

**R-04-29**

# **Elektronstrålesvetsning av kopparlock rapport 2**

**Statusrapport till 2003-12-31**

Svensk Kärnbränslehantering AB

April 2004

**Svensk Kärnbränslehantering AB**

Swedish Nuclear Fuel  
and Waste Management Co

Box 5864

SE-102 40 Stockholm Sweden

Tel 08-459 84 00

+46 8 459 84 00

Fax 08-661 57 19

+46 8 661 57 19



ISSN 1402-3091

SKB Rapport R-04-29

# **Elektronstrålesvetsning av kopparlock rapport 2**

**Statusrapport till 2003-12-31**

Svensk Kärnbränslehantering AB

April 2004

## Sammanfattning

Denna rapport sammanfattar av resultaten från 8 locksvetsar och ett hundratal provsvetsningar i kopparblock utförda vid SKB Kapsellaboratorium i Oskarshamn under perioden 2002-01-01 till 2003-12-31.

Svetskvaliteten har förbättrats jämfört med beskrivningen i rapport R-03-25 [21]. Svetsens inre homogenitet är numera mycket god såväl i rotområdet som i övriga delar. Även svetsens yta har förbättrats väsentligt och är numera jämn och slät till formen. Den goda svetskvaliteten har åstadkommit genom användning av en ny typ av katod och en oscillerande elektronstråle.

Den nya typen av katod som har utvecklats vid TWI i Cambridge i samarbete med SKB genererar en strålprofil som är mer gynnsam för svetsprocessen däremot försvåras strålens transport genom elektronkanonen något. Nya processparametrar har provats fram vid kapsellaboratoriet ihop med den nya typen av katod vilket också bidragit till förbättringen av den svetskvaliteten.

Den nya utrustningen för att oscillera och mäta elektronstrålen är ett mycket viktigt framsteg i utvecklingen av svetsprocessen. Med denna kan betydelsen av elektronstrålens form för svetskvaliteten kartläggas. Dessutom kan svetssmältans stelning styras genom att oscillera elektronstrålen så att svetsgodset homogeniseras och svetsens yta blir slätare. Svetsmaskinen har fungerat relativt bra under perioden. Störningarna i form av komponentfel har reducerats jämfört med beskrivningen i den tidigare rapporten. Vid integreringen av systemet för oscillering uppstod problem med samverkan mellan datorerna vilket har stört svetsprocessen och försenat utvecklingsprogrammet.

Konceptet med horisontellt riktad elektronstråle och roterande kapsel i vertikalläge är ett gott val för förslutning av kapslar, svetsar av mycket hög kvalitet kan produceras. Merparten av arbetet med att utveckla process och system är klart. Det som återstår är att förbättra systemets tillgänglighet, finjustera svetsparametrarna, provsvetsa med insats samt produktionsanpassa systemet.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	7
<b>2</b>	<b>Processutveckling</b>	9
2.1	Historia	9
2.2	Mål	9
2.3	Läge	10
2.4	Fogutformning	10
2.5	Processkontroll	11
2.6	Provutförande	11
2.7	Svetsparametrar	12
2.8	Svetsförsök i kopparblock [9]	13
2.8.1	Svetsförsök med oscillerande elektronstråle med TWI utrustning	13
2.8.2	Svetsförsök med fast elektronstråle med SKB utrustning	14
2.8.3	Svetsförsök med oscillerande elektronstråle med SKB utrustning	15
2.9	Svetsförsök i kopparlock/cylinder	15
2.9.1	Locksvets nr L022 – L023/2 (Fast elektronstråle)	16
2.9.2	Locksvets nr L023/3 (Fast elektronstråle)	17
2.9.3	Locksvets nr L024 – L027 (Fast elektronstråle och ny typ av katod)	18
2.9.4	Locksvets nr L028 – L029 (Oscillerande elektronstråle och ny katod)	23
2.9.5	Mätning av svetskrampning locksvets L022-L029	28
<b>3</b>	<b>Svetssystem</b>	29
3.1	Svetsmaskin	29
3.1.1	Elektronkanon design	29
3.1.2	Beskrivning av elektronkanon:	30
3.1.3	Utrustning för oscillering och mätning av elektronstrålen	30
<b>4</b>	<b>Kalibrering</b>	33
<b>5</b>	<b>Erfarenheter och problem från svetsförsök</b>	35
5.1	Komponenter i elektronkanon	35
5.1.1	Strålgenomföring i trycksteg (nozzlar)	35
5.1.2	Svetssprut i nozzlar	35
5.1.3	Katoder och filament	35
5.1.4	Instabil strålström	37
5.1.5	Inställning av elektronstrålens höjdläge vid svetsning i kopparlock	37
5.1.6	Skyddsplåt för anoden	37
5.2	Högspänningskabel	37
5.3	Inverter	37
5.4	Svetskammare	38
5.4.1	Tryck (Vakuum)	38
5.4.2	Tätningar	38
5.4.3	Kablage	39
5.4.4	Miljöproblem	39
5.5	Övriga komponenter	39

<b>6</b>	<b>Slutsatser</b>	41
6.1	Fördelar	41
6.2	Nackdelar	41
6.3	Åtgärder för att produktionsanpassa process och maskin	41
<b>7</b>	<b>Referenslista</b>	43
<b>Bilaga 1</b>	Weld record list, Locksvetsar L022-029	35
<b>Bilaga 2</b>	Weld record list, Test block TB055-166	39
<b>Bilaga 3</b>	Tryckmätningar i elektronkanon och i svetskammaren L001-029	41
<b>Bilaga 4</b>	Parametersättning vid strålingång och strålutgång L001-029	43

# 1 Inledning

Denna rapport beskriver en sammanfattning av resultat från 8 locksvetsar och ett hundratal provsvetsningar i kopparblock, utförda vid SKB Kapsellaboratorium i Oskarshamn under perioden 2002-01-01 till 2003-12-31. Rapporten är en fortsättning på den tidigare rapporten Electron beam welding of copper lids R-03-25 October 2003 [21].

Detaljerade resultat beskrivs i separata rapporter från varje enskild locksvets.

Rapporten beskriver också erfarenheter, problem och åtgärder av svetsutrustningen under samma period.

En lista över svetsresultaten i kopparblock är också bifogad som bilaga.

## 2 Processutveckling

### 2.1 Historia

- 1982 SKB beställer en förstudie i svetsning av tjock koppar med EBW vid TWI.
- 1983 Försök med EBW i hög vakuum.  
*Problem med rotdefekter, överslag och katodens livslängd.*
- 1986 Ny typ av kanon utvecklad med indirekt upphettning av katoden.  
*Katodens livslängd ökad och strålstabiliteten förbättrad.*
- 1992 Försök med EBW i luftmiljö vid hög effekt.  
*Förbättrad svetsprofil men otillräckligt svetsdjup.*
- 1994 Prototyp Inverter 150 kW utvecklad.  
*Problemen med överslag minimerade.*
- 1995 Reducerat tryck med kanonen i horisontalläge och kapseln i vertikalläge.  
*Förbättrat svetsdjup och acceptabel svetsprofil.*
- 1997 100 kW, 220 kV EB-Maskin avsedd för reducerat tryck levererad till Kapsellaboratoriet.
- 1998 90 kW elektronstråle generad vid 200 kV and 450 mA i 7 minuter.
- 1999 Provsvetsning 10 Block och 4 Lock.  
*Problem med svetsprofil och svetskvalitet.*
- 2000 Provsvetsning 21 Block (nr 11-32) och 10 Lock (nr 5-14).  
EB kanon modifierad och svetsprocessen förbättrad.  
*Förbättrad svetsprofil och svetskvalitet.*
- 2001 Provsvetsning 21 Block (nr 33-54) och 7 Lock (nr 15-21).  
Mätning av strålform "Beam probing" med utrustning från TWI.  
*Problem med strålform och ojämn svetskvalitet.*
- 2002 Provsvetsning 73 Block (nr 55-128) och 3 Lock (nr 22-24).  
Ny typ av katod utvecklad.  
*Bra strålform och svetsprofil men grov svetsyta.*
- 2003 Provsvetsning 37 Block (nr129-166) och 5 Lock (nr 25-29).  
Ny utrustning för mätning och oscillering av strålen installerad.  
*Homogena svetsar med jämn svetsyta.*

### 2.2 Mål

Huvudmålet har varit att uppnå en reproducerbar svets av hög kvalitet med få diskontinuiteter och med jämn svetsyta.

Ett andra mål har varit att utveckla svetsmaskinen med avseende att optimera strålformen och förbättra tillförlitligheten.

Målet med varje enskilt locksvets finns beskrivet i en målrapport som upprättas före varje locksvets.

## 2.3 Läge

Svetskvaliteten har förbättrats jämfört med beskrivningen i rapport R-03-25 [21]. Svetsens inre homogenitet är numera mycket god såväl i rotområdet som i övriga delar. Även svetsens yta har förbättrats väsentligt och den är numera slätare och jämnare till formen. Den goda svetskvaliteten har åstadkommit genom användning av en ny typ av katod i kombination med en oscillerande elektronstråle.

Den nya typen av katod HCC2 genererar en gynnsammare strålprofil som medför att svetsens rot blir rundare med en bottenradie på ca 2-2.5 mm. Katoden har utvecklats vid TWI i Cambridge i samarbete med SKB. Nya processparametrar har provats fram vid kapsellaboratoriet ihop med den nya typen av katod vilket också bidragit till utvecklingen av den goda svetskvaliteten.

Den nya utrustningen för mätning och oscillering av elektronstrålen som installerades i september 2003 är ett mycket viktigt framsteg för att utveckla svetsprocessen. Med den kan betydelsen av elektronstrålens form för svetskvaliteten kartläggas. Stelning av svetsmältan kan också styras genom omröring med oscillerande elektronstråle så att svetsgodset homogeniseras. Även svetsens yta kan förbättras direkt under pågående svetsning genom att en del av elektronstrålen sveper över svetsen under stelningsförloppet så att ytan blir mycket slät med ett TIG-liknande utseende. Svetsen behöver inte smältas om med extra svetsvarv som tidigare utan endast ett svetsvarv är tillräckligt, vilket minskar energiförbrukningen och svetstiden till ett minimum.

Risken för överhettning och uttrinring av svetsmältan är också betydligt mindre. Detta problem är tillsynes borta och utformningen av droppkanten (fronting bar) kan förenklas.

Svetsmaskinen har fungerat relativt bra under perioden. Antalet störningar orsakade av komponentfel har varit färre jämfört med beskrivningen i den tidigare rapporten. En allvarlig skada har uppstått på ”Invertern” beroende på läckande kylvatten. Ett annat problem som orsakat bekymmer är ett nytt överslag i högspänningskabelns infästning mot elektronkanonen troligen orsakat av en luftbubbla i isolerfettet. Båda problemen är åtgärdade och systemen fungerar tillsynes utan problem.

Vid integreringen av det nya systemet för oscillering uppstod problem med samverkan mellan datorerna vilket har stört svetsprocessen och försenat utvecklingsprogrammet.

Kvar på utvecklingsprogrammet är att optimera svetsparametrarna och fastställa toleranser för parametersättning. Ett provprogram för det arbetet har utarbetats med en specialist på modellering av provningsprogram för statistisk försöksplanering.

Det återstår att svetsa två eller tre avkortade kapslar med segjärnsinsats plus C8 som är en kapsel i full längd med insats. Därefter skall en serie av ca tjugo kapslar svetsas i produktionsliknande förhållande för att visa på metodens repeterbarhet och tillförlitlighet.

De hittills utförda svetsproven har utförts på kapseldelar bestående av lock och cylinder. Cylinderns längd har valts så att de termiska förhållandena skall likna de på en fullstor kapsel.

## 2.4 Fogutformning

Fogutformningen är utvecklad av TWI se fig 1. Strålen som är riktad i horisontellt läge penetrerar först lockets yttre yta (7,5 mm) och smälter därefter fogen mellan lock och cylinder (50 mm). Strålen botten sedan i locket ca 10 mm förbi cylinderväggen. Den yttre delen på locket som kallas ”fronting bar” är avsedd att hindra svetsmältan från att rinna ut från fogen under svetsning. Efter svetsning maskinbearbetas lockets yttre yta i nivå med cylinderväggen.





Figur 1: Genomskäring av kapsel med pålagt lock före svetsning.

## 2.5 Processkontroll

Svetsprocessen styrs och övervakas av tre olika datorer.

- 1) En dator med CNC-system, Siemens 840C, reglerar maskinaxlar och svetsparametrar. Varje locksvets styrs av ett svetsprogram som är döpt efter locksvets numret. Vid häftsvetsning används ett standardprogram som kallas LID2TACK. Samtliga svetsprogram finns lagrade på Siemens datorns hårddisk.
- 2) En ny windowsbaserad dator har installerats i september 2003 för att kunna mäta elektronstrålens form och för att kunna oscillera elektronstrålen under svetsningen. Programvaran, ”TWI Electron Deflection Control System”, är utvecklad av TWI.
- 3) Datorn som används för att övervaka svetsprocessen och för att registrera svetsparametrarna har bytts ut i september 2003. Den nya datorn är windowsbaserad och har en uppdaterad programvara för att även kunna samla in data från svetsning med oscillering.  
Applikationsprogramvaran är gjord i Labview och används för insamling av data och kontroll av instrumenten under svetsprocessen. Labview-applikationen lagrar och visar svetsparametrarnas aktuella värden likväl som de historiska från Siemens systemet. Svetsdata loggas och sparas på hårddisken som ASCII textfil. Textfilen bearbetas därefter i ett Excel för visning av de lagrade parametrarna från svetsprocessen i diagramform.
- 4) Svetsprocessen övervakas också visuellt via tre färgkameror inne i svetskammaren. Samtliga locksvetsningar spelas även in på video via en av färgkamerorna.

## 2.6 Provutförande

Svetsprocessen har utvecklats vid SKB genom provsvetsningar i kopparlock i full storlek, ihopsatta med avkortade cylindrar (längd 1–2 m) Ø 1050 mm. Provsvetsningar har också utförts i kopparblock med en vikt av ca 40 kg. Pga den mindre massan blir temperaturen högre i kopparblocken jämfört med kopparlocken vilket påverkar svetsprofilen. Proven i kopparblocken kan därför endast användas som vägledning för att förstå parametrarnas påverkan på svetsens form och kvalitet.

Locksvetsarna har undersökts med radiografering (RT) och ultraljud (UT) både före och efter maskinbearbetning.

Blocksvetsarna har undersökts med RT direkt efter svetsning.

Makroprov har tagits ut från samtliga svetsar. Proven är maskinbearbetade, polerade och etsade så att svetsprofilen framträder. Svetsprofilen har därefter undersökts och mätts upp under mikroskop.

Kopparlockets diameter och höjd likväl som radiella och axiella kast har mätts upp före och efter svetsning för att kartlägga eventuella svetskrämpningar och formförändringar.

En operationslista har upprättats för varje enskild locksvets med angivelse om allt i provet ingående material, maskininställningar, kontroller och mätprotokoll. Efter att varje operation blivit utförd signeras listan av ansvarig operatör som också ser till att locksvetsen går vidare till nästa operation.

Dragprov har utförts på provstavar från två locksvetsar L026 och L028.

Prover har tagits från svetsgodsets tvärsnitt och som referens har även prover tagits ut från kopparröret och kopparlocket i närheten av svetsområdet.

Dragproven har utförts på CSM Materialteknik i Linköping som är ett av SWEDAC ackrediterat laboratorium.

Korrosionsprov har utförts på locksvets L013, L015 och L019. Proven som utförts på Korrosionsinstitutet i Stockholm visar ingen ökad tendens till korrosion i svetsgodset. Ansvarig för korrosionsprovningen är Lars Werme SKB.

## 2.7 Svetsparametrar

Svetsmaskinen har ca 30 olika parameter som kan varieras.

Huvudparametrar inom angivet provområde och deras inverkan på elektronstråle och svets har kartlagts enligt nedan:

Parameter	Prov område	Påverkan på elektronstråle/svetsprofil
Accelerationsspänning	190-200kV	Kinetisk energi/ Svetsprofil och svetsdjup.
Strålström	100-450mA	Elektronflöde/ Svetsprofil och svetsdjup.
Rotationshastighet	210-475mm/min	Sträckenergi, svetsprofil och svetskvalitet
Fokus lins Q1	1.150-1.260A	Strålens fokusläge mellan nozzle1 och nozzle2/ Svetsprofil.
Fokus lins Q2	1.375-1.550A	Stråldiameterns storlek mot anslagsytan/ Svetsprofil och svetsbredd.
Kammartryck	0.05-0.32mbar	Strålstabilitet/Svetskvalitet.
Arbetsavstånd	100-180mm	Strålenergi/Värmetillförsel och svetsprofil.
Kanonens lutningsvinkel	-0.9 → -3.6°	Strålrättning/Fogsmältning och riktning av svetsprofil.
Strålingång till full effekt	2-50°	Svetskvalitet i området vid strålingången
Strålutgång	10-130°	Svetskvalitet i området vid strålutgången
Helium flöde	1-3 l/min	Helium tillsätts för att reducera spridningen av elektroner i kanonen.

<b>Oscillering</b>		
Amplitud $Y_1$	Y (2.08-4.56)	Strålavlänkning i sidled/Svetsbredd (ytbehandl)
Amplitud Z	Z (0.44-0.486)	Strålavlänkning i höjded/Svetshöjd (ytbehandl)
Frekvens HZ	100-350	Svängningstal/Svetsytans form
Strålmönster	AD1/2 AS1/2	Strålfördelning/Svetsytans form

## 2.8 Svetsförsök i kopparblock [9]

Svetsning i kopparblock utförs normalt som förprov av parameterinställningar innan svetsning utförs i kopparlock och vid utveckling och prov av nya svetsparametrar. Ett annat skäl till att svetsa i kopparblock är att testa svetsmaskinens stabilitet efter service eller reparation. En ny teknik för att förstå sambandet mellan strålförhållanden/nyckelhål och svetskvalitet har tillämpats genom att först snabbstänga elektronstrålen och frysa nyckelhålet och därefter undersöka nyckelhålets form med hjälp av radiografering, se figur 4. Resultatet från varje svetsförsök i kopparblock redovisas i en utvärderingsrapport innehållande redovisning av resultat samt bilder från radiografering och svetsens yta.

### 2.8.1 Svetsförsök med oscillerande elektronstråle med TWI utrustning

#### Cathode: HCC2SKB2(1)

Provs svetsning har utförts i kopparblock TB nr 99-126 under oktober 2002 med oscillerande stråle. Proven utfördes med hjälp av en portabel utrustning från TWI som anslöts till SKB:s svetsmaskin. Efter att ha provat ett antal olika parametersättningar kunde mycket bra svetskvalitet åstadkommas. Svetsens homogenitet var mycket god och svetsytan var slät med konkav kontur. Svetsens kvalitet var rakt igenom mycket hög och bedömdes med råge uppfyllde alla krav som kan komma att ställas på en förslutningssvets. Se figur 2-4.



Figur 2: Bild av svets TB 122 svetsförsök med oscillerande stråle.



Figur 3: Makroprov av svets TB 122 svetsförsök med oscillerande stråle.



Figur 4: Radiografering av svets TB 122 med bild på fryst "nyckelhål".

## 2.8.2 Svetsförsök med fast elektronstråle med SKB utrustning

### Cathode: HCC2SKB2(1)

Provsvetsning har utförts i kopparblock TB 129-141 under 2003 med fast elektronstråle vid höga svets hastigheter 292/320/345/380/439mm/min (standard hastighet 250mm/min) och höga strålströmmar 400/425/450mA (normal 350mA).

Resultat: Svetsens homogenitet är hög med tendensen ju högre svets hastighet desto högre homogenitet. Ytan är grov men svets smältan har ej runnit över droppkanten.



Figur 5: Svetsyta TB 139.

### 2.8.3 Svetsförsök med oscillerande elektronstråle med SKB utrustning

#### Cathode: HCC2SKB3(1)

Provsvetsning har utförts i kopparblock TB 142-158 under oktober 2003 med oscillerande elektronstråle. Svets hastigheter 251/318mm/min, strålströmmar 350/400mA, fyra olika strålmönster (Remix2/Zigzag/AS-DL/AS-3HORZ), 3 olika amplituder Y/Z 1.39/0.44A–2.08/0.44A–4.56/0.486A och 3 olika frekvenser 100/200/300HZ.

Energifördelning i elektronstrålen 91% till huvudsvetsen och 9% till ytbehandling

Resultat: Svetsens homogenitet är mycket hög och svetsytan är mycket jämn i TB 155-158.



Figur 6: Svetsyta TB 157 med fryst "nyckelhål".

## 2.9 Svetsförsök i kopparlock/cylinder

De första svetsförsöken utfördes med den parametersättningen som gett bäst resultat i de grundläggande proven vid TWI [22] [23] [24].

Svetskvaliteten från försöken vid SKB blev bättre jämfört med svetsförsöken vid TWI. Största problemet var kaviteter i svetsens rotområde vilket orsakades av för liten rotradie i svetsprofilen. Detta problem kunde inte korrigeras genom enbart parameterinställning.

En ny katodtyp HCC1 utvecklades av TWI som gav en förbättrad strålförhållande och mindre problem med kaviteter i svetsroten. Den katoden användes vid svetsförsök no L005 till L023. Då problemet med liten rotradie hade minskat men ej helt försvunnit utvecklades ytterligare en typ av katod kallad HCC2. Den katodtypen har använts vid svetsförsök no L024 till L029. Problemet med kaviteter i svetsroten verkar nu vara löst.

