

R-01-39

Utveckling av tillverkningsteknik för kopparkapslar med gjutna insatser

Lägesrapport i augusti 2001

Claes-Göran Andersson
Svensk Kärnbränslehantering AB

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-01-39

Utveckling av tillverkningsteknik för kopparkapslar med gjutna insatser

Lägesrapport i augusti 2001

Claes-Göran Andersson

Svensk Kärnbränslehantering AB

Sammanfattning

Rapporten innehåller en redovisning av resultaten av utförd provtillverkning av kopparkapslar med gjutna insatser under åren 1998-2001. Arbetet med utprovning av tillverkningsmetoder är inriktat på 50 mm koppertjocklek. Enstaka kapslar med 30 mm kopparkapslar tillverkas på prov i syfte att vinna erfarenhet och att utvärdera tillverknings och kontrollmetoder för sådana kapslar. För tillverkning av kopparrör har SKB koncentrerat verksamheten på sömlösa rör genom extrudering och dornpressning. Fem rör har extruderats och två rör har dornpressats under perioden. Materialprovning har visat att erhållen struktur och mekaniska egenskaper är bra i dessa rör. Vissa problem med måttnoggrannhet har förekommit men trots detta konstateras att båda dessa metoder kan utvecklas till användning vid serietillverkning av SKB:s kopparrör. Ingen ny provtillverkning med rullformning av kopparplåt och längssvetsning har utförts. Denna metod betraktas ändå som utvecklingsbar och som ett alternativ.

Lock och botten i kopparkapslar tillverkas genom smide av stränggjutet utgångsmaterial. De smidda ämnena maskinbearbetas till fastställda mått. Beroende på Kapsellaboratoriets behov av lock för att kunna utveckla tekniken för förslutningssvetsning har ett relativt stort antal smidda ämnen tillverkats. Det konstateras i rapporten att erhållen kornstorlek i lock och botten är betydligt grövre än i tillverkade kopparrör. Ett utvecklingsarbete har påbörjats i syfte att optimera smidesprocessen.

Nio insatser i segiärn har gjutits under treårsperioden. Resultaten av utförd materialprovning av provstycken som tagits på olika ställen utefter insatsernas längd har i flera fall uppvisat en icke acceptabel spridning beträffande hållfasthetsegenskaper och erhållen struktur. I det fortsatta arbetet kommer tillverkningen av insatser att utvecklas både gjuteritekniskt och beträffande järnets sammansättning.

I ett särskilt kapitel i rapporten redovisas utvecklingsarbetet med den alternativa svetsmetoden Friction Stir Welding. I samarbete med TWI har en maskin för fullskalig svetsning av lock eller botten mot kopparrör konstruerats och byggts. Maskinen används nu för optimering av processparametrar och verktyg.

Sju stycken kompletta kapslar i den nuvarande konstruktionen med gjuten insats har hittills satts samman och ytterligare två är under tillverkning. Fem kapslar har hittills deponerats i Äspölaboratoriet, dels i det skååtertagsprojektet och dels i prototypförvaret.

Resultaten i rapporten visar att det finns tillgängliga tillverkningsmetoder för alla delar till kapslar och att dessa metoder sannolikt kan utvecklas och få acceptans för användning i en serieproduktion.

Innehåll

1	Inledning	7
2	Kapseln, aktuell konstruktion och val av material	9
2.1	Allmänt	9
2.2	Kapselns detaljkonstruktion	10
2.3	Identitetsnummer och märkning av komponenter och kapslar	11
2.4	Materialval	12
2.4.1	Material i kopparhöljet	12
2.4.2	Material i insatsen	14
3	Aktuell tillverknings teknik	19
3.1	Tillverkning av kopparrör	19
3.2	Tillverkning av lock och botten i koppar	25
3.3	Svetsning av botten på kopparrör	26
3.4	Tillverkning av gjutna insatser	28
4	Resultat från provtillverkning	33
4.1	Översikt	33
4.2	Tillverkning av kopparrör	34
4.3	Tillverkning av lock och botten i koppar	37
4.4	Tillverkning av gjutna insatser	39
5	Sammanstatta kompletta kapslar	43
6	Utveckling av svetstekniken – Friction Stir Welding	45
6.1	Bakgrund	45
6.2	Utveckling av FSW av koppar	46
6.2.1	Svetsning av kopparplattor	46
6.2.2	Maskin för svetsning av lock eller botten mot kopparrör	48
6.2.3	Resultat av utförda svetsningar	52
6.2.4	Vidareutveckling av metoden. Parkerings utgångshål	55
7	Kvalitetssäkring	57
8	Framtida serieproduktion – Kapselabrik	59
9	Fortsatt arbete	61
10	Referenser	65
Bilaga 1	Ritningar. Kapsel med insats i segjärn för 12 BWR-element	67
Bilaga 2	Teknisk specifikation KTS 001 ”Material for Copper Canisters”	83
Bilaga 3	Teknisk specifikation KTS 011 ”Nodular Cast Iron SS 0717 Insert”	89
Bilaga 4	Teknisk specifikation KTS 021 ”Steel Section Cassette”	93
Bilaga 5	Ritningar. Anpassning av kopparrör och botten för EB-svetsning	97
Bilaga 6	Innehåll i Kvalitetshandbok-Kapseltillverkning och förteckning över rutinbeskrivningar	101
Bilaga 7	Planering av kapselabrik	105

1 Inledning

För att vidareutveckla tillverkningstekniken för kopparkapslar och gjutna insatser har under de senaste åren fortsatta tillverkningsprov utförts i full skala enligt det program som beskrevs i FUD 98 [1]. I en tidigare rapport [4], redovisades erhållna resultat fram till augusti 1998.

Provtillverkning i full skala ger erfarenheter av olika tillverkningsmetoder och möjlighet att finna och optimera den lämpligaste tillverkningstekniken. Arbetet bedrivs av nödvändighet i nära samarbete med tillgängliga leverantörer men även med forskningsinstitut, högskolor och universitet. Detta ger möjlighet att knyta långsiktiga kontakter och att finna de bästa leverantörerna av ämnesmaterial och teknik. De forskningsprojekt som bedrivs vid institut, högskolor och universitet medför fördjupad kunskap om och förståelse av de faktorer som påverkar och är avgörande för resultatet av en tillverkningsprocess. Vissa av de tillverkningsmetoder som är aktuella för kapselkomponenter, t ex tillverkning av kopparrör och svetsning av koppar har krävt ett utvecklingsarbete från grunden och i frontlinjen av aktuellt teknikområde. Detta har medfört att SKB i vissa avseenden erhållit ett unikt kunnande och även ensamrätt till viss teknik.

I samband med pågående provtillverkning tillämpas och vidareutvecklas kvalitetssystemet för kapseltillverkning. Detta är avsett att täcka hela kedjan från materialleverantörer till leverans av färdiga kapslar. Kvalitetssystemet är en del av SKB:s certifierade kvalitetssystem enligt ISO 9001 och ISO 14001.

Vid en framtida kapseltillverkning för en inkapslingsanläggning skall kompletta kapslar tillverkas i en speciellt utformad fabrik. Efter godkända kontroller skall kapslarna levereras till inkapslingsanläggningen. Provtillverkning i full skala ger erfarenheter som tas tillvara i arbetet med att utforma denna fabrik.

Avsikten med denna rapport har varit att sammanställa resultat och slutsatser av utförd provtillverkning och teknikutveckling med avseende på kapseltillverkning under den senaste treårsperioden fram till och med augusti 2001. Rapporten innehåller även planerna för fortsatt arbete.

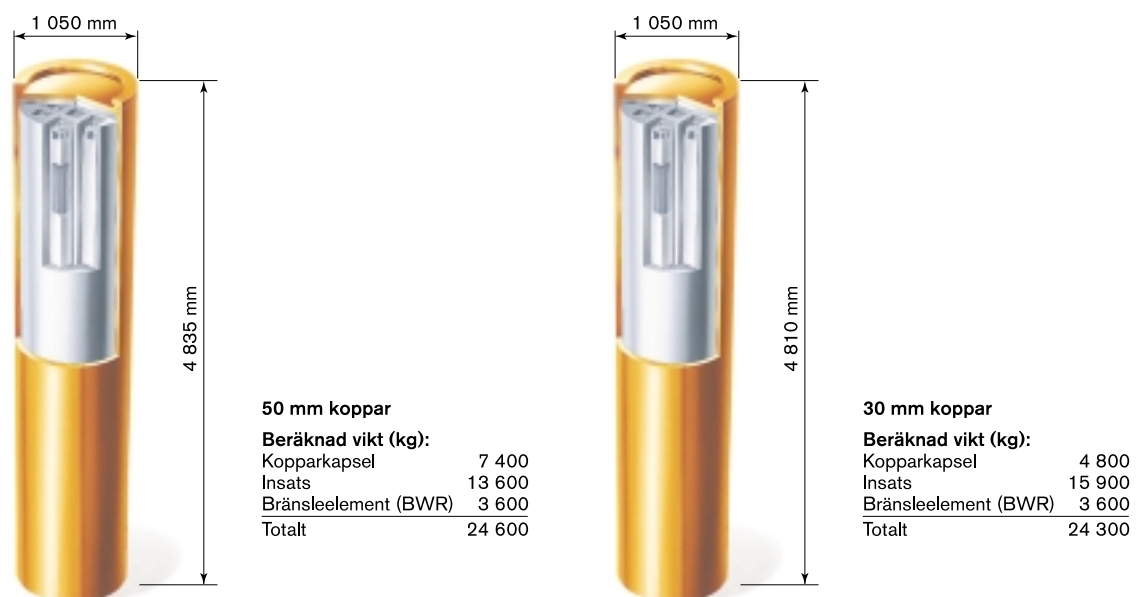
2 Kapseln, aktuell konstruktion och val av material

2.1 Allmänt

I sin principiella utformning, se figur 2-1, består kapseln av en inre behållare av gjutjärn och ett hölje av koppar. Den inre behållaren, insatsen, är konstruerad för att stå emot det tryck som kapseln kommer att utsättas för i djupförvaret medan kopparhöljet ger skydd mot korrosion i förvarsmiljön.

Insatsen kan gjutas i ett stycke med botten. Den innehåller kanaler för bränsleelementen och har ett separat lock av stål som är avsett att skruvas fast. Kopparhöljet är utformat som ett rör med lock och botten. Såväl lock som botten är konstruerade för att svetsas på kopparröret.

I SKB:s referenskapsel är kopparhöljets tjocklek satt till 50 mm. I FUD 98 [1] och i [5] redovisar SKB ståndpunkten att en sammanvägning av kraven på korrosionsbeständighet och övriga konstruktionsförutsättningar innebär att 30 mm tjocklek på kopparhöljet är tillräckligt. Arbetet med utprovning av tillverkningsmetoder och optimering av kapselns detaljutformning är inriktat på 50 mm koppertjocklek. Kapslar med 30 mm vägg tjocklek tillverkas på prov i syfte att vinna erfarenhet och att utvärdera tillverknings- och kontrollmetoder för sådana kapslar. Denna kunskap kommer att utgöra ett underlag för ett eventuellt senare beslut om ändrad vägg tjocklek. Den utvändiga diametern på kopparkapseln är densamma för såväl 30 som 50 mm koppertjocklek. Med 30 mm koppar kommer därigenom insatsen att få en större diameter (40 mm) och kopparrörets innerdiameter ökar lika mycket. Eftersom kopparlock och -botten också blir tunnare kommer däremot kapselns längd att bli något mindre.

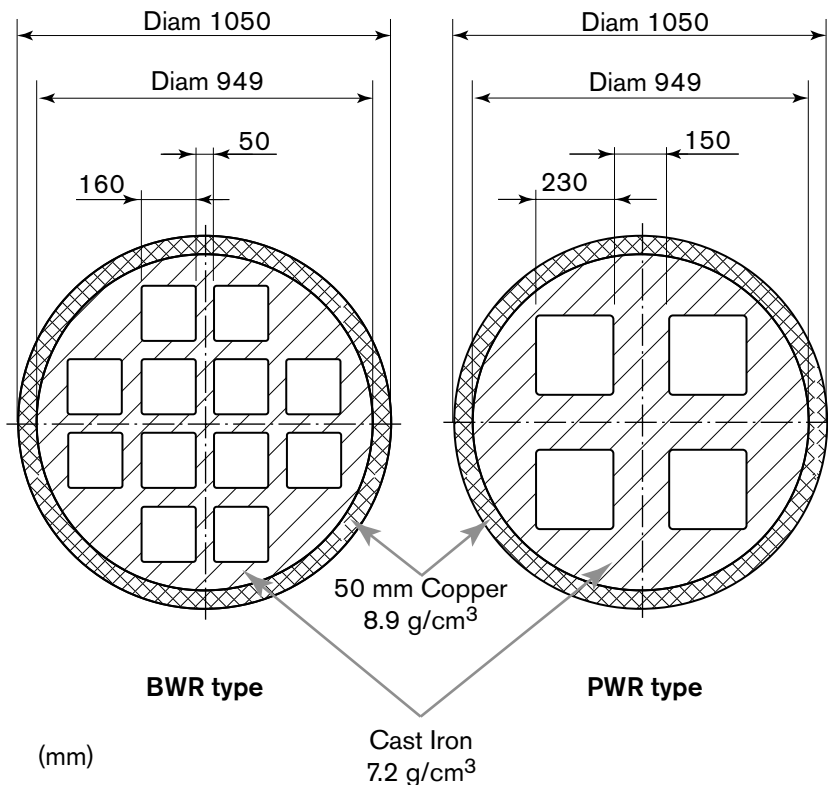


Figur 2-1. Mått och viktangivelser för kapsel med 50 mm och 30 mm vägg tjocklek.

Den gjutna insatsen är konstruerad i två olika varianter, endera för att innehålla 12 st BWR-element eller också 4 st PWR-element, figur 2-2. Eftersom insatsernas utvändiga mått, längd och diameter är lika behövs endast en utformning av kopparhöljet dvs endera för 50 mm koppar eller för 30 mm koppar.

2.2 Kapselns detaljkonstruktion

För de olika tillverkningsproven har ett system av detaljritningar producerats. Ritningarna revideras efter hand vid behov. Hanteringen av ritningar och ritningsändringar sker enligt rutiner som ingår i kvalitetssystemet för kapseltillverkning. Kompletta serier av ritningar finns för alla aktuella kapselvarianter dvs kapslar med 50 mm respektive 30 mm koppar och med insatser endera för BWR-element eller PWR-element. Som exempel visas i bilaga 1 (14 sidor), en aktuell ritningsuppsättning för en kapsel med 50 mm koppar och en insats för BWR-element. Ritningsträdet på sidan 66 i bilagan visar systemets uppbyggnad, hur ritningarna bygger på varandra och bildar tillverkningskedjan för kapslar. Principen är att ämnesritningar är underst i hierarkin och att graden av färdigbearbetning och sammansättning ökar uppåt i trädet. I det nedre högra hörnet på varje ritning finns detaljinformation med bl a ritningsnummer och revisionsnummer.



Figur 2-2. Figuren visar den principiella utformningen av insatser för 12 BWR-element eller 4 PWR-element för kapslar med 50 mm kopparhölje.

En motsvarande ritningsuppsättning fanns i den tidigare rapporten från 1998, [4]. Några kommentarer kan göras beträffande utvecklingen av kapselns detaljkonstruktion under de tre senaste åren:

- Ritningar på kopparrör som tillverkas heldragna, dvs utan längsgående svetsning har utvecklats. Se bilaga 1, sid 70. (Ritning 00004-111, rev C). I jämförelse med kopparrör som tillverkas genom rullformning av rörhalvor som svetsas samman kräver heldragna kopparrör något större arbetsmån för färdigbearbetning. (Jämför med Bilaga 1, sidorna 5 och 6 i referens [4]).
- Bilaga 1, sid 72 i denna rapport visar utformningen av ett smitt och grovbearbetat ämne för lock eller botten. Denna ämnesritning har tagits fram för att samma ämne skall kunna användas för färdigtillverkning av både lock och bottnar.
- Utformningen av stållocket till insatser har ändrats. Den aktuella konstruktionen framgår av bilaga 1, sid 76 och 77. Stållocket är nu koniskt med dubbla O-ringar i spår på den koniska ytan. (Jämför med bilaga 1, sid 10 och 11 i referens [4]). Ändringen motiveras av att locket blir lättare att placera tättslutande i infattningen på insatsen.

2.3 Identitetsnummer och märkning av komponenter och kapslar

I den tidigare lägesrapporten från augusti 1998 beskrevs principen för det löpnummer-system för identifiering av kapselkomponenter och kompletta kapslar som då hade börjat tillämpas. Alla tillverkade komponenter får för identifikation och spårbarhet ett unikt löpnummer enligt följande princip:

Komponent	Identitetsnummer
Kopparrör	T 1, T 2, T 3 etc
Ämnen för lock eller botten i koppar	TX 1, TX 2, TX 3 etc
Bottnar till kopparrör	TB 1, TB 2, TB 3 etc
Lock till kopparrör	TL 1, TL 2, TL 3 etc
Insatser för BWR-element	I 1, I 2, I 3 etc
Insatser för PWR-element	IP 1, IP 2, IP 3 etc
Lock till insatser	IL 1, IL 2, IL 3 etc
Kompletta kapslar	C 1, C 2, C 3 etc

För denna märkning finns en speciell rutin som tillhör kvalitetssystemet för kapseltillverkning. Kvalitetssystemet diskuteras i sin helhet i kapitel 7. Löpnumren stämplas in mekaniskt i ytan på detaljen och på plats som anges på varje ritning. Se t ex "Note 2" på ritningen, sidan 73 i bilaga 1. SKB anger i samband med varje beställning vilka identitetsnummer som skall användas. Platserna för märkningen har valts så att vid samman-sättning av en komplett kapsel kommer identitetsnumren på alla kapseldelar att döljas invändigt i kapseln. Den kompletta kapselns ID-nummer C XX finns på lockets ovansida enligt ritningen, sidan 67 i bilaga 1 och detta är den enda märkning som finns på kapselns utsida.

2.4 Materialval

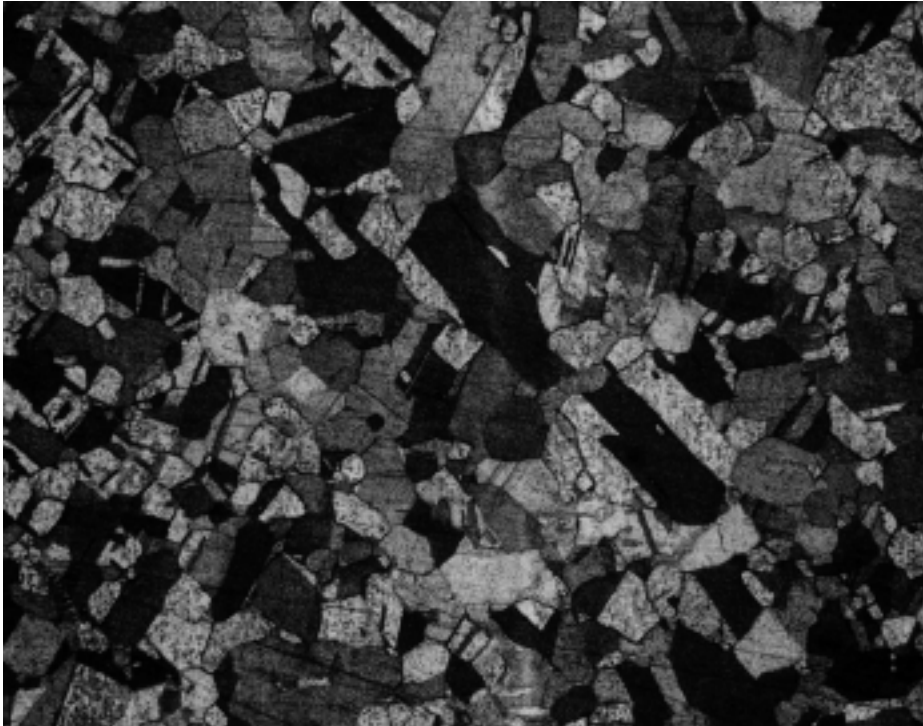
2.4.1 Material i kopparhöljet

För att uppfylla kravet på kemisk beständighet i den miljö som råder i djupförvaret har koppar valts som barriär mot korrosion. Koppar bedöms dels ha den livslängd som erfordras, dels ha minimal påverkan på övriga barriärer i djupförvaret. De tekniska övertaganden och tester av egenskaper som lett fram till valet av kopparkvalitet har ingående beskrivits i referens [5]. Med denna bakgrund har SKB sammanställt en teknisk specifikation med krav på kopparmaterialet, se bilaga 2 som innehåller den aktuella specifikationen (KTS 001, revision 2). Det grundläggande kravet på korrosionsbeständighet har lett till att ren syrefri koppar skall användas. SKB:s övriga speciella krav på materialet har medfört att någon direkt motsvarighet i svensk eller internationell standard ej finns. Som framgår av bilaga 2 skall materialet enligt KTS 001 uppfylla kraven enligt standarderna ASTM UNS C10100 (Cu-OFE) eller EN133/63: 1994 Cu-OF1 men med tilläggskraven: O<5 ppm, P 40–60 ppm, H<0,6 ppm, S<8 ppm samt att kornstorleken i smidda ämnen för lock och bottenar, i valsad plåt för rörtillverkning och i heldragna rör skall vara mindre än 360 µm. Bakgrunden till de delvis skärpta kraven jämfört med internationell standard kan sammanfattas enligt följande:

- Av tillverkningstekniska skäl måste det finnas ett visst spel på någon mm mellan insatsen och kopparhöljet. Detta innebär att kopparhöljet kommer att deformeras plastiskt upp till 4 % i djupförvaret. I huvudsak sker deformationen genom krypning. Materialet måste ha en duktilitet som klarar detta med god marginal. Element som väte och svavel har en negativ inverkan och måste reduceras till låga halter. Fosfor har visat sig ha en gynnsam effekt på krypduktiliteten och specificeras därför i KTS 001 till halter mellan 40–60 ppm.
- Materialet skall kunna svetsas med elektronstrålesvetsning. Syrehalten har här en negativ inverkan och måste ligga på en låg nivå.
- Ett material med stor eller ojämn kornstorlek är ogynnsamt för materialets egenskaper och medför också svårigheter vid ultraljudprovning. Tillåten kornstorlek i kopparhöljet har därför satts till högst 360 µm. (Medelkornstorlek enligt ASTM E112-95).

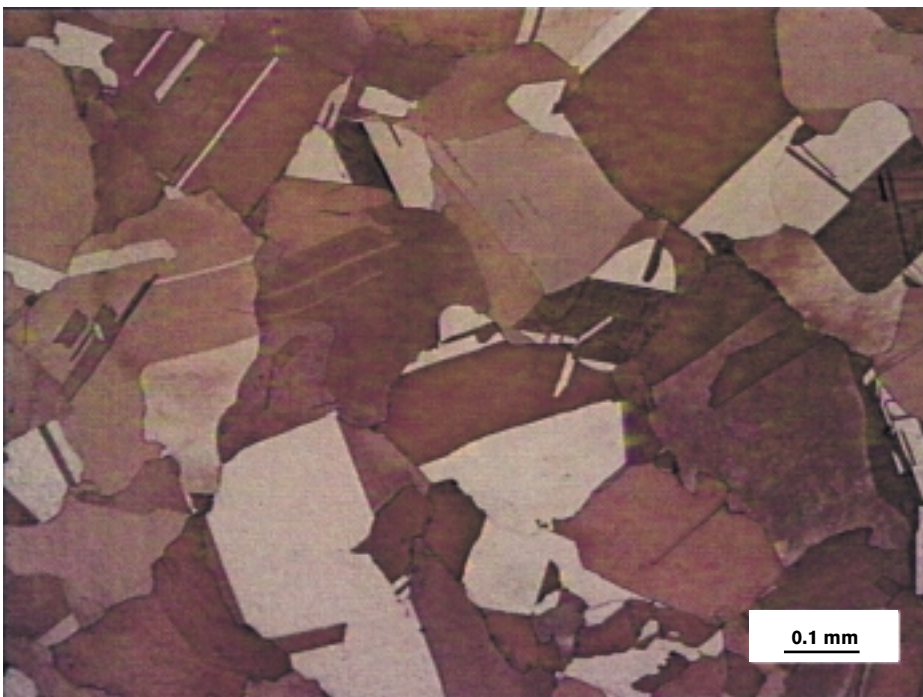
I figur 2-3 visas strukturbilder från två olika tillverkade komponenter som erhållit olika grov kornstorlek.

Förutom rena materialkrav innehåller även KTS 001 krav på teknisk dokumentation vid tillverkning av kapselkomponenter i koppar och vissa leveransbestämmelser.



Figur 2-3A.

100x



Figur 2-3B.

100x

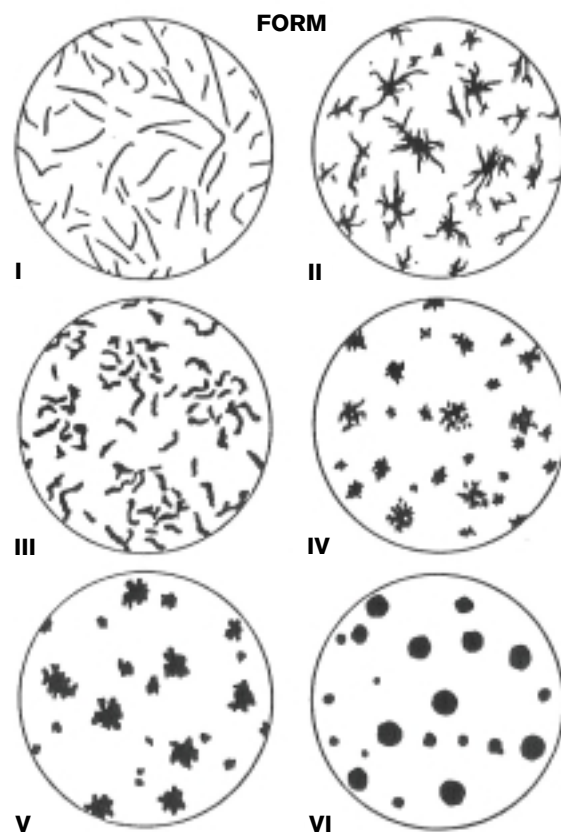
Figur 2-3A–B. Strukturen i två tillverkade kopparkomponenter med olika kornstorlek. Foto A är en bild av strukturen i rör T 23, tillverkat genom extrudering. Medelkornstorleken i denna del av röret är ca 60 μm . Som jämförelse visas i B strukturen i ett smitt ämne för lock eller botten nr TX 38. Kornstorleken i detta fall har bestämts till ca 300 μm . Båda komponenterna uppfyller det satta kravet på kornstorlek.

