr 17844.

8. Aluminiumtätade stålrör. Schw. Förening f. Svetsteckn. Provn. rapport Nr 17916.

9. H R Lanter: Rohre für Fernwärmenetze. (1980)

10. V Wegmann: Einfluss von Aluminium auf die Eignung von Stahl zum Autogenschweissen. Rapport Thyssen Forschung Juni 1981

11. N E Hannerz o F Olfert: Ståldesoxidationens indflydelse på svejsbarheden af varmtvandsrør til fjernvarmedistribution. Förste rapport NEH/15/84 (1984)

12. F Olfert o N E Hannerz: Ståldesoxidationens indflydelse etc. Anden rapport. (Manus 1986)

13. P Hårderup: Porbildning vid svetsning av aluminiumtätade grundmaterial med gassvetsning. AGA Rapport GIT-5149 (1985)

14. N Berg, F Brandin o T Andersson: Porer - Gassvetsade rör Fjärrvärmeverk Götaverken Labbrapport 71994- (1982)

15. W Krieger: Viskositätsverhalten und Struktur von Legierungsschmelzen auf Eisenbasis, Berg u Hüttenmännische Monatshefte 112 Jahrgang, Heft 11, 484-481.

16. NS Kreschankovsky och Sidorenko: Inverkan av temperaturförhållanden vid smältningen på viskositeten hos vissa höglegerade stål. IZV VUZ Cernaja Metallurgia 6 (1963):1 60-64

17. Å Josefsson och S Bergh: Desoxidation och blåsbildning i stora stålgjuten. Jernkont Ann 147 (1963) 377-407

18. T S Piwonka: Microporosity can be eliminated. Foundry Aug 1966.

19. N E Hannerz: Inverkan av tryck, avgasning, sammansättning mm på mikrosugningar i stål. Numeriska beräkningar enligt Piwonkas formler. Rapport Motala Verkstad QM 58/68 (1968).

20. H Fredriksson o B Gretoft: Pore formation when welding with low carbon steels. Svetsaren in English (ESAB) Nr 1(1976) 10-16

21. I Masumoto. Study on Blowhole formation in weld metal - Effect of welding speed on blowhole formation i Proceedings Int. Conf. Joining of metals JOM-1. Helsingör Aug 9-12 1981 p 287-242.

22. J Ruge. E Krause: Analysenverfahren zur Bestimmung von Gasen in kleinen Werkstoffhohlräumen (Schweissnahtpore). Schweissen u Schneiden 31 (1979) 438-442.

23. J Aversten: Kompendium i Gassvetsning, Stockholm 1946.

24. B Knutson-Ek: Gassvetsning Handbok

25. T. Pedersen: Gassvejsning. Handbok

26. Svetsa Skära Löda: En handbok från AGA 1984

27. U Bleek u M G Frohberg: Beitrag zur Porenbildung beim Schweissen von Eisenwerkstoffen,eine Schrifttums auswertung. Schweissen u Schneiden 26 (1974) 384-386.

28. L Schön: Korrosionsproblem i fjärrvärmerör. Svenskt Stål, Teknisk Rapp SF 237/79 (1979)

29. NE Hannerz: Problem vid acetylengassvetsning av aluminiumtätad tunnplåt Svenskt Stål M-TFS 163/79 (1979).

30. VVF rapport: Problem med Al-tätat material. Svetsning av fjärrvärmerör. Klipp och kommentarer ur Piteåtidn. 19 dec 1980.

31. VVS Forum nr 6/7/8. Diverse inlägg angående Al-tätade rör.

32. I Persson: Svetsning av Al-tätade stålrör. Tekniska mötet i Uppsala 6 maj 1981 VVF. Protokoll från arbetsgruppsmöte.

33. E Wahlman: Normer för fjärrvärmerör och naturgassystem. Svetsen 42 (1983) Nr 1 s 7 - 10.

34. T Nilsson: Material för fjärrvärmerör och gasrör: Svetsen 42 (1983) nr 4 s 5-12.

35. H A Sosnin: Efficiency and economy of the oxyacetylene process Welding Journal (1982) 46-48.

36. Metals Handbook 9th Ed. Vol 6 Welding, Brazing and Soldering 587-589. (Anger 0.02% Al max i tråd).

37. STÅLRÖR: Tekniska leveransbestämmelser avseende svetsade stålrör för fjärrvärmeledningar. Svenska Värmeverksför. mars 1985

Många av ovanstående referenser är internrapporter av konfidentiell art. Studerade dokument vilka kan klassificeras som extremt förtroliga har icke medtagits i referenslistan.