Den nya katoden HCC2 tillsammans med en ny parametersättning förbättrade svetskvaliteten såväl i svetsroten som i svetsgodsets övriga delar. Även svetsytan förbättrades men var fortfarande ojämn. Nästa mål var att åstadkomma en slätare svetsyta och den väg som valdes var att oscillera elektronstrålen.

Resultat från locksvets nr 1 (L001) till 21 (L021) finns beskrivet i rapport EBW 1 [21]

## 2.9.1 Locksvets nr L022 – L023/2 (Fast elektronstråle)

### Katod HCC1/SKB3(2)

Locksvets nr L022/1, 2002-02-14 [1] [10]

Svetsförsök med målsättning att förbättra svetsytans kvalitet genom att minska svetsbredden vid ytan till  $\varnothing$  4.5mm (normalt  $\varnothing$  7.5mm) och därigenom minska risken för uppkomst av ytkaviteter. Principen för försöket var att fokusera elektronstrålen strax framför anslagsytan och försöka expandera elektronstrålen gradvis inne i kopparlocket till normal bredd.

Svets varv	Accelerations spänning	Strålström	Fokus Q1	Fokus Q2	Rotations hastighet	Arbets-avstånd
1	190kV	300mA 320mA	1.225A	1.475A 1.500A	200mm/min	92mm

Svetsytan blev som förväntat smal men ett 10-tal stora ytkaviteter har observerats. Svetsens inre kvalitet var mindre god med 7 st inre kaviteter och omfattande rotfel i rotationsläge 6  $\rightarrow$  41°.

Locksvets nr L022/2, 2002-02-19 [1] [10]

Svetsförsök för att genom omsmältning av svetsen förbättra svetsytans kvalitet. Effekten reducerades till ca 60 % och strålbredden ökades till ca  $\varnothing$ 6mm jämfört med svets L022/1.

Svets varv	Accelerations spänning	Strålström	Fokus Q1	Fokus Q2	Rotations hastighet	Arbets-avstånd
1	190kV	180mA	1.195A	1.500A	200mm/min	110mm

Omsmältningen jämnade ut ytan och samtliga större ytkaviteter försvann eller minskade i storlek till acceptabel nivå. Efter bearbetning var ytan fri från defekter.

Svetsens inre kvalitet var mindre god. En del av de inre kaviteterna från svets nr 22/1 var bortsmälta men omfattande rotfel i rotationsläge 11  $\rightarrow$  45° hade uppstått.



Figur 7: Makroprov locksvets nr 22 rotationsläge 11° Spetsig rot med defekter.

Locksvets nr L023/1, 2002-03-27 [2] [11]

Svetsförsök för att minska rotfelen samt att förbättra svetsytans jämhet. Omsmältningen utfördes direkt efter huvudsvetsen för att åstadkomma en bredare svetsrot. Nya svetsparametrar provades ut genom svetsningar i kopparblock.

Svets varv	Accelerations spänning	Strålström	Fokus Q1	Fokus Q2	Rotations hastighet	Arbets-avstånd
1	190kV	300mA	1.225A	1.525A	200mm/min	92mm
2	190kV	200mA	1.200A	1.525A	200mm/min	120mm

Under första svetsvarvet förlöpte svetsningen tillsynes utan problem men under andra svetsvarvet uppstod omfattande yteruptioner som orsakade många och stora ytkaviteter. Svetsens inre kvalitet var mindre god med två kaviteter och rotfel i rotationsläge 12 → 48°

#### Locksvets nr L023/2, 2002-04-05 [2] [11]

Svetsförsök för att genom omsmältning av svetsen förbättra svetsytans kvalitet. Effekten reducerades till ca 65 % och strålbredden varierades genom förändring av arbetsavståndet.

Svets varv	Accelerations spänning	Strålström	Fokus Q1	Fokus Q2	Rotations hastighet	Arbets-avstånd
1	190kV	200mA	1.225A	1.525A	200mm/min	120→95mm

Omsmältningen formade om ytdefekterna som ökade i bredd och minskade i djup. Ytan var fortfarande oacceptabelt ojämn.

Svetsens inre kvalitet var mindre god med tre nybildade kaviteter. Däremot detekterades inga nya rotfel.

Svetsmaskinen stannade vid rotationsläge 234.2° pga överslag i svetskanonen och hög nivå i ”Anode current beam pick up plate (P3)”.

### **2.9.2 Locksvets nr L023/3 (Fast elektronstråle)**

#### **Katod HCC1/SKB6(1)**

#### Locksvets nr 23/3, 2002-05-03 [2] [11]

Svetsförsök för att genom omsmältning vid full effekt förbättra svetsens kvalitet

Svets varv	Accelerations spänning	Strålström	Fokus Q1	Fokus Q2	Rotations hastighet	Arbets-avstånd
1	190kV	300mA	1.225A	1.525A	200mm/min	120→95mm

Under omsmältningen uppstod omfattande uttrinningar av svetsmältan, troligen beroende på överhettning av svetsytan. Svetsytan blev mycket ojämn med stora och djupa kaviteter. Efter bearbetning kvarstod huvuddelen av ytdefekterna.

Svetsens inre kvalitet var mycket dålig med ett 20-tal stora inre kaviteter.



Figur 8: Makroprov locksvets nr 23 rotationsläge 180° med ytnära kavitet.

Slutsats: Katodtypen HCC1 ger inte stabilt den svetsform som vi eftersträvar.

### 2.9.3 Locksvets nr L024 – L027 (Fast elektronstråle och ny typ av katod)

#### Katod HCC2/SKB2(1)

Locksvets nr L024/1, 2002-11-21 [3] [12]

Svetsförsök för att prova en ny typ av katod HCC2 som vid förprov genom svetsningar i kopparblock gett mycket bra resultat.

Svets varv	Accelerations spänning	Strålström	Fokus Q1	Fokus Q2	Rotations hastighet	Arbets-avstånd
1	190kV	300mA	1.180A	1.500A 1.475A 1.450A 1.425A	250mm/min	125mm

Under svetsningen observerades inga problem.

Svetsytan blev något ojämn men utan större defekter. Rotationsläge 270-360° har något bättre yta än övriga delen. Svetsens inre kvalitet var mindre bra med ett 50-tal inre kaviteter. Svetsroten vid ett svetsdjup av ca 65mm och rotradie ca 2.0mm var utan anmärkning.

Locksvets nr L024/2, 2002-12-04 [3] [12]

Svetsförsök för att genom omsmältning vid lägre effekt (65 %) jämfört med L024/1 reducera mängden inre kaviteter och förbättra ytans kvalitet.

Svets varv	Accelerations spänning	Strålström	Fokus Q1	Fokus Q2	Rotations hastighet	Arbets-avstånd
1	190kV	240mA	1.180A	1.500A 1.475A 1.450A 1.425A	250mm/min	125mm

Efter omsmältningen var ytan snarare försämrad än förbättrad.

Svetsens inre kvalitet hade förbättrats och endast ett 20-tal kaviteter var kvar.

Svetsroten vid ett svetsdjup av ca 40mm och rotradie ca 1.2mm var utan anmärkning.



Locksvets nr L024/3, 2002-12-17 [3] [12]

Svetsförsök för att genom omsmältning vid ännu lägre effekt (44 %) jämfört med L024/1 förbättra ytans kvalitet

Svets varv	Accelerations spänning	Strålström	Fokus Q1	Fokus Q2	Rotations hastighet	Arbets-avstånd
1	190kV	160mA	1.180A	1.500A 1.475A 1.450A 1.425A	250mm/min	125mm

Efter omsmältningen var ytans kvalitet oförändrad.

Svetsens inre kvalitet hade förbättrats något och ett 15-tal kaviteter var kvar.

Svetsroten vid ett svetsdjup av ca 30mm och rotradie ca 0.6mm var spetsig och ett större antal mindre spridda rotdefekter hade bildats



*Figur 9: Makroprov locksvets nr 24 rotationsläge 45°.*

Slutsats: Den nya katodtypen HCC2 ger en bra svetsprofil vid höga strålströmmar men vid låga strålströmmar förefaller svetsprofilen bli ogynnsammare med en spetsigare rotradie.

#### Locksvets nr L025, 2003-03-19 [4] [13]

Svetsförsök för att utföra en locksvets med olika typer av diskontinuiteter avsedd för OFP-försök. Vidare att prova vilken inverkan olika ytskador, ytföreningar, fogspalter, hastighetsändringar, höjdlägesförändringar och stödkanten kan ha på svetskvaliteten.

För att åstadkomma planerade diskontinuiteter har fogytan lokalt preparerats med hack, nedslipningar och oxidbildningar. Dessutom har ett antal för svetsprocessen ogynnsamma svetsparametrar programmerats lokalt så att defekter ska uppstå.

Svetsen har kontrollerats med oförstörande provning genom RT och UT samt genomgått okulärkontroll. Inga makroprov har tagits ut.

#### Slutsatser:

- 1) Mindre hack i fogytan ger ingen mätbar försämring av svetskvaliteten.
- 2) Lokala spalter < 0.5mm ger ingen mätbar försämring av svetskvaliteten.
- 3) Spalter >1mm ger en kraftig försämring av svetskvaliteten.
- 4) Oxider i fogytan ger ett småporigt svetsgods.
- 5) Kanonens höjdläge bör ligga inom  $\pm 1.0\text{mm}$  från fogcentrum.
- 6) Droppkanten (FB) på kopparlocket är nödvändig för att hindra svältsmältan från att rinna ut från svetsen och orsaka kaviteter.
- 7) Minskad rotationshastighet till 200mm/min (normalvärde 250mm/min) med katod HCC2 SKB2(1) och 365mA gav ökad mängd kaviteter och försämrad ytkvalitet.
- 8) Ökad rotationshastighet till 300 mm/min (normalvärde 250mm/min) med katod HCC2 SKB2(1) och 365mA gav förbättrad kvalitet både i svetsgods och yta.
- 9) Q2 parameter för fokusering av strålen bör ligga inom  $\pm 0.05\text{A}$  (normalvärde 1.500A) för att svetsdjupet skall ligga rätt.
- 10) En snabb fade out med ökande Q2 från 1.500→2.00A gav en stor ytkavitet.

#### Locksvets nr L026, 2003-04-24 [5] [14]

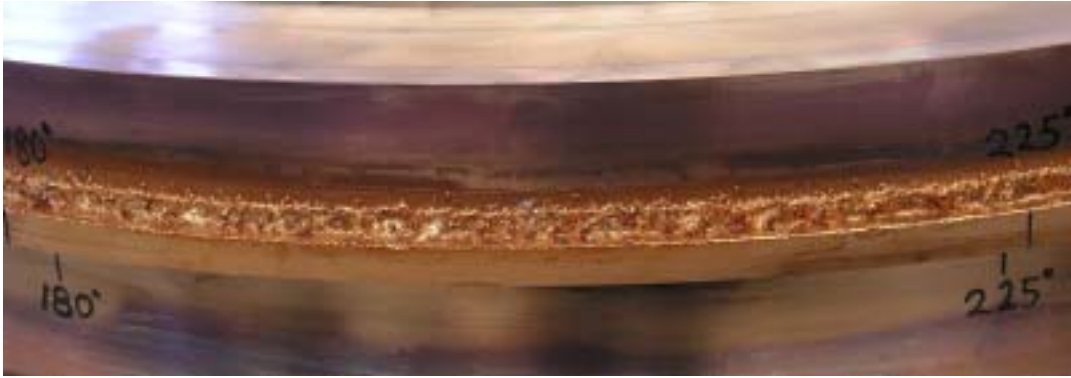
Svetsförsök för att undersöka vilken inverkan rotationshastigheten har på svetsens homogenitet med den nya katodtypen HCC2

Svets varv	Accelerations spänning	Strålström	Fokus Q1	Fokus Q2	Rotations hastighet	Arbets-avstånd
1	190kV	400mA	1.180A	1.500A	250mm/min 275mm/min 300mm/min 325mm/min	125mm

Svetsytan blev något ojämn men utan större defekter, efter bearbetning var ytan utan anmärkning.

Svetsens inre kvalitet påverkades positivt vid ökande rotationshastighet och var som bäst vid den högsta rotationshastigheten. Katodtypen HCC1 som tidigare provats på motsvarande sätt gav en helt motsatt bild med klart försämrade inre kvalitet vid höga strålströmmar och ökande rotationshastighet.

Enligt mätningar av strålformen med den nya katodtypen HCC2 ger katodtypen en klart gynnsammare strålform vid höga strålströmmar än vad tidigare provade katodtyper har gjort. Katodtypen HCC2 kan därför användas vid betydligt högre rotationshastigheter i kombination med den ökning av strålströmmen som krävs för att nå tillräckligt svetsdjup.



*Figur 10: Bild på locksvets nr 26 rotationshastighet 300mm/min.*



*Figur 11: Makroprov locksvets nr 26 rotationsläge 45° svetsdjup 69mm och rotradie 1.9mm.*

Makroprov längdsnitt:

Rotationsläge 270°-300°: Svetsdjupet varierar mellan 59 och 63mm från obearbetad yta.

Svetsgodset är mycket homogent med inslag av mikroporer i storlek  $\varnothing \leq 0.2\text{mm}$  som i huvudsak är orienterade i rotområdet.



*Figur 12 längdsnitt i svetsgods.*

### Slutsatser:

- 1) Rotationshastigheter över 300mm/min är bra för svetsens homogenitet.  
Homogenitet i svetsgodset och svetsdjup i förhållande till rotationshastighet enligt:  
400mA/250mm/min → Normal homogenitet med viss mängd kaviteter, svetsdjup ca 69mm.  
400mA/275mm/min → Normal homogenitet med viss mängd kaviteter, svetsdjup ca 66mm.  
400mA/300mm/min → Hög homogenitet med få kaviteter, svetsdjup ca 63mm.  
400mA/325mm/min → Mycket hög homogenitet med få kaviteter, svetsdjup ca 61mm.
- 2) Vid svetsning med rotationshastigheter över 300mm/min behövs sannolikt inte svetsgodset smältas om med ett andra svetsvarv för att åstadkomma en god homogenitet.
- 3) Rotationshastigheter över 300mm/min är bra för svetsens yta.
- 4) Svetsdjupet varierar ca 4mm vid full penetration och fasta parametrar.

### Locksvets nr L027, 2003-05-22 [6] [15]

Svetsförsök för att undersöka vilken inverkan höga rotationshastigheter har på svetsens homogenitet med den nya katodtypen HCC2

Svets varv	Accelerations spänning	Strålström	Fokus Q1	Fokus Q2	Rotations hastighet	Arbets-avstånd
1	190kV	425mA 450mA	1.180A	1.500A	350mm/min 375mm/min	125mm

Svetsytan blev något ojämn men utan större defekter, efter bearbetning var ytan utan anmärkning.

Svetsens inre kvalitet bedömdes som utmärkt med ett frågetecken för ett ytnära stråk med bindfelsliknande defekter som upptäcktes vid kontroll med UT. Felen som var mer eller mindre runtomgående var ca 5 mm djupa mätt från svetsens ytteryta.

Efter bearbetning av svetsytan (7,5 mm) var de bindfelsliknande defekterna borta.



Figur 13: Makroprov locksvets nr L027 rotationsläge 45° svetsdjup 66mm, rotradie 1.5mm.

### Slutsatser:

- 1) Rotationshastigheter 350-375mm/min ger ett svetsgodset med god homogenitet.  
Homogenitet i svetsgodset och svetsdjup i förhållande till rotationshastighet enligt:  
425mA/350mm/min → Mycket hög homogenitet med få kaviteter, svetsdjup ca 66mm.  
425mA/375mm/min → Mycket hög homogenitet med få kaviteter, svetsdjup ca 63mm.  
450mA/350mm/min → Mycket hög homogenitet med få kaviteter, svetsdjup ca 68mm.  
450mA/375mm/min → Mycket hög homogenitet med få kaviteter, svetsdjup ca 66mm.

- 2) Vid rotationshastigheter över 325mm/min finns risk för ytnära bindfelsliknande defekter.
- 3) Rotationshastigheter 350-375mm/min ger en relativt bra svetsyta.

### 2.9.3.1 Dragprov ur locksvets nr L026 [5] [18] [19] (fast elektronstråle och katod typ HCC2)

Prov nr/läge i locksvetsen	Svetshastighet mm/min	Brottgräns $R_m$ MPa	Förlängnings gräns $R_{p0,2}$ Mpa	Brottförlängning $A_5$ %
1/12.5° Slope-out zon	250/325	184	73	31
2/40°	250	177	54	29
3/130°	275	179	53	30
4/220°	300	178	54	29
5/310°	325	176	54	29
Referensprov i grundmaterial nära svetsområdet:				
R1/297° rör	-----	222	173	43
R2/310° rör	-----	223	172	44
L1/300° lock	-----	206	63	55
L2/308° lock	-----	207	66	55

Slutsatser:

- 1) Svetsgodsets hållfasthetsnivå enligt:  $R_m \approx 180\text{MPa}$ ,  $R_{p0,2} \approx 60\text{MPa}$ ,  $A_5 \approx 30\%$ .
- 2) Svetsgodsets hållfasthet är i huvudsak god speciellt i överlappsområdet, men den relativt grova strukturen medför en viss nedsättning av hållfastheten jämfört med grundmaterialet.
- 3) Hållfastheten i svetsgodset är likartad i svetshastigheter mellan 250-325mm/min

### 2.9.4 Locksvets nr L028 – L029 (Oscillerande elektronstråle och ny katod) Katod HCC2/SKB3(1)

Locksvets nr L028, 2003-10-29 [7] [16]

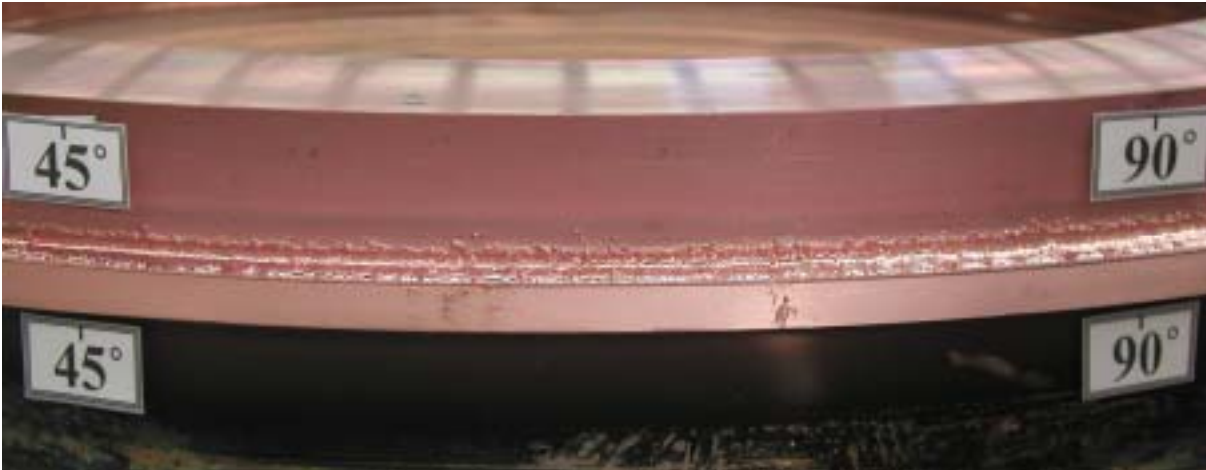
Svetsförsök för att undersöka vilken inverkan oscillerande elektronstråle har på svetskvaliteten.

Svets varv	Accelerations spänning	Strålström	Fokus Q1	Fokus Q2	Rotations hastighet	Arbets- avstånd
1	190kV	360mA 380mA 400mA 420mA	1.180A	1.330A	250mm/min 275mm/min 300mm/min 325mm/min	160mm
Rotationsläge 0→285°: Oscillation AS-3HORZ-DOT-BMT Y=4.56A/Z=0.486A 100HZ						
Rotationsläge 285→390°: Oscillation avstängd						

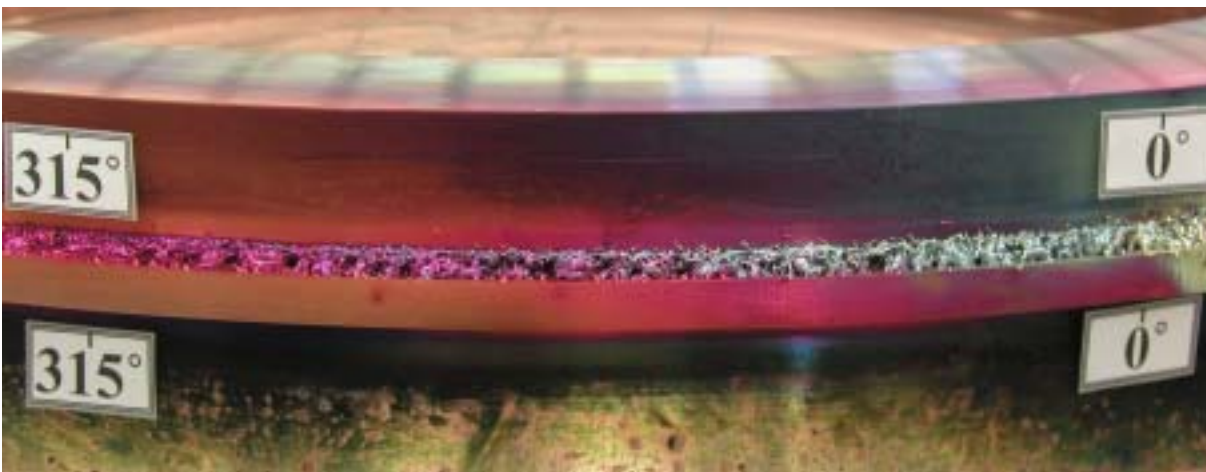
Svetsens yta är mycket god i det oscillerade området. En skönhetsfläck är mängden svetsprut som är större än vid svetsproven i kopparblock med motsvarande svetsparametrar.