2.4.2 Material i insatsen

I den aktuella kapselutformningen är insatserna för både BWR-element och PWR-element konstruerade för att tillverkas genom gjutning. Kapselinsatsen är den tryckbärande komponenten i kapseln och skall uppfylla de krav på hållfasthet som följer av detta. Material som diskuterats och även provats i olika omfattning är brons, gjutstål och gjutjärn. Det exakta valet av gjutlegering beror dessutom av gjuttekniska aspekter samt att materialet skall kunna maskinbearbetas på ett rationellt sätt till gällande ritningskrav. Exempel på gjuttekniska aspekter är att insatserna skall kunna gjas så att man får en tillräckligt homogen och defektfri struktur i hela volymen och att kanalerna för bränsleelementen ej blir deformerade på ett oacceptabelt sätt.

Utvecklingen av material i insatser fram till användning av gjutjärn beskrivs i referens [4]. Från och med insats nr I 7 har samma sorts gjutjärn använts i alla tillverkade insatser. Den senast tillverkade har nr I 23. Fortfarande har endast en insats för PWR-element, IP 1, gjutits.

Gjutjärn är den gemensamma benämningen på järn-kollegeringar med mer än cirka 2 viktsprocent kol. De tekniskt använda gjutjärnen har vanligen kolhalter i intervallet 2,5–4,0 %. För en grupp av gjutjärn gäller att kol som inte binds på annat sätt skiljs ut som fri grafit då det smälta järnet svalnar och stelnar. Grafiten kan uppträda i olika form och det är den fria grafits form som ger olika typer av grafitiska gjutjärn. Dessa typer har standardiserats och visas i figur 2-4, som är hämtad ur EN-ISO 945.



Figur 2-4. Grafitform i gjutjärn enligt EN-ISO 945. I segjärn är den dominerande grafitformen nr VI. (Nodulär grafit).

Järn med grafitform I, brukar kallas för gråjärn. Gråjärn är den mest tillverkade gjutmetallen och används i många olika sammanhang. Segjärn med grafitform VI produceras också i stora volymer. Komponenter av samma eller större storlek än SKB:s insats produceras i många gjuterier i både gråjärn och segjärn. Andra, i mindre utsträckning, förekommande järn är aducerjärn med grafitform V och kompaktgrafitjärn i huvudsak med grafitform III. Inget av dessa har bedömts vara aktuella som material i kapselinsatsen.

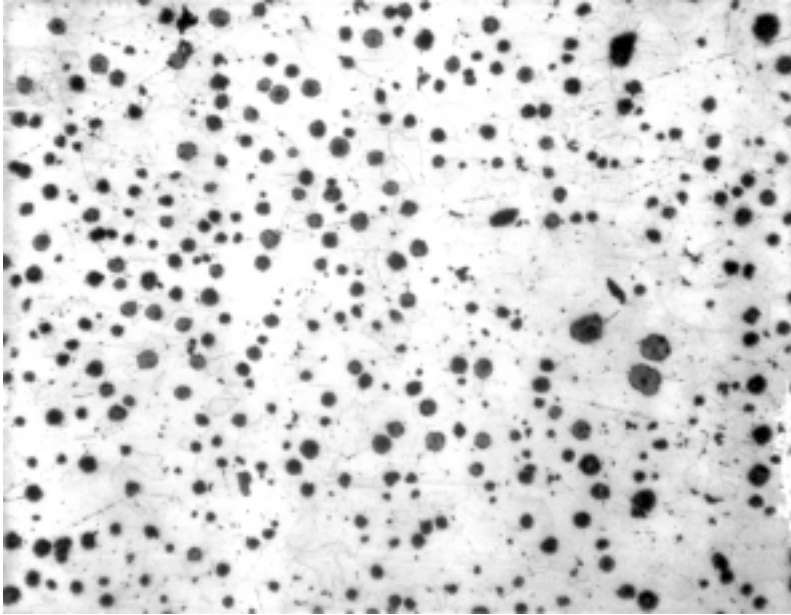
Grafitens form har stort inflytande på materialets egenskaper. I gråjärn verkar den fjällformade grafiten som brottanvisningar inuti materialet och gråjärn är därför i allmänhet ett sprött material. Segjärn har betydligt högre hållfasthet och seghet än gråjärn eftersom grafiten uppträder i kulform (nodulär grafit). Krav på ett starkt och segt gjutjärn har gett segjärn stor användning i många konstruktioner främst inom transportmedelsindustrin. Dessa hållfasthetsegenskaper samt att segjärn har goda gjutegenskaper och är lätt att maskinbearbeta har gjort att **segjärn blivit SKB:s förstahandsval för gjutna insatser.**

Grafitens nodulära form i segjärn erhålles genom tillsats av små mängder av magnesium till smältan. Förutom formen påverkas grafitpartiklarnas storlek och fördelning genom tillsats av skympmedel (i regel ferrokisel) samt av gjuttemperatur och svalningsbetingelser. Även nodulernas storlek och fördelning påverkar segjärnets egenskaper.

Utöver kol innehåller gjutjärnen dessutom alltid kisel, mangan, fosfor och svavel. För kisel, mangan och fosfor gäller att de även kan användas i olika halter som legeringsämnen för att styra egenskaperna. Även andra legeringselement som koppar, nickel, molybden och krom är vanliga som tillsatser för att styra egenskaperna och öka hållfastheten hos järnet.

Ett antal segjärn finns standardiserade i SS-EN 1563. Standarden ställer inga krav på den kemiska sammansättningen. Däremot anges att grafitformen i huvudsak skall motsvara form V och VI och specificerade krav finns på de mekaniska egenskaperna. För att uppnå de höga krav på seghet som ställs på segjärn krävs att grafiten ligger i form av noder i grundmassan. Figur 2-5 visar strukturen i ett prov från insats nr I 16 med en jämn fördelning av grafitnoder.

De mekaniska egenskaperna testas genom dragprovning med provstavar som när det gäller gjutgods kan tas ut på principiellt olika sätt. Vi skall i detta sammanhang skilja på vidgjutna provstavar och på provstavar som tillverkats direkt från en del av den gjutna detaljen. Av dessa bör de sistnämnda bäst motsvara egenskaperna i den färdiga komponenten. Vidgjutna provstavar åstadkommes vid formsättningen med anpassade håligheter i formväggen som ger en provkropp direkt sammanhängande med gjutgodset. Se figur 2-6 som visar principen för detta vid tillverkning av SKB:s insatser. De vidgjutna provkropparna stelnar och svalnar tillsammans med insatsen och bör därför få en struktur och därmed egenskaper som motsvarar godset i insatsen. De vidgjutna provkropparna kan sågas bort från insatsväggen utan att insatsen skadas. För att kunna kartlägga egenskaperna i ett tvärsnitt genom insatsen har ett antal insatser gjutits med extra längd för att tillåta att en skiva (200 mm) kan kapas från insatsens topp men att en insats med full längd ändå kan erhållas. Detta finns också markerat i figur 2-6.



Figur 2-5. Struktur i insats I 16. Vidgjuten provstav nära insatsens botten.(100x).



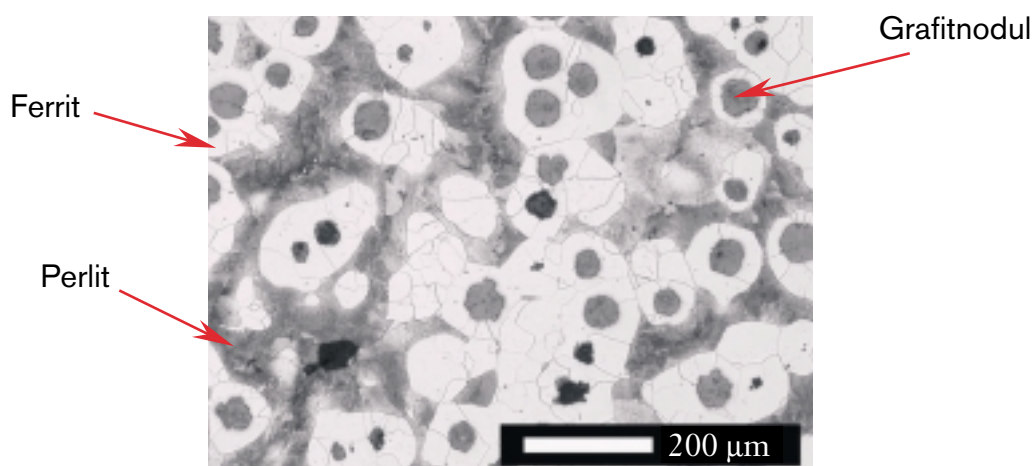
Figur 2-6. Vidgjutna provkroppar nära insatsens botten, mitt och topp. Insatsens extra längd tillåter även att en skiva med höjden 200 mm kan kapas från toppdelen av insatsen.

Egenskaperna i gjutgods beror av godsets dimensioner och kan i stora detaljer variera i olika delar av komponenten. Standarden SS-EN 1563 säger också att en köpare av gjutgods och en leverantör beroende på produkt kan avtala om var provkroppar skall tas ut, vilka egenskaper som skall bestämmas och vilka värden som skall uppfyllas. För tillverkning av gjutna insatser har SKB tagit fram en teknisk specifikation KTS 011, bilaga 3. Kraven på materialet enligt denna specifikation motsvarar segjärn enligt svensk standard SS 140717-00, revision 4, 1981. I den nyare mer aktuella standarden SS-EN 1563 motsvaras detta av EN-GJS-400-15U. I tabell 2-1 finns en jämförelse av kraven på detta material samt ett segjärn med något högre hållfasthet (EN-GJS-500-7U).

Som framgår av tabellen beror egenskaperna av gjutgodsets dimensioner. De relativt stora godsanhopningarna i insatserna har gjort att SKB hittills valt värdena för dimensionen 60–200 mm som rimliga riktvärden. Hållfasthetsberäkningar som för närvarande pågår med avseende på insatsen kommer att leda till att mer exakta hållfasthetskrav på vidgjutna provstavar och/eller provstavar tagna ur själva insatsen kommer att kunna fastställas. Om det visar sig nödvändigt kan ett segjärn med högre hållfasthet EN-GJS-500-7U vara ett alternativ. Detta erhålles genom legering så att en ferrit-perlitisk grundmassa erhålles. Grundmassan i EN-GJS-400-15U är enbart ferritisk. Den mjuka ferriten ger detta järn den högre segheten. Som jämförelse med figur 2-5 visar figur 2-7 den ferrit-perlitiska strukturen i segjärn EN-GJS-500-7U.

Tabell 2-1. Material för insatser. Vidgjutna provstavar.

Material-beteckning	Relevant godstjocklek (mm)	Sträckgräns $R_{p0,2}$ (Mpa) min.	Brottgräns R_m (Mpa) min.	Förlängning A (%) min.
EN-GJS-400-15U	$T \leq 30$	250	400	15
(Motsvarar SS 140717-00)	$30 < T \leq 60$	250	390	14
	$60 < T \leq 200$	240	370	11
EN-GJS-500-7U	$60 < T \leq 200$	290	420	5
(Motsvarar SS 140727-02)				



Figur 2-7. Ferrit-perlitiskt segjärn EN-GJS-500-7U. Strukturen består av grafitnoduler, ferrit (vit) och perlit (grå). Jämför med figur 2-5 där hela den vita grundmassan består av ferrit. (Svensk Material- & Mekanstandard, SMS).

3 Aktuell tillverkningsteknik

3.1 Tillverkning av kopparrör

I den tidigare lägesrapporten från augusti 1998, referens [4], finns en relativt grundlig redovisning av tänkbara metoder för tillverkning av kapselns olika delar. För tillverkning av kopparrör har SKB koncentrerat verksamheten på de tre alternativen rullformning av kopparplåt till rörhalvor som svetsas samman eller tillverkning av heldragna rör genom extrudering eller dornpressning. Alla dessa tre metoder är sedan länge etablerade i industriell tillverkning av stålrör i dimensioner som motsvarar SKB:s kapselrör. Någon väsentlig erfarenhet av tillverkning i koppar med dessa metoder fanns dock inte när SKB påbörjade utvecklingen av tillverkningstekniken för kapslarna 1994–1995. Fram till augusti 2001 har totalt 26 kopparrör tillverkats, 13 st genom rullformning och längssvetsning, 10 st genom extrudering och 3 st genom dornpressning. Med alla dessa metoder erhålles ett rörämne som måste maskinbearbetas både in- och utvändigt samt på ändytorna till avsedda färdigmått. Aktuella ritningskrav före och efter bearbetning framgår av bilaga 1 sid 70.

SKI var i sin bedömning av FUD-program 98 kritisk till tillverkning av kopparrör genom rullformning och längssvetsning. SKI ifrågasatte metoden både vad gäller erhållen kornstorlek i de valsade kopparplåtarna och kvaliteten i de långsgående svetsfogarna. SKI var däremot positiv till uppnådda resultat vid provtillverkning med extrudering och dornpressning och menade att SKB borde fortsätta att utveckla dessa metoder.

Rullformning och längssvetsning kan dock sannolikt utvecklas till en fungerande tillverkningsmetod för kopparrör. Sammanlagt har 13 st kopparrör i full storlek tillverkats på detta sätt. För tolv av dessa bestod utgångsmaterialet av 60 eller 65 mm tjocka plåtar avsedda för 50 mm väggdjocklek i färdigbearbetade rör. Svetsningen av alla rören utfördes i TWI:s högvakuumsammare. (TWI står för "The Welding Institute" som ligger i närheten av Cambridge i England). Antalet utförda svetsningar har dock varit långt ifrån tillräckligt för att metoden ska anses färdigutprovad. Med oförstörande provning upptäcktes såväl porositeter som ytliga defekter i svetsfogarna. Samtidigt kan man dock konstatera att svetstekniken efter hand kunde förbättras avsevärt och att resultatet av de senast utförda svetsarna var klart bättre än de tidigare. TWI har också gjort den bedömningen att svetsning i en anpassad svetskammare med reducerat lufttryck i stället för högvakuumsammare kommer att göra det lättare att uppnå en fullgod kvalitet hos svetsfogarna. Det kunde också konstateras att längssvetsning av ett enstaka rör med tunnare väggdjocklek (40 mm, avsett för 30 mm färdigmått) varit enklare och gett ett bättre resultat än de mer tjockväggiga rören. En eventuell framtida inriktning på 30 mm väggdjocklek i färdiga rör kan vara gynnsam för tillämpningen av rullformning och längssvetsning vid rörtillverkning. Den alternativa uppriggningen med svetsning vertikalt ned mot arbetsstycket som beskrivs i avsnitt 3.3 nedan i samband med svetsning av botten på kopparrör kan tillämpas även vid längssvetsning och ge en ytterligare förbättring. Utvecklingen av friction stir welding (FSW), se kapitel 6 i denna rapport, kan också innebära tillgång till en alternativ metod för längssvetsning av kopparrör.

Erfarenheterna av de båda metoderna för sömlös rörtillverkning har dock medfört att alla rör som tillverkats efter 1998 har gjorts med endera extrudering eller dornpressning. Vid båda metoderna utgår man från ett homogent cylindriskt koppargöt, se figur 3-1A.

Figur 3-1B visar en kapad skiva tvärs ett sådant göt som etsats så att den i ett sådant här göt typiska grova kristallstrukturen framträder.

Både vid extrudering och dornpressning måste deformationsgraden av materialet vara tillräcklig och temperaturen anpassad för att resultera i ett material med en kornstorlek som uppfyller ställda krav. Tio rör har alltså tillverkats genom **extrudering**. Samtliga har tillverkats vid Wyman Gordon Ltd i Skottland. Metoden har även beskrivits i den föregående rapporten [4]. Wyman Gordon Ltd, med anläggningar förutom i Skottland även i USA, är såvitt känt av SKB det enda företaget som har pressar av tillräcklig storlek (30 000 tons presskraft) för att kunna extrudera rör i aktuell storlek.



Figur 3-1A.

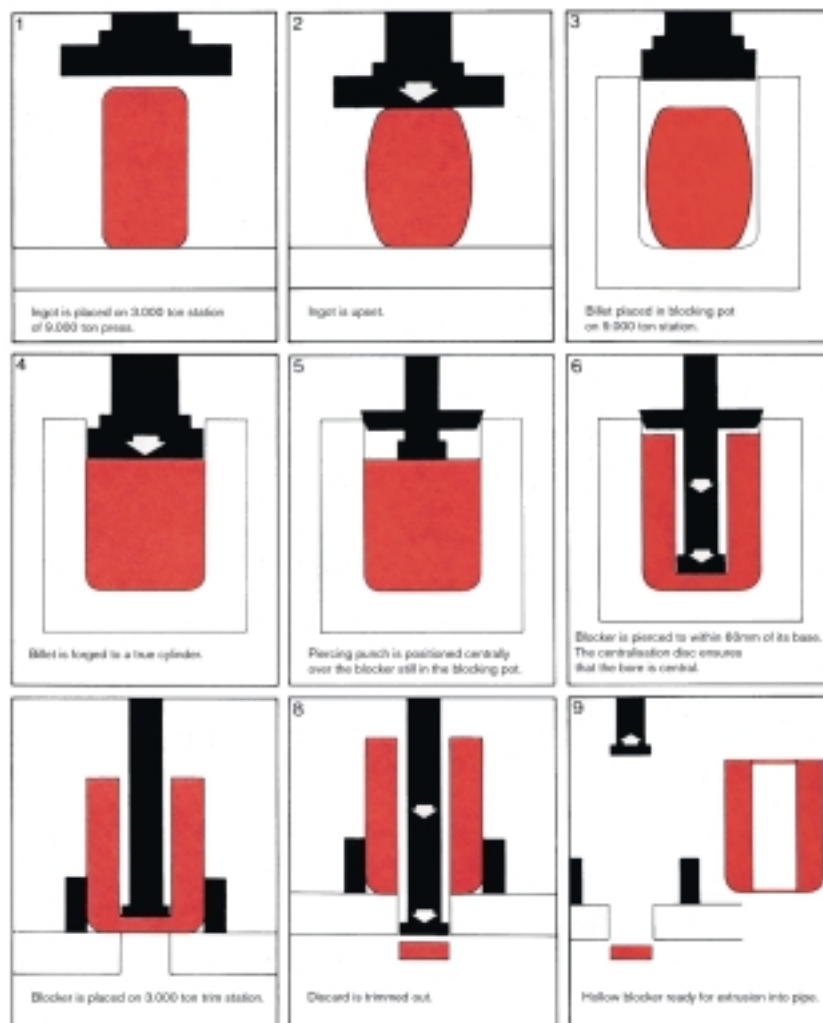


Figur 3-1B.

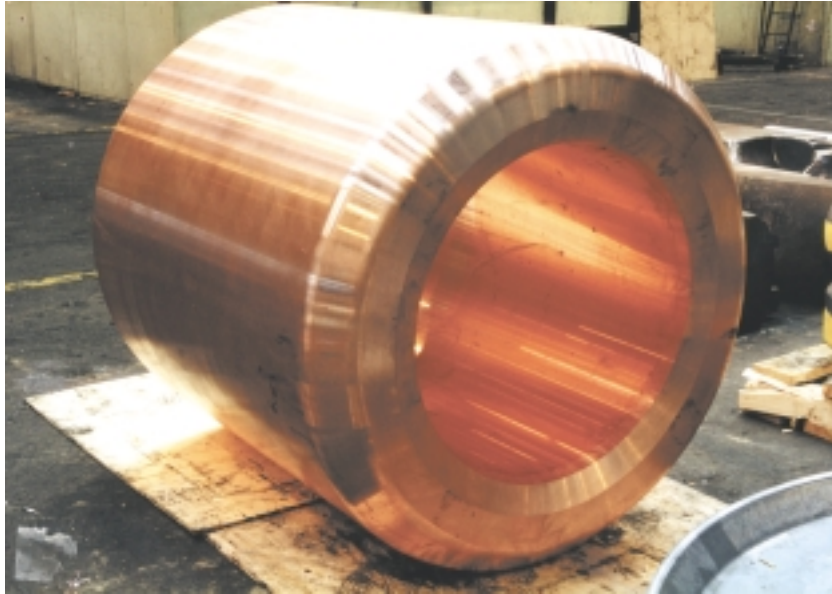
Figur 3-1A–B. Koppargöt för extrudering eller dornpressning. Götet i foto A har en diameter på ca 840 mm och en längd på ca 2,3 m och vikten är 12–13 ton. Foto B visar den grova kristallstrukturen i ett göt av samma storlek.

Götet värms och placeras stående i en mindre press där det trycks samman (stukas) till en kortare längd och en större diameter, figur 3-2. Med en dorn görs sedan ett hål rakt igenom centrum. Man får alltså ett förhållandevis kort rörformat ämne enligt figur 3-3. Denna hålade cylinder placeras sedan i extrusionspressen och extruderas i ett steg till slutlig dimension enligt principen i figur 3-4. Figur 3-5 visar tre extruderade men ej färdigbearbetade rör. Två av dessa är gjorda för en vägg tjocklek med 50 mm färdigmått och ett rör för 30 mm färdigmått.

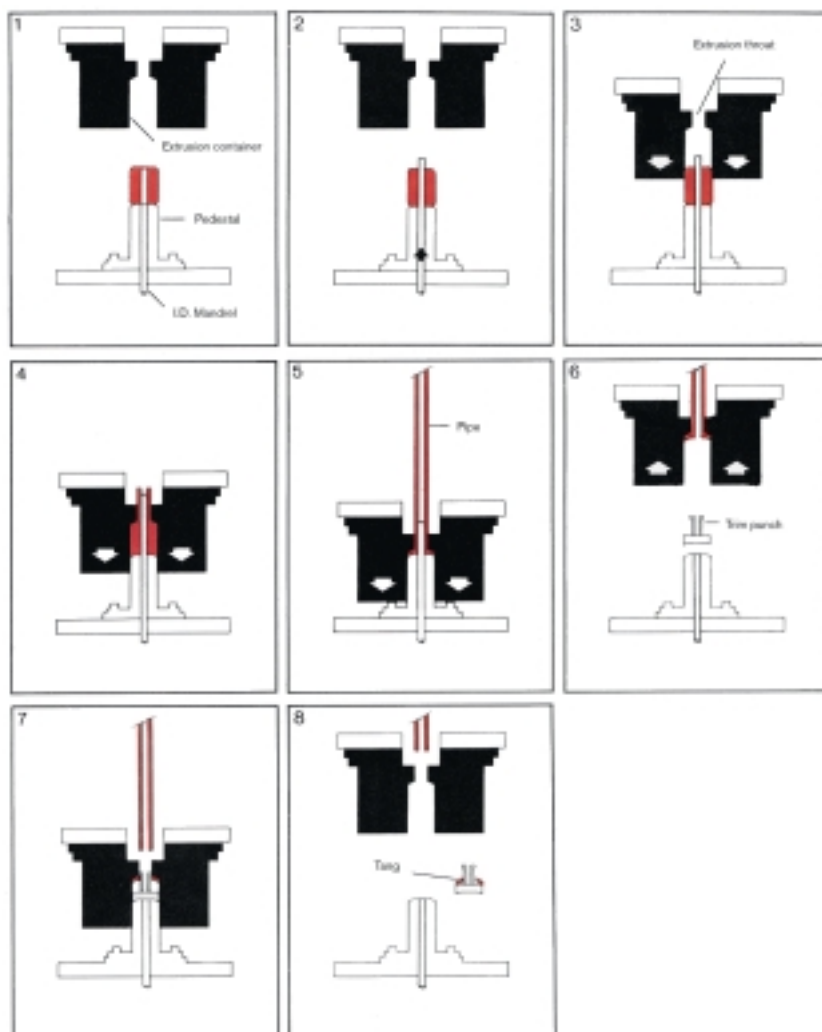
Som en del av ett forskningsarbete vid KTH, referens [7]–[9], har extrudering av koppar studerats genom laboratorieförsök och datorsimulering. Resultaten har utgjort ett stöd för fastställande av processparametrar vid extrusion i full skala.



Figur 3-2. Steg 1 vid extrudering. Stuksmide och hålning av koppargöt till ämne för extrudering.



Figur 3-3. Hålat ämne för extrudering.

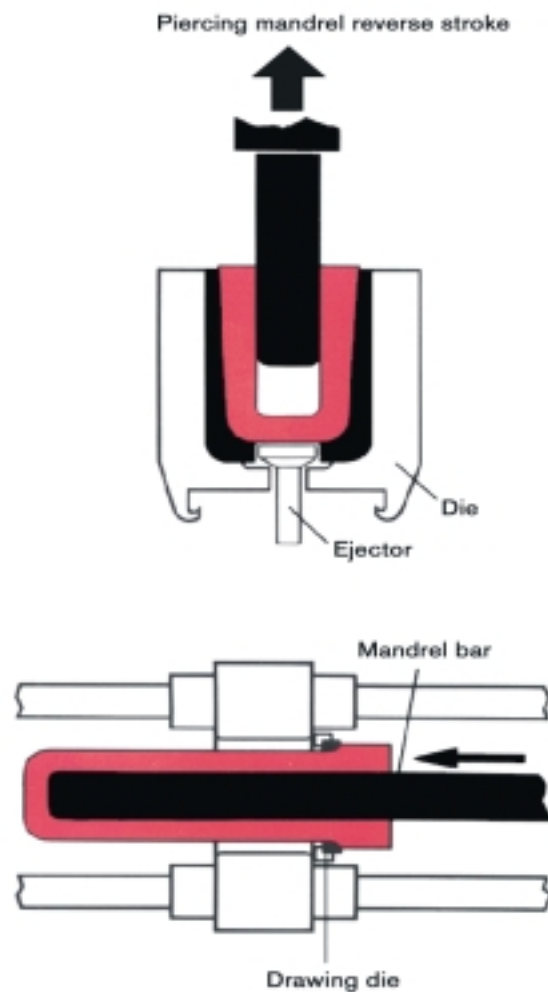


Figur 3-4. Principen för extrudering av det hålade ämnet i 30 000-tons press. Det extruderade röret pressas vertikalt uppåt då pressverktyget trycks nedåt.