Fig 1 Svetsning i rörgrav den 19de nov 1985.



Fig 2 Svetsning stigande motsvets.

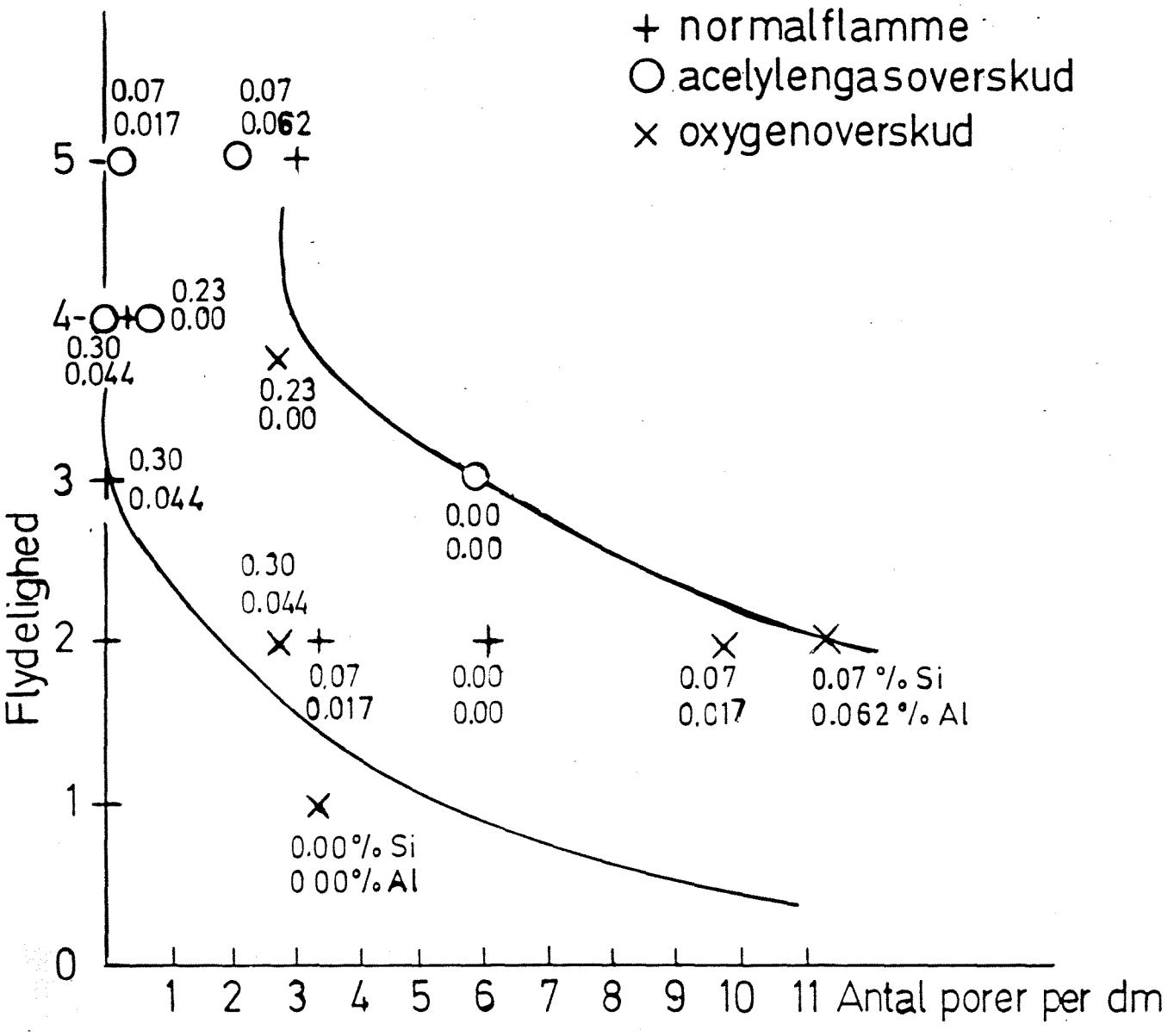
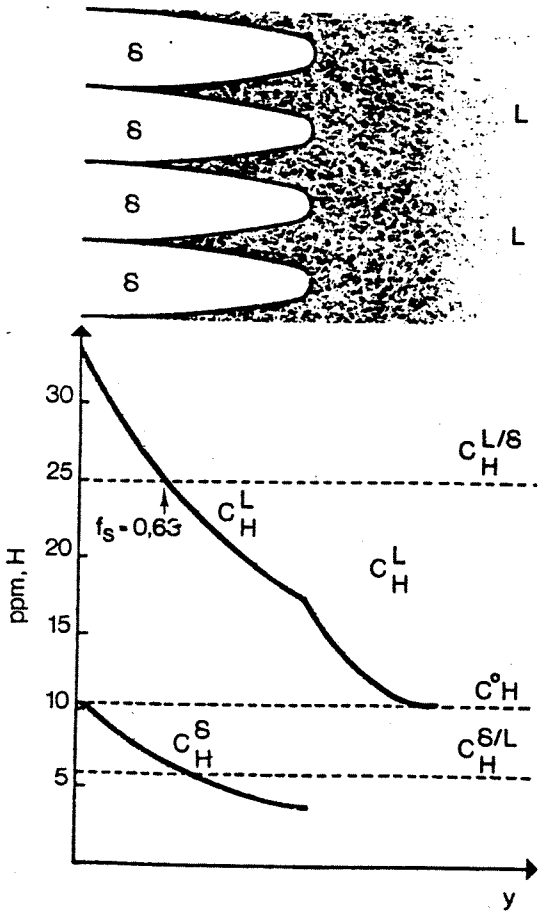