Svetsens yta i det icke oscillerade området är grov som vanligt med förekomst av en mindre mängd ytnära bindfel (rotationshastighet 325mm/min).

Svetsens inre kvalitet är som helhet utmärkt, ett antal mindre rottdiskontinuiteter förekommer i området med rotationshastigheter 250 och 275mm/min.



*Figur 14: Bild på locksvets L028 parti svetsat med oscillering.*



*Figur 15: Bild på locksvets L028 parti svetsat utan oscillering.*

Svetsning med oscillerande elektronstråle:

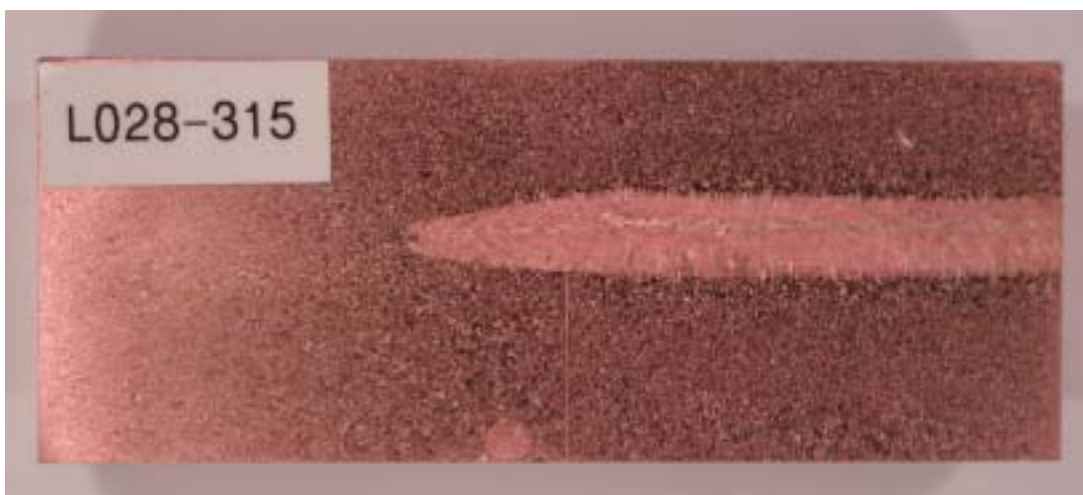
Energifördelning i elektronstrålen, 91% svetsning och 9% ytbehandling.



Figur 16: Makroprov locksvets L028 rotationsläge 225°, svetsdjup 67mm, rotradie 1.0mm.

Svetsning utan oscillering:

Energifördelning i elektronstrålning, 100% svetsning.



Figur 17: Makroprov locksvets L028 rotationsläge 315°, svetsdjup 72mm, rotradie 1.5mm.

Slutsatser:

- 1) Oscillerande elektronstråle kan användas för att åstadkomma en mycket jämn svetsyta och samtidigt minska risken för ytnära bindfel.
- 2) Svetshastigheten bör inte understiga 300mm/min för att uppnå en hög homogenitet i svetsgodset.
- 3) Svetsning med oscillering i kopparlock verkar medföra ökad risk för svetsnsprut jämfört med svetsning i kopparblock. (Orsaken som kommer att utredas senare kan vara betingat av förekomsten av ytoxider eller att parameterinställningen behöver justeras).
- 4) Svetsning med oscillering medför minskat svetsdjup i förhållande till energifördelningen mellan svetsning och ytbehandling.

### Locksvets nr 29, 2003-12-12/2003-12-16 [8] [17]

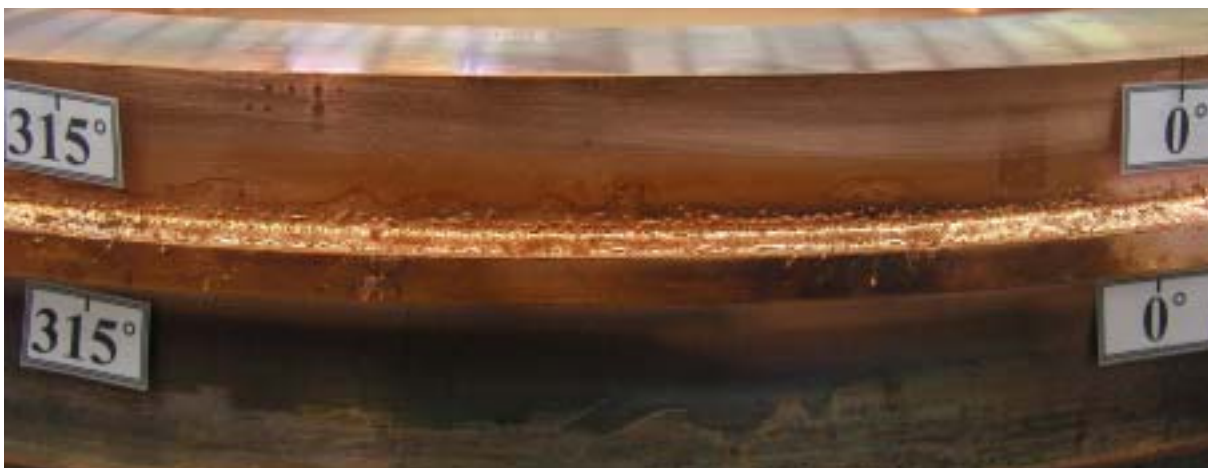
Svetsförsök för att svetsa en locksvets med oscillerande elektronstråle och med bästa parametersättning från locksvets L028.

Svets varv	Accelerations spänning	Strålström	Fokus Q1	Fokus Q2	Rotations hastighet	Arbets-avstånd
1	190kV	410mA	1.180A	1.330A	300mm/min	160mm

Strålmönster: AS-3HORZ-DOT-BMT strålfördelning 91% svetsning och 9% ytbehandling  
Amplituder: Y=3.0A/Z=0.60A Frekvens:100HZ

Notabelt är att häftsvetsen och färdigsvetsen utförts vid två olika tillfällen. Locksvetsen har därför utförts utan den normalt förvärmade effekten från häftsvetsen och dessutom har färdigsvetsningen utförts med en oxid på lockytan som bildats vid öppningen av svetskammaren direkt efter utförd häftsvetsning.

Svetsens yta är mycket god men med inslag av svets sprut. Svetsens inre kvalitet är mycket hög med homogent svetsgods med undantag av två lokala defekter. Vid rotationsläge 7° vilket är slutet på överlapps zonen har en inre kavitet bildats troligen beroende på för långsam svetsstart. Vid rotationsläge 108° har en stor öppen defekt bildats pga automatisk avstängning av elektronstrålen. Orsaken kunde härledas till för hög upptagning av elektroner i skyddsplåten ”Anode current pick-up”. Hålet i skyddsplåten har borrats upp från Ø6 till Ø8 mm för att minska risken för att problemet skall upprepas. Vid strålutgången har några små defekter bildats i svetsens rot troligen beroende på något smal elektronstråle. Vid svetsens yta har ett band av små porer bildats osynliga för ögat men synliga vid röntgen. Orsaken kan troligen härledas till oxider på lockets yta.



Figur 18: Bild på locksvets L029.

### Slutsatser:

- 1) Häftsvets och färdigsvets bör ske utan mellanliggande öppning av svetskammaren på grund av risk för oxidation och efterföljande bildning av porer i svetsens yta.
- 2) Svetsens start till full penetration bör ske på en sträcka av max 5° rotation på grund av risk för uppkomst av kaviteter i överlappsområdet.
- 3) Teknik för reparation av defekter i svetsen från strålavbrott bör utvecklas. Ibland läks defekten av en omsmältning och ibland inte.



**2.9.4.2 Dragprov ur locksvets nr 28 [7] [20]  
(oscillerande elektronstråle och katod typ HCC2)**

Prov nr/läge i locksvetsen	Svets hastighet mm/min	Brottgräns $R_m$ MPa	Förlängnings gräns $R_{p0,2}$ MPa	Brottförlängning $A_5$ %
S3/12.5° Strålutgång (slope out)	250/325	185	70	26
S1A/40°	250	189	65	29
S1B/40°	250	190	64	30
S2A/310°	325	191	67	29
S2B/310°	325	188	66	29
Referensprov i grundmaterial nära svetsområdet:				
R1/40° rör	-----	216	182	34
R2/310° rör	-----	219	178	29
L1/40° lock	-----	203	85	68
L2/310° lock	-----	205	82	52



*Figur 19: Dragprov locksvets L028 rotationsläge 310°.*

Slutsatser:

- 1) Svetsgodsets hållfasthetsnivå enligt:  $R_m \approx 190\text{MPa}$ ,  $R_{p0,2} \approx 66\text{MPa}$ ,  $A_5 \approx 30\%$ .
- 2) Hållfastheten i svetsgodset är likartad i svets hastigheter mellan 250-325mm/min.
- 3) Svetsgodsets hållfasthet i överlappsområdet är likartad med det övriga svetsgodset.
- 4) Provstavar brast i svetsgodset.

### 2.9.4.3 Makroprov ur locksvets nr 29 [8]

4 st makroprov är uttagna från locksvetsen för att undersöka stabiliteten i svetsprocess och svetsmaskin avseende svetsprofil och svetsdjup. Svetsparametrarna var lika vid samtliga provuttag varför proven är direkt jämförbara med varandra.

Provuttag	45° mm	135° mm	225° mm	315° mm	Medelvärde mm	Spridning mm	Spridning %
Svetsdjup från obearbetad yta	67	69	70	69	68.75	3	4.5
Svetsbredd bearbetad yta	7.6	8.0	7.8	7.9	7.83	0.4	5.2
Svetsbredd inre max	8.0	8.0	8.3	8.2	8.13	0.3	3.75
Rotradie	1.6	1.1	1.0	1.4	1.28	0.6	37.5



Figur 20: Makroprov L029-rotationsläge 45°.



Figur 21: Makroprov L029-rotationsläge 135°.



Figur 22: Makroprov L029-rotationsläge 225°.



Figur 23: Makroprov L029-rotationsläge 315°.

Resultat:

- 1) Spridning i svetsdjup och svetsbredd är ca 5 %, vilket måste bedömas som mycket stabilt.
- 2) Spridning i storlek av rotradien är ca 40 %, vilket är större än väntat men spridningen har inte orsakat någon kvalitetsförsämring eller några andra problem.

### 2.9.5 Mätning av svetskrampning locksvets L022-L029

Reducering av lockets ytterdiameter: 1.11 mm

Reducering av lockets innerdiameter: 0.35 mm

Reducering av lockets höjd i ytterkant: 0.44 mm

Inbuktning av lockets höjd i centrum: 1.80 mm

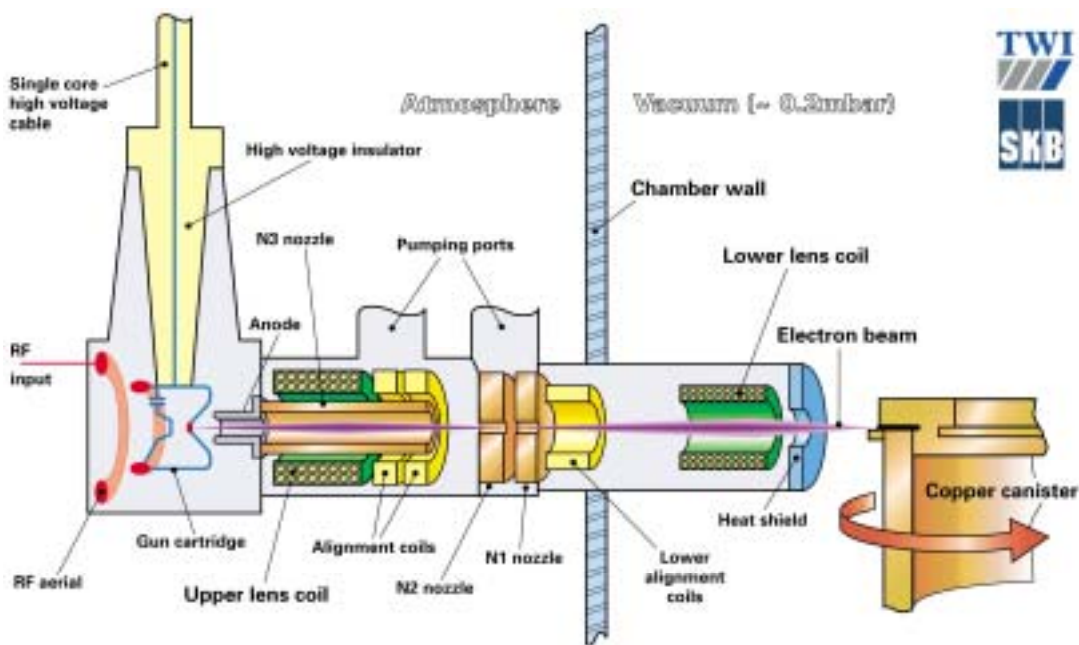
Slutsats: Spelet mellan insats/inre lock och kopplock före svetsning måste vara >3mm.

### 3 Svetsssystem

#### 3.1 Svetsmaskin

Utvecklad av	TWI
Levererad till SKB	1997
Driftsatt	1998
Effekt	100kW
Accelerationsspänning	200kV
Strålström	500mA
Katod upphettning	RF 84MHz, 250W
Katod material	Ceramic LaB <sub>6</sub>
Filament material	Tungsten alloy
Svetskammare	180m <sup>3</sup>
Kammartryck	0.10mbar
CNC System	Siemens 840C
Reglersystem	TWI
Övervakningssystem	NI Labview 4.0/TWI

##### 3.1.1 Elektronkanon design



**Schematic diagram of Reduced Pressure electron beam gun column for copper canister welding**

Copyright © TWI Ltd, Cambridge, UK

*Figur 24: Skiss av elektronkanon.*

### 3.1.2 Beskrivning av elektronkanon:

Elektronkanonen är utvecklad av TWI och konstruerad för användning vid reducerat tryck. Konstruktionen är unik med en indirekt upphettad diodkanon och ”switch mode” strömkälla. En RF-signal med en frekvens av 84MHz sänds via ett antenssystem i elektronkanonen till en keramisk kondensator med egenfrekvens av 84MHz som producerar en ström vilken leds genom ett metalliskt filament. RF signalens effekt höjs så att filamentet hettas upp och börjar avge elektroner. Genom att en växelspänning är pålagd mellan filament och katod skapas en primär elektronstråle i riktning mot katoden som hettas upp och börjar emittera elektroner. De emitterade elektronerna accelereras upp till ca 2/3 av ljushastigheten med hjälp av en hög accelerationsspänning och passerar därefter igenom en hålad anod och vidare igenom elektronkanonen. Den övre spolen (Q1) fokuserar elektronstrålen för genomgång i tryckstegen N1 och N2 och den nedre spolen (Q2) fokuserar elektronstrålen mot arbetsstycket. De övre spolarna (X1,Z1/ X2,Z2) och den nedre spolen (X3,Z3) centrerar elektronstrålen exakt i centrum i de små hålen genom N1 och N2.

Termoelement övervakar eventuella temperaturstegringar vid N1, N2, N3 och N0. Varje termoelement har två gränser, en för alarm och en för systemstopp

Pumpsystemet består av två rotorpumpar och tre turbopumpar. Vakuumnivån i övre delen av elektronkanonen ska vara  $< 1 \times 10^{-5}$  mbar.

För att undvika överhettning i systemet är följande komponenter i elektronkanonen vattenkylda: Värmeskölden vid yttre änden av elektronkanonen, Trycksteg N2, Flutec värmeväxlare, Turbopumpar T1, T2 och T3. En flödesmätare kontrollerar kylvattenflödet.

Ett litet flöde av helium tillförs i elektronkanonens nedre del för att minska risken för plasmabildning och upphettning av elektronkanonen.

Strålströmmen stabiliseras genom att en likströmstransformator (DCCT) reglerar elektronflödet. Strålströmmens verkliga värde jämförs med det inställda värdet och RF-signalens effekt regleras dynamiskt för att försöka uppnå det inställda värdet.

Kraftförsörjningen som består av en inverter och en transformator tank konverterar trefas elström av 400V och 50Hz till 200kV och 5000Hz.

### 3.1.3 Utrustning för oscillering och mätning av elektronstrålen

Utrustningen som är installerad och driftsatt i september 2003 består av en spole för oscillering, en mätsond, två datorer varav en används för styrning av processen och en för insamling av svetsdata, programvara för styrning och datainsamling, manöverkonsol, elektronikskåp och kablage mellan enheterna. Variabla parametrar är amplituder  $Y_{1(\text{svetsning})}$ ,  $Y_{2(\text{mätning})}$  och Z, frekvensen F samt programmerbart svetsmönster.

Spolen som är fast monterad på elektronkanonens ände skyddas mot svetsstrut via två skyddsplåtar som är monterade på spolens ytterände.

Spolens längd är 74mm. För att kompensera för den ökade längden har elektronkanonen flyttas bakåt ut från svetskammaren ca 34mm. Arbetsavståndet (WD) mellan elektronkanonens ytterände och arbetsstycket kan nu variera mellan 136 och 177mm (slaglängd 41mm) avståndet mellan spole och arbetsstycke varierar mellan 62 och 103mm.

Vid mätning av elektronstrålens form monteras en hållare inklusive en mätsond på tre stycken stänger på spolens förlängning in i svetskammaren, se figur 26 och 27.

Manöverkonsolen PAP002 har bytts ut och ersatts med en ny större konsol som anpassats för den nya utrustningen och ett nytt elektronikskåp QAP015 har installerats bakom svetskammaren. Mätning av elektronstrålens form kommer att utföras regelbundet för att bedöma filamentets eller katodens skick, ex enligt figur 28.



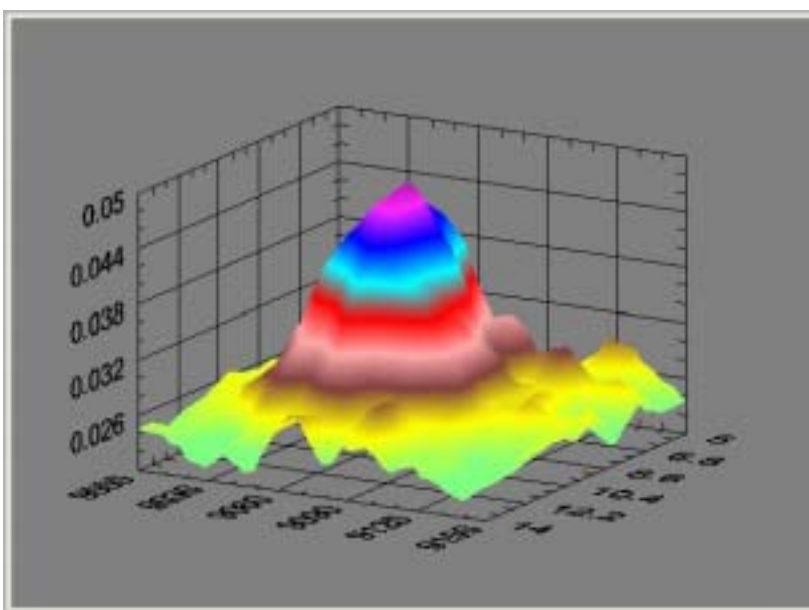
Figur 25: Manöverkonsol PAP002



Figur 26: Hållare och spole monterade på elektronkanonen.



Figur 27: Probe för mätning av elektronstråle "pin hole" Ø0.3mm.



Figur 28: Mätresultat av fokuserad elektronstråle.

## 4 Kalibrering

Svetsmaskinen kalibreras varje år av leverantören TWI.

Följande system eller komponenter kalibreras:

- 1) Högsänning
- 2) Strålström
- 3) Spolar för fokusering (Q1 och Q2)
- 4) Spolar för centrering (X1,Z1/ X2,Z2/ X3,Z3)
- 5) Termoelement
- 6) Säkerhetssystem (Anod och bakre plåt)
- 7) RF system
- 8) Vakuum mätare

Vid hittills utförda kalibreringar har svetsmaskinens system och komponenter uppfyllt kraven enligt aktuella specifikationer, endast obetydliga avvikelser har uppmätts.

## 5 Erfarenheter och problem från svetsförsök

### 5.1 Komponenter i elektronkanon

#### 5.1.1 Strålgenomföring i trycksteg (nozzlar)

Elektronstrålen passerar igenom hål i 4 trycksteg (nozzlar) på vägen ut genom strålkanonen enligt:

- 1) N3 nozzle med  $\varnothing 7\text{mm}$ .
- 2) N2 nozzle med  $\varnothing 3.5\text{mm}$ .
- 3) N1 nozzle med  $\varnothing 3\text{mm}$ .
- 4) N0 nozzle med  $\varnothing 8 - 40\text{mm}$ .

N3 nozzle är den första nozzlen som elektronstrålen passerar på vägen genom elektronkanonen. Problem med överhettning har uppstått ibland. Katodens axiella läge i katodhållaren, den mekaniska och elektriska upprikningen samt inställning av strålström E1 och spolström Q1 är faktorer som påverkar upphettningen.