Figur 3-5. Extruderade kopparrör. Överst rör T 22 tillverkat för 30 mm väggjocklek och nederst rör T 28 och T 29 som skall bearbetas till 50 mm väggjocklek.

I referens [4] beskrivs även principen för **dornpressning**. Tre rör har tillverkats med denna metod hos Vallourec & Mannesmann i Tyskland. Vallourec & Mannesmann är det enda företaget i Europa som använder metoden. Liksom vid extrudering utgår man ifrån ett homogent cylindriskt koppargöt, figur 3-1. Principen för metoden framgår av figur 3-6. Liksom vid extrudering varmformas först götet genom stuksmide som ger ett kortare ämne med större diameter. Det placeras sedan i ett särskilt verktyg och hålas med en dorn enligt den övre bilden i figur 3-6. Dessa moment utföres i en 4 000 tons press. Till skillnad mot förfarandet vid extrudering bibehålles dock en botten i ämnet som utgör ett stöd för dornarna i den fortsatta formningen enligt den undre bilden i figur 3-6. Denna formning till det färdiga röret sker genom ett antal dragningar. I dragningsoperationerna kan genom successiva byten av verktyg dels ämnets innerdiameter expanderas och dels kan ytterdiametern reduceras samtidigt som röret förlängs. Mellan varje steg måste röret värmas på nytt. Dragnings- och expansionsoperationerna utföres hos Vallourec & Mannesmann i en horisontell 1 500 tons press.



Figur 3-6. Principen för dornpressning.

Figur 3-7. visar två foton från tillverkningen av ett kopparrör åt SKB. Foto A visar det förformade ämnet med bibehållen botten som gjorts enligt den övre bilden i figur 3-6. Foto B visar början på den första dragningen över en dorn. Botten i ämnet utgör ett tillräckligt stöd när dornen pressar det varma rörämnet genom det ringformade verktyget. Efter operationen har ämnet dragits ut på längden och fått en mindre ytterdiameter.

De utförda tillverkningsproven har visat att både extrudering och dornpressning kan utvecklas till användbara metoder för produktion av SKB:s kopparrör. (Se även kapitel 4). Det finns några väsentliga skillnader mellan metoderna som kan vara värda att kommentera.

- Extrudering utföres med ett mindre antal steg och det sista momentet som är själva extruderingen görs i ett enda steg. Dornpressning kräver ett större antal steg med upprepade verktygsbyten och mellanliggande återuppvärmningar av ämnet.
- Extrudering kräver en press med extremt stor presskraft. Som framgått ovan finns såvitt känt endast ett företag i världen som har sådana pressar. Dornpressning utföres med väsentligt lägre presskrafter och med förhållandevis ”enklare” utrustning vilket ger en ökad tillgänglighet av tänkbara leverantörer.



Figur 3-7A.



Figur 3-7B.

Figur 3-7A-B. Dornpressning av rör T 18.

- Dornpressning utföres alltså med bibehållen botten i röret. SKB studerar för närvarande möjligheten att tillverka kopparrören med integrerad botten. Avgörande för detta är om materialstrukturen i botten blir tillräckligt finkornig och om rören kan maskinbearbetas invändigt till fastställda mått.

Både extrudering och dornpressning är varmformningsmetoder. Materialet måste värmas till en temperatur som gör det tillräckligt formbart men utan att vara så hög att strukturen blir grovkornig i det färdiga röret. En lämplig temperatur för koppar har befunnits vara 675 °C. En följd av varmformningen och den därefter relativt långsamma svalningen är att rören inte behöver avspänningsglödgas för att bli kvitt restspänningar som kan leda till oönskade formförändringar. Med metoden rullformning, som utföres vid rumstemperatur, och längssvetsning måste däremot rören avspänningsglödgas.

3.2 Tillverkning av lock och botten i koppar

Lock och botten i koppar maskinbearbetas till fastställda mått ur ämnen som förformats genom varmsmide. Smidet ger en ämnesform som innebär att mindre mängd material måste bearbetas bort. Dessutom medför varmbearbetningen att materialet får den önskade homogena och finkorniga strukturen. Detta smide kan göras i en konventionell smidespress. Lämpliga smidesföretag finns i Sverige och Finland men även i andra europeiska länder.

Utgångsmaterialet vid denna tillverkning är cylindriska koppargöt, se figur 3-8A. Göten på bilden är stränggjutna med diametern 350 mm och kapade till en längd av 1,4 m. Efter värmning ställs göten på högkant och pressas i flera steg mellan plana verktyg till en rund låg cylinder, figur 3-8B. Den slutliga formningen sker i ett speciellt utformat verktyg, figur 3-8C.

Ett smitt ämne har sådana mått att det kan användas för tillverkning av endera ett lock eller en botten. I avsnittet om extrudering ovan kommenterades ett forskningsarbete vid KTH med avseende på modellering av varmbearbetning. Som en fortsättning på detta har motsvarande beräkningar avseende smide av ämnen för lock och botten påbörjats. Avsikten är bl a att få ett underlag för att kunna optimera dimensionerna på koppargöten samt utformningen av smidesverktyg.



Figur 3-8A.



Figur 3-8B.



Figur 3-8C.

Figur 3-8A–C. Smide av ämnen för lock och bottenar i kopparrör.

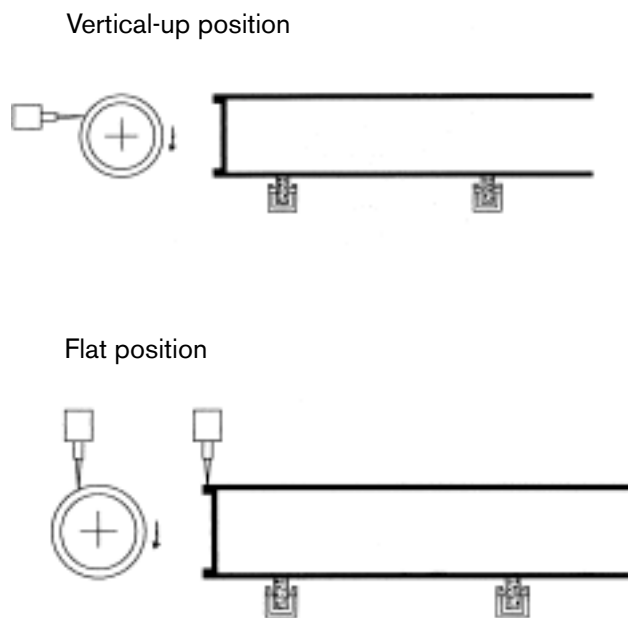
3.3 Svetsning av botten på kopparrör

Svetsning av botten på kopparrör i full storlek har hittills utförts i 10 fall. Alla har gjorts med elektronstrålesvetsning (EB-svetsning) i TWI:s högvakuumkammare, figur 3-9. Rören är horisontellt placerade på en rigg med en drivordning som roterar röret under svetsningen. Bilden visar även elektronkanonens placering.

Bearbetning av bottenar och rör innan EB-svetsning har utförts enligt ritningarna i bilaga 5. Dessa innebär en modifiering för svetsning med liggande rör jämfört med motsvarande ritningar i bilaga 1, sid 70 och 71. De senare är anpassade för svetsning av botten på ett stående kopparrör. Svetsningarna av bottenar har utförts på två olika principiellt olika sätt, figur 3-10. Den övre skissen visar samma svetsposition som i figur 3-9. Elektronstrålen träffar fogen horisontellt. Den undre skissen i figur 3-10 visar i stället en uppriggning där elektronstrålen träffar fogen vertikalt uppifrån. De utförda



Figur 3-9. Elektronstrålesvetsning av botten på ett kopparrör.

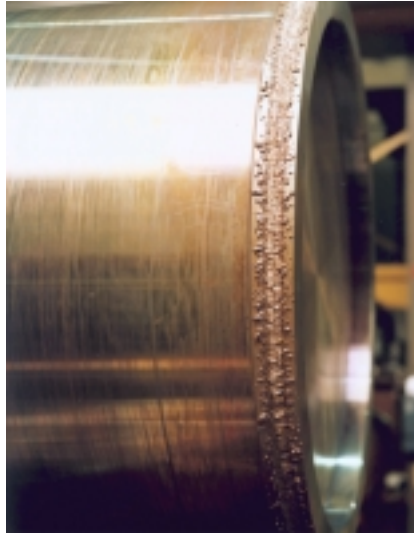


Figur 3-10. Olika positioneringar av elektronkanon och arbetsstycke vid EB-svetsning av botten på kopparrör.

svetsningarna av botten har indikerat bättre resultat med den senare tekniken. Vid kommande svetsningar av botten kommer denna uppriggning att användas och utvecklas vidare.

Efter svetsning av en botten ser svetssträngen ut som i figur 3-11. Bilden visar rör T 22 med svetsad botten TB 12. Rör och botten har i detta fall en godstjocklek på 30 mm. Efter svetsning måste änden på röret svarvas till färdigmått. Svarvning av rör T 22 efter svetsning visas i figur 3-12.

En alternativ svetsmetod även för svetsning av botten är Friction Stir Welding (FSW). Utvecklingen av denna teknik redovisas i kapitel 6.



Figur 3-11. Svetsfogen i 30 mm kopparrör T 22 med botten TB 12.



Figur 3-12. Svarvning av rör T 22 efter botten svetsning.

3.4 Tillverkning av gjutna insatser

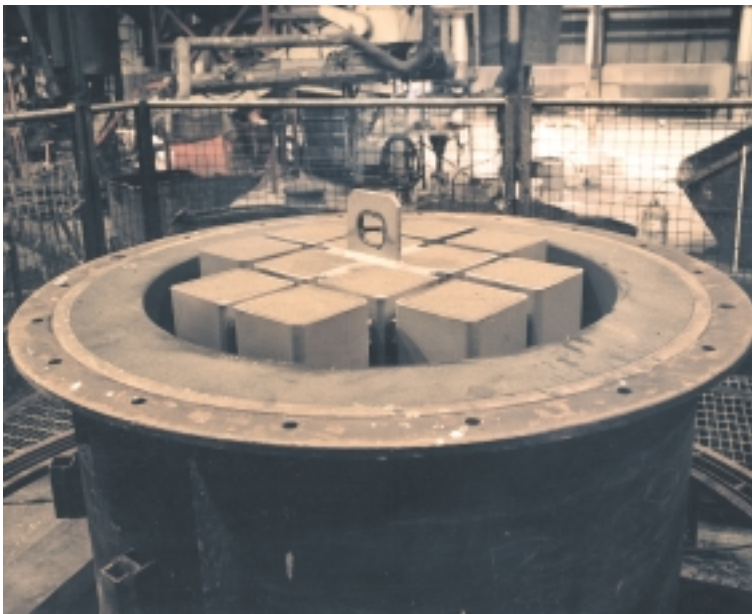
Principen för tillverkning av gjutna insatser i segjärn beskrevs även i referens [4]. Insatserna gjuts enligt figur 2-2 med 12 kanaler för BWR-element eller 4 kanaler för PWR-element. Av praktiska skäl åstadkommes kanalerna med hjälp av stålrör med fyrkantprofil som gjuts in i godset. Stålrören är heldragna eller svetsade men i det senare fallet med borttagen invändig svets söm för att garantera släta invändiga ytor. För BWR-utförande har profilrören ett invändigt mått på 160×160 mm och med 10 mm väggtjocklek. Profilrören svetsas samman till en kassetten enligt bilaga 1, sid 74. Kassetten är konstruerad på ett sådant sätt att insatserna gjuts med integrerad botten. Fotot i figur 3-13 visar en färdig sådan kassetten. För en mer detaljerad specifikation av kraven på kassetterna se bilagorna 3 och 4.



Figur 3-13. Svetsad kassett med 12 kanaler för BWR-element.

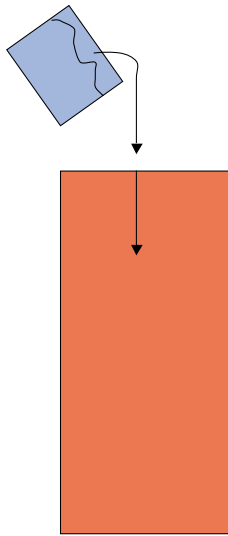
Kassetten placeras i gjutformen som figur 3-14 visar. Innan gjutning har profilrören fyllts invändigt med packad sand. Detta är nödvändigt för att stålprofilernas väggar inte skall deformeras inåt av trycket från smältan vid gjutningen.

Formsättning och gjutsystem kan variera från gjuteri till gjuteri. Både sandformar och stålkokiller har använts. Fyllnad av formen med smält järn kan ske endera genom att smältan fylls på från toppen rakt ned i formen (fallande gjutning) eller genom s k stiggjutning då smältan leds genom en kanal ned till botten av formen och sedan stiger uppåt inuti formen. De båda principerna visas schematiskt i figur 3-15. Båda metoderna har använts vid gjutning av insatser. Någon skillnad i kvalitet på gjutna insatser beroende

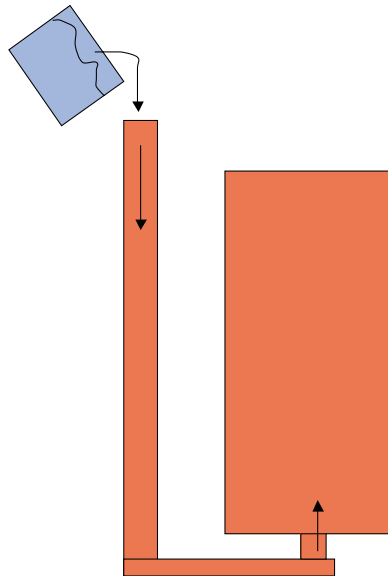


Figur 3-14. Svetsad kassett placerad i gjutformen. Kanalerna har fyllts med sand för att stå emot det yttre trycket av det smälta järnet.

Fallande gjutning



Stigande gjutning



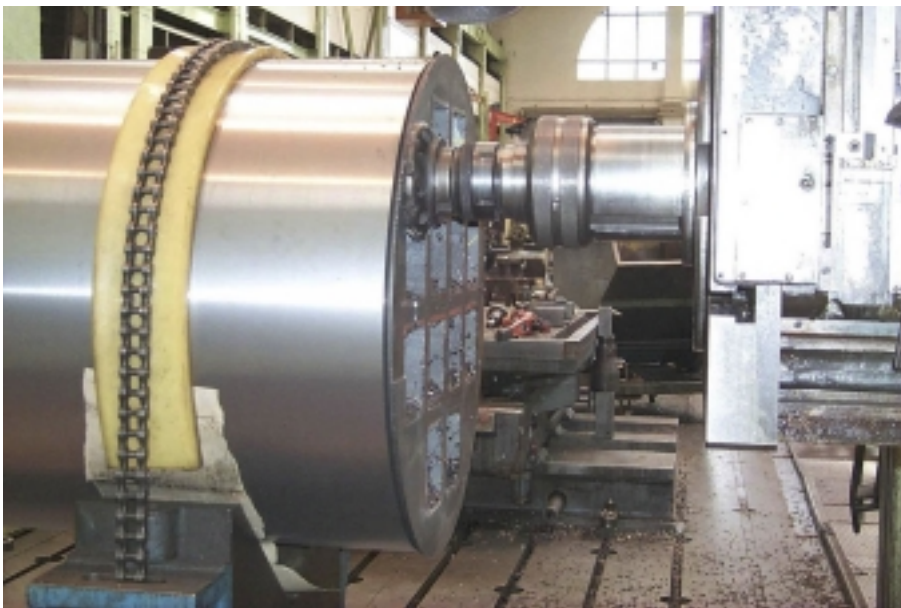
Figur 3-15. Gjutning av insatser med A, fallgjutning eller B, stiggjutning.

på gjutmetod har hittills inte observerats. I ett par tidigare fall har varianter av stiggjutning använts med inlopp av smälta förutom i botten även på nivåer mellan botten och toppen av formen. Den kraftiga inströmningen av smält järn medförde dock att kassetten deformerades och i något fall observerades även genomsmältning av väggar i profilrören. I figur 3-16 visas ett foto taget vid gjutning av en insats.

Efter gjutning får insatsen svalna i formen vilket tar några dygn (det gjutna ämnet väger mellan 15 och 17 ton). Insatsen slås sedan ut ur formen, rensas från rester av ingjutsystem och vidgjutna provkroppar tas om hand för analys. Efter kapning av insatsens topp enligt principskissen i figur 2-6 kontrolleras rakheten hos kanalerna. Detta görs med speciellt tillverkade tolkar som varje leverantörsgjuteri har. Kravet för en BWR-insats är att en tolk med ett tvärsnitt på 152 × 152 mm fritt skall kunna föras ned till botten i alla kanaler. Detta har angetts i den tekniska specifikationen i bilaga 3. Efter grovsvavning och ultraljudprovning är insatsen färdig för leverans från gjuteriet. Efter färdigbearbetning är insatsen klar för att sänkas ned i ett kopparrör med svetsad botten. Maskinbearbetning av toppändan på en insats visas i figur 3-17.



Figur 3-16. Gjutning av en insats.



Figur 3-17. Maskinbearbetning av gjuten insats.

4 Resultat från provtillverkning

4.1 Översikt

I den tidigare rapporten R-98-09 [4], kommenterades tidigare utförd provtillverkning under 1994–1995 och redovisades de då nya resultaten för åren 1996–1998. Tabell 4-1 visar en översikt över tillverkade komponenter och sammansatta kapslar under åren 1999–2001 och som jämförelse motsvarande tillverkning under den tidigare treårsperioden 1996–1998.

I jämförelse med den föregående treårsperioden har alltså under åren 1999–2001 inga kopparrör tillverkats genom rullformning av kopparplåt och längssvetsning. Verksamheten har koncentrerats på tillverkning av sömlösa rör med extrudering eller dornpressning. Ej heller har någon insats gjutits i ståljutgods. Ingen insats i PWR-utförande har tillverkats. Detta har bl a berott på att PWR-insatser bedömts som lättare att tillverka varför provtillverkningen koncentrerats på att utveckla tekniken för BWR-insatser. Det förhållandevis stora antalet lock och bottenar beror till övervägande del av Kapsellaboratoriets behov av lock för arbetet med att utveckla tekniken för förslutnings-svetsning.

Tabell 4-1. Översikt av tillverkade kapselkomponenter och kompletta kapslar under åren 1996–2001.

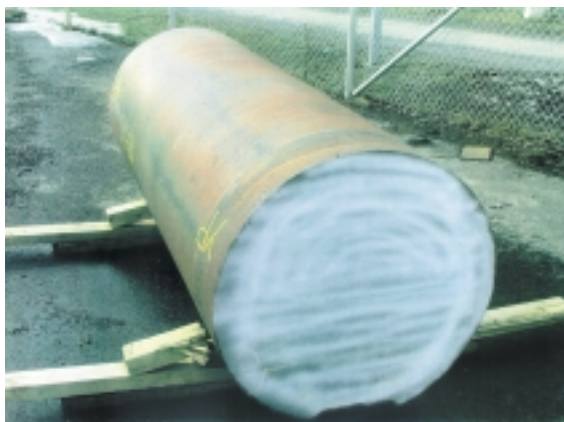
Komponent	Tillverkningsmetod	Antal tillverkade 1996–1998 samt identitetsnummer	Antal tillverkade 1999–2001 samt identitetsnummer
Kopparrör	Rullformning från valsad plåt	10 (T 6–T 15)	Ingen tillv.
“	Dornpressning	1 (T 16)	2 (T 17–T 18)
“	Extrudering	3 (T 19–T 21)	5 (T 22–T 24 samt T 28–T 29)
Smidda ämnen samt färdigbearbetade lock och bottenar i koppar	Smide och maskinbearbetning	42	49
Insatser för BWR-element	Ståljutgods	1½ (I 5–I 6)	Ingen tillv.
“	Segjärn	7 (I 7–I 13)	9 (I 14–I 19 samt I 21–I 23)
Insatser för PWR-element	Segjärn	1 (IP 1)	Ingen tillv.
Lock till insatser	Maskinbearbetning från valsad stålplåt	1 (IL 5)	8 (IL 6–IL 13)
Sammansatta kompletta kapslar		1 (C 3)	6 (C 4–C 9)

4.2 Tillverkning av kopparrör

Som beskrivits i kapitel 3 består utgångsmaterialet vid sömlös rörtillverkning, med extrudering eller dornpressning, av cylindriska göt. På grund av sin storlek kan göten inte tillverkas med kontinuerlig stränggjutning och successiv kapning i längder. Tillverkningen kan beskrivas som en halvkontinuerlig gjutning med tillverkning av ett göt i sänder. Detta innebär att varje göt måste kapas i toppen så att rester av defekter som alltid bildas i toppen av ett göt tas bort. Eftersom provtillverkningen av rör för 50 mm väggjocklek har visat på svårigheter att åstadkomma rör med tillräcklig längd har genomgående så mycket som möjligt av göten använts. Figur 4-1A–B, är två foton av ett koppargöt som kapats i båda ändar. Foto A visar toppdelen av götet och foto B, botten. För att upptäcka sprickor eller andra öppna defekter i götet har penetrantprovning utförts på alla använda göt. Foto B visar på förekomst av sprickor i götets botten. Detta har förekommit i flera göt och alltid i botten. Göten har använts både vid extrudering och dornpressning. Eftersom defekterna alltid varit lokaliserade till götets ena ände har denna vid båda metoderna kunnat vändas nedåt i förformningen enligt figurerna 3-2 och 3-6 i syfte att lokalisera eventuella rester av defekterna till den botten som tas bort. Inte i något fall har man funnit defekter i tillverkade rör som kan relateras till dessa centrumfel. I det fortsatta utvecklingsarbetet med optimering av göten både beträffande storlek och kvalitet är målsättningen att eliminera dessa defekter.

Den tekniska specifikationen KTS 001, bilaga 2 beskriver kraven på kopparmaterialet och innehåller även krav på dokumentation och vissa leveransbestämmelser. Materialkraven har diskuterats i avsnitt 2.4. I tabell 4-2 har en sammanställning gjorts av den kemiska analysen hos ett antal koppargöt för rörtillverkning.

Den kemiska analysen hos de göt som använts för rören i tabell 4-2 är representativ för denna göttillverkning. Som framgår av tabellen är jämnheten i kemisk sammansättning påfallande. Halterna av föroreningselement, dvs ämnen som svavel, järn, bly, tenn osv är mycket låga och den totala kopparhalten uppfyller väl kravet i standarden på >99,99 %. Fosfor är det enda ämne som tillsätts avsiktligt för att förbättra krypegenskaperna. Halterna av fosfor i tabell 4-2 ligger som synes i flera fall något under den nedre gränsen i det specificerade intervallet på 40–60 ppm. Tillverkningen av dessa stora göt har systematiskt visat att det varit svårt att erhålla en jämn fosforhalt genom hela götet och att intervallet 40–60 ppm är snävt. I en kommande revidering av KTS 001 kommer



Figur 4-1A.



Figur 4-1B.

Figur 4-1A–B. Koppargöt för extrudering eller dornpressning. Foto A visar den kapade ändytan i götets övre del och foto B den kapade änden nära götets botten.

Tabell 4-2. Kemisk sammansättning av levererade göt för rörtillverkning enligt certifikat.

Kemisk analys av göt som använts för rör nr:						
Element	Krav enligt KTS 001 (ppm)	T 22 (ppm)	T 23 (ppm)	T 24 (ppm)	T 28 (ppm)	T 29 (ppm)
P	40-60	47/42	39/45	38	36,2	36,8
O	<5	3	4	2	2,6	2,3
H	<0,6	0,5	0,4	0,5	0,35	0,37
S	<8	5	5	5	6,4	6,3
Ag	<25	12	11	11	12	11
As	<5	1	1	1	1,39	1,33
Fe	<10	<1	<1	<1	7,5	8,6
Sb	<4	<1	<1	<1	0,31	0,29
Te	<2	<2	<2	<2	0,52	0,53
Pb	<5	<1	<1	<1	0,79	0,73
Bi	<1	<0,4	<0,4	<0,4	0,4	0,4
Cd	<1	<0,4	<0,4	<0,4	0,0	0,0
Mn	<0,5	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Mg	<1	-	-	-	<0,2	<0,2
Ni	<10	1	1	1	0,4	1,0
Sn	<2	<1	<1	<1	0,26	0,22
Zn	<1	<1	<1	<1	<0,3	<0,3

eventuellt intervallet att ändras till 30–70 ppm för att bättre motsvara verkligheten. Inget i tillgängliga resultat från utförd kryppprovning tyder på att en sådan utvidgning av intervallet skulle vara negativ för egenskaperna.

Resultaten av tillverkningen av rören T 17–T 18 med dornpressning och T 22–T 24 samt T 28–T 29 genom extrudering har sammanställts i tabellform nedan. Tabell 4-3, 4-4 och 4-5 visar erhållna mått och 4-6 och 4-7 erhållen struktur samt för vissa rör resultat av hårdhetsmätning och dragprovning.

För båda rören T 17 och T 18 har dragnings- och expansionsstegen utförts vid 675 °C. Klart är att dornpressning kan utvecklas till en fungerande metod för tillverkning av kopparrör. De hittills utförda proven har gjorts med dornar och övriga verktyg som varit tillgängliga hos leverantören men som inte varit anpassade för SKB:s rör. Tillverkningen av rör T 18 avbröts utan att röret erhållit full längd. För optimering av utfallet med avseende på måtten kommer en eller flera dornar med tillbehör att behöva konstrueras och tillverkas.

Alla extruderade rör har erhållit full längd. Vissa problem har dock förekommit beträffande raketeten hos rören och möjligheterna att kunna utföra en riktningsoperation. Ett par av rören i tabell 4-4 har inte gått att maskinbearbeta till 100 %. Vissa ytor både in- och utvändigt har inte blivit helt renbearbetade. En ökad tillåten krokighet som införts för det extruderade röret har kompenseras med en ökad vägg tjocklek för säkerställande av renbearbetning. Detta har i sin tur lett till ett behov av något större koppargöt. I det fortsatta utvecklingsarbetet skall orsakerna till erhållen krokighet utredas och tekniken för riktning av rören förbättras.

Tabell 4-3. Erhållna mått på dornpressade rör.