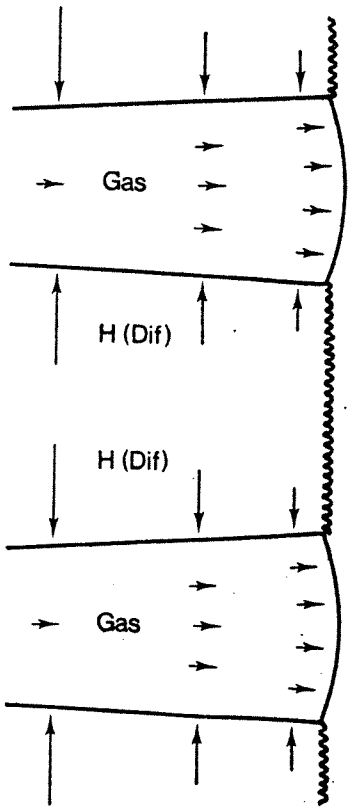
Fig 3 Antal af porer afhaengigt hvor let smelten flyder.[12]

Karakterisering af smeltebad

1) Letflydende, relativt uroligt smeltebad
2) Letflydende, relativt roligt smeltebad
3) Trægtflydende, uroligt smeltebad, med skarpt aftegnet krater foran kærneflam- med tydelige smeltebadsreaktioner
4) Meget trægtflydende uden egentlig krater foran kærneflamme, bobler i smelten
5) Megen slagge i smelte, smeltebadet flyder dårligt pga. slagge



Principle drawing of the concentration distribution of hydrogen near the solidification front.



Principle drawing of the growth of hydrogen pores.

Fig 4 Fredriksson och Gretofts modell med vätediffusion i fast fas.[20]

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

- Elforsk
- Värmeverksföreningen
- Övrig industri

Värmeforsk samarbetar med Närings- och teknikutvecklingsverket (NUTEK).

STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING

Box 1765 · 111 87 Stockholm
Tek: 08-7900600 · Fax 08-796 00 37