Störst problem med överhettning av N3 uppstår vid låga strålströmmar  $< 50\text{mA}$  med en topp vid ca  $20\text{mA}$

N2 och N1 nozzlar är de med minst håldiametrar och därmed känsligast för överhettning.

Hålen ska vara så små som möjligt för att åstadkomma bra vakuum i elektronkanonen, men hålen får inte vara mindre än att elektronstrålen kan passera utan att skada nozzlarna.

Spolen Q1 reglerar elektronstrålens inre fokuspunkt som normalt placeras mellan N2 och N1.

Fokuspunkten ändrar läge i elektronkanonen när strålströmmen eller spänningen ändras vilket kan orsaka problem med överhettning. Q1 sätts normalt till  $1.180\text{A}$  vid svetsning med  $190\text{kV}$ . Ett kritiskt moment är svetsstarten, där temperaturen i N1 och N2 ökar relativt ofta direkt efter svetsstart med full effekt för att därefter snabbt gå tillbaka till normal temperatur.

Vid locksvets L027 i rotationsläge  $8,6^\circ$  stängdes elektronstrålen av pga hög temperatur i nozzle N2 ( $176^\circ\text{C}$ ) samtidigt som Nozzle N1 steg till  $76^\circ\text{C}$ .

För att minimera risken för upphettning är det viktigt att den mekaniska och elektriska upprikningen är god samt att Q1 är korrekt inställd.

N0 nozzle är placerad längst ut mot kanonens ytterände där har problemen med överhettning försvunnit sedan vattenkylningsystemet installerades.

#### 5.1.2 Svetssprut i nozzlar

Under svetsning uppstår det mer eller mindre svetssprut, en del svetssprut går förbi skyddsplåtarna och in i kanonen. Huvuddelen av svetssprutet förbränns av elektronstrålen men ibland fastnar det svetssprut i nozzlarna N1 och N2 vilket kan leda till upphettning och maskinstopp. För att undvika problemet rengörs nozzlarna regelbundet från fastsittande svetssprut genom manuell användning av ett set med långhålsborrar och brotschar.

#### 5.1.3 Katoder och filament

Svetsformen med standardkatoden var spetsig och orsakade roffel. En ny katodtyp, HCC1 utvecklades och var klar för svetsprov under 2000. Den typen av katod gav mestadels god svetsform med en bottenradie på ca  $1.8\text{mm}$ . Men stabiliteten saknades och ibland blev bottenradien  $< 1\text{mm}$  vilket resulterade i kvalitetsproblem.

Ytterligare en typ av katod kallad HCC2 utvecklades av TWI och installerades i oktober 2002 för provsvetsning vid SKB. Den typen av katod har mer stabilt gett en god svetsform med en bottenradie  $\geq 2\text{mm}$ .

Katoden HCC2SKB2(1) installerades 2002-10-21 och demonterades 2003-10-08 efter en drifttid av 577kWh. Katoden var i gott skick och mycket väl centrerad i hållaren, men trots det så var elektronstrålen lite ojämn vid analys med ”beam probing”. Filamentet som installerades 2002-04-12 och demonterades 2003-10-06 efter en drifttid av 706kWh var i väldigt gott skick, inget synligt slitage observerades. Filamentets yta var förändrad till strukturen den var blank och grovkristallin.

#### Förteckning över katoder EBW Maskin SKB P257

Type	No	Installation Datum	Demontering Datum	Drifttid Kwh	Katod Kontrollmått mm	Anm:
Standard	221022/001	1997-08-15	1999-02-10	656	2.50	
Standard	221022/003	1999-02-10	1999-09-03	300		
Standard	221022/002	1999-09-03	1999-09-07	36		
Special	???	1999-09-07	1999-09-09	< 10		
Standard	221022/002	1999-09-09	2000-05-11	398		
HCC1	SKB1(1)	2000-05-11	2000-05-11	< 10	0.70	
HCC1	SKB3(1)	2000-05-15	2001-03-20	590	0.75	Bra svetsprofil
HCC1	SKB3(2)	2001-03-20	2001-10-10	250	0.81	
HCC1	SKB5(1)	2001-10-10	2001-10-15	230	0.76	
HCC1	SKB4(1)	2001-10-16	2001-10-18	25	0.70	
HCC1	SKB1(RG)	2001-10-18	2002-04-11	303	0.69	Omslipad 0.05 mm
HCC1	SKB6(1)	2002-04-11	2002-10-21	136	0.68	
HCC2	SKB2(1)	2002-10-21	2003-10-08	577	1.02	Bra svetsprofil
HCC2	SKB3(1)	2003-10-08			1.04	

#### Förteckning över filament EBW Maskin SKB P257

Type	Installation Datum	Demontering Datum	Drifttid Kwh	Anm:
Standard	1997-08-15	1997-10-30	36	
Standard	1997-10-30	1999-02-10	620	
Standard	1999-02-10	1999-06-23	219	
Standard	1999-06-23	1999-09-03	81	
Standard	1999-09-03	1900-05-15	435	
Standard	2000-05-15	2001-03-14	590	Filament i dåligt skick
Standard	2001-03-14	2001-10-10	250	
Standard	2001-10-10	2002-04-12	558	
Standard	2002-04-12	2003-10-06	706	Filament i mycket gott skick
Standard	2003-10-06			



#### **5.1.4 Instabil strålström**

Ibland har strålströmmen varit instabil och pendlat med ca 30mA under svetsningen vilket orsakat ojämnheter i svetsens yta. Problemet har inte lokaliserats eller åtgärdats då felet endast uppträder ibland. Vid instabil strålström med oscillerande elektronstråle tycks svetsens yta inte påverkas negativt varför problemet inte är akut.

#### **5.1.5 Inställning av elektronstrålens höjdläge vid svetsning i kopparlock**

Eftersom fogen är dold innanför lockväggen är det inte möjligt att lokalisera fogen eller att använda automatisk fogföljning. Inställningen av strålläget sker därför helt manuellt genom att med hjälp av en fokuserad elektronstråle vid låg effekt lägesbestämma elektronkanonens höjdläge (Z) vid kopparlockets övre droppkant. Elektronkanonen flyttas därefter till ett beräknat lämpligt höjdläge för svetsning. Proceduren är tidsödande och kräver full koncentration av operatören. Risken att missa fogen är dessbättre inte så stor då den breda elektronstrålen tillåter relativt stor tolerans. Toleransen är uppskattningsvis  $\pm 1$  mm. Vid produktionssvetsning bör proceduren automatiseras.

#### **5.1.6 Skyddsplåt för anoden**

Kopparplåten SC9701M032 skyddar anoden genom att stänga av elektronstrålen vid elektronupptagning  $>120\mu\text{A}$ . Elektronstrålen från katod HCC2 ger en bredare strålprofil varför elektroner har slagit i hålkanten och orsakat strålavbrott. Hålet har borrats upp från  $\varnothing 6$  till  $\varnothing 8$  mm vilket innebär att risken för strålavbrott minskar. Enligt angivelse på ritning skall hålet vara  $\varnothing 8$  mm. Orsaken till att hålet var  $\varnothing 6$  mm är okänd.

### **5.2 Högspänningskabel**

2003-12-12 under häftsvetsning av locksvets L029 uppstod överslag vid kabeländens infästning mot elektronkanonen. Orsaken till problemet är troligen att luftfickor uppstått i silikonfettet vid den senaste omfettningen som utfördes strax innan överslaget.

Brännmärkena i kabeländan och i infästningen putsades bort och efter omfettning och återmontering av kabeln fungerade systemet igen. Det är andra gången som problemet uppstått, första gången det hände var 2001-03-16 då med allvarligare utgång eftersom hela kabeln fick bytas. Den gamla kabeln har reparerats av TWI och ligger på Kapsellaboratoriet som reserv.

### **5.3 Inverter**

2003-02-18 under konditionering med en accelerationsspänning av 200kV uppstod överslag i Inverterskåpet SAP 004. Vid besiktning upptäcktes att minst tre kondensatorer av totalt 20 hade exploderat. Orsaken till problemet analyserades till ett vattenläckage från en anslutning till en av kylslangarna. 2003-03-14 byttes hela kondensatorpaketet ut och samtliga slangar och slanganslutningar byttes också ut mot andra typer av bättre kvalitet. En gummiduk placerades över kondensatorpaketet som skydd mot eventuella framtida vattenläckage.

Arbetet utfördes av TWI med 12 månaders garanti och bedömningen är att problemet inte kommer att upprepas igen.



Figur 29 Skadad Inverter.



Figur 30 Reparerad Inverter.

## 5.4 Svetskammare

Svetskammaren har i huvudsak fungerat bra men några problem har uppstått med läckande tätningar och ohälsosam miljö direkt efter svetsning.

### 5.4.1 Tryck (Vakuum)

Det rekommenderade trycket i kammaren var tidigare  $\leq 0.5$  mbar, den nivån är alldeles för hög enligt våra svetsförsök. För att uppnå en stabil svetsprocess ska trycket vara  $< 0.2$  mbar. Vid tryck  $> 0.25$  mbar och full svetseffekt uppstår omfattande plasmabildning i området kring svetsmältan. Plasman stör elektronstrålen så att den blir instabil och fladdrande och svetskvaliteten blir låg med inre och yttre kaviteter som följd.

Efter diskussion med TWI bestämdes att trycket skulle behöva sänkas till 0.05 mbar

En ny vakuumpump (Edwards EH4200 Booster) installerades för att förbättra vakuumnivån. Då förbättringen inte blev den väntade läcksöktes svetskammaren med helium för att undersöka dess täthet. Läckage uppmättes på tre ställen dels i flänsförbandet på svetskammarens tak och dels i flänsförbanden runt svetsmaskinen och lucka nr 257 TA N10. Efter åtdragning av bultarna i de tre flänsförbanden med momentnyckel utfördes förnyad läcksökning av svetskammaren med helium. Flänsförbandet i luckan var tätt men de två andra flänsförbanden läckte ungefär som tidigare.

Nästa åtgärd blev att tätta flänsen runt svetsmaskinen, vilket var det flänsförband som läckte mest. Flänsförbandet tätades med ”smack” en typ av tätmassa som används för tätning av flygplanssystem. Vakuumnivån i svetskammaren förbättrades till ca 0.10 mbar.

En möjlighet som diskuterades för att ytterligare förbättra vakuumnivån var att tätsvetsa taket i svetskammaren men om taket av någon anledning behöver lyftas i framtiden bedömdes det besvärligt att slipa bort svetsen igen. Som en sista åtgärd flyttades filterskåpet från svetskammaren ned till plan 5.18. Efter den åtgärden nåddes målet och vakuumnivån i svetskammaren mättes till ca 0.05 mbar.

### 5.4.2 Tätningar

De uppblåsbara tätningarna runt svetskammardörren, dockningsmodulen, svetsluckan och ”Jacking Frame” har orsakat mycket bekymmer. Tätningarna läcker och operatören måste regelbundet fylla på med luft för att tätningarna skall uppnå rätt tryck.

Fyra av tio tätningar hade gått sönder efter två års drift. Nya tätningar monterades in i november 2001. En av de nya tätningarna i svetskammardörren (yttre) och en i svetsluckan (yttre) har gått sönder igen. Dessbättre är tätningarna dubblerade för att undvika vakuumfall under pågående svetsning.

Ett set nya tätningar har beställts och levererats från en annan leverantör, om kvaliteten är bättre eller inte vet vi inte förrän vi provat de nya tätningarna.

### 5.4.3 Kablage

Skåp 257 TA1 Z1 och anslutande kablar har tagit stryk av miljön i svetskammaren. Kablarna har täckts med aluminiumplåt som skydda mot strålningen från elektronstrålen.

### 5.4.4 Miljöproblem

Efter införande av luftcirkulationsanläggning "Maxi Floor Freshman" och övriga åtgärder enligt R-03-25 [21] har inga problem rapporterats.

## 5.5 Övriga komponenter

Några komponenter som har orsakat problem listas nedan. Störst problem har orsakats av dåliga lödningar kopplingsblock Weidmüller MC001A. Samtliga block är nu utbytta till annan sort.

Lista över utbytta eller reparerade komponenter	Placering
Sliding seal bevel gearbox, oljeläckage Åtgärd: rengjord och oljepåfylld	Sliding seal
Siemens hårddisk krånglat Åtgärd: bytt	Gun Control Cabinet
Microswitch trasig Åtgärd: bytt	Ventil column slide valve
Handhjul krånglar ibland Åtgärd: bytt	Control Console
Terminal Block Weidmüller MC001A krånglar ibland Åtgärd: samtliga block bytta	Gun Control Cabinet Pumping Control Cabinet Beam Control Cabinet Control Console
Spänningsaggregat ASP1 trasigt Åtgärd: bytt	Pumping Control Cabinet
Givare trasig Åtgärd: bytt	Spatter guard i svetskammare
Lockhanterare LHE problem med återkommande driftavbrott pga överbelastning av float/vridenhet. Åtgärd: Float/vridenhet justerad	I svetskammare
Kablar till spolen för oscillering skadade, isolering avbränd pga hög temperatur. Åtgärd: Byte till värmetåliga kablar och komplettering med skyddskåpa och skyddsror	I svetskammare

## 6 Slutsatser

### 6.1 Fördelar

- Svetsning av kopparlock med elektronstråle är en möjlig metod.
- Konceptet horisontell oscillerande elektronstråle och roterande kapsel i vertikalläge kan producera svetsar av mycket hög kvalitet.
- Svetsmaskinen är en prototypmaskin med stor kapacitet och många möjligheter men med hög komplexitet.
- Katod och filament räcker till minst 50 och kanske upp mot 100 locksvetsar.
- Processen har god repeterbarhet.
- Svetsning i vakuum ger svetsar av hög kvalitet med låg risk för upptagning av gaser som syre, väte och kväve.
- Processen fungerar utan mekanisk kontakt med kapseln.
- Svetsen kan omsmältas om driftavbrott uppstår av någon anledning.
- Kopparlocks höjd kan minimeras då svetsen är smal och både svetsstart och svetsavslut kan ske i samma höjdläge.
- Svetsprocessen kan automatiseras så att manövreringen förenklas.

### 6.2 Nackdelar

- Lång tid att pumpa svetskammaren till rätt vakuum (ca 1,5 timmar).
- Svetskammaren behöver rengöras regelbundet från koppardamm.
- Strålgenomgången i de små hålen i tryckstegen (nozzlarna) kan orsaka övertemperatur i elektronkanonen och efterföljande strålavbrott och maskinstopp.
- Strålavbrott under pågående svetsning leder ofta till en lokal defekt i svetsen.
- Tillgängligheten hos systemet är inte tillfredsställande

### 6.3 Åtgärder för att produktionsanpassa process och maskin

- 1) Tillverkningen av katoderna behöver utvecklas mot högre precision, för att säkerställa elektronstrålens form och repeterbarhet.
- 2) Katodhållaren behöver utvecklas för att förenkla bytet av katod och filament.
- 3) Injustering av RF-signalen behöver förenklas.
- 4) Ett antal konstruktionslösningar behöver förbättras för att eliminera driftavbrott bla strålgenomgången i tryckstegen (nozzlarna) och kommunikationen mellan datorerna.
- 5) Manövrering av svetsmaskinen bör förenklas genom automatisering av processen bla. den elektriska uppriktningen av elektronstrålen, inställningen av Q1 och inställningen av elektronkanonens läge i förhållande till fogen.
- 6) Tätningssystemet i svetskammaren behöver utvecklas.
- 7) Kortare tider för pumpning av svetskammaren bör utvecklas.

## 7 Referenslista

- 1) Utvärdering och analys av Locksvets nr: 022, Pr1E.020808, Sören Claesson, SKB
- 2) Utvärdering och analys av Locksvets nr: 023, Pr1E.020904, Sören Claesson, SKB
- 3) Utvärdering och analys av Locksvets nr: 024, Reg. Nr 1014155, Sören Claesson, SKB
- 4) Utvärdering och analys av Locksvets nr: 025, Reg. Nr 1015081, Sören Claesson, SKB
- 5) Utvärdering och analys av Locksvets nr: 026, Reg. Nr 1020175, Sören Claesson, SKB
- 6) Utvärdering och analys av Locksvets nr: 027, Reg. Nr 1020176, Sören Claesson, SKB
- 7) Utvärdering och analys av Locksvets nr: 028, Reg. Nr 1020887, Sören Claesson, SKB
- 8) Utvärdering och analys av Locksvets nr: 029, Reg. Nr 1021682, Sören Claesson, SKB
- 9) Loggbok 2 EBW-P257, Sören Claesson, SKB
- 10) Oförstörande provning av svets L022, Pr2E.020219/020403, Ulf Ronneteg, SKB.
- 11) Oförstörande provning av svets L023, Pr2E.020506/020702, Ulf Ronneteg, SKB.
- 12) Oförstörande provning av svets L024, Pr2E.021218/030303, Ulf Ronneteg, SKB.
- 13) Oförstörande provning av svets L025, Reg. Nr 1014134, Ulf Ronneteg, SKB.
- 14) Oförstörande provning av svets L026, Reg. Nr 1014139/1015304, Ulf Ronneteg, SKB.
- 15) Oförstörande provning av svets L027, Reg. Nr 1014751/1016202, Ulf Ronneteg, SKB.
- 16) Oförstörande provning av svets L028, Reg. Nr 1018301, Ulf Ronneteg, SKB.
- 17) Oförstörande provning av svets L029, Reg. Nr 1020309/1021075, Ulf Ronneteg, SKB.
- 18) Dragprov av EB-svets L026 Nr PRO03-1744 Bo Ahlgren, CSM Materialteknik
- 19) Dragprov av EB-svets L026 Nr PRO03-1188 Stefan Nilsson, CSM Materialteknik
- 20) Dragprov av EB-svets L028 Nr PRO04-0083 Gunnar Burman, CSM Materialteknik
- 21) Electron beam welding of copper lids R-03-25 Sören Claesson, SKB
- 22) TWI Report 220278/1/95 KR. Nightingale, TWI
- 23) TWI Report 220745/1/96 KR. Nightingale och A Sanderson, TWI
- 24) TWI Report 220699/1/97 KR. Nightingale och A Sanderson, TWI

### **Weld record list, Locksvetsar no L022-029**

Alla huvudparametrar och resultat från undersökning med oförstörande provning (OFP) och undersökning av makroprov åskådliggörs i listform på följande sidor.