Mått på rör efter dornpressning					
Rör nr	Vikt på göt (kg)	Innerdiameter Riktvärde 940 mm (952 mm i färdigt rör)	Ytterdiameter Riktvärde 1 060 mm (1 050 mm i färdigt rör)	Vägg tjocklek Riktvärde 60 mm (49 mm i färdigt rör)	Längd Riktvärde >4 900 mm (Färdigt rör 4 725 mm)
T 17	11 470	946–950	1 070–1 076	–	5 060
T 18	11 550	–	1 075–1 081	77–87	4 220

Tabell 4-4. Erhållna mått på extruderade rör avsedda för 50 mm vägg tjocklek.

Mått på rör efter extrudering					
Rör nr	Vikt på göt (kg)	Innerdiameter Riktvärde 937 mm (952 mm i färdigt rör)	Ytterdiameter Riktvärde 1 063 mm (1 050 mm i färdigt rör)	Vägg tjocklek Riktvärde 63 mm (49 mm i färdigt rör)	Längd Riktvärde >4 900 mm (Färdigt rör 4 725 mm)
T 23	10 770	936–949	1 060–1 072	63–65	5 024
T 24	10 930	935–942	1 059–1 069	64–66	5 025
T 28	12 154	930–941	1 068–1 079	68–71	4 907
T 29	12 254	927–944	1 066–1 075	67–69	4 902

Tabell 4-5. Erhållna mått på extruderat rör avsett för 30 mm vägg tjocklek.

Mått på rör efter extrudering					
Rör nr	Vikt på göt (kg)	Innerdiameter (mm) 989 mm i färdigt rör	Ytterdiameter (mm) 1 050 mm i färdigt rör	Vägg tjocklek (mm) 30 mm i färdigt rör	Längd (mm) Färdigt rör 4 720 mm
T 22	9 654	975–980	1 068–1 073	46–48	5 650

Tabell 4-6. Erhållen struktur i dornpressade rör.

Rör nr	Kornstorlek (µm) Krav <360 µm
T 17	42–85
T 18	106–238

Tabell 4-7. Mekaniska egenskaper och erhållen struktur i extruderade rör.

Rör nr	Sträckgräns R _{p0,2} (MPa)	Brottgräns R _m (MPa)	Förlängning A (%) Krav >40 %	Hårdhet (HRF)	Medelkornstorlek (µm) Krav <360 µm
T 22 (30 mm)	–	–	–	–	26–44
T 23	75	214	64	63–75	105–125
T 24	80	219	62	72–76	44–177
T 28	74	218	62	94–98	62 (Stråk med grövre korn)
T 29	71	218	59	82–93	62

I tabell 4-6 och 4-7 har resultat av utförda materialundersökningar på tillverkade rör sammanställts. Prov från de båda dornpressade rören T 17 och T 18 har undersökts beträffande kornstorlek enligt tabell 4-6. Proven har tagits i båda ändarna av rören. Den grövre kornstorleken finns i den del av röret som gränsat till den befintliga botten under tillverkningen. Båda rören har en acceptabel kornstorlek. Den grövre kornstorleken i T 18 förklaras av att röret ej dragits till full längd.

Även de extruderade rören har en kornstorlek som väl underskrider den övre gränsen på 360 µm. Detta stämmer väl med tidigare resultat från extruderade rör, [4]. T 22 som extruderats till en mindre vägg tjocklek har den finkornigaste strukturen. I de övriga rören har även provstavar för dragprovning tagits ut. Erhållna resultat visas i tabellen. Det enda specificerade kravet enligt KTS 001 i bilaga 2, är materialets förlängning innan brott. Som framgår av tabellen uppfylls kravet väl i dessa rör.

4.3 Tillverkning av lock och botten i koppar

Tillverkningen av lock och botten har beskrivits i avsnitt 3.2. De cylindriska koppargöt som utgör utgångsmaterial för smidet tillverkas med kontinuerlig stränggjutning. Strängen har en diameter på 350 mm och göten kapas i längder på 140 cm. I normalfallet kan sex längder på 140 cm tas från varje sträng dvs sex ämnen för lock eller botten kommer att vara tillverkade av material från en sträng. Tillverkningen med kontinuerlig gjutning gör att den kemiska sammansättningen varierar mycket lite mellan göt som härrör ur samma sträng. För att visa variationer i kemisk sammansättning har ett antal analysresultat från olika tillverkningstillfällen sammanställts i tabell 4-8.

Tabell 4-8. Kemisk sammansättning hos ämnen för lock eller botten enligt certifikat. Göten härrör från olika strängar.

Element	Krav enl. KTS 001 (ppm)	Kemisk analys				
		TX 10 (ppm)	TX 18 (ppm)	TX 26 (ppm)	TX 32 (ppm)	TX 39 (ppm)
P	40–60	47	52	44	46	32
O	<5	2,40	2,40	1,50	1,20	1,40
H	<0,60	0,42	0,49	0,47	0,40	0,50
S	<8	6,60	6,70	6,60	6,20	7,70
Ag	<25	13	13	12	13	12
As	<5	1,64	1,53	1,71	1,19	1,55
Fe	<10	2,40	2,30	2,30	2,50	2,50
Sb	<4	0,22	0,20	0,21	0,25	0,21
Te	<2	0,76	0,64	0,71	0,33	0,67
Pb	<5	1,13	1,18	1,31	0,92	0,85
Bi	<1	0,50	0,40	0,40	0,30	0,40
Cd	<1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Mn	<0,50	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Mg	<1	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	0,50
Ni	<10	0,80	0,80	0,50	0,70	0,70
Sn	<2	0,72	0,76	0,97	0,83	0,53
Zn	<1	0,30	0,30	0,40	0,90	<0,30

En jämförelse med den kemiska sammansättningen av de större göten för rörtillverkning i tabell 4-2 visar på mycket små skillnader. Det levererade kopparmaterialet har genomgående en mycket hög renhet. Det är lättare att styra fosforhalten vid gjutningen av dessa 350 mm strängar än vid den halvkontinuerliga gjutningen av de stora göten. I tabell 4-8 är det endast fosforhalten i ämne TX 39 som ligger under den nedre gränsen.

Inga indikationer på centrumsprickor eller andra defekter har observerats i de göt som använts för tillverkning av lock och botten. Prov har hittills tagits ut i periferin på varje smitt ämne till ett lock eller en botten för strukturundersökning och dragprovning. Varje ämne levereras tillsammans med ett certifikat där resultaten av denna provning har sammanställts tillsammans med den kemiska analysen och resultaten av oförstörande provning.

Typiska värden från strukturbestämning och hållfasthetsprovning har sammanställts i tabell 4-9.

Man kan konstatera att den erhållna kornstorleken, enligt tabell 4-9, är betydligt grövre än vid tillverkning av sömlösa rör med extrudering eller dornpressning, även om de uppmätta värdena på kornstorlek med ett undantag uppfyller kravet. Jämför med tabellerna 4-6 och 4-7. Proven som använts vid bestämningen av kornstorlek i de smidda lock/botten-ämnena har tagits ute i ämnens periferi. Man kan räkna med att kornstorleken är grövre i centrum av smidet. I det forskningsarbete som påbörjats vid KTH och som kommenterats i avsnitt 3.2 kommer smidet av lock/botten-ämnena att utredas. Den modellering som skall göras kommer att bli ett hjälpmedel för att optimera bl a verktyg, utgångsdimensioner på göten och smidestemperatur. Detta tillsammans med nya provsmiden bör kunna leda till en optimering av smidet både beträffande erhållen struktur och materialutbyte.

Tabell 4-9. Mekaniska egenskaper och struktur i smidda ämnen för lock eller botten.

	Sträckgräns R_{p0,2} (MPa)	Brottgräns R_m (MPa)	Förlängning A (%) Krav >40 %	Hårdhet (HRF)	Medelkornstorlek (µm) Krav <360 µm
TX 10	57	209	48	–	300–400
TX 18	81	210	49	42	200–300
TX 26	91	207	52	–	300–350
TX 32	65	203	52	–	250–300
TX 39	61	204	52	–	150

4.4 Tillverkning av gjutna insatser

I den föregående rapporten [4] redovisades resultaten från tillverkning av insatserna med löpande nummer upp till och med I 13. Under åren 1999–2001 har 10 nya insatser med nummer I 14–I 23 tillverkats vid tre olika gjuteriföretag i Sverige. Alla dessa har gjutits i segjärn enligt den tekniska specifikationen KTS 011. Alla dessa 10 insatser har varit i utförande för BWR-element. Gjuteritekniken har varit anpassad till respektive gjuteri. Gjutning har utförts med såväl fall- som stiggjutning och både med sandformar och med gjutjärnskokiller.

Materialegenskaperna hos segjärn har diskuterats i avsnitt 2.4.2. Hittills har alla insatser i segjärn gjutits enligt specifikationen KTS 011, bilaga 3. Den aktuella segjärnssorten är SS 140717-00 eller med en nyare beteckning EN-GJS-400-15U. Materialdata för de senast tillverkade insatserna, dels kemisk analys och hållfasthetsvärden från certifikat, dels resultat av viss egen provning har sammanställts i tabell 4-10, 4-11 och 4-12.

Materialnormen ställer inga direkta krav på den kemisk sammansättningen utan specificerar i första hand vilka hållfasthetskrav som skall uppfyllas. Detta har också diskuterats i avsnitt 2.4.2. Som framgår av tabell 4-10 är analyskillnaderna små mellan de olika gjuterierna. Gjuteri nr 1 har genomgående en måttlig halt av koppar medan de båda andra gjuterierna har viss halt av nickel. Inget av detta är någon nackdel. Tillsatser av legeringsmetaller som koppar, nickel, krom etc används för att styra erhållna egenskaper hos gjutgodset.

I tabell 4-11 har hållfasthetsvärden redovisade i leveranscertifikat sammanställts. Provstaverna har tillverkats ur vidgjutna provkroppar eller ur en inloppskanal i en position nära insatsens botten.

Som tabell 4-11 visar har resultaten en relativt stor spridning. Vissa värden från ett prov är helt acceptabla medan ett annat prov från samma insats har gett lägre resultat än angivna riktvärden. Se t ex erhållna värden på förlängning för insats I 16. Låga förlängningsvärden är i regel förknippade med en dåligt utvecklad nodularitet hos grafiten.

Tabell 4-10. Kemisk analys för insatser enligt certifikat.

Insats Nr	Gjuteri Nr	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Cr (%)	Ni (%)	Cu (%)	Mg (%)
I 14	1	3,59	2,22	0,31	0,020	0,010	0,03	0,04	0,25	0,044
I 15	2	3,52	2,27	0,33	0,030	0,011	0,04	0,54	0,01	0,035
I 16	3	3,59	2,06	0,21	0,018	0,005	0,03	0,66	–	0,068
I 17	1	3,65	2,53	0,31	0,019	0,008	0,03	0,04	0,26	0,049
I 19	2	3,51	2,18	0,37	0,030	0,007	–	0,72	–	0,060
I 20	2	3,51	2,34	0,34	0,030	0,011	–	0,67	–	0,061
I 21	3	3,65	2,18	0,23	0,016	0,006	0,04	0,04	–	0,069
I 22	1	3,59	2,33	0,31	0,030	0,009	0,04	0,07	0,22	0,045
I 23	2	3,51	2,42	0,43	0,040	0,008	–	1,01	–	0,064

Tabell 4-11. Erhållna hållfasthetsvärden enligt certifikat hos vidgjutna provkroppar på insatser. Angivna riktvärden på översta raden i tabellen är tagna ur svensk standard SS-EN 1563:1997 och material EN-GJS-400-15U med en angiven relevant godstjocklek på $60 < t \leq 200$ mm. (Materialet motsvarar SS 0717-00).

Insats Nr	Gjuteri Nr	Provläge	Sträckgräns $R_{p0,2}$ (MPa) >240	Brottgräns R_m (MPa) >370	Förlängning A (%) >11	Anmärkning
I 14	1	Vidgjutna	276	411	21	100 % ferrit
I 15	2	Vidgjuna	277	428	8	
		Ingjutskanal nära botten	285	393	10	
I 16	3	Vidgjutna				
		Mitten	242/246	287/335	4/5	
		Botten	265/265	403/407	18/20	
I 17	1	Medelvärde av 3 prover	264	401	23	100 % ferrit
I 19	2	Vidgjutna	318	545	14	60 % perlit
		Ingjutskanal nära botten	214	351	12	15 % perlit
I 20	2	Vidgjutna	353	542	8	39 % perlit
		Ingjutskanal nära botten	285	357	6	14 % perlit
I 21	3	Vidgjutna				
		Topp	243	373	17	100 % ferrit
		Mitten	242	373	17	
		Botten	243	373	16	
I 22	1	Vidgjutna				
		Topp	255	405	19	100 % ferrit
		Botten	264	413	19	
I 23	2	Vidgjutna	340	457	16	12 % perlit
		Ingjutskanal nära botten	330	424	6	9 % perlit

Variert resultat och delvis låga värden på förlängning hos provstavarna har ytterligare kunnat konstateras vid provning av materialet i de 200 mm tjocka skivor som enligt figur 2-6 kapats ur toppdelarna av ett antal insatser. Ur varje sådan skiva har 13–14 provstavar tagits ut i olika lägen för dragprovning. Resultat från 4 insatser har sammanställts i tabell 4-12.

Tillverkningen av insatser kommer att ses över både när det gäller järnets sammansättning och gjuteritekniskt med avseende på bl a ympning, tillsättning av magnesium, gjuttemperatur och formfyllnadsteknik. Ett projekt har initierats i samarbete med Svenska Gjuteriföreningen i Jönköping. Gjutsystem, formfyllnad och svalningsförlopp kommer att studeras med modellering och erhållna resultat kommer att användas vid kommande provgjutningar. Parallellt med detta pågår diskussioner med berörda gjuterier om förändringar av tekniken för tillsats av ympmedel och magnesium samt val av legeringselement. Syftet med dessa utredningar är att finna tekniska lösningar för att kunna tillverka insatser med jämnare kvalitet och om behovet uppkommer, med en högre hållfasthet.

Detta arbete tillsammans med de hållfasthetsberäkningar som nu pågår och som kommenterades i avsnitt 2.4.2 kommer att göra det möjligt att bättre kunna specificera kraven på hållfasthet i KTS 011.

Tabell 4-12. Erhållna resultat av dragprovning och hårdhetsmätning på provstavar tagna ur 200 mm skiva som kapats ur toppen av gjutna insatser.

Insats Nr	Sträckgräns R_{p0,2} (MPa) >240	Brottgräns R_m (MPa) >370	Förlängning A (%) >11	Hårdhet (HB 10/300)
I 16 14 provstavar	227–269	252–354	1–6	134–140
I 21 13 provstavar	248–253	279–386	3–11	131–140
I 22 14 provstavar	269–279	321–376	3–7	137–149
I 23 14 provstavar	334–351	347–468	0–13	159–170

5 Sammansatta kompletta kapslar

Sju stycken kompletta kapslar med den nuvarande konstruktionen med gjuten insats har hittills satts samman för olika ändamål och ytterligare två är under tillverkning. Sex av de kompletta kapslarna har tillverkats under den senaste treårsperioden. En av kapslarna (C 4) används för utveckling av deponeringstekniken och används vid hanteringsprov med den stora deponeringsmaskinen i Äspölaboratoriet. Ytterligare 5 kompletta kapslar har satts samman för de olika projekten med deponerade kapslar som pågår vid Äspölaboratoriet. Kapsel C 6 har deponerats i återtagsprojektet och 4 kapslar C 3, C 5, C 7 och C 9 har deponerats i det sk prototypförvaret. Ytterligare 2 kapslar för prototypförvaret, C 10 och C 11 är för närvarande under tillverkning och kommer att deponeras i början av år 2002.

På ingen av dessa kapslar har locket förslutningssvetsats. Alla lock är skruvade fast. Den första förslutningssvetsningen av en komplett kapsel (C 8) är planerad att inom kort utföras vid SKB:s Kapsellaboratorium i Oskarshamn med elektronstrålesvetsning.

6 Utveckling av svetstekniken – Friction Stir Welding

6.1 Bakgrund

I den tidigare lägesrapporten från 1998, referens [4] redogjordes för de preliminära försök med att använda Friction Stir Welding (FSW) för fogning av koppar som SKB då påbörjat i samarbete med TWI. Efter detta har ett omfattande utvecklingsarbete utförts och metoden kan i dagens läge betraktas som ett synnerligen intressant alternativ till elektronstrålesvetsning (EBW).

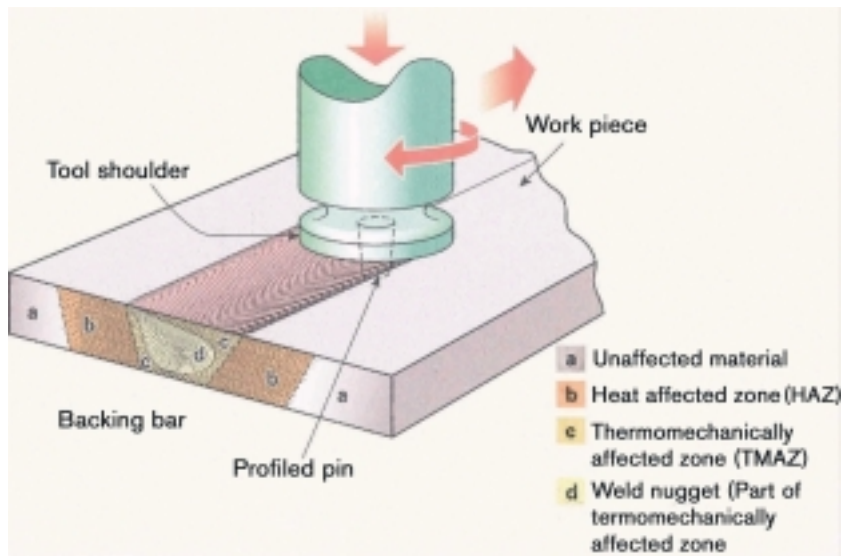
Metoden uppfanns 1991 vid TWI som även är innehavare av de tidigaste patenten som beskriver metoden (EP 0 615 480 och US 5 460 317, båda inlämnade och registrerade den 6 december 1991). Under den senaste tioårsperioden har tekniken vidareutvecklats av licenstagare i många länder och används i dag i relativt stor omfattning som en produktionsmetod vid fogning av i första hand aluminiumlegeringar inom rymd-, flyg-, marin- och bilindustrin.

Friction Stir Welding är en speciell variant av det större begreppet friktionssvetsning. Den konventionella tekniken för friktionssvetsning, som också sedan länge används i relativt stor utsträckning inom den metallbearbetande industrin, innebär att två delar som skall sammanfogas roteras (i motsatt riktning eller att endast den ena delen sätts i rotation) samtidigt som dom trycks mot varandra. Friktionsvärmerna gör att metallen blir mjuk. Vid rätt temperatur stannar man rotationen och pressar samman delarna. Man får då en sammanvällning och vid rätt utförande en mycket god metallisk bindning utan att materialet uppnått smältpunkten. Metoden används i många sammanhang. En av fördelarna är att olika metaller med olika egenskaper kan fogas samman. Ett exempel är vissa ventiler för förbränningsmotorer. Där fogas skaftet samman med ventiltallriken på detta sätt. Två andra exempel där denna typ av friktionssvetsning används på högt belastade komponenter är vid tillverkning av kardanaxlar och bakaxlar för lastbilar.

Friction Stir Welding innebär en friktionssvetsning med ett roterande verktyg. Figur 6-1 visar principen för FSW. Det finns ännu inte något allmänt accepterat uttryck på svenska för Friction Stir Welding och inte heller för ett antal begrepp som sammanhänger med metoden.

Vid FSW används, som visas schematiskt i figur 6-1, ett speciellt utformat roterande verktyg. Detta är försett med en spets som pressas ned mellan fogytorna. Spetsens längd är anpassad till den aktuella godstjockleken. Den övre delen av verktyget har en större diameter och med en platt underdel ("shoulder" i figur 6-1) som vid svetsningen trycks mot arbetsstycket. När verktyget roterar alstras friktionsvärme, metallen blir mjuk och formbar och när verktyget rör sig längs fogen åstadkommer den speciellt utformade spetsen en mekanisk omrörning av den mjuka metallen. Mjuk metall från båda delarna som fogas samman blandas och efter att verktyget passerat svalnar materialet och man har fått en svets utan smältning av metallen.

Som framgår av figur 6-1 kan vissa karakteristiska strukturzoner definieras. För vissa av dessa finns inte heller ännu accepterade uttryck på svenska. Zon "a" är det opåverkade grundmaterialet, "b" den värmepåverkade zonen, "c" en zon som utsatts för en termomekanisk bearbetning och "d" är en finkornig kärna av den termomekaniskt bearbetade zonen



Figur 6-1. Principen för Friction Stir Welding.

6.2 Utveckling av FSW av koppar

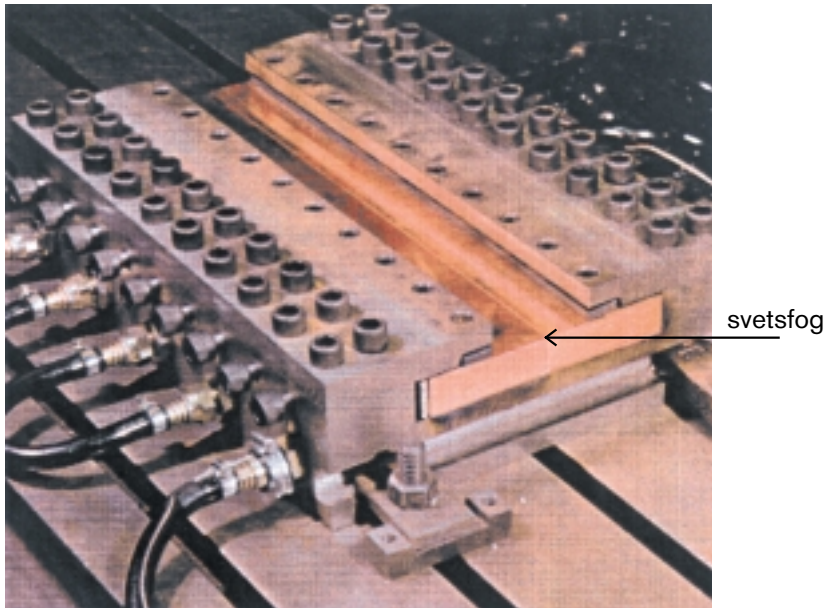
6.2.1 Svetsning av kopparplattor

När utvecklingsarbetet startade 1997 fanns endast obetydlig erfarenhet av att tillämpa FSW på koppar. Svetsning av koppar med en godstjocklek upp till 50 mm hade aldrig gjorts tidigare. Däremot hade svetsning av Al-legeringar utförts med sådan godstjocklek. Detta samt att koppar med en smältpunkt på 1 083 °C är mjuk och formbar redan vid betydligt lägre temperaturer gjorde att FSW bedömdes som en möjlig metod. Som jämförelse kan nämnas att renaluminium har en smältpunkt på 659 °C.

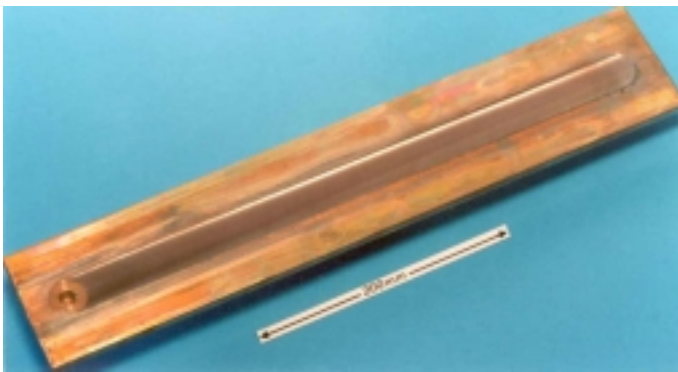
I de första försöken svetsades plattor 510 mm långa och 50 mm breda och med en tjocklek på 10 mm tillverkade ur kopparplåt. Svetsproven gjordes i en anpassad men konventionell fräsmaskin. Plattorna spändes fast i en fixtur som skruvades fast på maskinens rörliga arbetsbord, figur 6-2. Avsikten med de första försöken var att studera:

- Lämpliga verktygsmaterial och inverkan av olika verktygsgeometrier.
- Behovet av effekt och krafter.
- Övriga svetsparametrar.

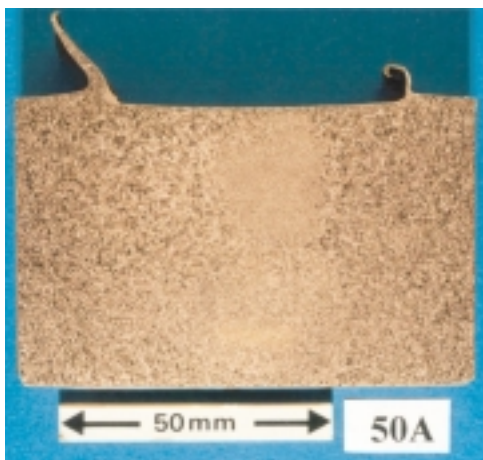
Nästa steg i utvecklingsarbetet var att visa att metoden kunde tillämpas på koppar med en tjocklek på upp till 50 mm. Ett stort antal svetsningar utfördes med successivt ökad plåttjocklek upp till 50 mm. Figur 6-4 visar exempel på strukturen i två svetsar med god kvalitet i 50 mm tjock koppar.



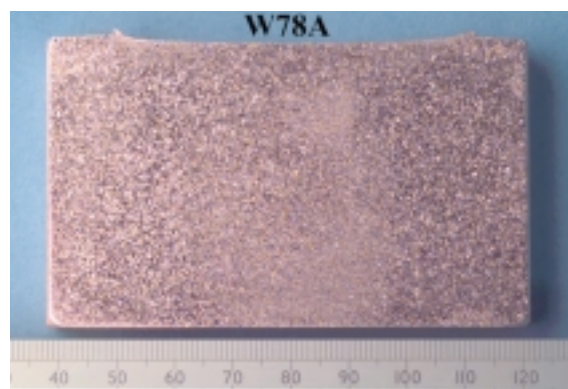
Figur 6-2. Vattenkyld fixtur för fogning av kopparplåtar med FSW.



Figur 6-3. Svets i 10 mm tjock kopparplåt.



Figur 6-4A.



Figur 6-4B.

Figur 6-4A–B. Strukturen i tvärsnitt genom svetsar i 50 mm kopparplåt. Svetsen i foto A har en tydligt utbildad finkornig kärna och större knorrar eller ”skägg” av utpressad koppar än svetsen i foto B. Olikhetererna kan påverkas genom kontroll av temperatur och presskraft.

6.2.2 Maskin för svetsning av lock eller botten mot kopparrör

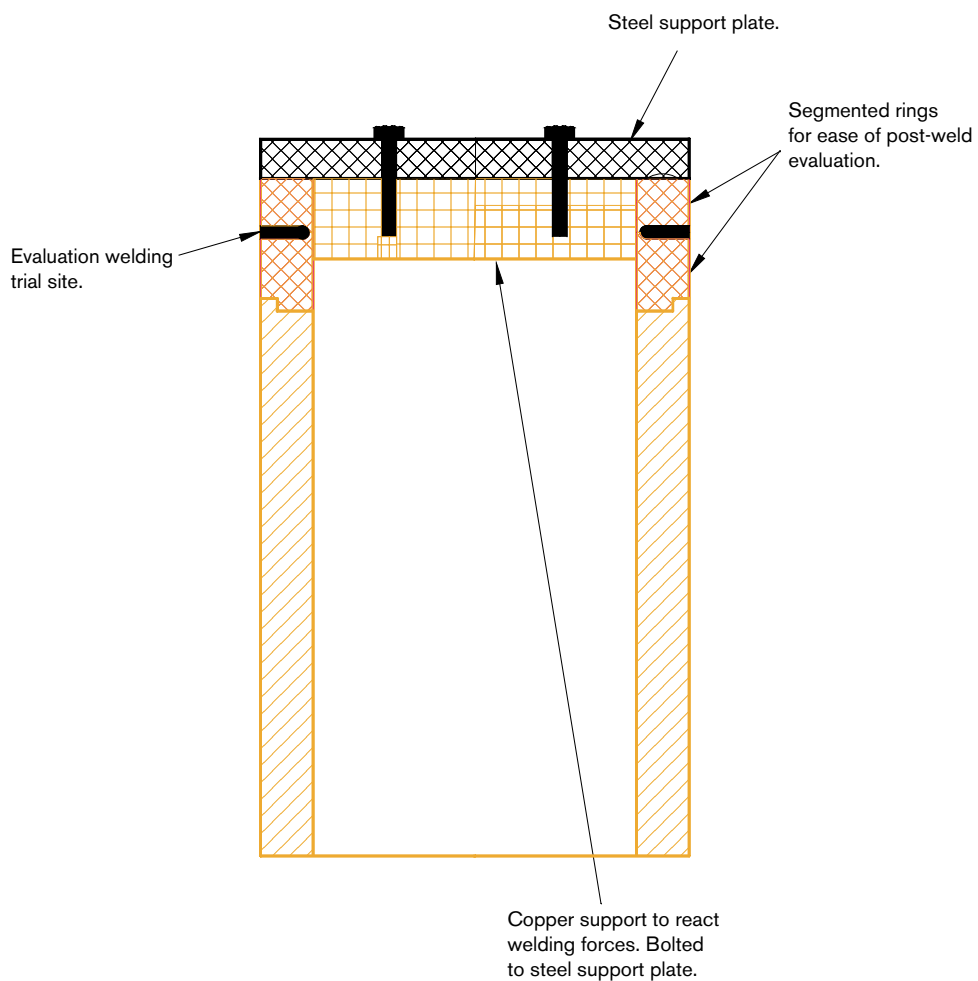
De första delprojekten hade visat att det var möjligt att med bra resultat svetsa 50 mm tjock kopparplåt med FSW. Detta ledde till att SKB beslöt att gå vidare och konstruera en maskin för FSW med vilken svetsning i full skala av lock eller botten mot kopparrör kunde utvecklas. Figur 6-5 visar den färdiga anläggningen. Maskinen är i nuvarande utformning inte konstruerad för svetsning av kopparrör med full längd men svetsning kan utföras med korta kopparrör (ca 2 m längd) med övriga mått på röret och tillhörande lock eller botten enligt den aktuella kapselkonstruktionen.

Maskinen är som framgår av figur 6-5 konstruerad för svetsning i horisontalplanet. Kopparröret är placerat vertikalt i maskinen och det roterande verktyget arbetar horisontellt från sidan. Verktygshållaren är fast medan kopparröret roteras under svetsningen.



Figur 6-5. Maskin för FSW av lock eller botten på kopparrör.

Med den nya maskinen var en omfattande utprovning av svetsparametrar, verktygs-material och verktygsutformning nödvändig. För att i det inledande skedet begränsa materialåtgången utfördes svetsningarna på kapade ringformade prover enligt figur 6-6. Figuren visar hur 120° segment med en längd av ca 1 m monteras på ett kopparrör för svetsning. Efter svetsning monteras anordningen isär för utvärdering av svetsen i segmenten. Två nya segment kan sedan monteras på samma sätt för nästa svetsprov osv.



Figur 6-6. Arrangemang för svetsning av 120° segment.

Svetsningen startar genom att verktyget sätts i rotation och att spetsen på verktyget förs in i ett förborrat hål i foglinjen, se figur 6-7A. Nära detta startområde har ett termoelement monterats. När spetsen kommit in i hålet och verktygets undersida trycks mot kopparytan medför friktionen en temperaturstegring som registreras av termoelementet. Vid en viss temperatur startas kapselns rotation och verktyget kommer att röra sig framåt längs fogen. Av friktionsvärmerna kommer verktyget att kontinuerligt vara omgivet av en volym koppar med så hög temperatur att materialet är plastiskt och kan (utan att ha nått smältpunkten) flyta runt verktygsspetsen. Figur 6-7B visar verktyget under svetsningen. Verktygets undersida rör sig framåt i en ytzon och åstadkommer en viss uppfläkning av ytlig koppar.

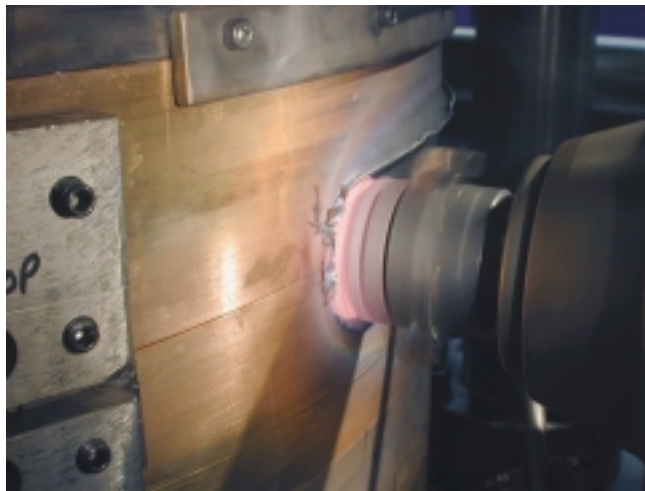
I samband med utförda svetsprov har det varit möjligt att testa och utvärdera ett antal variabler som är av betydelse för svetsresultatet. Viktiga sådana parametrar är:

- Verktygets konstruktion. Utformningen spetsen och av verktygets slityta.
- Verktygsmaterial. Behov av värmebehandling och/eller ytbehandling.
- Verktygets rotationshastighet.
- Verktygets presskraft mot arbetsstycket.
- Verktygets temperatur och temperaturen i den plastiska zonen under svetsningen.
- Verktygets vinkel mot arbetsstyckets yta.
- Kapselns rotationshastighet (matningshastigheten).
- Krafter som verktyget utsätts för. (vridmoment och böjmoment).

Ett stort antal verktygsutformningar och verktygsmaterial har testats. I figur 6-8 visas exempel på olika verktyg. Verktygsmaterial som provats är olika sorters hårdmetall, varmhållfasta legeringar och s k superlegeringar.

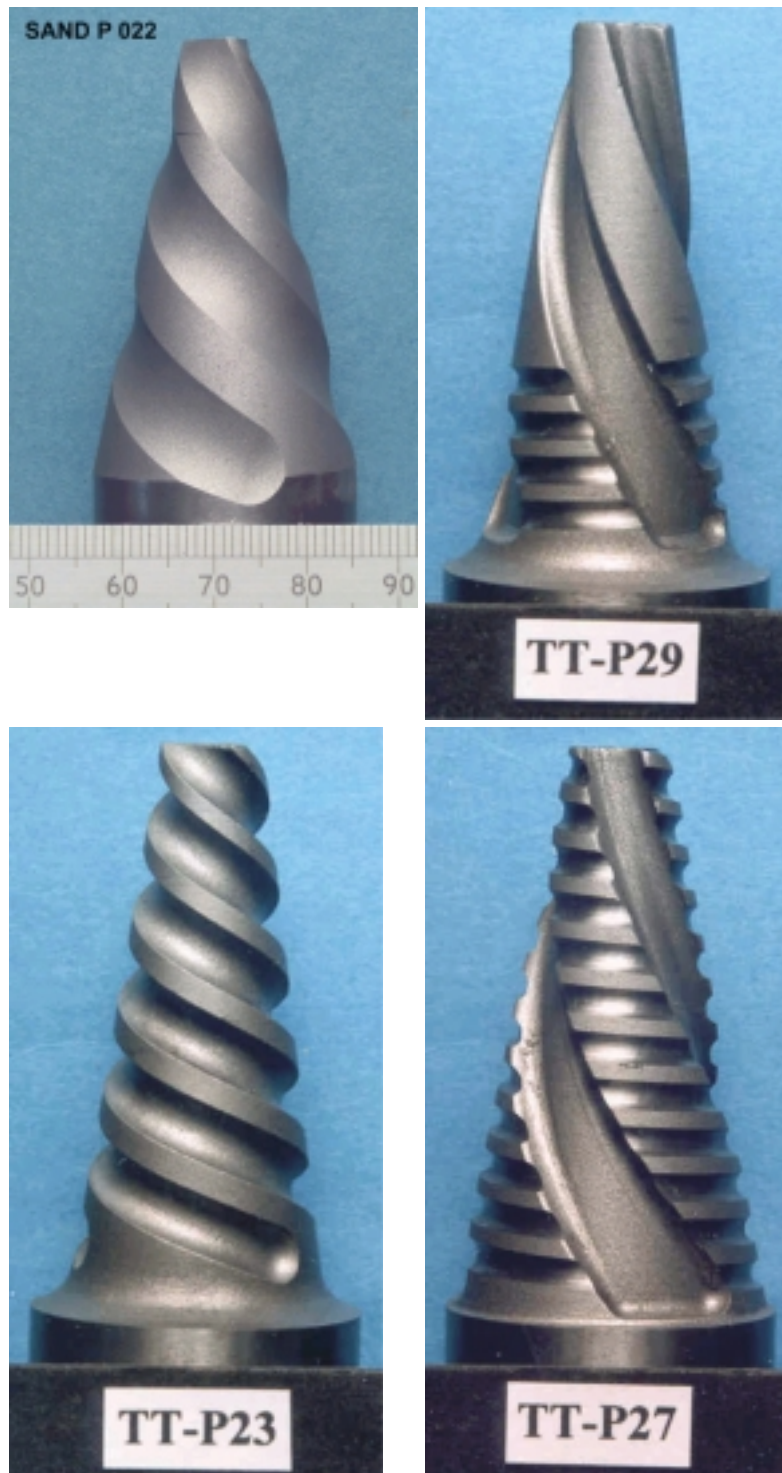


Figur 6-7A.



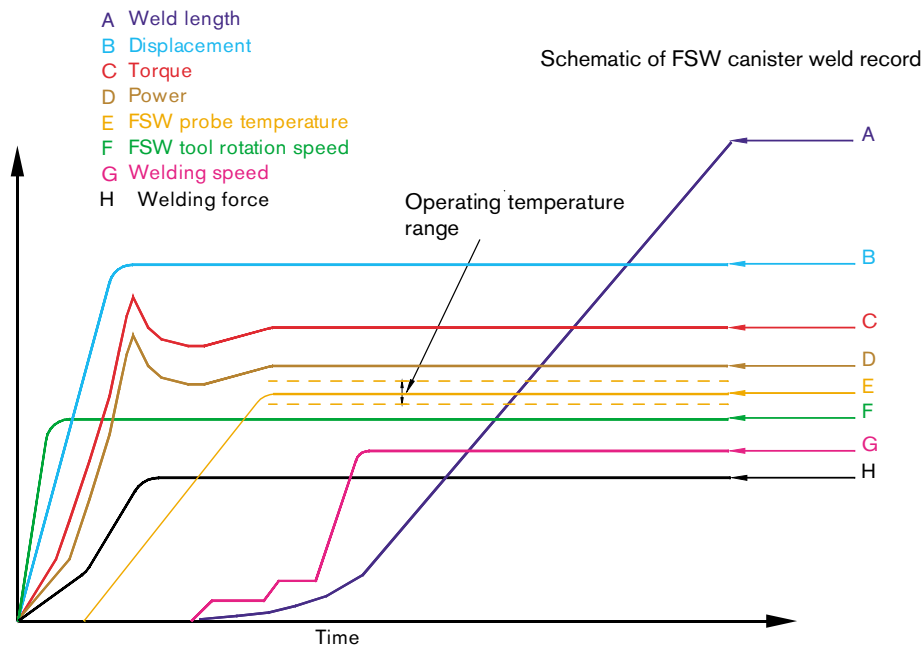
Figur 6-7B.

Figur 6-7A–B. Svetsning av 120° segment.



Figur 6-8. Exempel på olika verktygsutformningar.

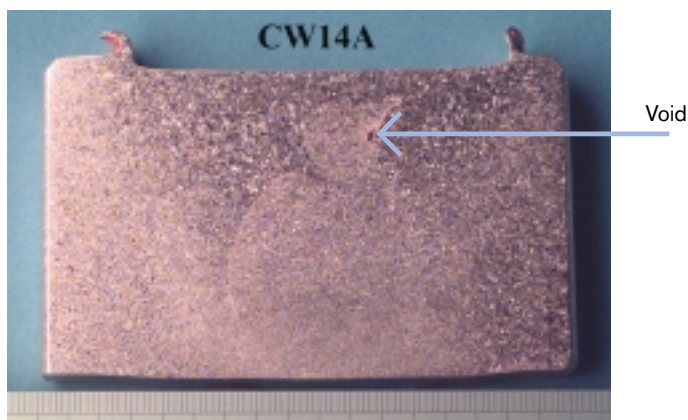
Maskinen är försedd med ett antal olika givare för registrering av sådana parametrar som angetts ovan. Dessa parametrar dokumenteras med en skrivare. Ett schematiskt exempel visas i figur 6-9. Denna dokumentation av varje utförd svets är ett viktigt komplement till efterföljande utvärdering av svetsresultatet med oförstörande provning med t ex ultraljud och röntgen och metallografiska studier med mikroskop.



Figur 6-9. Dokumentation av svetsparametrar.

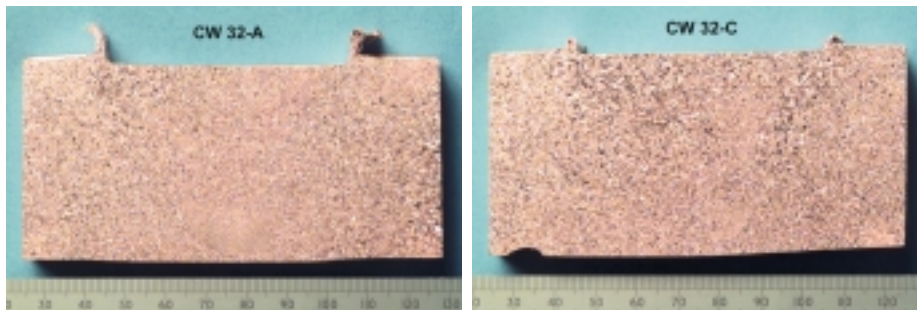
6.2.3 Resultat av utförda svetsningar

Det systematiska arbetet med utprovning av verktyg och svetsparametrar vid fullskaleprov i anläggningen på TWI har successivt lett fram till förbättrad kvalitet hos svetsarna. I dagens läge finns ett verktygskoncept och utprovade värden på svetsparametrar som ger ett gott resultat även om tekniken ännu inte är färdigutvecklad. Ett relativt stort antal svetsningar av 120° segment har utförts. Efter hand har verktyg som inte fungerat beroende på materialegenskaper och/eller verktygsutformning kunnat sållas bort. Det har hänt att verktyg gått av under svetsning, att verktyg deformerats av den uppnådda arbetstemperaturen eller att koppar kletat fast i för stor utsträckning i verktygets mönster. I vissa fall har defekter observerats i den färdiga svetsen. Ett exempel på detta visas i figur 6-10, där en liten hålighet eller diskontinuitet markerats med en pil. Man kan konstatera att den finns nära gränslinjen mellan den finkorniga "kärnan" (eng. nugget, se figur 6-1) och den angränsande termomekaniskt påverkade zonen. Detta läge har visat sig i många fall vara typiskt för var diskontinuiteter har bildats.

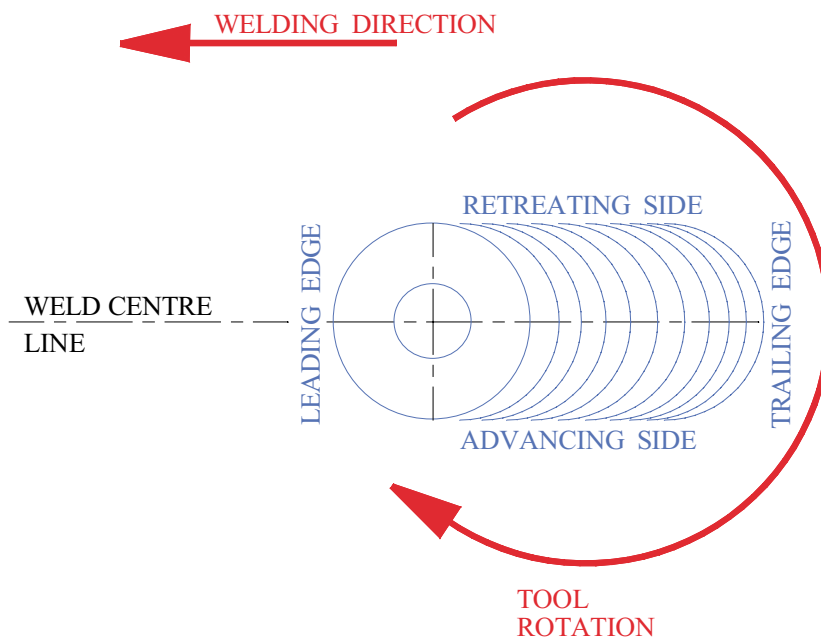


Figur 6-10. Defekt i svetsgods nära gränslinjen mellan den finkorniga "kärnan" och den angränsande termomekaniskt påverkade zonen.

Det har visat sig att en så tydlig finkornig kärna som den i figur 6-10 inte med nödvändighet bildas vid svetsningen. I figur 6-11 visas ett exempel på en svets med betydligt mindre utpräglad kärna och i figur 6-12 en svets med en mycket jämn struktur från grundmaterialet och tvärs igenom hela svetsen. Skillnaden har visat sig ha ett temperaturberoende. Den tydliga finkorniga kärnan uppträder vid lägre temperatur.



Figur 6-11. Två snitt genom svets CW 32. Läge A representerar startområdet och läge C slutet av svetsen.



Figur 6-12. Snitt genom svets CW 38.

Nästa steg i utvecklingsarbetet blev att genomföra svetsar runt hela omkretsen i stället för på 120° segment. Svetsningarna har dock fortfarande gjorts på ringformade delar av kopparrör i stället för på verkliga lock eller bottenar i koppar. En sådan svets visas i figur 6-13.

Grundliga materialundersökningar av utförda svetsar är en viktig del av utvecklingsarbetet. Med ultraljud och röntgen kan oförstörande provning utföras. SKB:s utrustning vid Kapsellaboratoriet i Oskarshamn används för att studera svetsar och utveckla metoder för oförstörande provning. Speciella materialundersökningar pågår vid Institutet för Metallforskning (IM) i Stockholm. På prover uttagna på olika ställen runt svetsarnas hela omkrets provas hållfastheten med dragprovning och krypprovning. Prover kommer även att undersökas metallografiskt genom mikroskopering och vid behov med mikrosond-analys. Figur 6-14 visar en svets som sänts till IM för sådana undersökningar. Svetsen har styckats upp för att olika provlägen runt varvet skall undersökas.

SKB har tillsammans med TWI presenterat utvecklingen av FSW på kopparkapslar vid olika internationella konferenser, referens [10]–[12]. Den unika tillämpningen av FSW har även lett till en första patentansökan som SKB innehar tillsammans med TWI, [13].



Figur 6-13. Svets runt hela omkretsen.



Figur 6-14. Svets CW 77 som sänts till IM för undersökning.

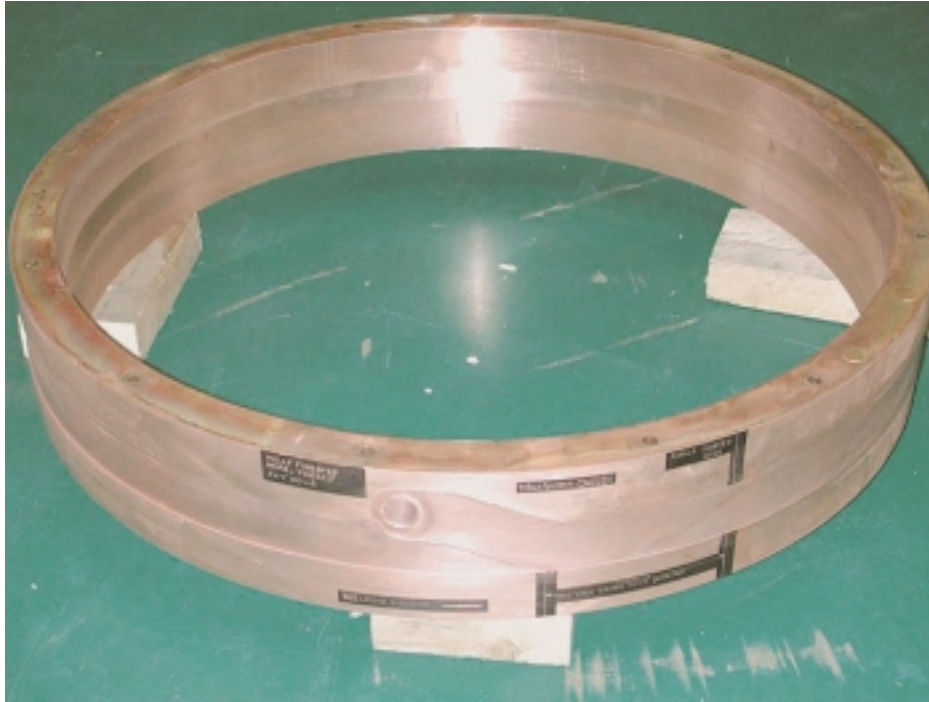
6.2.4 Vidareutveckling av metoden. Parkering av utgångshål

Metoden kommer nu att utvecklas vidare. Grundläggande utveckling kommer att fortsätta vid TWI avseende optimering av verktyg och processparametrar. Viktigt är även att utveckla teknik för styrning och kontroll av vissa processparametrar. Svetsning kommer att utföras i både 50 och 30 mm tjocka rör. I den fortsatta utvecklingen vid TWI kommer svetsningen att utföras på riktiga lock eller bottenar i stället för på ringar.

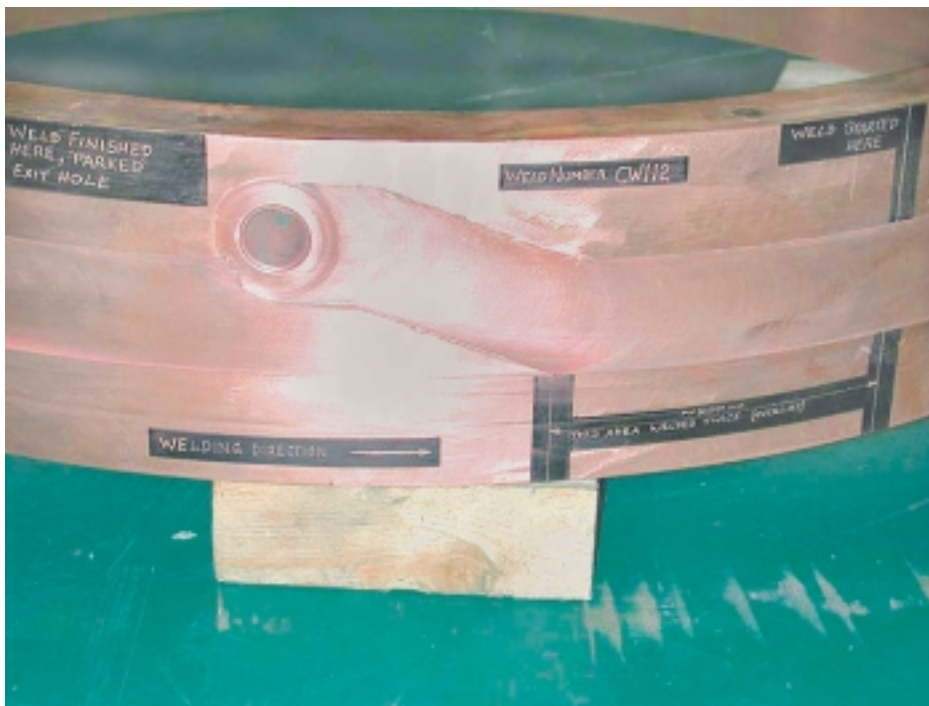
I samarbete med KTH har ett doktorandarbete påbörjats avseende modellering av FSW-processen. Avsikten är att få en förståelse för flödet av material runt verktyget, var eventuella töjningar i materialet kan leda till att defekter bildas samt att få en modell för strukturutvecklingen i de olika zonerna i svetsen och hur strukturen kan påverkas.

Tekniken för oförstörande provning kommer att utvecklas vid Kapsellaboratoriet och i samarbete med Uppsala Universitet.

Olika metoder för att lösa problemet med det utgångshål som bildas av den roterande spetsen på verktyget efter fullbordat varv kommer att provas. En metod är att efter fullbordat varv och en viss överlappning låta verktyget vandra ut ur svetsfogen och parkera utgångshålet på ett ställe där det inte gör någon skada. Preliminära försök har gjorts vid TWI och figur 6-15 visar resultatet av detta.



Figur 6-15A.



Figur 6-15B.

Figur 6-15A-B. Parkering av utgåingshål efter fullbordat varv.