# Weld record list: Lid weld 022

1(5)

Cathode: HCC1 SKB1(RG)

Macro sections: L022: 11°/18°/50°/140°/230°/320°

Weld No Date	Acc Voltage kV	Beam Current mA	Travel Speed mm/min	Work dist mm	Focus Q1/Q2 A	Beam Power kW	Heat input KJ/mm	Chamber Pressure Mbar G6	Weld Depth mm	Weld Width mm Top/max	Tip Radius mm	Macro section position	Comments
L022-1 02-02-14	190	300	200	92	1,225/ 1,475	57	17,1	0,14	67	7,4/6,7	0,5	11°	1 run-Main weld Subsurface defects 13 surface cavities
	190	300	200	92	1,225/ 1,475	57	17,1	0,14	68	7,5/6,6	0,5	18°	
	190	300	200	92	1,225/ 1,475	57	17,1	0,14	65	8,2/7,7	0,6	50°	
	190	300	200	92	1,225/ 1,500	57	17,1	0,14	63	7,6/7,9	1,2	140°	
	190	320	200	92	1,225/ 1,500	60,8	18,2	0,14	69	7,8/7,8	1,3	230°	
	190	320	200	92	1,225/ 1,475	60,8	18,2	0,14	70	8,7/8,7	1,1	320°	
L022-2 02-02-19	190	180	200	110	1,195/ 1,500	34,2	10,3	0,13	40	5/6,5	0,5	11°	2 run-Remelt run Subsurface defects 3 surface cavities
	190	180	200	110	1,195/ 1,500	34,2	10,3	0,13	40	5/4,5	0,5	18°	
	190	180	200	110	1,195/ 1,500	34,2	10,3	0,13	40	5/4,5	0,5	50°	
	190	180	200	110	1,195/ 1,500	34,2	10,3	0,13	39	5,5/4,5	0,5	140°	
	190	180	200	110	1,195/ 1,500	34,2	10,3	0,13	40	5/4	0,5	230°	
	190	180	200	110	1,195/ 1,500	34,2	10,3	0,13	41	5/4	0,5	320°	

## Weld record list: Lid weld 023

2(5)

L023-1/2 Cathode: HCC1 SKB1(RG)

L023-3 Cathode: HCC1 SKB6(1)

Macro sections: L023: 180°/310°

Weld No Date	Acc Voltage kV	Beam Current mA	Travel Speed mm/min	Work dist mm	Focus Q1/Q2 A	Beam Power kW	Heat input KJ/mm	Chamber Pressure Mbar G6	Weld Depth mm	Weld Width mm Top/max	Tip Radius mm	Macro section position	Comments Surface and internal appearance
L023-1 02-03-27	190	300	200	92	1,225/ 1,525	57	17.1	0,16	68	/ 7,1	0,65	180°	1 run-Main weld No eruptions
Run 1	190	300	200	120	1,200 1,525	57	17.1	0,16	67	/ 8,1	0,8	310°	
L023-1 02-03-27	190	200	200	120	1,200 1,525	38	11.4	0,16	36	/ 8,1	0,8	310°	2 run-Remelt weld 2 Subsurface defects Root defects at 12 → 48° 18 surface cavities
L023-2 02-04-05	190	200	200	120 → 92	1,200/ 1,525	38	11.4	0,17				310°	Rotation stop at 234,2° 3 run-Remelt weld 3 Subsurface defects (Root defects at 12 → 48° from run 1) Surface cavities reshaped
L023-3 02-05-03	190	300	200	120 → 92	1,200/ 1,525	57	17.1	0,10	52	9 / 10	1,4	310°	Rotation stop at 234,2° 4 run-Remelt weld About 25 Subsurface defects (Root defects at 12 → 48° from run 1) About 100 surface cavities was formed



# Weld record list: Lid weld 024

3(5)

Cathode: HCC2 SKB2(1)

Macro sections: L024: 45°/135°/225°/315°

Weld No Date	Acc Voltage kV	Beam Current mA	Travel Speed mm/min	Work dist mm	Focus Q1/Q2 A	Beam Power kW	Heat input KJ/mm	Chamber Pressure Mbar G6	Weld Depth mm	Weld Width mm Top/max	Tip Radius mm	Macro section position	Comments Surface and internal appearance
L024-1 02-11-21 Run 1	190	365	250	125	1,180/ 1,500	69,3	16,6	0,044	65	9,1/9,9	2,0	45°	Main weld Surface minor roughness About 15 subsurface defects
	190	365	250	125	1,180 1,475	69,3	16,6	0,044	63	8,8/9,8	2,0	135°	About 20 subsurface defects
	190	365	250	125	1,180 1,450	69,3	16,6	0,044	67	7,5/8,8	2,0	225°	About 9 subsurface defects
	190	365	250	125	1,180 1,425	69,3	16,6	0,044	71	7,9/8,6	1,8	315°	About 5 small subsurface defects
L024-2 02-12-04 Run 2	190	240	250	125	1,180/ 1,500	45,6	10,9	0,056	37	8,6/8,6	1,5	45°	Remelt weld Surface little rough with some cavities About 5 subsurface defects
	190	240	250	125	1,180 1,475	45,6	10,9	0,056	39	8,8/8,8	1,1	135°	Surface little rough with some cavities About 10 subsurface defects
	190	240	250	125	1,180 1,450	45,6	10,9	0,056	42	7,5/7,5	1,0	225°	About 4 subsurface defects and 10 small root defects
	190	240	250	125	1,180 1,425	45,6	10,9	0,056	46	7,5/7,5	1,1	315°	About 25 small root defects
L024-3 02-12-17 Run 3	190	160	250	125	1,180/ 1,500	30,4	7,3	0,044	28	7,7/7,7	0,6	45°	Remelt weld Surface little rough with some cavities About 5 subsurface defects and many small root defects
	190	160	250	125	1,180 1,475	30,4	7,3	0,044	27	7,0/7,0	0,5	135°	About 9 subsurface defects and many small root defects
	190	160	250	125	1,180 1,450	30,4	7,3	0,044	28	6,5/6,5	0,6	225°	1 subsurface defect and many small root defects
	190	160	250	125	1,180 1,425	30,4	7,3	0,044	30	6,5/6,5	0,6	315°	Some small root defects

# Weld record list: Lid weld 026/027

4(5)

Cathode: HCC2 SKB2(1)

Macro sections: L026/027: 45°/135°/225°/315°

Weld No Date	Acc Voltage kV	Beam Current mA	Travel Speed mm/min	Work dist mm	Focus Q1/Q2 A	Beam Power kW	Heat input KJ/mm	Chamber Pressure Mbar G6	Weld Depth mm	Weld Width mm Top/max	Tip Radius mm	Macro section position	Comments Surface and internal appearance
L026 03-04-24	190	400	250	125	1,180/ 1,500	76	18,2	0,052	69	10,2/ 10,2	1,9	45°	0→90° Surface minor roughness About 15 subsurface defects
	190	400	275	125	1,180 1,500	76	16,6	0,052	64	8,6/9,5	1,8	135°	90→180° Surface minor roughness About 15 subsurface defects
	190	400	300	125	1,180 1,500	76	15,2	0,052	61	9,1/9,1	1,8	225°	180→270° Surface minor roughness About 8 small subsurface defects
	190	400	325	125	1,180 1,500	76	14,0	0,052	61	9,1/9,4	1,8	315°	270→360° Surface minor roughness About 2 small subsurface defects
L027 03-05-22	190	425	350	125	1,180/ 1,500	80,8	13,8	0,043	66	8,1/9,0	1,5	45°	0→90° Surface minor roughness and some cold shuts depth < 8 mm No subsurface defects
	190	425	375	125	1,180 1,500	80,8	12,9	0,043	63	9,0/9,2	1,6	135°	90→180° Surface minor roughness some cold shuts depth < 8 mm About 5 small root defects
	190	450	350	125	1,180 1,500	85,5	14,7	0,043	67	8,5/9,7	1,5	225°	180→270° Surface minor roughness some cold shuts depth < 8 mm About 3 small subsurface defects
	190	450	375	125	1,180 1,500	85,5	13,7	0,043	66	8,3/10,0	1,6	315°	270→360° Surface minor roughness some cold shuts depth < 8 mm 1 subsurface defects

# Weld record list: Lid weld 028/029

5(5)

Cathode: HCC2 SKB3(1)

Macro sections: L028/029: 45°/135°/225°/315°

Weld No Date	Acc Voltage kV	Beam Current mA	Travel Speed mm/min	Work dist mm	Focus Q1/Q2 A	Beam Power kW	Heat input KJ/mm	Chamber Pressure Mbar G6	Weld Depth mm	Weld Width mm Top/max	Tip Radius mm	Macro section Position C°	Comments Surface and internal appearance
L028 03-10-28	190	360	250	160	1,180/ 1,330	68.4	16.4	0.046	65	8.1/8.6	1.0	45°	0→90° Surface good some spatter Minor root defects
	190	380	275	160	1,180 1,330	72.2	15.8	0.046	65	8.0/8.2	1.0	135°	90→180° Surface good some spatter Minor root defects
	190	400	300	160	1,180 1,330	76	15.2	0.046	67	8.1/8.7	1.0	225°	180→270° Surface good some spatter No subsurface defects
	190	420	325	160	1,180 1,330	79.8	14.0	0.046	72	7.8/8.7	1.5	315°	270→285° Surface good some spatter 285° weld stop 1 very big cavity 285→360° Surface minor roughness No subsurface defects apart from the big one at the weld stop
L029 03-12-16	190	410	300	160	1,180/ 1,330	77.9	15.6	0.051	67	7.6/8.0	1.6	45°	Surface good some spatter apart from one big surface breaking defect at weld stop at C-axis 109°
	190	410	300	160	1,180 1,330	77.9	15.6		69	8.0/8.0	1.1	135°	Weld internal is very homogenous apart from one internal defect at the overlap area and some minor root defects at the slope out area
	190	410	300	160	1,180 1,330	77.9	15.6		70	7.8/8.3	1.0	225°	
	190	410	300	160	1,180 1,330	77.9	15.6		69	7.9/8.2	1.4	315°	

### **Weld record list, Test Block nr TB055-172**

Alla huvudparametrar och resultat från undersökning med oförstörande provning (OFP) och undersökning av makroprov åskådliggörs i listform på följande sidor.

## Weld record list Testblock VI Working Distance Cathode:HCC1 SKB1(RG) 1(25)

Weld TB no Date	Acc voltage kV	Beam Current mA	Travel Speed mm/min	Working Distance / Focus mm	Focus Q1 Q2 A	Cathode	Weld Depth mm	Top Width mm	Mid Depth Width mm	Tip Radius mm	Surface condition	Comments
055 02-01-18	190	300	236	80/ 82 (+2)	1,225 1,350	HCC1 SKB1(RG)	86	3,5	5,3	0,6	Little rough	Severe internal and root defects at RT Root defects in the section
							83	3,6	6,0	0,6	Keyhole: 81 x 4,9	Trip area
056 02-01-18	190	315	236	70/ 68 (-2)	1,225 1,425	HCC1 SKB1(RG)	84	3,2	6,5	0,5	Little rough	Internal and root defects at RT 1 internal defect in the section
							87	3,8	7,0	0,6	Keyhole: 74 x 4,8	Trip area
057 02-01-18	190	330	236	60/ 56 (-4)	1,225 1,500	HCC1 SKB1(RG)	78	3,7	9,4	1,2	Little rough	No defect at RT No defects in the section
							78	4,1	9,3	1,5	Keyhole: 64 x 5,9	Trip area
058 02-01-18	190	340	236	50/ 50 (0)	1,225 1,550	HCC1 SKB1(RG)	85	3,1	9,1	2,0	Little rough	1 internal and 1 root defect at RT No defects in the section
							85	2,9	8,2	1,6	Keyhole:	Trip area
059:1 02-02-04	190	300	252 LHE/10	60/ 60 (0)	1,225 1,475	HCC1 SKB1(RG)	69	6,0	6,0	1,6	Very good Porosities	He 0 l/min Internal cavities at RT
059:2	190	300	252 LHE/10	60/ 56 (-4)	1,225 1,500	HCC1 SKB1(RG)	72	6,2	6,3	0,6	Very good Porosities	He 0 l/min Internal cavities at RT
060:1 02-02-04	190	315	252 LHE/10	70/ 60 (-10)	1,225 1,475	HCC1 SKB1(RG)	69	6,8	6,8	0,9	Good Porosities	He 0 l/min Internal cavities at RT
060:2	190	315	252 LHE/10	70/ 56 (-14)	1,225 1,500	HCC1 SKB1(RG)	68	7,7	7,5	0,9	Good Porosities	He 0 l/min Internal cavities at RT
061:1 02-02-04	190	330	252 LHE/10	80/ 60 (-20)	1,225 1,475	HCC1 SKB1(RG)	71	7,0	8,5	0,7	Little rough	He 1 l/min No defects at RT
061:2	190	330	252 LHE/10	80/ 56 (-24)	1,225 1,500	HCC1 SKB1(RG)	72	7,3	9,2	0,9	Little rough	He 1 l/min No defects at RT
062:1 02-02-04	190	350	252 LHE/10	90/ 60 (-30)	1,225 1,475	HCC1 SKB1(RG)	73	6,8	9,3	0,9	Little rough	He 1 l/min No defects at RT
062:2	190	350	252 LHE/10	90/ 56 (-34)	1,225 1,500	HCC1 SKB1(RG)	68	8,5	10,2	0,9	Little rough	He 1 l/min No defects at RT

Weld TB no Date	Acc voltage kV	Beam Current mA	Travel Speed mm/min	Working Distance / Focus mm	Focus Q1 Q2 A	Cathode	Weld Depth mm	Top Width mm	Mid Depth Width mm	Tip Radius mm	Surface condition	Comments
063 02-02-08	190	350	252 LHE/10 (50)	93/ 56 (-37)	1,225 1,500	HCC1 SKB1(RG)	67	9,6	9,7	1,0	Good Small porosities	Chamber pressure 0,22 mbar. He 1 l/min Small porosities at the surface and root area at RT
064 02-02-08	190	300	212 LHE/8	93/ 56 (-37)	1,225 1,500	HCC1 SKB1(RG)	60	9,4	9,7	1,2	Good Small porosities	Chamber pressure 0,22 mbar. He 1 l/min Small porosities at the surface area at RT. No other internal defects at RT
065 02-02-21	190	180	212 LHE/8	110/ 56 (-54)	1,195 1,500	HCC1 SKB1(RG)	29	12	11	0,9	Good Undercut 3 mm	Chamber pressure 0,20 mbar. He 1 l/min No defects at RT
066 02-02-21	190	180	212 LHE/8	125/ 56 (-69)	1,195 1,500	HCC1 SKB1(RG)	27	10,6	10,3	1,4	Very good Undercut 2 mm	Chamber pressure 0,20 mbar. He 1 l/min No defects at RT
067 02-02-21	190	180	212 LHE/8	130-80/ 56 (-24 → -74)	1,200 1,500	HCC1 SKB1(RG)	34	10,3	9,0	0,9	WD distance 100 – 120 mm good	Chamber pressure 0,20 mbar. He 1 l/min Macrosection WD 105 mm Some small porosities at root area at RT
068-1 02-02-21	190	300	212 LHE/8	93/ 56 (-37)	1,225 1,500	HCC1 SKB1(RG)	68	-----	8,8	0,9	Very rough	Chamber pressure 0,20 mbar. He 1 l/min Small porosities at root area at RT
068-2 02-02-22	190	180	212 LHE/8 (30)	93/ 56 (-37)	1,195 1,500	HCC1 SKB1(RG)	41	9,6	8,8	0,8	Still rough but improved after remelting	Remelt weld Chamber pressure 0,21 mbar. He 1 l/min Small porosities at root area at RT
069 02-03-01	190	300	171,5 LHE/7 (20)	90 100 110	1,225 1,500	HCC1 SKB1(RG)	70 68 63	12 11,6 12	7,8 8,8 11	0,7 1,0 2,0	090-100/good 100-110/rough	Test weld with low travel speed Small root defects in the slope in area at RT
070 02-03-01	190	300	171,5 LHE/7	110 120 130	1,225 1,500	HCC1 SKB1(RG)	66 67 ---	11,2 9,5 ---	8,9 9,5 ---	1,0 1,9 ---	110/rough 120/very rough 130/overheated	Test weld with low travel speed Big internal and surface breaking cavities in the overheated part of the block at RT

Weld TB no Date	Acc voltage kV	Beam Current mA	Travel Speed mm/min	Working Distance / Focus mm	Focus Q1 Q2 A	Cathode	Weld Depth mm	Top Width mm	Mid Depth Width mm	Tip Radius mm	Surface condition	Comments
071-1 02-03-01	190	300	212 LHE/8	93/ 56 (-37)	1,225 1,500	HCC1 SKB1(RG)	66	-----	8,6	0,8	Little rough	Parameter settings acc. to Lid weld L022 Small root defects in the slope in area at RT
071-2 02-03-01	190	180	212 LHE/8	110/ 56 (-54)	1,195 1,500	HCC1 SKB1(RG)	35	11	11,8	3,6	Very rough Overheated	Remelt weld after 1,5 hour cool down time in vacuum acc. to lid weld no L022
072-1 02-03-01	190	300	212 LHE/8	93/ 56 (-37)	1,225 1,500	HCC1 SKB1(RG)	66	-----	-----	1,2	Little rough	Parameter settings acc. to Lid weld L022 Small root defects in the slope in area at RT
072-2 02-03-01	190	230	321 LHE/12 (70)	174/ 120 (-54)	1,220 1,200	HCC1 SKB1(RG)	49	9,0	9,3	1,8	Very rough Overheated	Remelt weld after 1,5 hour cool down time in vacuum at long distance and high travel speed.

## Weld record list Testblock VII

Cathode: HCC1 SKB6(1)

4(25)

Weld TB no Date	Acc voltage kV	Beam Current mA	Travel Speed mm/min	Working Distance / Focus mm	Focus Q1 Q2 A	Cathode	Weld Depth mm	Top Width mm	Mid Depth Width mm	Tip Radius mm	Surface condition	Comments
073 02-04-30	190	350	252 LHE/10 (50%)	125/56 (-69)	1,225 1,500	HCC1 SKB6(1)	61	8,9	11,0	1,4	Little rough	Chamber pressure 0,12 mbar. He 1 l/min No defect at RT
							59	9,0	10,6	1,5	Keyhole: 17 x 7,7 depth 49 mm	Trip area
074 02-05-16	190	300	212 LHE/8 (30%)	100/56 (-44)	1,220 1,500	HCC1 SKB6(1)	69	5,6	9,2	0,6	Very rough	Chamber pressure 0,12 mbar. He 1 l/min Internal cavities at RT
							61	9,3	10,2	1,1	Keyhole: 10 x 7,2 depth 52 mm	Trip area
075 02-05-16	190	300	212 LHE/8 (30%)	100/64 (-36)	1,220 1,450	HCC1 SKB6(1)	67	9,3	9,2	0,4	Very rough	Chamber pressure 0,12 mbar. He 1 l/min Internal cavities at RT
							71	8,2	8,7	1,1	Keyhole: 6 x 5,8 depth 66 mm	Trip area
076 02-05-30	190	350	252 LHE/10 (50%)	100/56 (-44)	1,220 1,500	HCC1 SKB6(1)	70	9,3	9,1	0,7	Very rough	Chamber pressure 0,14 mbar. He 1 l/min Internal and root cavities at RT
							81	7,7	8,5	0,8	Keyhole: 7 x 6,4 depth 68 mm	Trip area
							63	7,1	8,5	0,6		
077 02-05-30	190	350	252 LHE/10 (50%)	100/64 (-36)	1,220 1,450	HCC1 SKB6(1)	77	8,0	8,4	0,7	Rough	Chamber pressure 0,14 mbar. He 1 l/min Root cavities at RT
							76	8,0	8,0	1,0	Keyhole: 6 x 6,5 depth 63 mm	Trip area
							68	6,3	8,0	1,0		
078 02-05-30	190	350	252 LHE/10 (50%)	100/72 (-28)	1,220 1,400	HCC1 SKB6(1)	75	6,3	8,4	0,7	Little rough	Chamber pressure 0,14 mbar. He 1 l/min Small root cavities at RT
							78	6,4	8,6	0,6	Keyhole: 5 x 6,0 depth 67 mm	Trip area
079 02-05-30	190	350	252 LHE/10 (50%)	80-120	1,220 1,500	HCC1 SKB6(1)	71	7,2	9,5	1,1	Little rough	Chamber pressure 0,14 mbar. He 1 l/min No defect at RT, apart from the start area
				≈ 100 ≈ 120			61	9,9	10,3	1,1	Keyhole: 13 x 7,6 depth 54 mm	Trip area



Weld TB no Date	Acc voltage kV	Beam Current mA	Travel Speed mm/min	Working Distance / Focus mm	Focus Q1 Q2 A	Cathode	Weld Depth mm	Top Width mm	Mid Depth Width mm	Tip Radius mm	Surface condition	Comments
080 02-06-10	190	350	252 LHE/10 (50%)	125/64 (-61)	1,220 1,450	HCC1 SKB6(1)	65	8,2	10,2	0,9	Little rough	Chamber pressure 0,17 mbar. He 1 l/min No defect at RT
							65	8,0	10,5	1,3	Keyhole: 12 x 7,2 depth 54 mm	Trip area
081 02-06-12	190	350	252 LHE/10 (50%)	125/68 (-57)	1,220 1,425	HCC1 SKB6(1)	70	7,7	9,1	0,8	Rough	Chamber pressure 0,12 mbar. He 1 l/min Small root cavities at the start area at RT
							71	8,4	9,7	0,8	Keyhole: 11 x 7,4 depth 60 mm	Trip area
082 02-06-12	190	350	252 LHE/10 (50%)	125/72 (-53)	1,220 1,400	HCC1 SKB6(1)	69	8,8	9,2	0,7	Little rough	Chamber pressure 0,12 mbar. He 1 l/min Small root cavities at the start area at RT
							73	7,0	9,0	0,9	Keyhole: 10 x 6,8 depth 62 mm	Trip area
083 02-06-19	190	300	252 LHE/10 (50%)	125/82 (-43)	1,220 1,350	HCC1 SKB6(1)	66	7,7	7,6	0,6	Rough Undercut/cavities	Chamber pressure 0,13 mbar. He 1 l/min Small root cavities at the start area at RT
							62	6,5	8,0	0,8	Keyhole: 8 x 5,4 depth 55 mm	Trip area Some internal cavities just before trip
084 02-06-19	190	350	252 LHE/10 (50%)	150/82 (-68)	1,220 1,350	HCC1 SKB6(1)	70	8,2	9,5	1,0	Rough	Chamber pressure 0,13 mbar. He 1 l/min Small root cavities mainly at the start area
							60	8,8	9,0	0,7	Keyhole: 11 x 7,5 depth 52 mm	Trip area Weld depth small, section of centre
085 02-06-19	190	350	292 LHE/11 (60%)	125/64 (-61)	1,220 1,450	HCC1 SKB6(1)	61	8,0	10,0	0,9	Rough Undercut/cavities	Chamber pressure 0,13 mbar. He 1 l/min Small root cavities mainly at the start area
							60	8,0	10,0	1,0	Keyhole: 12 x 7,0 depth 52 mm	Trip area
086 02-06-19	190	350	292 LHE/11 (60%)	125/60 (-65)	1,220 1,475	HCC1 SKB6(1)	58	8,8	10,5	0,8	Little rough ••••••••••	Chamber pressure 0,13 mbar. He 1 l/min Small root cavities at the start area at RT
							54	9,0	9,9	0,7	Keyhole: 12 x 7,0 depth 54 mm	Trip area Weld depth small, section of centre

## Weld record list Testblock VIII

6(25)