7 Kvalitetssäkring

Kvalitetssystemet för kapseltillverkning är en del av SKB:s kvalitetssystem som är certifierat enligt ISO 9001 och 14001. De styrande dokumenten för kapseltillverkning är sammanställda i Kvalitetshandbok-Kapseltillverkning samt i en särskild pärm med "Ritningar, specifikationer och rutiner". Kvalitetssystemet för kapseltillverkning täcker hela kedjan från materialleverantörer till och med leverans av färdiga kapslar. Aktiviteter i samband med förslutningssvetsning av lock till kapslarna berörs dock inte.

Handboken hänvisar till speciella rutinbeskrivningar och andra styrande dokument. Det aktuella innehållet i Kvalitetshandboken framgår av bilaga 6, sidan 100.

Den separata pärmen "Ritningar, specifikationer och rutiner" innehåller aktuella konstruktionsritningar och tekniska specifikationer. Två av dessa KTS 001 "Material for Copper Canisters" och KTS 011 "Nodular Cast Iron SS 0717 Insert" har diskuterats i kapitel 2 ovan och finns med som bilaga 2 och 3 i denna rapport. I denna pärm finns även de aktuella rutinbeskrivningarna. En förteckning över dessa finns i bilaga 6, sidan 101. Rutinbeskrivningar och tekniska specifikationer är skrivna på engelska för att kunna användas även av utländska leverantörer.

Ett viktigt område för fortsatt arbete är att fastställa acceptanskriterier för kapselns alla delar inklusive förekommande svetsar. Sådana kriterier är materialkrav och acceptansgränser för såväl ytliga defekter som defekter inuti materialet. En konsekvensanalys ska genomföras som visar vad som händer om det finns fler eller större defekter än vad acceptanskriterierna anger.

Fastlagda acceptanskriterier avseende defekter måste kunna verifieras med oförstörande provning. Det pågående arbetet med att välja lämplig utrustning och metodik kommer att fortsätta i samarbete med leverantörer och experter vid högskolor och universitet.

Aktuella tillverkningsprocesser samt kontroll- och provningsförfaranden ska kvalificeras. Detta arbete kommer att systematiseras och bedrivs under de närmaste åren.

Ett led i det pågående arbetet med utveckling av kvalitetssystemet för kapseltillverkning är att finna det nödvändiga nätverket av lämpliga underleverantörer och att skapa en långsiktig och affärsmässig relation med dessa. I samband med pågående provtillverkning kommer en kontinuerlig bedömning av aktuella leverantörer att fortsätta genom regelbundna kvalitetsrevisioner samt analys av prissättning, leveranssäkerhet och sannolik framtida utveckling.

8 Framtida serieproduktion – Kapsel­fabrik

SKB planerar att tillverkning av kapslar kommer att ske i en speciell kapsel­fabrik. Från kapsel­fabriken skall kompletta men tomma kapslar transporteras till inkapslings­anläggningen. I den tidigare rapporten från 1988, referens [4], redogjordes för en preliminär utredning av utformningen av en sådan fabrik. Efter detta har ytterligare analyser gjorts, referens [14] och [15]. I den första rapporten [14] sker tillverkningen av kopparrör i fabriken genom rullformning av valsade kopparplåtar till rörhalvor som sedan sammanfogas genom längsgående elektronstrålesvetsning. I rapport [15] färdigställs kopparrören från sömlösa ämnesrör som levereras till fabriken från externa leverantörer. I båda fallen levereras gjutna och grovbearbetade insatser till fabriken för färdigbearbetning. Bilaga 7 från referens [15] visar den tänkta dispositionen av fabriken. Planeringen är gjord så att ämnesmaterial i form av sömlösa ej maskinbearbetade ämnesrör kopparrör, smidda ämnen för lock och bottenar i koppar, gjutna och grovbearbetade insatser och ämnen till insatslock i stålplåt levereras till fabriken från externa leverantörer. Fabriken är planerad med två åtskilda bearbetningslinjer en för kopparbearbetning och en för bearbetning av stål och gjutjärn.

I bearbetningslinjen för koppar svarvas kopparrör och lock och bottenar i koppar. Efter kontrollmätning svetsas botten på kopparröret med elektronstrålesvetsning och svetsen kontrolleras med ultraljud och röntgen. Efter godkänd kontroll svarvas svetsområdet till färdigmått och kopparröret genomgår en rengöring med högtryckstvättning och torkning.

I den andra bearbetningslinjen svarvas insatser och stållock till fastställda mått som kontrolleras i en särskild mätstation. Efter svarvning av insatserna utförs en renblästring av samtliga kanaler för bränsleelement. Bearbetningen av insatser och stållock sker torrt vilket innebär att någon tvättning av dessa delar ej behöver utföras.

Det sista momentet i kapseltillverkningen utgörs av isättning av insatsen i kopparröret. Den färdiga kapseln placeras efter monteringen i en därtill avsedd transportvagg. Kapseln är därmed klar att tillsammans med insatslock och kopparlock levereras till inkapslingsanläggningen.



Figur 8-1. Exteriör av SKB:s kapsel­fabrik.

I utredningen av fabriken har även ingått en preliminär bedömning av lämplig maskinell utrustning. Fabriken skall kunna tillverka 210 kapslar per år. Diskussioner har förts med maskintillverkare som även gett konkreta förslag på lämpliga maskiner och övrig utrustning för varje moment i tillverkningen. Som bilaga 7 visar har även lokaler för underhållsverkstad, kontrollaboratorium och lagerlokal för färdiga kapslar planerats.

Fabriksbyggnaden enligt referens [15] har beräknats till att behöva en yta på ca 5 800 m² med en byggkostnad på ca 73 MSEK. Den totala investeringskostnaden för maskiner och övrig utrustning har bedömts till ca 99 MSEK och personalbehovet till 21 personer.

SKI har gjort en analys och bedömning av SKB:s utredning och planering av kapsel-fabriken, referens [16]. Resultatet av denna är att SKB:s föreslagna tillverkningsmetoder, utrustningsval och organisation bör innebära att en fungerande tillverkning av kapslar kan skapas. Dock rekommenderas i några fall vidare utredningar.

9 Fortsatt arbete

Arbetet med provtillverkning av samtliga kapseldelar i full skala kommer att fortsätta de närmaste åren. SKI har framfört att SKB innan tidpunkten för tillståndsansökan måste ha visat att metoder för tillverkning och kontroll verkligen finns tillgängliga och är lämpliga för serietillverkning. Detta innebär att ett tillräckligt stort antal kapslar ska ha tillverkats och kontrollerats och kunnat visas uppfylla ställda krav.

Redovisningen av utfört arbete i denna rapport visar att det finns tillgängliga tillverkningsmetoder för alla kapseldelar. Resultaten hittills visar även att dessa metoder med hög grad av sannolikhet kan utvecklas och få acceptans för användning i en serieproduktion. I rapporten har, i de flesta avsnitt, konkreta frågeställningar redovisats inom olika områden, där ytterligare utvecklingsarbete krävs både i form av utredningar och praktiska prov. Vidare nämns i rapporten ett antal pågående forsknings- och utvecklingsprojekt vid institut och högskolor. För att ge en överskådlig sammanställning av viktigt fortsatt arbete under de närmaste åren har nedanstående punktlista sammanställts.

Tillverkning av kopparrör med lock och botten

- Fortsatt tillverkning av sömlösa kopparrör för 50 mm väggjocklek och i viss utsträckning för 30 mm väggjocklek kommer i första hand att ske med de båda metoderna extrudering och dornpressning. Arbetet kommer att vara inriktat på att visa att kopparrör i full skala kan tillverkas med dessa metoder och uppfylla ställda krav. Viktiga delmoment är att optimera materialutbyte, processparametrar och kontrollmetoder.
- Alternativa tillverkningsmetoder för kopparrör kommer att provas i viss utsträckning. En teknik är smide av rör. Utvecklingen av alternativa metoder kommer i varje enskilt fall att bero av erhållna resultat.
- Tillverkning av kopparrör med 30 mm väggjocklek genom rullformning av valsad plåt och längssvetsning med EBW eller FSW kan vara ett alternativ om tillverkningen av sömlösa rör resulterar i oväntade problem.
- Tillverkning av smidda ämnen för lock och botten kommer att fortsätta. Viktiga delmål är att optimera erhållna kornstorlek i de smidda ämnena samt att förbättra materialutbyte och kontrollmetoder. För att nå dessa mål kommer olika utformningar av smidesverktyg och olika dimensioner på de göt som skall smidas att provas tillsammans med olika processparametrar.
- Parallellt med utveckling och provtillverkning hos olika leverantörer kommer forskningsprojekt att bedrivas vid institut, högskolor och universitet. Konkreta pågående projekt är datorsimuleringar och prov i laboratorieskala av aktuella tillverkningsmetoder samt materialprovning. Resultaten från dessa projekt kommer att ge kunskap som kan bidra till den optimering av materialspecifikation och tillverkningssteknik som eftersträvas.

- Utveckling av tekniken för svetsning av bottenar på kopparrör kommer att fortsätta. Svetsning kommer att utföras med såväl EBW som FSW vid TWI och SKB:s Kapsellaboratorium. Svetsning i full skala kommer under de närmaste åren att kunna utföras vid Kapsellaboratoriet med båda metoderna. Utprovning av metoder för oförstörande provning av bottenhetsar kommer att ske parallellt med utvecklingen av provmetoder för förslutningssvetsning.

Tillverkning av gjutna insatser med stållock

- Fortsatt tillverkning av gjutna insatser i segjärn kommer att genomföras i samarbete med olika gjuteriföretag. I det fortsatta arbetet kommer inriktningen att vara att optimera tillverkningsprocessen, materialspecifikationen och provningsmetoder.
- Parallellt med utveckling och provtillverkning vid aktuella gjuterier kommer utvecklingsarbete att bedrivas i samarbete med Svenska Gjuteriföreningen. Detta kommer att omfatta simulering av gjutprocesser samt materialprovning. Avsikten är att få kunskap som kan bidra till optimering av materialspecifikation och tillverknings-teknik.
- Stållock till insatser kommer att tillverkas för att täcka behovet vid tillverkning av kompletta kapslar. Målsättningen med det fortsatta arbetet är att vidareutveckla konstruktionen med tillhörande materialspecifikation och kriterier för kvalitetssäkring.

Fortsatt utveckling av FSW

- Det grundläggande utvecklingsarbetet vid TWI med den befintliga utrustningen kommer att fortsätta under 2002. Arbetet är inriktat på att fortsätta utvecklingen av verktyg och processparametrar. Viktigt är även att utveckla teknik för kontroll och styrning av vissa processparametrar. Svetsning kommer att utföras i både 50 och 30 mm tjocka rör. I det fortsatta arbetet kommer svetsning att utföras på riktiga lock och bottenar. Utförda svetsar utvärderas kontinuerligt med metallografi och oförstörande provning.
- Grundliga materialundersökningar av svetsar pågår och kommer att fortsätta vid Institutet för Metallforskning i Stockholm. På prover uttagna på olika ställen runt svetsarnas hela omkrets kommer hållfastheten att provas med dragprovstavar och krypprovstavar. Svetsarna kommer även att undersökas metallografiskt genom mikroskopering och vid behov med mikrosondanalys.
- I samarbete med KTH har ett forskningsprojekt påbörjats avseende modellering av FSW-processen. Avsikten är att få en förståelse för flödet av material runt verktyget, var eventuella töjningar i materialet kan leda till defekter samt att få en modell för hur strukturen utvecklas i olika zoner i svetsen och hur den uppkomna strukturen kan påverkas.
- Olika metoder för att lösa problemet med det utgångshål som bildas av den roterande spetsen på verktyget efter fullbordat varv kommer att provas.
- Teknik för oförstörande provning av svetsar kommer att utvecklas vid Kapsellaboratoriet och i samarbete med bl a Uppsala Universitet.

Kvalitetssäkring

- Arbetet med kapseltillverkning bedrivs enligt kraven i ISO 9001 och 14001. Verksamheten beskrivs detaljerat i den befintliga handboken för kapseltillverkning med tillhörande tillverkningsritningar, tekniska specifikationer och rutinbeskrivningar. Kvalitetssystemet utvecklas kontinuerligt och tillhörande handlingar revideras vid behov.
- Ett viktigt område är att fastställa acceptanskriterier för kapselns alla delar inklusive förekommande svetsar. Sådana kriterier är materialkrav och acceptansgränser för såväl ytliga defekter som defekter inuti materialet. En konsekvensanalys ska genomföras som visar vad som händer om det finns fler eller större defekter än vad acceptanskriterierna anger.
- Fastlagda acceptanskriterier avseende defekter måste kunna verifieras med oförstörande provning. Det pågående arbetet med att välja lämplig utrustning och metodik kommer att fortsätta i samarbete med leverantörer och experter vid högskolor och universitet.
- Aktuella tillverkningsprocesser samt kontroll- och provningsförfaranden ska kvalificeras. Detta arbete kommer att systematiseras och bedrivs under de närmaste åren.

Kapselabrik

- Erfarenheter från provtillverkningen av alla kapseldelar kommer att tas tillvara och påverka den fortsatta utvecklingen av fabriken. Arbetet med att utreda och fastlägga acceptanskriterier och provningsmetoder kommer att innebära att anpassad utrustning för oförstörande provning och övrig kvalitetskontroll kan specificeras mera exakt. En fördjupad utredning av anpassad maskinell utrustning och provningsutrustning i samarbete med potentiella leverantörer kommer att göras. Detta kommer att ge möjlighet till en mer exakt analys av fabriken layout och investeringskostnader.
- Om utvecklingen av FSW visar att tekniken kan bli aktuell för kapseltillverkning kommer konsekvenserna av detta att utredas och vägas in i fabrikslayout och investeringskostnader.
- En utredning med avseende på miljöpåverkan vid kapseltillverkning kommer att genomföras.
- Ett led i det pågående arbetet med utveckling av kvalitetssystemet för kapseltillverkning är att finna det nödvändiga nätverket av lämpliga underleverantörer och att skapa en långsiktig och affärsmässig relation med dessa. I samband med pågående provtillverkning kommer en kontinuerlig bedömning av aktuella leverantörer att fortsätta genom regelbundna kvalitetsrevisioner samt analys av prissättning, leveranssäkerhet och sannolik framtida utveckling.
- För att få en fullständig bild av potentiella osäkerheter kommer en riskanalys av verksamheten i den planerade kapselabriken att genomföras.

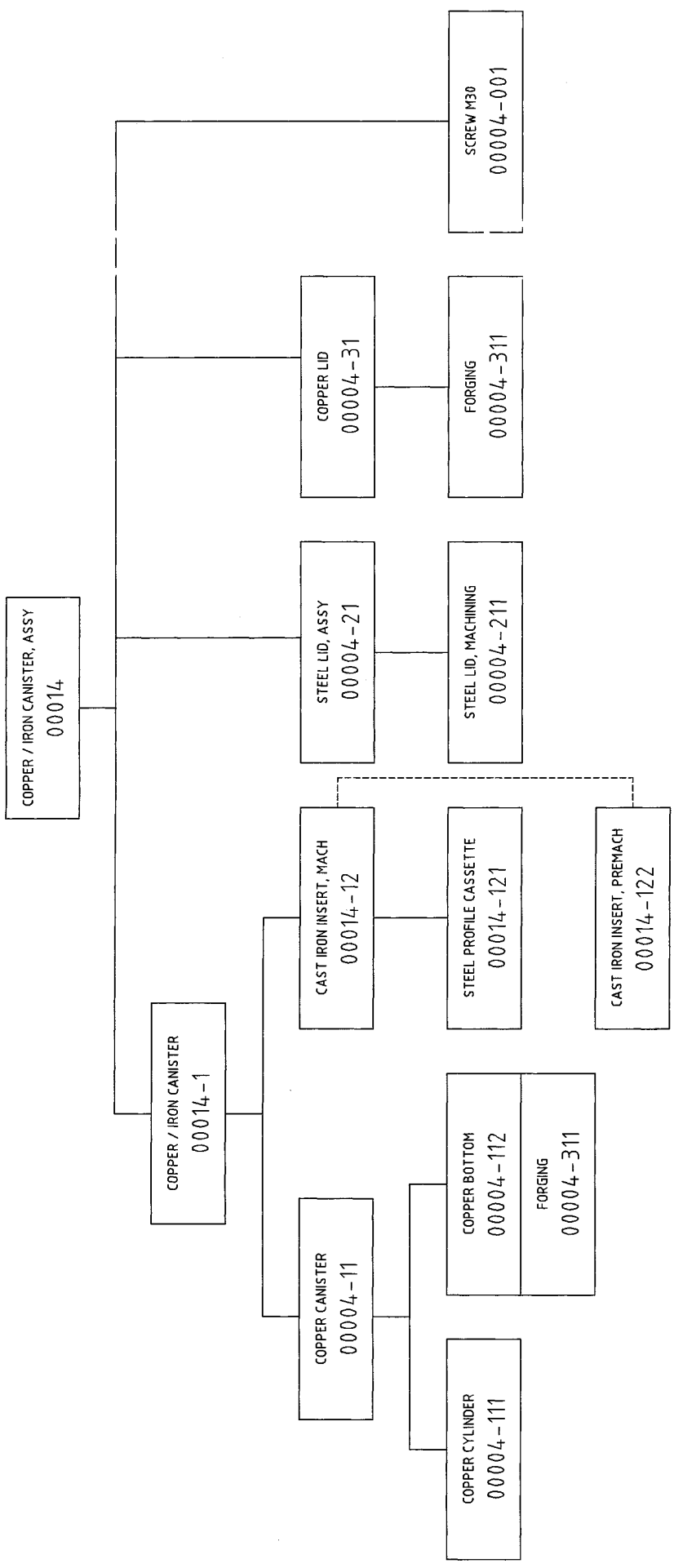
10 Referenser

1. **SKB FUD-program 98.** Kärnkraftavfallens behandling och slutförvaring. Program för forskning samt utveckling och demonstration av inkapsling och geologisk djupförvaring. SKB Stockholm, september 1998.
2. **SKIs utvärdering av SKB:s FUD-program 98.** SKI Rapport 99:16.
3. **Bowyer W H.** Comments on "SKB RD&D-Programme 98". Focused on Canister Integrity and Corrosion. SKI Report 99:20.
4. **Andersson C-G.** Provtillverkning av kopparkapslar med gjutna insatser. Lägesrapport augusti 1998. SKB Rapport R-98-09.
5. **Werme L.** Konstruktionsförutsättningar för kapsel för använt kärnbränsle. SKB Rapport R-98-08.
6. **Bowyer W H.** A Study of Defects Which Might Arise in The Copper Steel Canister. SKI Report 00:19.
7. **Ssemakula H.** Manufacturing of heavy rings and large copper canisters by plastic deformation. Licentiate Thesis. KTH Stockholm, maj 2001.
8. **Ssemakula H, Ståhlberg U.** Grain size as influenced by process parameters in copper extrusion. Scandinavian Journal of Metallurgy 49 (2000) ISSN-0459.
9. **Ssemakula H.** Manufacturing of large copper canisters by extrusion. Submitted to the Scandinavian Journal of Metallurgy for publication.
10. **Andersson C-G, Andrews R E.** Fabrication of Containment Canisters for Nuclear Waste by Friction Stir Welding. In: Proc. of the 1st Int. Symposium on Friction Stir Welding, 14–16 June 1999. Rockwell Science Center, Thousand Oaks, California, USA.
11. **Andersson C-G, Andrews R E, Dance B G I, Russel M J, Olden E J, Sanderson R M.** A Comparison of Copper Canister Fabrication by the Electron Beam and Friction Stir Processes. In: Proc. of the 2nd Int. Symposium on Friction Stir Welding, 26–28 June 2000, Gothenburg Sweden.
12. **Andersson C-G, Andrews R E.** The Development of Advanced Welding Techniques for Sealing Nuclear Waste Canisters. In: Proc. of the 2001, MRS Spring Meeting, April 16–20, San Fransisco, USA.
13. **Patentansökan EP 1073538.** Corrosion Resistant Enclosure and Methods for its Manufacture.
14. **Burström M.** Kostnadsanalys av processen, att genom rullformning och elektronstrålesvetsning tillverka kapslar för djupförvaring av använt kärnbränsle med koppartjockleken 50 mm alt. 30 mm. SKB Projekt PM TI-99-01 A. Februari 2000.

15. **Burström M.** Kostnadsanalys av processen att från sömlösa kopparrör tillverka kapslar för djupförvaring av använt kärnbränsle med koppartjockleken 50 mm alt. 30 mm. SKB Projekt PM TI-00-03. Februari 2000.
16. **Lundin M, Gustafsson O, von Brömsen B, Troell E.** Granskning av SKB:s förslag till inkapslingsteknik. SKI Rapport 01:9.

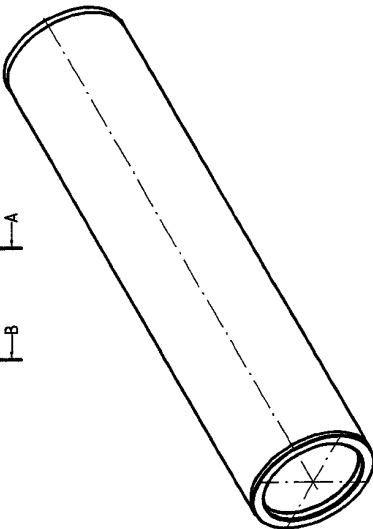
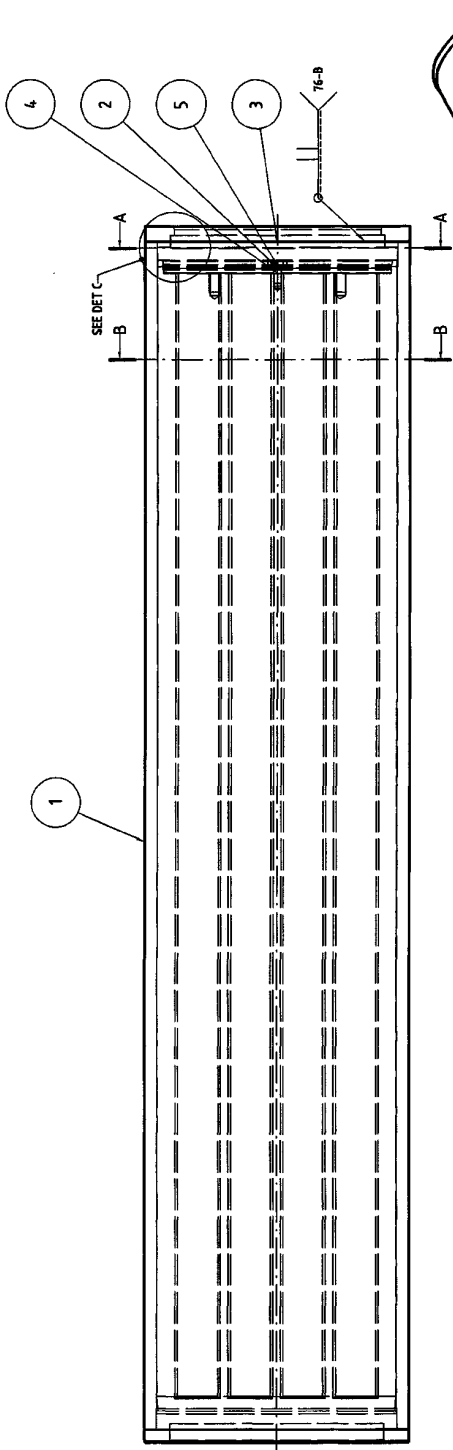
Ritningar. Kapsel med insats i segjärn för 12 BWR-element

Rev	Date	Revision	Partition	Drawn	Check	Approv.



Designed by Richard Isenhardt, AB in cooperation with SKB KAS file No. SKB-9904L-999	Drawn / Date KZP 2000-06-20	Checked / Date 22 2000-08-08 J.M. C.S.A.	Projection 	General Tolerances in accordance with ISO 2768 MS
SKB SKANSK KÄRNREANSLAGS- HANTERING AB				BWR SERIAL 2 DRAWING LIST COPPER / IRON CANISTER Drawing No. 00014-999
Scale: 1:1 A2				Page 1 / (1) Rev. A

Rev	Date	Revision	Drawn	Checked	Appr.
B	2004-08-14	Pos 1/3 and det C changed	KJP	W	CGA



1

SEE DET C

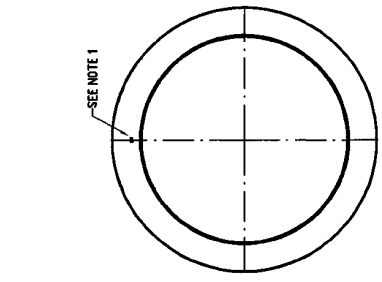
A

B

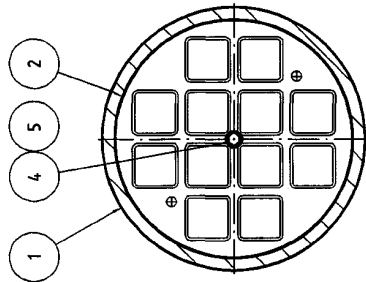
76-B

A

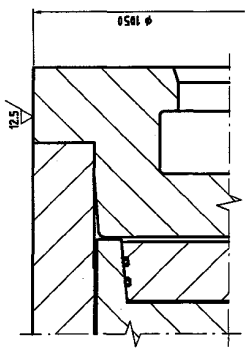
B



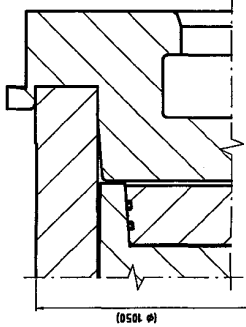
SEE NOTE 1



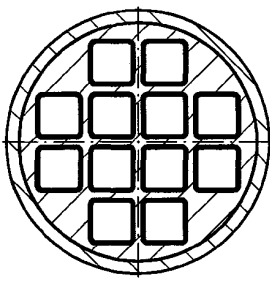
SECTION A-A



DETAIL C
AFTER WELDING AND MACHINING
SCALE 5:2



DETAIL C
BEFORE WELDING AND MACHINING
SCALE 5:2



SECTION B-B

NOTE
ANM.

- 1. NUMBER OF CANISTER TO BE PUNCH MARKED ACCORDING TO SKB'S DIRECTIONS
- 1. NUMMER PÅ BEHÅLLARE STANSAS IN LÄNGDRIKT MED ANVISNING FRÅN SKB

1	1	COPPER / IRON CANISTER	00014-1
5	1	WASHER 30x36x2	COPPER
4	1	SCREW R30	00014-001
3	1	COPPER LID	00014-31
2	1	STEEL LID, ASSY	00014-21

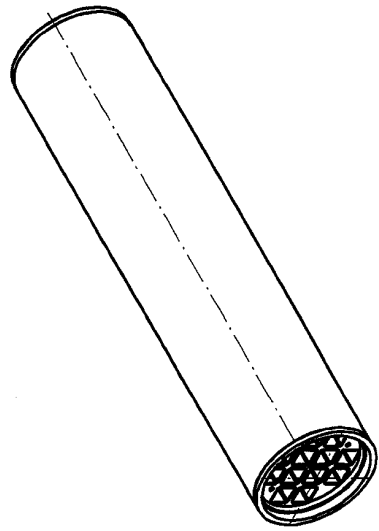
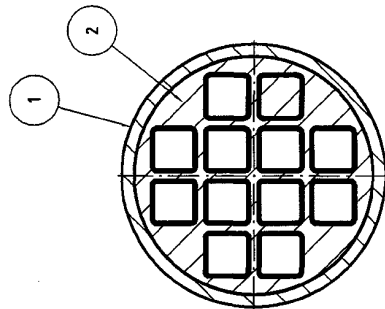
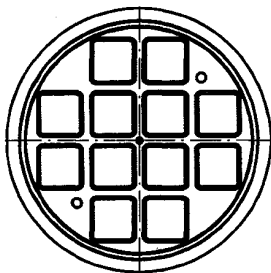
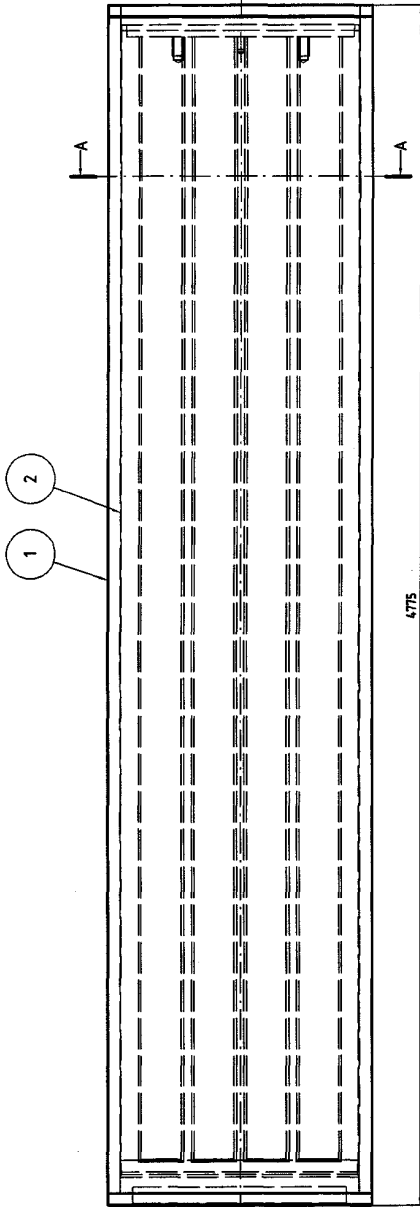
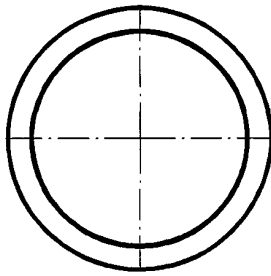
Part	Qty	Description	Material/Finishing
1	1	COPPER / IRON CANISTER	00014-1
5	1	WASHER 30x36x2	COPPER
4	1	SCREW R30	00014-001
3	1	COPPER LID	00014-31
2	1	STEEL LID, ASSY	00014-21

Prepared by	Checked by	Drawn by	Scale
KJP	W	W	1/10

Issue No.	Issue Date	Issue Description
1	2004-08-14	Pos 1/3 and det C changed

Part No.	00014
Part Name	COPPER / IRON CANISTER
Rev	1/11

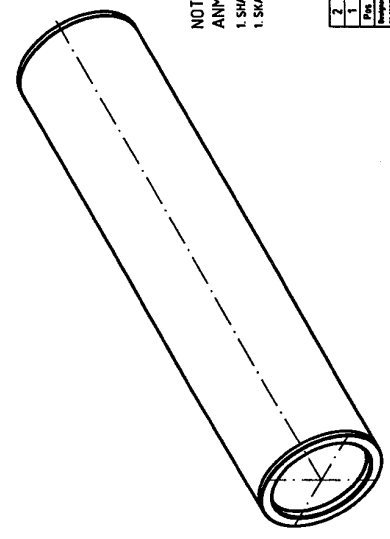
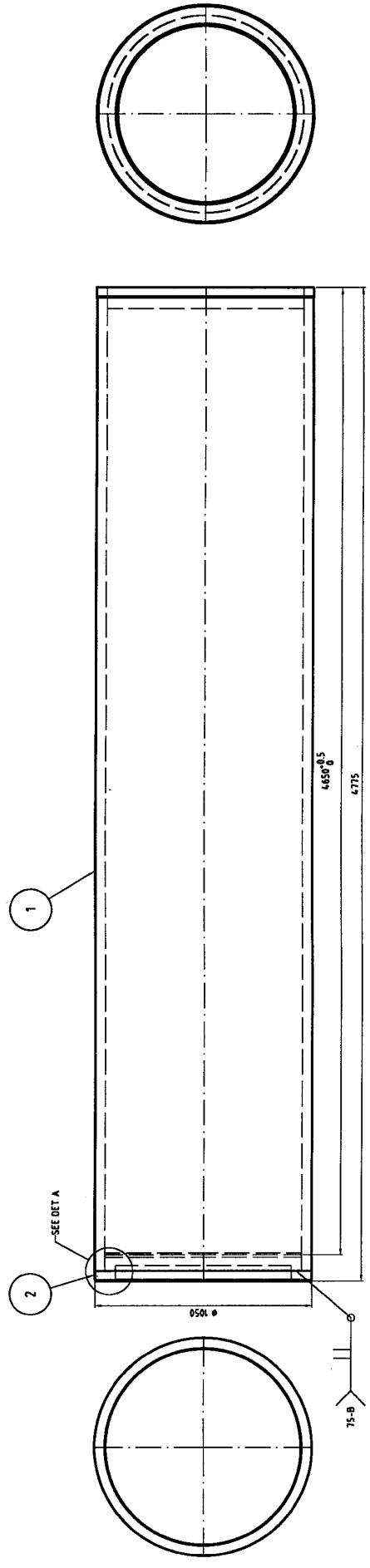
Rev	Date	Reason	Drawn	Checked	Approved
B	2006-08-16	Por 2 changed	KJP		CGA



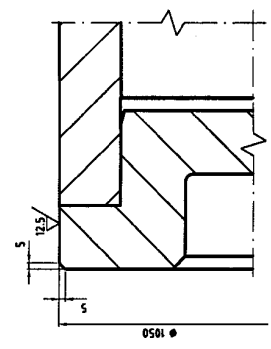
2	1	CAST IRON INSERT, MAC	8004-12	
1	1	COPPER CANISTER	8004-11	
Part Name / Drawing Title COPPER CANISTER Part No. / Drawing No. 8004-11 / 8004-11-2 Date Issued / Date Issued 02-03-2006 / 02-03-2006 Drawing Scale / Drawing Scale 1:10 / A1				
SKB SKANSKA BOKORNSKOPPARNS AB BOX 583 SE-402 22 GÖTEBORG SWEDEN TEL: +46 (0)31 823000 FAX: +46 (0)31 823001 WWW.SKANSKA.BOKORNSKOPPARNS.AB				
BWR SERIAL 2 COPPER / IRON CANISTER COPPER / IRON CANISTER				Rev 1/1(1) B

SECTION A-A

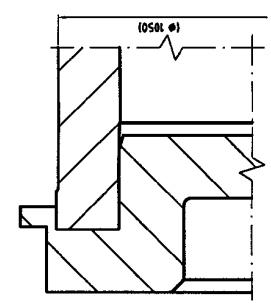
Rev	DATE	REVISION	DESIGN	CHECK	APPROV.



NOTE
ANN.
1. SHARP EDGES BROKEN
1. SKARPA KANTER BRUTINA



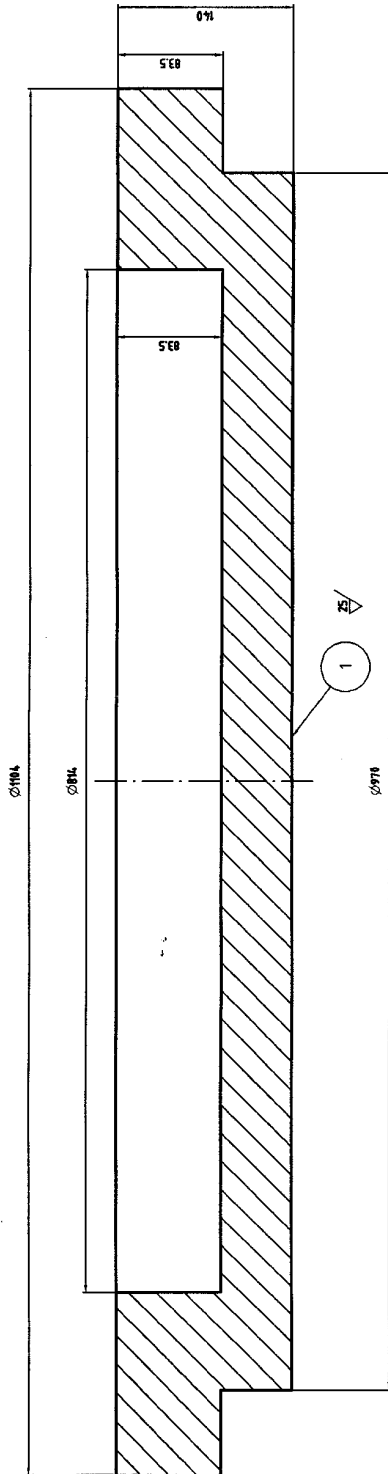
DETAIL A
AFTER WELDING AND MACHINING
SCALE 1:2



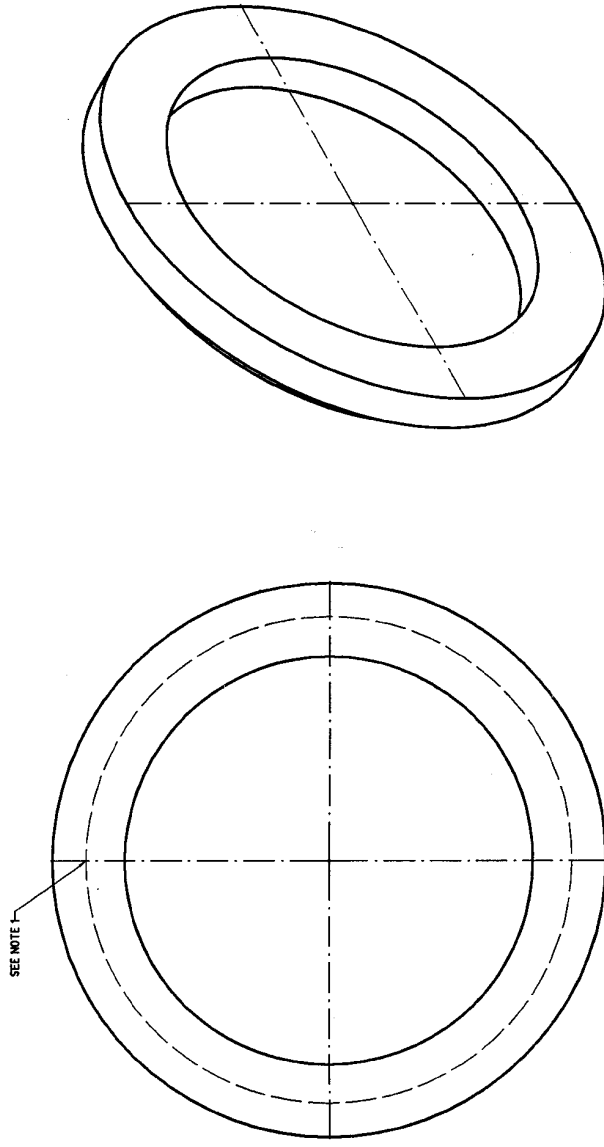
DETAIL A
BEFORE WELDING AND MACHINING
SCALE 1:2

2	1	COPPER BOTTOM	00004-11Z
1	1	COPPER LIDDER	00004-11H
POK. I. D. P. POK. II. D. P. POK. III. D. P. POK. IV. D. P. POK. V. D. P. POK. VI. D. P. POK. VII. D. P. POK. VIII. D. P. POK. IX. D. P. POK. X. D. P. POK. XI. D. P. POK. XII. D. P. POK. XIII. D. P. POK. XIV. D. P. POK. XV. D. P. POK. XVI. D. P. POK. XVII. D. P. POK. XVIII. D. P. POK. XIX. D. P. POK. XX. D. P.			
SKB SLOVENSKA REPUBLIKA JAVNA AGENCIJA ZA VARNOST RAZISKOVANJE IN VARNOST SLOVENIJE		1:10 A1	00004-11 1/11 A

REVISION	DATE	BY	CHKD
1			
2			
3			
4			
5			

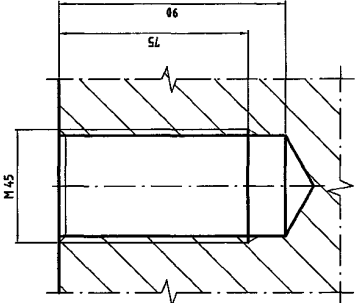
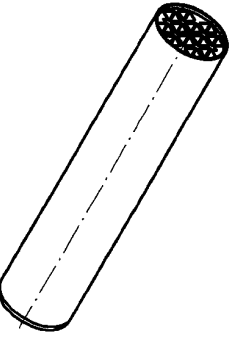
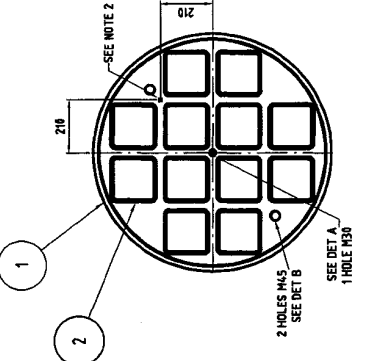
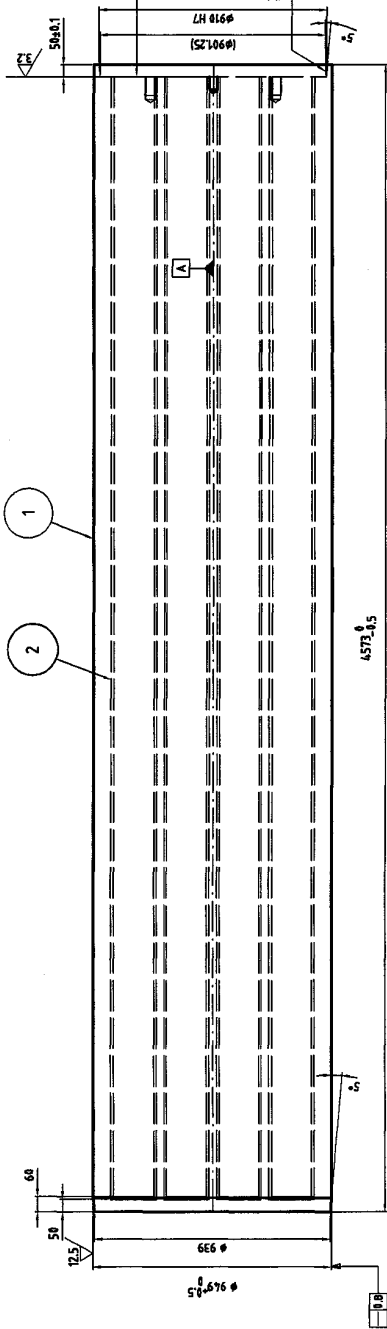


NOTE
ANM.
 1. NUMBER OF COPPER FORGING TO BE PUNCH MARKED ACCORDING TO SKB'S DIRECTIONS
 1. NUMMER PÅ KOPPAR SHIDE STANSAS IN I ENLIGHET MED ANVISNING FRÅN SKB

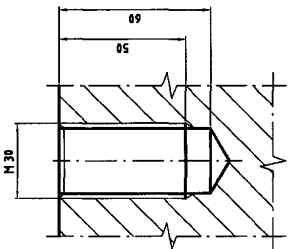


COPPER FORGING		S.S 5011	
From:	City:	Description:	Quantity:
Original by:	Drawn by:	Checked by:	Issued by:
14/06/88	M. H. GUSTAF		
DWG SERIAL 1		FORGING	
COPPER / BRON CARBSTER		90004-311	
SKB		1/11 B	

Rev	Date	Issued	Drawn	Checked	Approved
B	2006-08-16	Top end changed	KP	/	/



DETAIL B
SCALE: 1:1

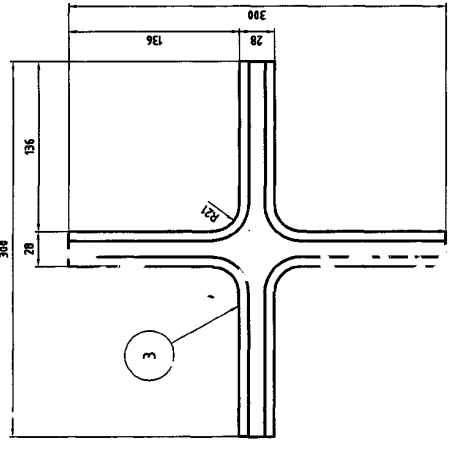
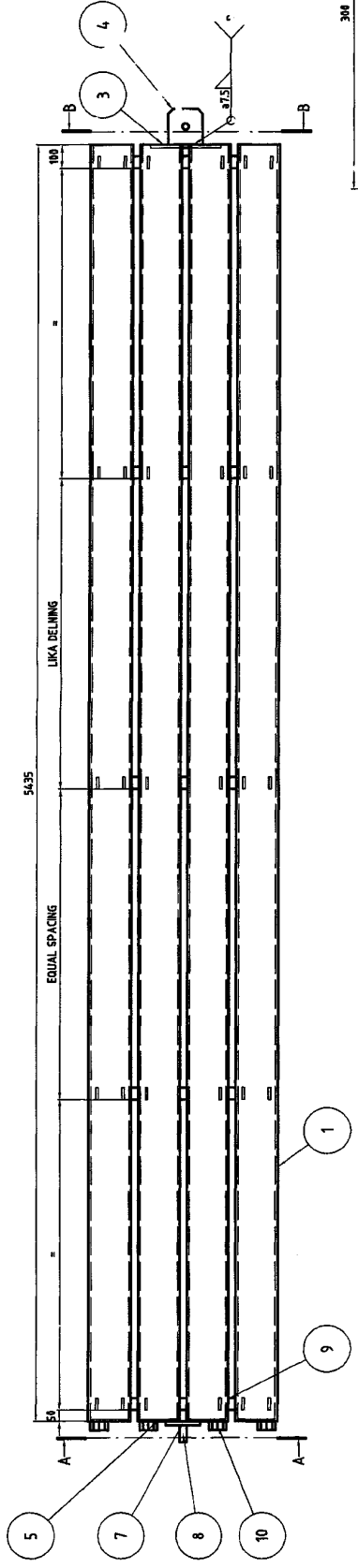


DETAIL A
SCALE: 1:1

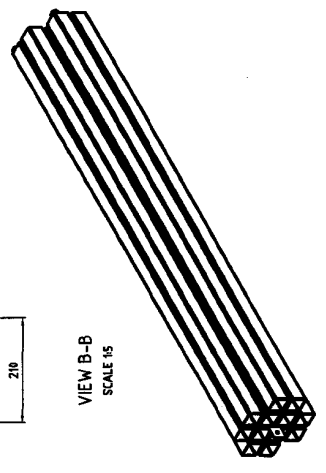
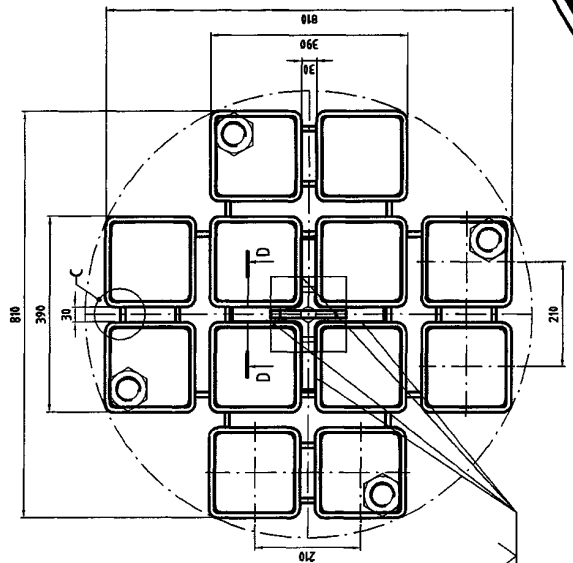
NOTE
ANM.
1. SHARP EDGES BROKEN
1. SKARPA KANTER BROTTNA
2. NUMBER OF INSERT TO BE PUNCH MARKED ACCORDING TO SKB'S DIRECTIONS
2. NUMMER PÅ INSATS STANSAS I ENLIGHET MED ANVISNING FRÅN SKB

2	1	STEEL PROFILE CASSETTE	00014-121	
1	1	CAST IRON		
<p>SKB SKANSKA BOKSTÄMMAN AB</p> <p>SKB BOKSTÄMMAN AB Box 265 400 01 Skövde, Sweden Tel: +46 (0)22-727500 Fax: +46 (0)22-727501 E-mail: skb@skb.se www.skb.se</p>				
<p>SKB SERIAL 2 CAST IRON INSERT, MACHINING COPPER / IRON CASSETT</p> <p>00014-12</p>				
				Page: 1/1
				Rev: B

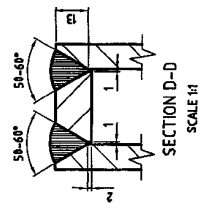
Rev	Desc	Author	Check	Appr



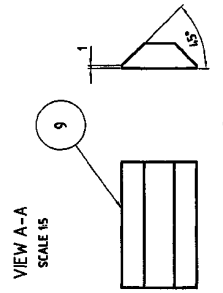
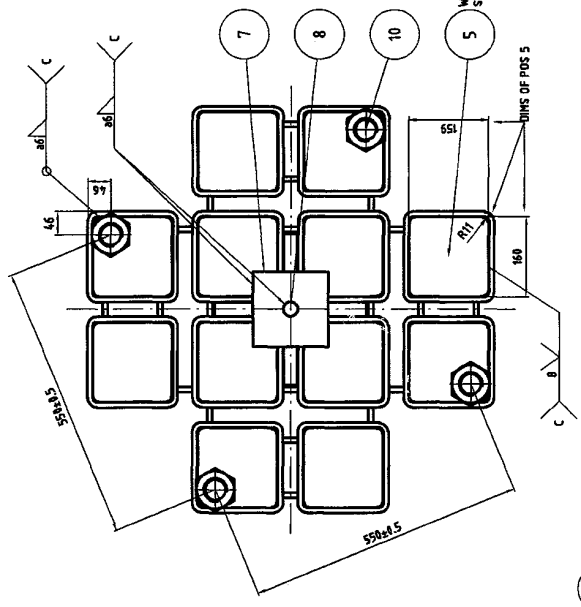
DETAIL OF POS 3
SCALE 1:2



VIEW B-B
SCALE 1:5

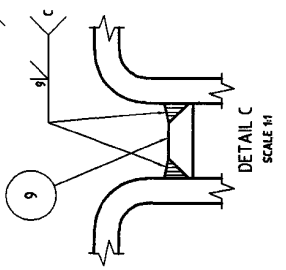


SECTION D-D
SCALE 1:1



VIEW A-A
SCALE 1:5

DETAIL OF POS 9
SCALE 1:1

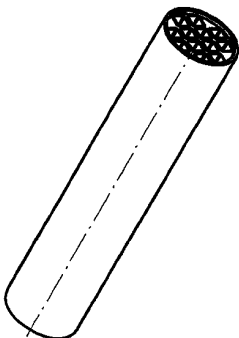
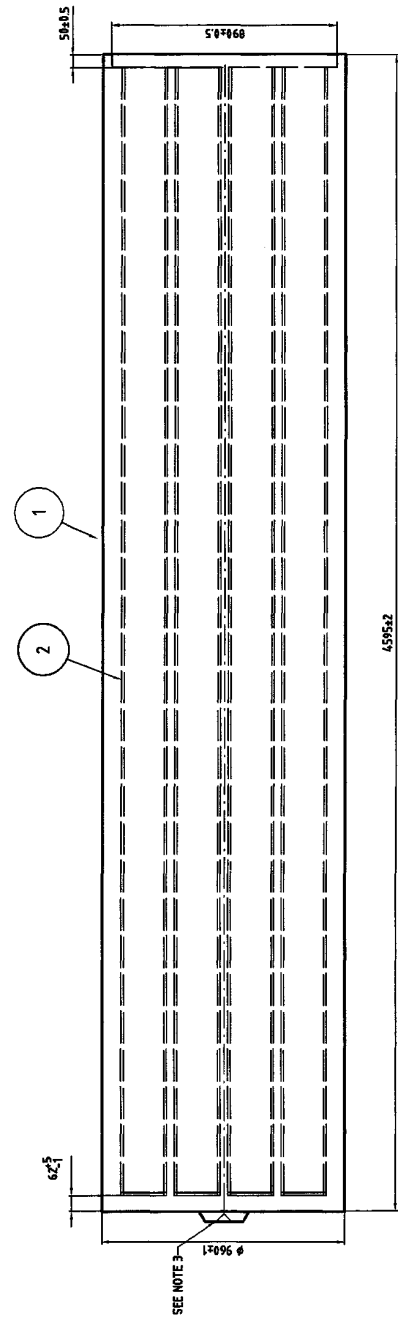