### Low Beam Current and Low Travel Speed Cathode: HCC1 SKB6(1)

Weld TB no Date	Acc voltage kV	Beam Current mA	Travel Speed mm/min	Working Distance / Focus mm	Focus Q1 Q2 A	Cathode	Weld Depth mm	Top Width mm	Mid Depth Width mm	Tip Radius mm	Surface condition	Comments
087 02-08-13	190	200	109 LHE/4	125	1,170 1,200	HCC1 SKB6(1)	86	3,1	3,8	0,6	Undercut $\approx$ 3 mm	Beam spot at surface $\approx$ 2,6 mm Heat input $\approx$ 20,9 KJ/mm Beam angle 3,5°/ Weld angle 3,3° Severe root defects at RT
088 02-08-13	190	200	109 LHE/4	125	1,170 1,225	HCC1 SKB6(1)	79	4,4	4,5	0,6	Undercut $\approx$ 3 mm	Beam spot at surface $\approx$ 3,7 mm Heat input $\approx$ 20,9 KJ/mm Beam angle 3,5°/ Weld angle 2,2° Severe root defects at RT
089 02-08-13	190	200	109 LHE/4	125	1,170 1,250	HCC1 SKB6(1)	74	7,2	7,0	0,8	Minor undercut Some cavities	Beam spot at surface $\approx$ 4,6 mm Heat input $\approx$ 20,9 KJ/mm Beam angle 3,5°/ Weld angle 3,0° Severe root and some internal defects at RT
090 02-08-13	190	200	109 LHE/4	125	1,170 1,300	HCC1 SKB6(1)	62	10,3	10,3	0,9	Rather good	Beam spot at surface $\approx$ 6,1 mm Heat input $\approx$ 20,9 KJ/mm Beam angle 3,5°/ Weld angle 3,5° Root defects and severe internal porosity close to surface at RT

Weld TB no Date	Acc voltage kV	Beam Current mA	Travel Speed mm/min	Working Distance / Focus mm	Chatode	Focus Q1 Q2 A	Weld Depth mm	Top Width mm	Mid Depth Width mm	Tip Radius mm	Surface condition	Comments
091 02-08-14 :1 :2 :3 :4	190	200	150 LHE/6	125	HCC1 SKB6(1)	1,170 1,125	73	6,0	2,1	0,35	Minor roughness	Beam spot at surface $\approx 2 \rightarrow 9$ mm Heat input $\approx 15,2$ KJ/mm Some internal and severe sharp root defects at RT
						1,170 1,250	59	7,2	5,6	0,7	Minor roughness	No internal and severe root defects at RT
						1,170 1,3125	53	11	7,6	0,7	Minor roughness	Some small internal porosity close to surface and some root defects at RT
						1,170 1,375	40	14	12	1,2	Rough	Some internal porosity close to surface and no root defects at RT
092 02-08-14 :1 :2 :3	190	200	150 LHE/6	100	HCC1 SKB6(1)	1,170 1,125	79	7,0	1,9	0,2	Minor roughness	Beam spot at surface $\approx 2 \rightarrow 9$ mm Heat input $\approx 15,2$ KJ/mm Internal and severe sharp root defects at RT
						1,170 1,250	77	4,2	2,8	0,35	Minor roughness	No internal and severe root defects at RT
						1,170 1,375	65	9,2	6,5	0,35	Rough	Some very small internal porosity close to surface and some root defects at RT
093 02-08-14	190	200	150 LHE/6	125	HCC1 SKB6(1)	1,170 1,250	65	6,6	5,2	0,7	Rather good	Beam spot at surface $\approx 4,6$ mm Heat input $\approx 15,2$ KJ/mm Some internal and many root defects at RT
094 02-08-14	190	200	150 LHE/6	100	HCC1 SKB6(1)	1,170 1,300	70	3,9	3,6	0,7	Minor undercut	Beam spot at surface $\approx 3$ mm Heat input $\approx 15,2$ KJ/mm No internal and severe sharp root defects at RT

Weld TB no Date	Acc voltage kV	Beam Current mA	Travel Speed mm/min	Working Distance / Focus mm	Cathode	Focus Q1 A	Focus Q2 A	Weld Depth mm	Top Width mm	Mid Depth Width mm	Tip Radius mm	Surface condition	Comments
095 02-09-19	190	200	252 LHE/10	125	HCC1 SKB6(1)	1,170	1,30 1,35 1,40 1,45 1,50	- 41 37 30 25	- 6,0 6,5 10,2 11,4	- 6,5 8,4 11,2 11,9	- 1,2 1,7 2,2 3,0	Minor rough Minor rough Rough Rough Good	Some internal defects at the weld start but no root defects at RT
096 02-09-19	190	200	212 LHE/8	125	HCC1 SKB6(1)	1,170	1,30 1,35 1,40 1,45 1,50	- 47 36 32 27	- 6,3 10,8 11,6 13,6	- 6,2 9,8 13,3 13,9	- 1,3 1,7 2,7 5,0	Minor rough Rough Rough Very rough Very rough	Some internal defects close to surface but no root defects at RT
097 02-09-24	190	350	252 LHE/10	125	HCC1 SKB6(1)	1,170	1,50	64	8,7	10,7	3,2	Minor roughness	Reference welding at normal beam current Hot start No internal defects and no root defects at RT

TB 095 Weld prog

$$t = 400/252 = 1,6 \text{ min}$$

$$F = 1,5-1,3 = 0,2/1,6 = 0,125$$

MDA

E1=200 Q2=1.300 F500

Q2=1.500 F0.14

TB 096 Weld prog

$$t = 400/212 = 1,9 \text{ min}$$

$$F = 1,5-1,3 = 0,2/1,9 = 0,105$$

MDA

E1=200 Q2=1.300 F500

Q2=1.500 F0.12

## Weld record list Testblock IX

9(25)

### Beam oscillation Cathode: HCC2 SKB2(1)

Weld TB no Date	Acc voltage kV	Beam Current mA	Travel Speed mm/min	Working Distance / Focus mm	Focus Q1 Q2 A	Cathode	Weld Depth mm	Top Width mm	Mid Depth Width mm	Tip Radius mm	Surface condition	Comments and Internal quality
98 02-10-23	190	350	252 LHE/10	180	1,180 1,270	HCC2 SKB2(1)	64	9,6	9,7	2,3	Irregular bead with cavities ≤ 8 mm deep	Beam oscillation = 0 Beam spot at surface ≈ 7,4 mm Heat input ≈ 15,8 KJ/mm Beam angle – 3,5°/ Weld angle 0° No root defects and 1 internal defect
099 02-10-23	190	350	252 LHE/10	180	1,180 1,270	HCC2 SKB2(1)	55	10,2	10,4	2,3	Irregular bead	Beam oscillation = Ø 3 mm/0,741A/100Hz Beam spot at surface ≈ 7,4 mm Heat input ≈ 15,8 KJ/mm Beam angle – 3,5°/ Weld angle 0° No defects
100 02-10-23	190	350	252 LHE/10	180	1,180 1,002	HCC2 SKB2(1)	78	6,7	8,2	0,7	Proud with a lot of spatter	Beam oscillation = Ø 6 mm/1,481A/100Hz Beam spot at surface ≈ 1,2 mm Heat input ≈ 15,8 KJ/mm Beam angle – 3,5°/ Weld angle – 3,2° Severe root and internal defects
101 02-10-23	190	350	252 LHE/10	180	1,180 1,270	HCC2 SKB2(1)	54	12,1	13,1	3,8	Irregular bead Undercut ≈ 3 mm	Beam oscillation = Ø 4,5mm/1,111A/100Hz Beam spot at surface ≈ 7,4 mm Heat input ≈ 15,8 KJ/mm Beam angle – 3,5°/ Weld angle + 1° No defects

Weld TB no Date	Acc voltage kV	Beam Current mA	Travel Speed mm/min	Working Distance / Focus mm	Focus Q1 Q2 A	Cathode	Weld Depth mm	Top Width mm	Mid Depth Width mm	Tip Radius mm	Surface condition	Comments and Internal quality
102 02-10-25	190	350	252 LHE/10	180	1,180 1,230	HCC2 SKB2(1)	79	6,8	8,8	0,8	Rough fillet Spattery Undercut $\approx$ 5 mm	Beam oscillation = $\emptyset$ 1,5mm/0,365A/100Hz/ Anti clockwise spin direction Beam spot at surface $\approx$ 5 mm Heat input $\approx$ 15,8 KJ/mm Beam angle – 3,5°/ Weld angle – 3° Some root defects
103 02-10-25	190	350	252 LHE/10	180	1,180 1,230	HCC2 SKB2(1)	73	7,7	8,7	1,3	Rough fillet with cavities Undercut $\approx$ 6 mm	Beam oscillation = $\emptyset$ 3 mm/0,741A/100Hz/ Anti clockwise spin direction Beam spot at surface $\approx$ 5 mm Heat input $\approx$ 15,8 KJ/mm Beam angle – 3,5°/ Weld angle – 2,3° Some root defects
104 02-10-25	190	350	252 LHE/10	180	1,180 1,230	HCC2 SKB2(1)	75	6,3	8,0	0,6	Rough fillet Undercut $\approx$ 3 mm	Beam oscillation = 0 Beam spot at surface $\approx$ 5 mm Heat input $\approx$ 15,8 KJ/mm Beam angle – 3,5°/ Weld angle – 2,3° Severe root and internal defects
105 02-10-25	190	350	252 LHE/10	180	1,180 1,190	HCC2 SKB2(1)	85	6,0	7,3	0,9	Irregular rough fillet	Beam oscillation = 0 Beam spot at surface $\approx$ 4 mm Heat input $\approx$ 15,8 KJ/mm Beam angle – 3,5°/ Weld angle – 2,7° Severe root defects

Weld TB no Date	Acc voltage kV	Beam Current mA	Travel Speed mm/min	Working Distance / Focus mm	Focus Q1 Q2 A	Cathode	Weld Depth mm	Top Width mm	Mid Depth Width mm	Tip Radius mm	Surface condition	Comments and Internal quality
106 02-10-28	190	350	252 LHE/10	180	1,180	HCC2 SKB2(1)	82	6,0	7,8	0,9	Irregular rough fillet Undercut $\approx$ 3 mm	Beam oscillation = $\varnothing$ 1,5mm/0,365A/100Hz/ Anti clockwise spin direction Beam spot at surface $\approx$ 4 mm Beam angle – 3,5°/ Weld angle – 2,8° Severe root defects
					1,190		79					
107 02-10-28	190	350	252 LHE/10	180	1,180	HCC2 SKB2(1)	80	8,8	5,3	0,2	Rough fillet Cavities $\leq$ 3 mm deep	Beam oscillation = $\varnothing$ 1,5mm/0,365A/100Hz/ Anti clockwise spin direction Beam spot at surface $\approx$ 6,3 mm (f/subsurface) Beam angle – 3,5°/ Weld angle – 3,5° Massive root defects
					0,830		77					
108 02-10-28	190	350	252 LHE/10	160	1,180	HCC2 SKB2(1)	77	7,5	8,8	1,7	Very irregular, globular fillet Cavities $\leq$ 5 mm deep	Beam oscillation = $\varnothing$ 1,5mm/0,365A/100Hz/ Anti clockwise spin direction Beam spot at surface $\approx$ 5,5 mm ( $\alpha$ 2,6°) Beam angle – 3,5°/ Weld angle – 1,5° Few root defects
					1,270		72					

Weld TB no Date	Acc voltage kV	Beam Current mA	Travel Speed mm/min	Working Distance / Focus mm	Focus Q1 Q2 A	Cathode	Weld Depth mm	Top Width mm	Mid Depth Width mm	Tip Radius mm	Surface condition	Comments and Internal quality
109 02-10-28	190	350	252 LHE/10	160	1,180	HCC2 SKB2(1)	73	7,1	9,5	1,2	Irregular narrow spattery bead Cavities ≤ 2 mm deep	Beam oscillation = 0 Beam spot at surface ≈ 5,5 mm ( $\alpha$ 2,6°) Beam angle – 3,5°/ Weld angle – 2,3° Root defects
					1,270		81	6,8	8,2	1,0		
110 02-10-28	190	350	252 LHE/10	160	1,180	HCC2 SKB2(1)	62	9,1	9,6	2,2	Irregular spattery fillet Cavities ≈ 3-5 mm deep	Beam oscillation = $\varnothing$ 3,0 mm/0,852A/50Hz/ Anti clockwise spin direction Beam spot at surface ≈ 7,7 mm ( $\alpha$ 3,0°) Beam angle – 3,5°/ Weld angle – 1,3° Massive root defects
					1,330		64	9,0	9,9	2,3		
111 02-10-28	190	350	252 LHE/10	160	1,180	HCC2 SKB2(1)	57	10,8	11,0	3,0	Rough stitching fillet with very deep cavities ≤ 24 mm	Beam oscillation = $\varnothing$ 3,0 mm/0,852A/10Hz/ Clockwise spin direction Beam spot at surface ≈ 7,7 mm ( $\alpha$ 3,0°) Beam angle – 3,5°/ Weld angle – 1,0° Internal defects
					1,330		69	11,0	11,6	4,0		



Weld TB no Date	Acc voltage kV	Beam Current mA	Travel Speed mm/min	Working Distance / Focus mm	Focus Q1 Q2 A	Cathode	Weld Depth mm	Top Width mm	Mid Depth Width mm	Tip Radius mm	Surface condition	Comments and Internal quality Beam oscillation = 0
112 02-10-29	190	350	252 LHE/10	125	1,180	HCC2 SKB2(1)	65	8,3	9,0	2,1	Slightly irregular fillet	Beam spot at surface $\approx 7,0$ mm ( $\alpha 3,5^\circ$ ) Beam angle – 3,5°/ Weld angle – 1,7° No defects
					1,425		62	8,3	10,4	2,8	Slightly irregular fillet	Beam spot at surface $\approx 7,9$ mm ( $\alpha 3,7^\circ$ ) Beam angle – 3,5°/ Weld angle – 1,8° No defects
113 02-10-29	190	350	252 LHE/10	125	1,180	HCC2 SKB2(1)	61	9,0	10,1	3,1	Slightly irregular fillet	Beam spot at surface $\approx 8,6$ mm ( $\alpha 3,8^\circ$ ) Beam angle – 3,5°/ Weld angle – 1,4° No defects
					1,475		60	8,5	10,2	3,7	Slightly irregular bead	Beam spot at surface $\approx 9,4$ mm ( $\alpha 3,9^\circ$ ) Beam angle – 3,5°/ Weld angle – 1° No defects
114 02-10-29	190	350	252 LHE/10	160	1,180	HCC2 SKB2(1)	64	7,5	9,2	2,3	Irregular spattery fillet	Beam spot at surface $\approx 7,7$ mm ( $\alpha 3,0^\circ$ ) Beam angle – 3,5°/ Weld angle – 1° No defects
					1,330		63	8,9	10,4	3,5	Irregular fillet	Beam spot at surface $\approx 8,8$ mm ( $\alpha 3,15^\circ$ ) Beam angle – 3,5°/ Weld angle – 0,6° No defects
115 02-10-29	190	350	252 LHE/10	160	1,180	HCC2 SKB2(1)	57	9,8	10,4	3,2	Irregular fillet	Beam spot at surface $\approx 9,8$ mm ( $\alpha 3,3^\circ$ ) Beam angle – 3,5°/ Weld angle – 0° No defects
					1,390		57	10,3	11,3	4,0	Regular bead	Beam spot at surface $\approx 11,0$ mm ( $\alpha 3,5^\circ$ ) Beam angle – 3,5°/ Weld angle – 0° No defects
					1,180							
					1,420							

Weld TB no Date	Acc voltage kV	Beam Current mA	Travel Speed mm/min	Working Distance / Focus mm	Focus Q1 Q2 A	Cathode	Weld Depth mm	Top Width mm	Mid Depth Width mm	Tip Radius mm	Surface condition	Comments and Internal quality Beam oscillation acc. to program
116 02-10-29	190	350	252 LHE/10	160	1,180	HCC2 SKB2(1)	54	9,8	9,5	3,8	Slightly irregular bead TIG-like 1 big cavity at the start area	Beam oscillation: program 116-1 Beam spot at surface $\approx 8,8$ mm ( $\alpha 3,15^\circ$ ) Beam angle – 3,5°/ Weld angle $\approx 0^\circ$ No defects
					1,360		49	11,6	12	5,5	Slightly irregular fillet TIG-like shape Cold shut 5 mm	Beam oscillation: program 116-2 Beam spot at surface $\approx 8,8$ mm ( $\alpha 3,15^\circ$ ) Beam angle – 3,5°/ Weld angle $\approx 0^\circ$ 3 deep internal defects
117 02-10-29	190	350	252 LHE/10	160	1,180 1,360	HCC2 SKB2(1)	45	13,1	15	5,1	Very stitchy bead with periodic pour out caused 10 very big cavities	Beam oscillation: program 117 Beam spot at surface $\approx 8,8$ mm ( $\alpha 3,15^\circ$ ) Beam angle – 3,5°/ Weld angle $\approx 0^\circ$ Very big internal defects
118 02-10-29	190	350	252 LHE/10	160	1,180 1,360	HCC2 SKB2(1)	48	12,4	10,3	3,8	Generally regular weld bead with 3mm of undercut and 2 big cavities	Beam oscillation: program 118 Beam spot at surface $\approx 8,8$ mm ( $\alpha 3,15^\circ$ ) Beam angle – 3,5°/ Weld angle $\approx 0^\circ$ Some deep internal defects
119 02-10-29	190	350	252 LHE/10	160	1,180 1,360	HCC2 SKB2(1)	53	10,4	9,8	3,8	Generally regular weld bead with 1mm of undercut and 1 cavities	Beam oscillation: program 119 Beam spot at surface $\approx 8,8$ mm ( $\alpha 3,15^\circ$ ) Beam angle – 3,5°/ Weld angle $\approx 0^\circ$ 1 internal defect at the start
120 02-10-30	190	350	252 LHE/10	160	1,180 1,330	HCC2 SKB2(1)	63	8,9	8,6	1,9	A well radiused smooth full fillet, with no defects  <i>Very good</i>	Beam oscillation: program 120 Beam spot at surface $\approx 7,7$ mm ( $\alpha 3,0^\circ$ ) Beam angle – 3,5°/ Weld angle – 1,5° No defects

Weld TB no Date	Acc voltage kV	Beam Current mA	Travel Speed mm/min	Working Distance / Focus mm	Focus Q1 Q2 A	Cathode	Weld Depth mm	Top Width mm	Mid Depth Width mm	Tip Radius mm	Surface condition	Comments and Internal quality Beam oscillation acc. to program
121 02-10-30	190	350	252 LHE/10	160	1,180 1,330	HCC2 SKB2(1)	65	8,5	8,6	2,3	Quite smooth but minor irregular fillet	Beam oscillation: program 121 Beam spot at surface $\approx 7,7$ mm ( $\alpha 3,0^\circ$ ) Beam angle – 3,5°/ Weld angle $\approx -1,5^\circ$ No defects
122 02-10-29	190	350	252 LHE/10	160	1,180 1,330	HCC2 SKB2(1)	62	9,6	8,8	2,1	Quite smooth fillet	Beam oscillation: program 122 Beam spot at surface $\approx 7,7$ mm ( $\alpha 3,0^\circ$ ) Beam angle – 3,5°/ Weld angle $\approx -1,5^\circ$ No defects
123 02-10-29	190	350	252 LHE/10	160	1,180 1,330	HCC2 SKB2(1)	62	10,0	9,1	1,8	Very smooth fillet  <i>Very good</i>	Beam oscillation: program 123 Beam spot at surface $\approx 7,7$ mm ( $\alpha 3,0^\circ$ ) Beam angle – 3,5°/ Weld angle $\approx -2^\circ$ No defects
124 02-10-29	190	380	252 LHE/10	160	1,180 1,330	HCC2 SKB2(1)	70	10,1	9,1	1,8	Smooth fillet with some very small undercut in the upper part of the weld	Beam oscillation: program 120 Beam spot at surface $\approx 7,7$ mm ( $\alpha 3,0^\circ$ ) Beam angle – 3,5°/ Weld angle $\approx -1,5^\circ$ 1 internal and some root defects at the start
125 02-10-31	190	350	252 LHE/10	160	1,180 1,330	HCC2 SKB2(1)	39	7,4	7,8	1,5	Smooth fillet with minor undercut at the end of the fade out	Fade out test F252, 350 $\rightarrow$ 5 A/82 seconds Beam oscillation: program 120 Beam spot at surface $\approx 7,7$ mm ( $\alpha 3,0^\circ$ ) Some small root defects
126 02-10-31	190	350	252 LHE/10	160	1,180 1,330	HCC2 SKB2(1)	62	7,6	7,8	1,3	Smooth fillet at full beam power but $\approx 6$ mm undercut at the fade out	Fade out test F860, 350 $\rightarrow$ 5 A/24 seconds Beam oscillation: program 120 Beam spot at surface $\approx 7,7$ mm ( $\alpha 3,0^\circ$ ) Some small root defects

## Weld record list Testblock X

16(25)

### Trials for t = 30 mm and high travel speed Cathode: HCC2 SKB2(1)

Weld TB no Date	Acc voltage kV	Beam Current mA	Travel Speed mm/min	Working Distance / Focus mm	Focus Q1 Q2 A	Cathode	Weld Depth mm	Top Width mm	Mid Depth Width mm	Tip Radius mm	Surface condition	Comments and Internal quality
127 03-10-30	190	260	252 LHE/10 (50)	130	1,180 1,425	HCC2 SKB2(1)	54	9,8	7,8	0,8	Rough Cavities	Pressure welding chamber = 0,062 mbar Root defects at RT Heat input 11,8 kJ/mm
					1,180 1,450		54	9,7	9,7	1,0	Rough Cavities	Root defects at RT
128 03-10-30	190	260	252 LHE/10 (50)	130	1,180 1,475	HCC2 SKB2(1)	56	8,4	8,0	0,8	Rough Cavities	Pressure welding chamber = 0,062 mbar Root defects at RT
					1,180 1,500		52	8,0	9,5	1,0	Rough Cavities	No defects at RT
129 03-03-27	190	365	292 LHE/11 (60)	125	1,180 1,500	HCC2 SKB2(1)	61	8,9	9,4	1,5	Rough Some cavities	Pressure welding chamber = 0,077 mbar Beam level + 2,5 mm above FB No defects at RT Heat input 14,3 kJ/mm
130 03-03-27	190	400	292 LHE/11 (60)	125	1,180 1,500	HCC2 SKB2(1)	67	8,7	9,1	1,9	Rough No cavities	Pressure welding chamber = 0,077 mbar Beam level + 2,5 mm above FB No defects at RT Heat input 15,6 kJ/mm
131 03-03-27	190	400	321 LHE/12 (70)	125	1,180 1,500	HCC2 SKB2(1)	62	8,2	10,1	1,9	Rough No cavities	Pressure welding chamber = 0,077 mbar Beam level + 2,5 mm above FB No defects at RT Heat input 14,2 kJ/mm
132 03-04-15	190	400	292 LHE/11 (60)	125	1,180 1,500	HCC2 SKB2(1)	68	8,5	10,2	2,5	Rough No cavities	Pressure welding chamber = 0,067 mbar Beam level + 2,5 mm above FB No defects at RT Heat input 15,6 kJ/mm
133 03-04-15	190	400	292 LHE/11 (60)	125	1,180 1,500	HCC2 SKB2(1)	64	9,2	10,4	2,1	Rough No cavities	FB surface chamfered 45° No defects at RT Heat input 15,6 kJ/mm

Weld TB no Date	Acc voltage kV	Beam Current mA	Travel Speed mm/min	Working Distance / Focus mm	Focus Q1 Q2 A	Cathode	Weld Depth mm	Top Width mm	Mid Depth Width mm	Tip Radius mm	Surface condition	Comments and Internal quality
134 03-05-08	190	260	318 LHE/8 (30)	125	1,180 1,500	HCC2 SKB2(1)	42	9,4	9,5	0,8	Rough No cavities	Pressure welding chamber = 0,077 mbar Beam level + 2,5 mm above FB Hi 9,3 kJ/mm 1 small start defect a few root defects at RT
135 03-05-08	190	425	345 LHE/9 (40)	125	1,180 1,500	HCC2 SKB2(1)	66	8,2	9,3	1,5	Rough No cavities	Pressure welding chamber = 0,077 mbar Beam level + 2,5 mm above FB No defects at RT Heat input 14,0 kJ/mm
136 03-05-08	190	425	380 LHE/10 (50)	125	1,180 1,500	HCC2 SKB2(1)	65	8,4	9,1	1,3	Rough No cavities	Pressure welding chamber = 0,077 mbar Beam level + 2,5 mm above FB No defects at RT Heat input 12,8 kJ/mm
137 03-05-08	190	450	439 LHE/11 (60)	125	1,180 1,500	HCC2 SKB2(1)	62	8,5	9,4	1,5	Rough No cavities	Pressure welding chamber = 0,077 mbar Beam level + 2,5 mm above FB No defects at RT Heat input 11,7 kJ/mm
138-1 03-06-05	190	450	475 LHE/12 (70)	125	1,180 1,500	HCC2 SKB2(1)	58	8,7	9,4	1,5	Rough No cavities	Pressure welding chamber = 0,077 mbar Beam level + 2,5 mm above FB No defects at RT Heat input 10,8 kJ/mm
138-2 03-06-05	190	450	475 LHE/12 (70)	125	1,180 1,500	HCC2 SKB2(1)	52	11,5	9,2	1,6	Rough No cavities	Pressure welding chamber = 0,077 mbar Beam in level with FB No defects at RT Heat input 10,8 kJ/mm
139 03-06-05	190	425	318 LHE/8 (30)	160	1,180 1,300	HCC2 SKB2(1)	74	8,4	8,8	1,4	Rough No cavities	Pressure welding chamber = 0,077 mbar Beam level + 2,5 mm above FB No defects at RT Heat input 15,2 kJ/mm
140 03-06-05	190	425	318 LHE/8 (30)	160	1,180 1,325	HCC2 SKB2(1)	72	8,3	9,2	1,8	Rough Some cavities	Pressure welding chamber = 0,077 mbar Beam level + 2,5 mm above FB No defects at RT Heat input 15,2 kJ/mm
141 03-06-05	190	425	318 LHE/8 (30)	160	1,180 1,350	HCC2 SKB2(1)	68	8,4	10,5	2,1	Rough Some cavities	Pressure welding chamber = 0,077 mbar Beam level + 2,5 mm above FB No defects at RT Heat input 15,2 kJ/mm

## Weld record list Testblock XI

18(25)

### Trials for WD = 160 mm and oscillation Cathode: HCC2 SKB2(1)

TB no Date	Acc voltage kV	Beam Current mA	Travel Speed mm/min	Working Distance mm	Focus Q1 Q2 A	Cathode	Weld Depth mm	Top Width mm	Mid Width mm	Tip Radius mm	Surface condition	Comments and Internal quality
142 03-09-18	190	350	251 LHE/7 (20)	160	1,180 1,330	HCC2 SKB2(1)	49,5	12,5	11,7	2,7	Stiching with very large metal pour outs cavities Keyhole: 35x 12 Depth 46 mm	Oscillation Y 2,08A (15 mm) Z 0,44A (3mm) Frequency Y/Z 350 HZ ( <b>Z-fail</b> ) Power staircase: 25%/25%/25%/25% Massive internal cavities
143 03-09-20	190	400	318 LHE/8 (30)	160	1,180 1,330	HCC2 SKB2(1)	69,3	9,7	7,8	1,4	Quite smooth fillet (Beam has hit FB)  Keyhole: 18 x 7 depth 56 mm	Oscillation Y 2,08A (15 mm) Z 0,44A (3mm) Frequency Y/Z 350 HZ (TB 120+) Power staircase: Remix 2 with brake 91%/3%-3.75mm/3%-9mm/3%-15mm Root defects at start
144 03-09-18	190	400	318 LHE/8 (30)	160	1,180 1,330	HCC2 SKB2(1)	66,7	9,3	9,6	1,8	Rough  Keyhole: 14 x 8 depth 62 mm	Oscillation Y 2,08A (15 mm) Z 0,44A (3mm) Frequency Y/Z 350 HZ ( <b>Z-fail</b> ) Power staircase: 91%/3%-3.75mm/3%-9mm/3%-15mm One big internal cavity
145 03-09-18	190	400	318 LHE/8 (30)	160	1,180 1,330	HCC2 SKB2(1)	70,9	7,7	8,4	1,5	Very rough  Keyhole: 14 x 8 depth 62 mm	Oscillation Y 1,39A (10 mm) Z 0,44A (3mm) Frequency Y/Z 350 HZ ( <b>Z-fail</b> ) Power staircase: 91%/3%-3.75mm/3%-9mm/3%-15mm 3 internal cavities
146 03-09-18	190	350	251 LHE/7 (20)	160	1,180 1,330	HCC2 SKB2(1)	66,4	10,3	10,5	1,8	Very rough  Keyhole: 24 x 10 depth 64 mm	Oscillation Y 2,08A (15 mm) Z 0,44A (3mm) Frequency Y/Z 350 HZ ( <b>Z-fail</b> ) Power staircase: 91%/3%-3.75mm/3%-9mm/3%-15mm Many internal cavities

TB no Date	Acc voltage kV	Beam Current mA	Travel Speed mm/min	Working Distance mm	Focus Q1 Q2 A	Cathode	Weld Depth mm	Top Width mm	Mid Width mm	Tip Radius mm	Surface condition	Comments and Internal quality
147 03-09-21	190	400	318 LHE/8 (30)	160	1,180 1,330	HCC2 SKB2(1)	69,3	8,8	8,8	1,4	Quite smooth fillet  Keyhole: 12 x 6 depth 63 mm	Oscillation Y 1,39A (10 mm) Z 0,44A (3mm) Frequency Y/Z 350 HZ (TB122+) Power staircase: Remix 2 with brake 91%/3%-3.75mm/3%-9mm/3%-15mm Minor root defects at start ( <i>Good</i> )
148 03-09-21	190	400	318 LHE/8 (30)	160	1,180 1,330	HCC2 SKB2(1)	67,2	9,0	8,7	1,8	Quite smooth fillet  Keyhole: 15 x 6.5 depth 57 mm	Oscillation Y 2,08A (15 mm) Z 0,44A (3mm) Frequency Y/Z 350 HZ Power staircase: Zigzag 88% 1.5%/3%/3%/3%/1.5% Minor root defects at start ( <i>Good</i> )
149 03-09-21	190	400	318 LHE/8 (30)	160	1,180 1,330	HCC2 SKB2(1)	68	8,9	9,0	1,8	Quite smooth fillet  Keyhole: 15 x 6.1 depth 62 mm	Oscillation Y 2,08A (15 mm) Z 0,44A (3mm) Frequency Y/Z 250 HZ Power staircase: Remix 2 with brake 91%/3%-3.75mm/3%-9mm/3%-15mm Minor root defects at start ( <i>Good</i> )
150 03-09-21	190	350	251 LHE/7 (20)	160	1,180 1,330	HCC2 SKB2(1)	63,5	10,2	8,8	1,8	Very smooth fillet (Beam has hit FB) Keyhole: 18 x 7 depth 63 mm	Oscillation Y 2,08A (15 mm) Z 0,44A (3mm) Frequency Y/Z 350 HZ (TB 120) Power staircase: Remix 2 with brake 91%/3%-3.75mm/3%-9mm/3%-15mm Root defects at start
151 03-10-04	190	350	251 LHE/7 (20)	160	1,180 1,330	HCC2 SKB2(1)	66	8,0	8,0	1,4	Very smooth fillet (Beam has hit FB at the weld start) Keyhole: 17 x 6.1 depth 66 mm	Oscillation Y 4,56A (15 mm) Z 0,486A (3mm) Frequency Y/Z 100 HZ Power staircase: Remix 2 with brake 91%/3%-3.75mm/3%-9mm/3%-15mm Root defects at start

TB no Date	Acc voltage kV	Beam Current mA	Travel Speed mm/min	Working Distance mm	Focus Q1 Q2 A	Cathode	Weld Depth mm	Top Width mm	Mid Width mm	Tip Radius mm	Surface condition	Comments and Internal quality
151 03-10-04	190	350	251 LHE/7 (20)	160	1,180 1,330	HCC2 SKB2(1)	66	8,0	8,0	1,4	Very smooth fillet (Beam has hit FB at the weld start) Keyhole: 17 x 6.1 depth 66 mm	Oscillation Y 4,56A (15 mm) Z 0,486A (3mm) Frequency Y/Z 100 HZ Power staircase: Remix 2 with brake 91%/3%-3.75mm/3%-9mm/3%-15mm Root defects at start
152 03-10-04	190	400	318 LHE/8 (30)	160	1,180 1,330	HCC2 SKB2(1)	63	8,7	8,2	1,6	Very smooth fillet (Beam has hit FB at the weld start) Keyhole: 19 x 7 depth 57 mm	Oscillation Y 4,56A (15 mm) Z 0,486A (3mm) Frequency Y/Z 100 HZ (TB 120) Power staircase: Remix 2 with brake 91%/3%-3.75mm/3%-9mm/3%-15mm Minor root defects at start and 1 rather big internal defect
153 03-10-04	190	350	251 LHE/7 (20)	160	1,180 1,330	HCC2 SKB2(1)	64	8,6	8,3	1,6	Smooth fillet with some Metal pour at FB Keyhole: 19 x 7 depth 57 mm	Oscillation Y 4,56A (15 mm) Z 0,486A (3mm) Frequency Y/Z 100 HZ Power staircase: AS-DOUBLE LADDER 1 Root defects most of them at the start area
154 03-10-04	190	400	318 LHE/8 (30)	160	1,180 1,330	HCC2 SKB2(1)	63	9,4	8,3	1,6	Smooth fillet with some Metal pour at FB Keyhole: 19 x 7 depth 54 mm	Oscillation Y 4,56A (15 mm) Z 0,486A (3mm) Frequency Y/Z 100 HZ Power staircase: AS-DOUBLE LADDER 1 Root defects most of them at the start area and 1 internal defect



Readings from logging at TB-welds according to Excel Plot-Datav2.3twi

21(25)

TB	Date	Y Amplitude set value A	Y Amplitude read value A	Z Amplitude set value A	Z Amplitude read value A	Y/Z Frequency set value HZ	Y/Z Frequency read value HZ	Power staircase pattern No reading-check the oscilloscope
142	2003-09-18	2.08	2.15	0.44	0.26/0.27 <b>Z-fail</b>	350	No reading	Andy trial 25%/25%/25%/25%
143	2003-09-20	2.08	2.64	0.44	0.33	350	No reading	Remix2 with brake 91%/3%-3.75mm/3%-9mm/3%-15mm
144	2003-09-18	2.08	2.15	0.44	0.26/0.27 <b>Z-fail</b>	350	No reading	Remix2 with brake 91%/3%-3.75mm/3%-9mm/3%-15mm
145	2003-09-18	1.39	1.44	0.44	0.26/0.27 <b>Z-fail</b>	350	No reading	Remix2 with brake 91%/3%-3.75mm/3%-9mm/3%-15mm
146	2003-09-18	2.08	2.15	0.44	0.26/0.27 <b>Z-fail</b>	350	No reading	Remix2 with brake 91%/3%-3.75mm/3%-9mm/3%-15mm
147	2003-09-21	1.39	1.77	0.44	0.33	250	No reading	Remix2 with brake 91%/3%-3.75mm/3%-9mm/3%-15mm
148	2003-09-21	2.08	3.11	0.44	0.41	350	No reading	ZigZag 88%/1.5%/3%/3%/3%/1,5%
149	2003-09-21	2.08	2.65	0.44	0.33	350	No reading	Remix2 with brake 91%/3%-3.75mm/3%-9mm/3%-15mm
150	2003-09-21	2.08	2.65	0.44	0.33	350	No reading	Remix2 with brake 91%/3%-3.75mm/3%-9mm/3%-15mm

## Weld record list Testblock XII

22(25)

### Trials for WD = 160 mm and oscillation Cathode: HCC2 SKB3(1)

TB no Date	Acc voltage kV	Beam Current mA	Travel Speed mm/min	Working Distance mm	Focus Q1 Q2 A	Cathode	Weld Depth mm	Top Width mm	Mid Width mm	Tip Radius mm	Surface condition	Comments and Internal quality
155 03-10-09	190	350	251 LHE/7 (20)	160	1,180 1,330	HCC2 SKB3(1)	61 (3,7)	9,6	9,6	2,3	Very smooth fillet  Keyhole: 15 x 7 Depth 59 mm	Oscillation demand Y4.56/Z0.486A logged Y5.9/Z0.34A. Frequency Y/Z 100 HZ Chamber pressure = 0,052 mbar Pattern: Remix 2 with brake 91%/3%-3.75mm/3%-9mm/3%-15mm N3 trip high temp Minor root defects at start ( <i>Good</i> )
156 03-10-09	190	400	318 LHE/8 (30)	160	1,180 1,330	HCC2 SKB3(1)	60 (5,0)	10,5	9,1	2,3	Very smooth fillet  Keyhole: 20 x 6,5 Depth 53 mm	Oscillation demand Y4.56/Z0.486A logged Y5.9/Z0.34A. Frequency Y/Z 100 HZ Pattern: Remix 2 with brake 91%/3%-3.75mm/3%-9mm/3%-15mm No root defects ( <i>Good</i> )
157 03-10-09	190	350	251 LHE/7 (20)	160	1,180 1,330	HCC2 SKB3(1)	61 (4,2)	9,1	9,6	2,3	Very smooth fillet  Keyhole: 20 x 7 Depth 57 mm	Oscillation demand Y4.56/Z0.486A logged Y4.6/Z0.49A. Frequency Y/Z 100 HZ Pattern: AS-3HORZ-DOT-BMT No root defects ( <i>Good</i> )
158 03-10-09	190	400	318 LHE/8 (30)	160	1,180 1,330	HCC2 SKB3(1)	61 (4,9)	10,2	9,6	1,9	Very smooth fillet  Keyhole: 20 x 7 Depth 50 mm	Oscillation demand Y4.56A/Z0.486A logged Y4.6/Z0.49A. Frequency Y/Z 100 HZ Pattern: AS-3HORZ-DOT-BMT 1 subsurface start defect otherwise no defects
159 03-11-14	190	400	318 LHE/8 (30)	160	1,180 1,330	HCC2 SKB3(1)	71 (-)	8.6	9.7	2.1	Very rough  Keyhole: 11 x 6.2 Depth 57 mm	Oscillation do not work properly Frequency Y/Z 100 HZ Pattern: AS-3HORZ-DOT-BMT No subsurface defects

TB no Date	Acc voltage kV	Beam Current mA	Travel Speed mm/min	Working Distance mm	Focus Q1 Q2 A	Cathode	Weld Depth mm	Top Width mm	Mid Width mm	Tip Radius mm	Surface condition	Comments and Internal quality
160 03-11-14	190	400	318 LHE/8 (30)	160	1,180 1,330	HCC2 SKB3(1)	69 (-)	8.6	9.6	2.1	Very rough  Keyhole: 11 x 6.2 Depth 62 mm	Oscillation do not work properly Frequency Y/Z 99 HZ Pattern: AS-3HORZ-DOT-BMT About 10 subsurface defects
161 03-11-18	190	400	318 LHE/8 (30)	160	1,180 1,330	HCC2 SKB3(1)	62 (5.0)	9.1	9.0	1.9	Some roughness  Keyhole: 19 x 5.8 Depth 50 mm	Oscillation Y4.56A (30 mm) Z0.49A (3mm), logged Y4.6/0.5A. Frequency Y/Z 100 HZ Pattern: AS-3HORZ-DOT-BMT 3 minor subsurface defects
162 03-11-28	190	400	318 LHE/8 (30)	160	1,180 1,330	HCC2 SKB3(1)	68 (5.5)	8.1	8.3	1.8	Rather smooth fillet with some spatter and no undercut Keyhole: 11.5 x 6.5 Depth 57 mm	Oscillation Y4.56A (30 mm) Z0.49A (3mm), logged Y4.6/Z0.6A. Frequency Y/Z 100 HZ Pattern: AS-3HORZ-DOT-BMT 3 minor subsurface defects at the weld start and cold shut depth 3.3 mm in the section
163 03-12-05	190	400	318 LHE/8 (30)	160	1,185 1,330	HCC2 SKB3(1)	66 (7.2)	9.1	9.1	1.8	Rather smooth fillet with some spatter and undercut ca 2 mm Keyhole: 21.3 x 7.2 Depth 55 mm	Oscillation Y2.28A (15 mm) Z0.49A (3mm), logged Y2.3/Z0.6A. Frequency Y/Z 100 HZ Pattern: AS-3HORZ-DOT-BMT Minor root defects at the weld start ( <i>Good</i> )
164 03-12-08	190	400	318 LHE/8 (30)	160	1,185 1,330	HCC2 SKB3(1)	66 (7.0)	9.0	9.0	1.5	Rather smooth fillet with some spatter and undercut ca 0,5 mm Keyhole: 19.2 x 6.2 Depth 55 mm	Oscillation Y3A (20 mm) Z0.5A (3mm), logged Y3.0/Z0.6A. Frequency Y/Z 100 HZ Pattern: AS-3HORZ-DOT-BMT Minor root defects at the weld start ( <i>Good</i> )

TB no Date	Acc voltage kV	Beam Current mA	Travel Speed mm/min	Working Distance mm	Focus Q1 Q2 A	Cathode	Weld Depth mm	Top Width mm	Mid Width mm	Tip Radius mm	Surface condition	Comments and Internal quality
165 03-12-08	190	400	318 LHE/8 (30)	160	1,185 1,330	HCC2 SKB3(1)	65 (5.5)	9.5	9.0	1.6	Rather smooth fillet with some spatter and undercut ca 1.0 mm Keyhole: 19 x 6.2 Depth 52 mm	Oscillation Y2.3A (15 mm) Z0.65A (4mm), logged Y2.3/Z0.76A Frequency Y/Z 100 HZ Pattern: AS-3HORZ-DOT-BMT Minor root defects at the weld start ( <i>Good</i> )
166 03-12-08	190	400	318 LHE/8 (30)	160	1,185 1,330	HCC2 SKB3(1)	65 (6.7)	9.8	9.2	1.6	Rather smooth fillet with some spatter and undercut ca 1.5 mm Keyhole: 19 x 6.4 Depth 54 mm	Oscillation Y2.3A (15 mm) Z0.40A (2.5mm), logged Y2.3/Z0.51A Frequency Y/Z 100 HZ Pattern: AS-3HORZ-DOT-BMT Minor root defects at the weld start ( <i>Good</i> )
167 04-01-21	190	400	318 LHE/8 (30)	160	1,185 1,320	HCC2 SKB3(1)	62 (8.3)	10.5	9.1	2.0	Rather smooth fillet with a few spatter and undercut ca 0.5 mm Keyhole: 12 x 5.8 Depth 51 mm	Oscillation Y3.5A (23 mm) Z0.5A (3mm), logged Y3.47/Z0.61A Frequency Y/Z 100 HZ Pattern: AS-3HORZ-DOT-BMT Some small surface/subsurface pores ( <i>Good</i> ) <i>Note: Gun angle 0°</i>
168 04-01-21	190	400	318 LHE/8 (30)	160	1,185 1,330	HCC2 SKB3(1)	60 (8.7)	12.0	9.3	2.4	Rather smooth fillet with a few spatter and undercut ca 0.5 mm Keyhole: 13 x 6 Depth 54 mm	Oscillation Y3.5A (23 mm) Z0.5A (3mm), logged Y3.47/Z0.61A Frequency Y/Z 100 HZ Pattern: AS-3HORZ-DOT-BMT Some small surface/subsurface pores ( <i>Good</i> ) <i>Note: Gun angle 0°</i>
169 04-02-06	190	400	318 LHE/8 (30)	160	1,185 1,340	HCC2 SKB3(1)	64 (7.1)	9.6	9.3	1.3	Rather smooth fillet with some spatter and undercut ca 1.0 mm Keyhole: 14 x 6.1 Depth 48 mm	Oscillation Y3.5A (23 mm) Z0.5A (3mm), logged Y3.46/Z0.58A Frequency Y/Z 100 HZ Pattern: AS-3HORZ-DOT-BMT Some small surface/subsurface pores ( <i>Good</i> )
170 04-02-06	190	400	318 LHE/8 (30)	160	1,185 1,350	HCC2 SKB3(1)	59 (7.8)	10.5	9.7	2.5	Rather smooth fillet with some spatter and undercut ca 1.0 mm Keyhole: 16.5 x 6.5 Depth 29 mm	Oscillation Y3.5A (23 mm) Z0.5A (3mm), logged Y3.46/Z0.57A Frequency Y/Z 100 HZ Pattern: AS-3HORZ-DOT-BMT Some small surface/subsurface pores ( <i>Good</i> )

TB no Date	Acc voltage kV	Beam Current mA	Travel Speed mm/min	Working Distance mm	Focus Q1 Q2 A	Cathode	Weld Depth mm	Top Width mm	Mid Width mm	Tip Radius mm	Surface condition	Comments and Internal quality
171 04-02-06	190	400	318 LHE/8 (30)	160	1,185 1,300	HCC2 SKB3(1)	66 (6.4)	9.2	8.8	1.5	Rather smooth fillet with spatter and undercut ca 1.0 mm Keyhole: 12.5 x 6.0 Depth 58 mm	Oscillation Y3.5A (23 mm) Z0.5A (3mm), logged Y3.45/Z0.57A Frequency Y/Z 100 HZ Pattern: AS-3HORZ-DOT-BMT No defects ( <i>Good</i> )
172 04-02-06	190	400	318 LHE/8 (30)	160	1,185 1,310	HCC2 SKB3(1)	67 (6.8)	9.4	8.3	1.5	Rather smooth fillet with spatter and undercut ca 1.0 mm Keyhole: 12 x 5.8 Depth 47 mm	Oscillation Y3.5A (23 mm) Z0.5A (3mm), logged Y3.44/Z0.56A Frequency Y/Z 100 HZ Pattern: AS-3HORZ-DOT-BMT Some small surface/subsurface pores ( <i>Good</i> )

Note 1: The weld depth is about 8% less with the performed weld trials with oscillation compared with welding without oscillation.

Note 2: The undercut decrease with increasing amplitude (Y). Best value Y=3A (20mm) without cold shut.

Note 3: No undercut at amplitude Y=4.56A (30mm) but risk for cold shut.

Note 4: The spatter seems to be reduced with increasing amplitude (Z). Best value Z=0.65A (4mm).

Note 5: The Radius (R)/Q2 calculated to:

Q2=1.300→R=1.4, Q2=1.310→R=1.5, Q2=1.320→R=1.6, Q2=1.330→R=1.8, Q2=1.340→R=2.1, Q2=1.350→R=2.4mm

Note 6: The weld depth (D)/Q2 at 190kV, 400mA, 318mm/min, 160mm calculated to:

Q2=1.300→D=67, Q2=1.310→D=66, Q2=1.320→D=65, Q2=1.330→D=64, Q2=1.340→D=62, Q2=1.350→D=59mm

**Tryckmätningar i elektronkanon och i svetskammare  
locksvets L001-029**

# Pressure in Gun and Chamber during welding of lids 2004-01-22

Lidweld no	Weld date	Gauge G1 (AM) Gun Valve V1 mbar	Gauge G2 (AO) Gun Upper column mbar	Gauge G3 (AQ) Gun Inner cavity mbar	Gauge G4 (AS) Gun Outer cavity mbar	Gauge G5 (AU) Gun ValveV3 mbar	Gauge G6 (AW) Chamber mbar
L001	99-02-12	$3,2 \times 10^{-3}$	$7,5 \times 10^{-6}$	$4,8 \times 10^{-5}$	$9,5 \times 10^{-4}$	$2,2 \times 10^{-2}$	no reading
L002	99-04-23	$3,2 \times 10^{-3}$	$7,3 \times 10^{-6}$	$4,8 \times 10^{-5}$	$2,1 \times 10^{-3}$	$3,4 \times 10^{-2}$	$2,4 \times 10^{-1}$
L003	99-09-10	$3,6 \times 10^{-3}$	$7,2 \times 10^{-6}$	$5,0 \times 10^{-5}$	$1,6 \times 10^{-3}$	$2,4 \times 10^{-2}$	$2,4 \times 10^{-1}$
L004-1	99-10-06	$3,5 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-5}$	$5,0 \times 10^{-5}$	$1,4 \times 10^{-3}$	$1,9 \times 10^{-2}$	$2,6 \times 10^{-1}$
L004-2	99-10-28	$3,4 \times 10^{-3}$	$8,8 \times 10^{-6}$	$5,0 \times 10^{-5}$	$1,3 \times 10^{-3}$	$1,8 \times 10^{-2}$	$2,5 \times 10^{-1}$
L004-3	99-11-02	$3,5 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-5}$	$4,9 \times 10^{-5}$	$1,2 \times 10^{-3}$	$1,6 \times 10^{-2}$	$2,1 \times 10^{-1}$
L004-4	99-11-02	$3,4 \times 10^{-3}$	$9,1 \times 10^{-6}$	$4,9 \times 10^{-5}$	$1,2 \times 10^{-3}$	$1,6 \times 10^{-2}$	$2,1 \times 10^{-1}$
L004-5	99-11-02	$3,4 \times 10^{-3}$	$9,6 \times 10^{-6}$	$4,9 \times 10^{-5}$	$1,2 \times 10^{-3}$	$1,6 \times 10^{-2}$	$2,1 \times 10^{-1}$
L005-1	00-05-18	$3,0 \times 10^{-3}$	$7,0 \times 10^{-6}$	$5,0 \times 10^{-5}$	$2,0 \times 10^{-3}$	$2,6 \times 10^{-2}$	$2,4 \times 10^{-1}$
L005-2	00-06-08	$4,0 \times 10^{-3}$	$1,8 \times 10^{-5}$	$5,1 \times 10^{-5}$	$2,2 \times 10^{-3}$	$2,8 \times 10^{-2}$	$2,8 \times 10^{-1}$
L005-3	00-06-08	$3,5 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-5}$	$5,2 \times 10^{-5}$	$2,2 \times 10^{-3}$	$2,8 \times 10^{-2}$	$3,2 \times 10^{-1}$
L006	00-08-23	$3,5 \times 10^{-3}$	$1,7 \times 10^{-5}$	$4,3 \times 10^{-5}$	$1,1 \times 10^{-3}$	$1,7 \times 10^{-2}$	$2,4 \times 10^{-1}$
L007-1	00-09-06	$3,5 \times 10^{-3}$	$1,6 \times 10^{-5}$	$4,3 \times 10^{-5}$	$1,1 \times 10^{-3}$	$1,7 \times 10^{-2}$	$2,3 \times 10^{-1}$
L007-2	00-09-15	$3,5 \times 10^{-3}$	$1,6 \times 10^{-5}$	$4,3 \times 10^{-5}$	$9,6 \times 10^{-4}$	$1,4 \times 10^{-2}$	$2,2 \times 10^{-1}$
L008-1	00-09-22	$3,4 \times 10^{-3}$	$1,8 \times 10^{-5}$	$4,3 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-3}$	$1,6 \times 10^{-2}$	$2,3 \times 10^{-1}$
L008-2	00-09-29	$3,8 \times 10^{-3}$	$2,0 \times 10^{-5}$	$4,3 \times 10^{-5}$	$1,1 \times 10^{-3}$	$1,5 \times 10^{-2}$	$2,4 \times 10^{-1}$
L009	00-10-06	$3,4 \times 10^{-3}$	$1,8 \times 10^{-5}$	$4,3 \times 10^{-5}$	$9,8 \times 10^{-4}$	$1,6 \times 10^{-2}$	$2,3 \times 10^{-1}$
L010	00-10-16	$3,4 \times 10^{-3}$	$1,8 \times 10^{-5}$	$4,3 \times 10^{-5}$	$9,8 \times 10^{-4}$	$1,6 \times 10^{-2}$	$2,3 \times 10^{-1}$
L011	00-10-27	$3,3 \times 10^{-3}$	$1,5 \times 10^{-5}$	$4,3 \times 10^{-5}$	$8,9 \times 10^{-4}$	$1,4 \times 10^{-2}$	$2,3 \times 10^{-1}$
L012	00-11-13	$3,4 \times 10^{-3}$	$1,7 \times 10^{-5}$	$4,3 \times 10^{-5}$	$8,8 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^{-2}$	$2,2 \times 10^{-1}$
L013	00-11-29	$3,3 \times 10^{-3}$	$1,7 \times 10^{-5}$	$4,3 \times 10^{-5}$	$1,3 \times 10^{-3}$	$1,9 \times 10^{-2}$	$2,4 \times 10^{-1}$
L014	00-12-18	$5,7 \times 10^{-3}$	$1,5 \times 10^{-5}$	$4,3 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-3}$	$1,7 \times 10^{-2}$	$2,3 \times 10^{-1}$
L015	01-01-26	$6,5 \times 10^{-3}$	$1,5 \times 10^{-5}$	$4,4 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-3}$	$1,7 \times 10^{-2}$	$2,3 \times 10^{-1}$
L016	01-02-02	$6,0 \times 10^{-3}$	$1,5 \times 10^{-5}$	$4,3 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-3}$	$1,8 \times 10^{-2}$	$2,3 \times 10^{-1}$
L017	01-02-09	$6,0 \times 10^{-3}$	$1,7 \times 10^{-5}$	$4,4 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-3}$	$1,6 \times 10^{-2}$	$2,2 \times 10^{-1}$
L018	01-03-13	$6,0 \times 10^{-3}$	$1,5 \times 10^{-5}$	$4,3 \times 10^{-5}$	$9,6 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^{-2}$	$2,2 \times 10^{-1}$
L019	01-05-18	$5,5 \times 10^{-3}$	$1,4 \times 10^{-5}$	$4,3 \times 10^{-5}$	$5,9 \times 10^{-4}$	$1,2 \times 10^{-2}$	$1,7 \times 10^{-1}$
L020	01-06-19	$5,0 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-5}$	$4,3 \times 10^{-5}$	$5,4 \times 10^{-4}$	$1,1 \times 10^{-2}$	$1,8 \times 10^{-1}$
L021	01-08-22	$4,5 \times 10^{-3}$	$1,2 \times 10^{-5}$	$4,4 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^{-2}$	$1,5 \times 10^{-1}$
L022-1	02-02-14	$3,4 \times 10^{-3}$	$5,6 \times 10^{-6}$	$4,4 \times 10^{-5}$	$5,5 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-2}$	$1,4 \times 10^{-1}$
L022-2	02-02-19	$4,0 \times 10^{-3}$	$6,4 \times 10^{-6}$	$4,3 \times 10^{-5}$	$5,3 \times 10^{-5}$	$9,3 \times 10^{-3}$	$1,3 \times 10^{-1}$
L023-1	02-03-27	$4,5 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-5}$	$4,4 \times 10^{-5}$	$1,9 \times 10^{-4}$	$1,3 \times 10^{-2}$	$1,6 \times 10^{-1}$
L023-2	02-04-05	$4,0 \times 10^{-3}$	$1,4 \times 10^{-5}$	$4,4 \times 10^{-5}$	$1,5 \times 10^{-4}$	$1,2 \times 10^{-2}$	$1,7 \times 10^{-1}$
L023-3	02-05-03	$4,0 \times 10^{-3}$	$9,2 \times 10^{-6}$	$4,4 \times 10^{-5}$	$5,1 \times 10^{-5}$	$8,9 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-1}$
L024-1	02-11-21	$4,4 \times 10^{-3}$	$4,5 \times 10^{-6}$	$1,4 \times 10^{-4}$	$3,2 \times 10^{-4}$	$7,7 \times 10^{-3}$	$4,4 \times 10^{-2}$
L024-2	02-12-04	$4,5 \times 10^{-3}$	$9,0 \times 10^{-6}$	$1,4 \times 10^{-4}$	$4,1 \times 10^{-4}$	$8,7 \times 10^{-3}$	$5,6 \times 10^{-2}$
L024-3	02-12-17	$4,8 \times 10^{-3}$	$9,9 \times 10^{-6}$	$9,9 \times 10^{-5}$	$3,0 \times 10^{-4}$	$7,4 \times 10^{-3}$	$4,4 \times 10^{-2}$
L025	03-03-19	$4,4 \times 10^{-3}$	$6,5 \times 10^{-6}$	$1,2 \times 10^{-4}$	$2,3 \times 10^{-4}$	$7,0 \times 10^{-3}$	$4,7 \times 10^{-2}$

Lidweld no	Weld date	Gauge G1 (AM) Gun Valve V1 mbar	Gauge G2 (AO) Gun Upper column mbar	Gauge G3 (AQ) Gun Inner cavity mbar	Gauge G4 (AS) Gun Outer cavity mbar	Gauge G5 (AU) Gun Valve V3 mbar	Gauge G6 (AW) Chamber mbar
L026	03-04-24	$4,4 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-5}$	$1,9 \times 10^{-4}$	$2,7 \times 10^{-4}$	$8,1 \times 10^{-3}$	$5,2 \times 10^{-2}$
L027	03-05-22	$4,4 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-5}$	$1,4 \times 10^{-4}$	$2,1 \times 10^{-4}$	$7,3 \times 10^{-3}$	$4,3 \times 10^{-2}$
L028	03-10-29	$4,5 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-5}$	$2,1 \times 10^{-4}$	$2,0 \times 10^{-4}$	$8,1 \times 10^{-3}$	$4,6 \times 10^{-2}$
L029	03-12-16	$4,5 \times 10^{-3}$	$3,4 \times 10^{-6}$	$5,4 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-3}$	$1,3 \times 10^{-2}$	$5,1 \times 10^{-2}$

- Notes:
- 1) Gauge G6 before welding ( no He ) is  $\approx 0,02 - 0,03$  mbar less
  - 2) Siemens Computer reading is  $\approx 0,04 - 0,06$  mbar less than G6
  - 3) Central Computer reading correspond well to G6



**Parametersättning vid strålingång (beam slope in) och  
strålutgång (beam slope out) locksvets L001-029**

## Beam slope in/ out parametrar 2004-01-15

Objekt	Slope in mA/sek/C°	Q2 A	Slope out mA/sek/C°	Q2 A	Resultat/Anm.
<b>L 001</b> 1999-02-12	7.55 (F453) (5→420mA)/24.6°	1.375	3.53 (F212) 3.83 (F230)/49.6°	1.375→1.503 1.503→1.523	Inre kaviteter i slope in
<b>L 002</b> 1999-04-23	6.26 (F375.7) (5→350mA)/24.6°	1.375	3.13 (F187.8)/50°	1.500	Yttre/inre kaviteter i slope in
<b>L 003</b> 1999-09-10	14.18 (F851) (5→380mA)/12°	1.475	3.65 (F219) 2.88 (F173)/15°	1.475→1.500 1.500	Yttre/inre kaviteter i slope in
<b>L 004</b> 1999-10-28	14.18 (F851) (5→380mA)/12°	1.475	3.40 (F205) (380→5mA)/50°	1.500	Yttre/inre kaviteter i slope in
<b>L 005</b> 2000-05-18	5.22 (F313) (5→350mA)/30°	1.40	3.13 (F188) (380→5mA)/50°	1.400→1.500	UA
<b>L 006</b> 2000-08-23	3.52 (F211) (5→280mA)/30°	1.40	2.42 (F145) (320→5mA)/50°	1.500	Yttre/inre kaviteter i slope in
<b>L 007</b> 2000-09-06	7.55 (F453) (5→420mA)/30°	1.50	5.28 (F317) (440→5mA)/45°	1.550	Inre kaviteter i slope out
<b>L 008</b> 2000-09-22	5.33 (F332) (5→370mA)/30°	1.50	3.35 (F201) (370→5mA)/50°	1.500	Fel lockspalt
<b>L 009</b> 2000-10-06	3.13 (F188) (5→350mA)/50°	1.50	3.13 (F188) (350→5mA)/50°	1.450→1.500	UA
<b>L 010</b> 2000-10-16	3.13 (F188) (5→350mA)/50°	1.50	2.68 (F161) (300→5mA)/50°	1.450→1.500	Yttre/inre kaviteter i slope in
<b>L 011</b> 2000-10-27	3.13 (F188) (5→350mA)/50°	1.50→1.45	2.47 (F148) (275→5mA)/50°	1.450→1.500	UA
<b>L 012</b> 2000-11-13	3.13 (F188) (5→350mA)/50°	1.50→1.425	2.47 (F148) (275→5mA)/50°	1.425→1.500	Yttre kavitet i slope out
<b>L 013</b> 2000-11-29	85.8 (F5150) (5→350mA)/2°	1.415	0.95 (F57) (275→5mA)/130°	1.415	Yttre kavitet i slope out
<b>L 014</b> 2000-12-18	85.8 (F5150) (5→340mA)/2°	1.410	0.95 (F57) (275→5mA)/150°	1.410→1.200	En inre kavitet och linjära rotfel i slope out
<b>L 015</b> 2001-01-26	85.8 (F5150) (5→340mA)/2°	1.410	4.70 (F282) (160→5mA)/15°	1.380	Linjära rotfel före slope out
<b>L 016</b> 2001-02-02	85.8 (F5150) (5→340mA)/2°	1.410	4.70 (F282) (160→5mA)/15°	1.400	Linjära rotfel före slope out
<b>L 017</b> 2001-02-09	85.8 (F5150) (5→340mA)/2°	1.410	4.70 (F282) (160→5mA)/15°	1.500	UA
<b>L 018</b> 2001-03-13	85.8 (F5150) (5→340mA)/2°	1.410	4.70 (F282) (160→5mA)/15°	1.460	UA
<b>L 019</b> 2001-05-18	66.67 (F4000) (5→340mA)/2.3°	1.460	4.70 (F282) (160→5mA)/15°	1.490	UA (Ny katod/filament)
<b>L 020</b> 2001-06-19	66.67 (F4000) (5→345mA)/2.3°	1.470	5.45 (F327) (125→5mA)/10°	1.490	Ytkaviteter

Objekt	Slope in mA/sek/C°	Q2 A	Slope out mA/sek/C°	Q2 A	Resultat
<b>L 021</b> 2001-08-22	66.67 (F4000) (5→345mA)/2.3°	1.470	6.58 (F395) (150→5mA)	1.490	UA
<b>L 022-1</b> 2002-02-14	66.67 (F4000) (5→300mA)/1.6°	1.475	7.62 (F458) (320→5mA)	1.500	UA
<b>L 022-2</b> 2002-02-19	66.67 (F4000) (5→180mA)/1°	1.500	6.35 (F382) (180→5mA)	1.500	Linjära rotfel före och i slope out zonen
<b>L 023-1</b> 2002-03-27	66.67 (F4000) (5→300mA)/1.6°	1.525	5.07 (F304) (200→5mA)	1.525	UA
<b>L 023-2</b> 2002-04-05	66.67 (F4000) (5→200mA)/1.1°	1.525	5.07 (F304) (200→5mA)	1.525	Trip före slope out
<b>L 023-3</b> 2002-05-03	66.67 (F4000) (5→300mA)/1.6°	1.525	7.15 (F429) (300→5mA)	1.525	Trip före slope out
<b>L024-1</b> 2002-11-21	66.67 (F4000) (5→365mA)/2.5°	1.500	5.5 (F330) (365→5mA)	1.425	Två inre kaviteter i slope out
<b>L024-2</b> 2002-12-04	66.67 (F4000) (5→240mA)/1.6°	1.500	5.3 (F320) (240→5mA)	1.425	UA
<b>L024-3</b> 2002-12-17	66.67 (F4000) (5→160mA)/1.1°	1.500	4.7 (F282) (160→5mA)	1.425	UA
<b>L025</b> 2003-03-19	66.67 (F4000) (5→365mA)/2.5°	1.500	16.3 (F981) (365→5mA)	1.500→2.00	Slope in UA Slope out stor ytkrater
<b>L026</b> 2003-04-24	66.67 (F4000) (5→400mA)/2.7°	1.500	15.6 (F933) (400→5mA)	1.500	Slope in UA Slope out uttrinning
<b>L027</b> 2003-05-22	66.67 (F4000) (5→425mA)/4°	1.500	12.1 (F727) (450→5mA)/25°	1.500→1.400	Slope in trip vid 8.6° Slope out UA
<b>L028</b> 2003-10-29	33.33 (F2000) (5→360mA)/5°	1.330	9.8 (F590) (420→5mA)/25°	1.330→1.300	UA/ Anm1
<b>L029</b> 2003-12-16	33.33 (F2000) (5→410mA)/6.7°	1.330	8.8 (F530) (410→5mA)/25°	1.330→1.300	Slope in en inre kavitet Slope out linjära rotfel/ Anm1

Anm1: Katod typ HCC2, WD160mm (var tidigare 125mm) och oscillerande stråle