DETAIL C
SCALE 1:1

10	4	NUT M6x16-8.8 OBER DIM934	1/16	A1	10
9	1	ROUND BAR DIA=30 L=50 S355JR	1/16	A1	9
8	1	PLATE L=150 B=60 L=75 S355JR	1/16	A1	8
7	1	PLATE L=150 B=60 L=75 S355JR	1/16	A1	7
5	1	PLATE L=150 B=60 L=75 S355JR	1/16	A1	5
4	1	PLATE L=150 B=60 L=75 S355JR	1/16	A1	4
3	1	PLATE L=150 B=60 L=75 S355JR	1/16	A1	3
2	1	PLATE L=150 B=60 L=75 S355JR	1/16	A1	2
1	1	PLATE L=150 B=60 L=75 S355JR	1/16	A1	1
0	1	PLATE L=150 B=60 L=75 S355JR	1/16	A1	0

DWG NO: 00014-121
 DWG DATE: 2014-12-12
 DWG SCALE: 1:1
 DWG PROJECT: 00014-121
 DWG SHEET: 1/11
 DWG TITLE: STEEL PROFILE CASSETTE
 DWG SUBTITLE: COPPER / ROOF CASSETTE
 DWG SERIAL: 2
 DWG AUTHOR: [Signature]
 DWG CHECKER: [Signature]
 DWG APPROVER: [Signature]
 DWG DATE: 2014-12-12
 DWG SCALE: 1:1
 DWG PROJECT: 00014-121
 DWG SHEET: 1/11
 DWG TITLE: STEEL PROFILE CASSETTE
 DWG SUBTITLE: COPPER / ROOF CASSETTE
 DWG SERIAL: 2

Rev	Rev	Rev	Rev	Rev	Rev	Rev	Rev

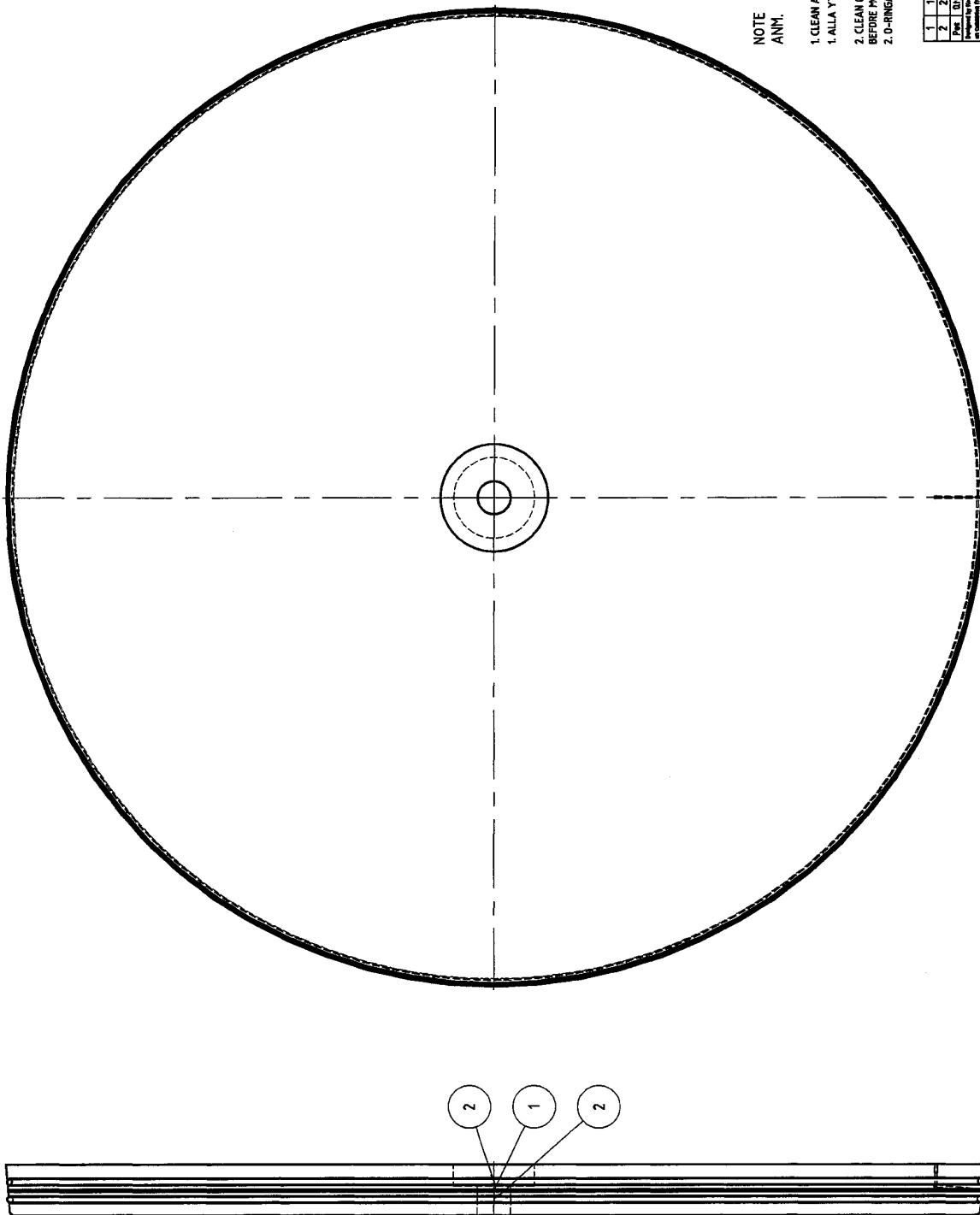


NOTE
 ANM.
 1. SHARP EDGES BROKEN
 1. SKARPA KANTER BRUTNA
 2. NUMBER OF INSERT TO BE PUNCH MARKED ACCORDING TO SKB'S DIRECTIONS
 2. NUMMER PÅ INSATTS STANSAS NI ENLIGT MED ANVISNING FRÅN SKB
 3. CENTRE TO REMAIN
 3. DOBBHÅL SPARAS

Rev	Qty	Description	Material/Druck	Notes
2	1	STEEL PROFILE CASSETTE	0000-121	
1	1	CAST IRON		

Drawn by: Andreas Checked by: Andreas Date: 2011-06-28 Scale: 1:10 Project: 0001-121-02 Rev: 1	SKB SKANSKA CIVIL- & ANLÄGGNINGAR AB	0001A-122 CAST IRON INSERT, PREMACH COPPER / IRON CASSETTE 110
---	--	---

Rev	Date	Revision	Drawn	Check	Issue
B	2008-05-25	Total change of lid	KCP	LN	CF
C	2008-08-11	Lid and O-ring changed	KCP	PL	CF

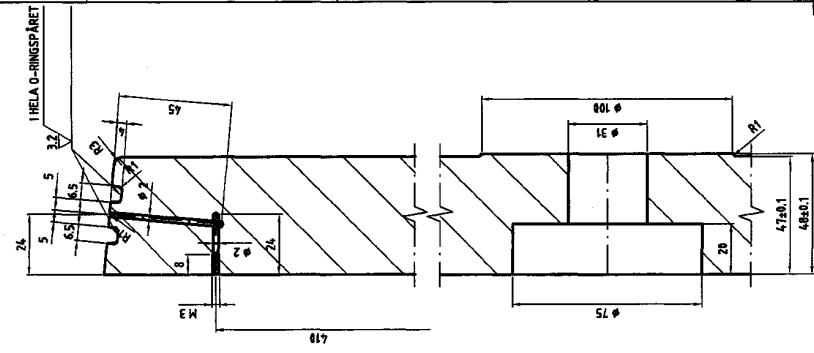


NOTE
ANN.

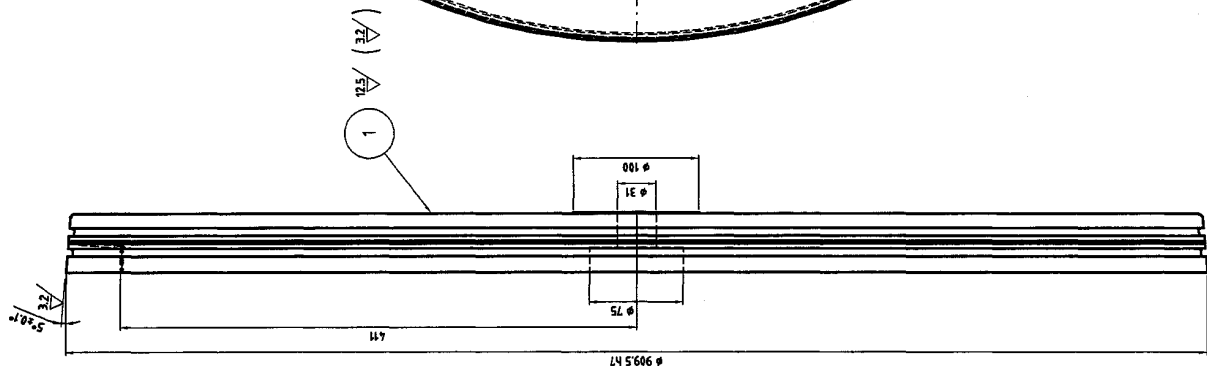
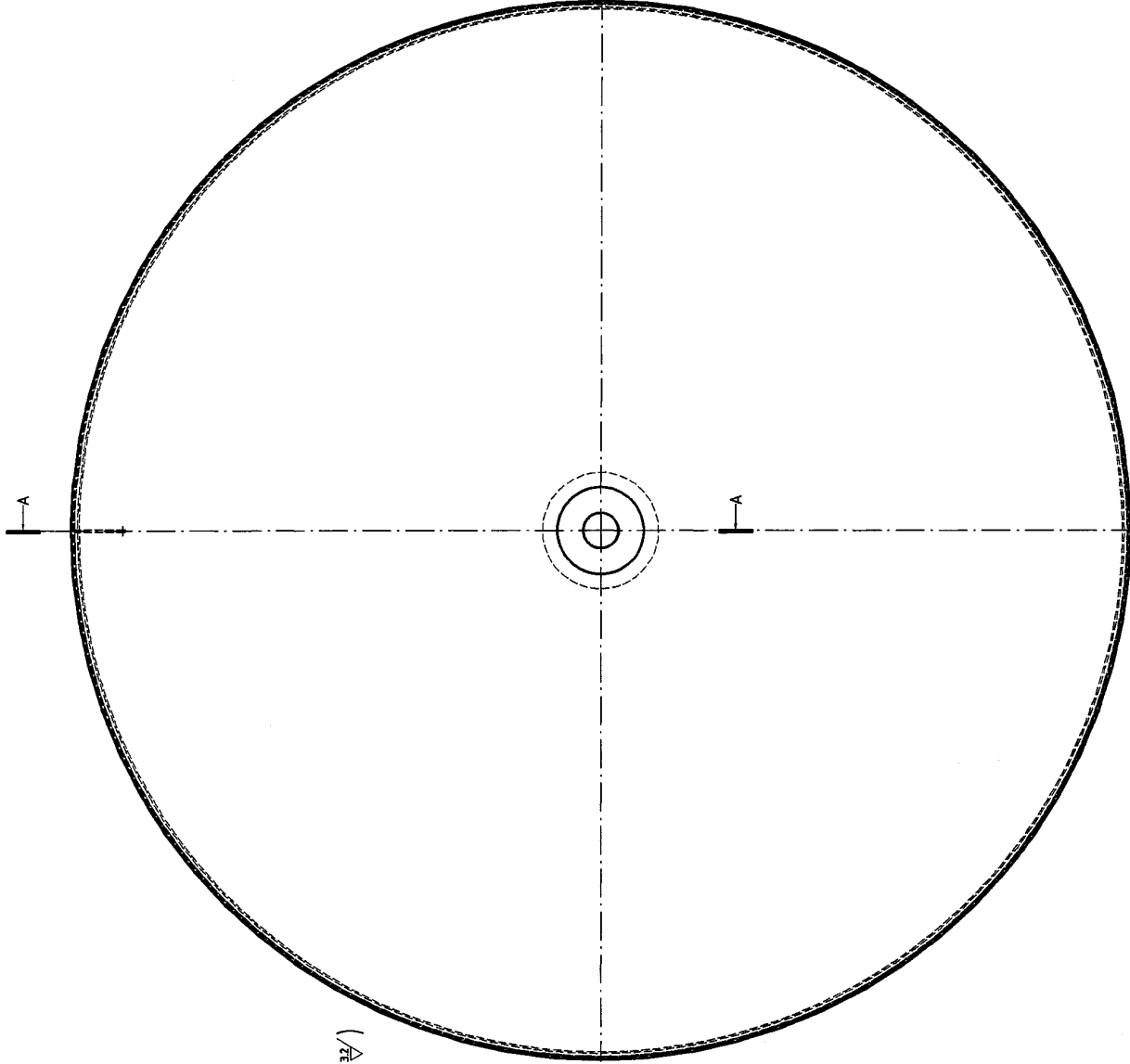
1. CLEAN ALL SURFACES CAREFULLY
1. ALLA YTOR REINGÖRES NOGA
2. CLEAN O-RINGS AND LUBRICATE WITH A SMALL AMOUNT VACUUM LUBRICANT BEFORE MOUNTING
2. O-RINGAR TORIKAS OCH SMÖRLES MED LITE VAKUMFETT FÖRE MONTERING

PART		DESCRIPTION		QUANTITY		REVISION	
1	STEEL LID MACHINING	00004-21					
2	ORING	02025-7	VITON				
SUB-COMPL		SUB-COMPL		SUB-COMPL		SUB-COMPL	
REV		REV		REV		REV	
12		A1		1		1/10	
SKB		SKB		SKB		SKB	
00004-21		STEEL LID ASSY		COPPER / BRON CANISTER			

Rev	Date	Revision	Drawn	Check	Appr'd
B	2004-05-25	Total change of lid	KZP	LON	CGA
C	2011-06-11	Angle and dim changed	KZP		CGA



SECTION A-A
SCALE 1:1



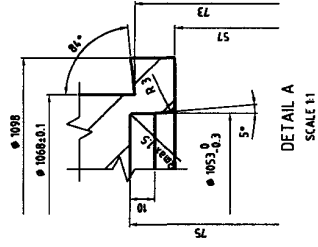
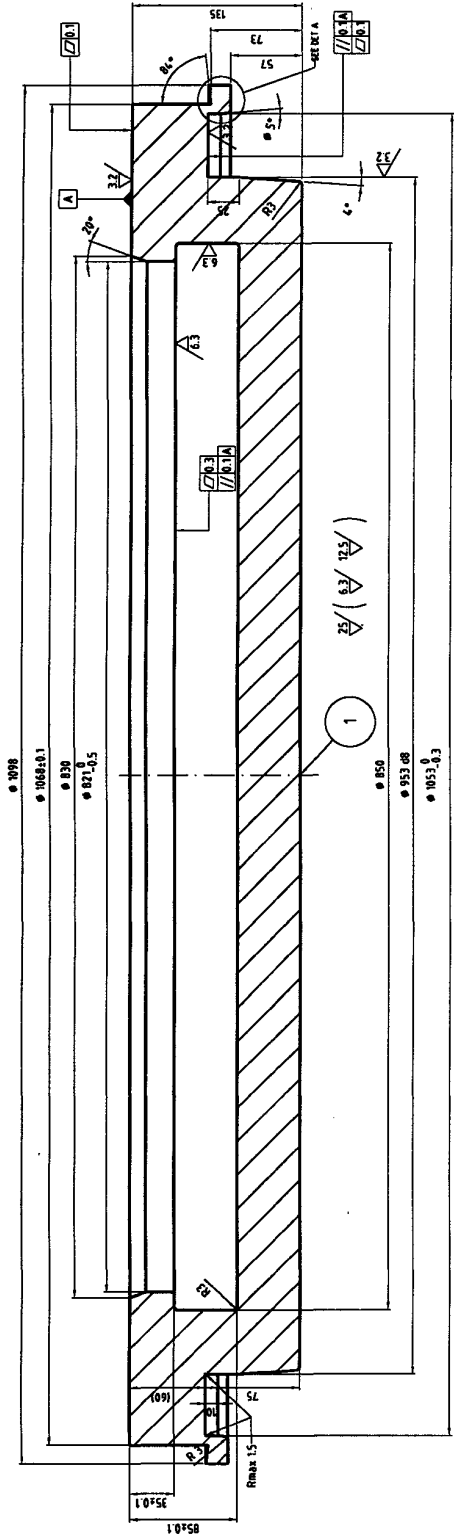
Part	Qty	Description	Material/Drinking	Notes
1	1	PLATE T-50 DIA-920	S235JR02	
1	1	STEEL LID MACHINING		
1	1	COPPER / BRASS CENTER		



STEEL LID MACHINING
COPPER / BRASS CENTER

00004-211
1/11
C

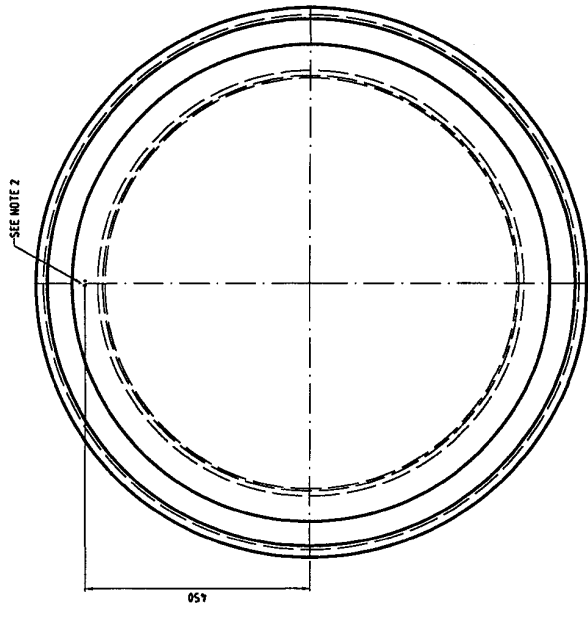
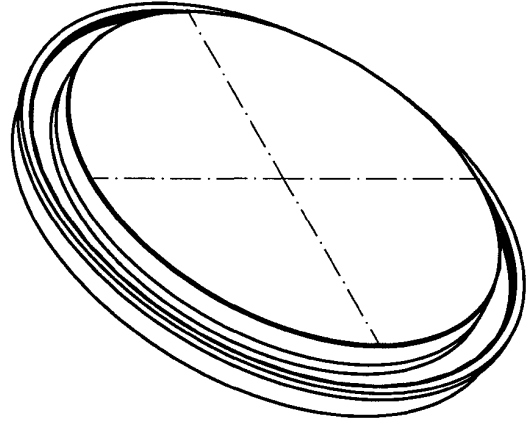
Rev	By	Date	Revised	Checked	Approved



DETAIL A
SCALE 1:1

NOTE
ANNI

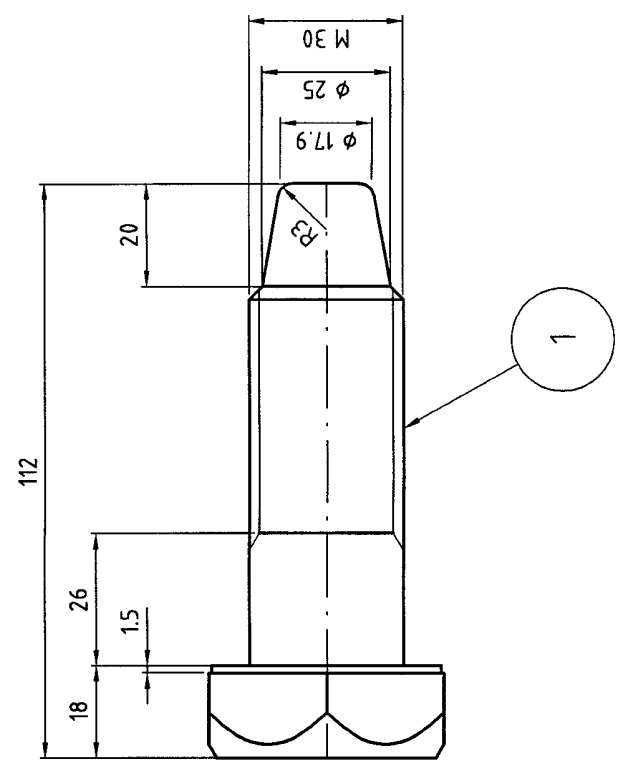
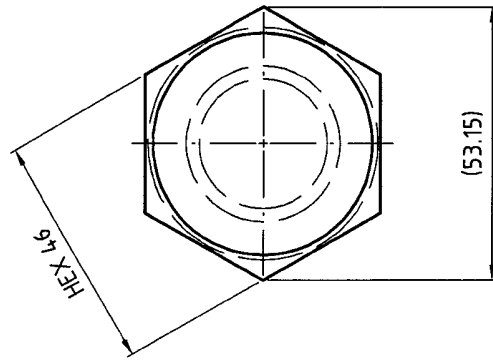
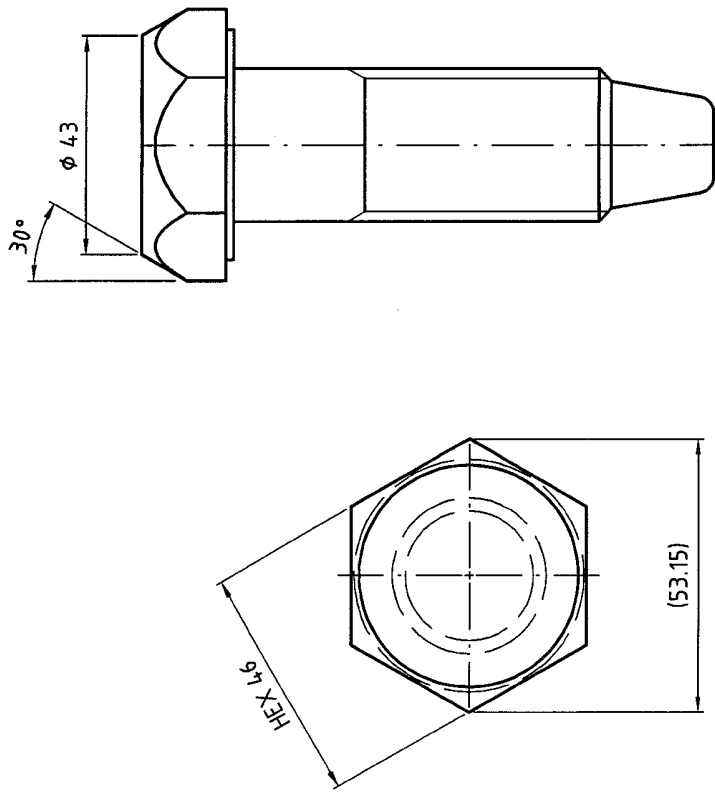
1. SHARP EDGES BROKEN
1. SKARPA KANTER BRUTNA
2. NUMBER OF COPPER LID TO BE PUNCH MARKED ACCORDING TO SHB'S DIRECTIONS
2. NUMMER PÅ KOPPAR LÖK STANSAS IN I ENLIGHET MED ANVISNING FRÅN SHB



BOTTOM VIEW
SCALE 1:5

Proj. No.	00004-311	Proj. Title	Material Drawing
Proj. Name	0004-15	Proj. Date	12/10
Proj. No.	00004-31	Proj. Title	COPPER LID
Proj. Name	0004-15	Proj. Date	12/10
Proj. No.	00004-31	Proj. Title	COPPER / KOPPAR LÖK
Proj. Name	0004-15	Proj. Date	12/10
Proj. No.	00004-31	Proj. Title	COPPER LID
Proj. Name	0004-15	Proj. Date	12/10

Rev	Date	Revision	Position	Drawn	Check.	Approv.



1	1	ROUND BAR DIA 55 L=115	S355JR	Material/Drawing	Mass
Pos	Qty	Description	Checked / Date	Approved / Date	General Tolerance:
Designed by	Kocums Indutrier AB	Drawn / Date	KZP	2000-05-26	SS-ISO 2768-1 Middle
on commission from	SKB	Checked / Date	00.05.27	2008.08	and/or SMS 723-B
Material	SKB80-06084-401	Scale	1:1	Format	A3
<p>SKB SVENSK KÄRNBRÄNSLE-HANTERING AB</p> <p>BWR SERIAL 1 SCREW M30 COPPER / IRON CANISTER</p>					
Drawing No. 00004-001					Page 1/(1)
					Rev. A

Teknisk specifikation KTS 001 "Material for Copper Canisters"

Technical Specification No KTS001

Revision No 2

Valid from 1 Nov 1999

Prepared by

Reviewed by

Approved by

Maule Westman
Jan Welin
Christer Adner

Material for Copper Canisters

KTS001 Material for Copper Canisters

1 Purpose

The purpose of this technical specification, KTS001, is to define technical requirements and documentation routines for copper ingots, copper forgings, rolled copper plates or seamless copper pipes produced by pierce and draw process or extrusion.

2 Technical requirements

2.1 Material specification

The material for copper canisters shall fulfil the specification in the standard UNS C10100 (Cu-OFE, table 2) or En 133/63:1994 Cu-OF1 (table 3) with the following additional requirements: O < 5 ppm, P 40 – 60 ppm, H < 0,6 ppm, S < 8 ppm and in **forgings, rolled plates or seamless copper pipes** a grain size of < 360 µm. The grain size is measured according to ASTM's comparison method E112-95.

2.2 Chemical composition, grain size, and mechanical properties

Table 1. Requirements and comments concerning various properties

Property	Specification	Comments
Weldability	O < 5 ppm	Higher levels give a reduced weldability.
Ductility	H < 0,6 ppm	Higher levels give reduced mechanical properties. (Hydrogen embrittlement).
Tensile strength, ductility	S < 8 ppm	Higher levels give reduced mechanical properties caused by non-dissolved sulphur which will be concentrated to grain boundaries.
Creep ductility	P 40 – 60 ppm	A phosphorus content of this order reduces the influence of sulphur impurities, increases creep ductility, increases recrystallisation temperature and has a minor influence on the weldability.
Microstructure	Grain size < 360 µm (Hot formed material)	This grain size gives a resolution at ultrasonic testing comparable to X-ray testing of 50 mm thick copper.
Ductility	Elongation > 40% RT – 100°C (Hot formed material)	The canister will be deformed 4% in final repository.
Creep ductility	Elongation at creep-rupture > 10% RT – 100°C (Hot formed material)	Same comment as above.

Technical Specification No KTS001

Revision No 2
Valid from 1 Nov 1999
Prepared by M Westman
Reviewed by L Werme
Approved by C-G Andersson

Material for Copper Canisters

Table 2. UNS C10100 composition

Element	Cu	Ag	As	Fe	S	Sb	Se	Te	Pb
	%	ppm ² →							
	99,99 ¹	25	5	10	15	4	3	2	5
		Bi	Cd	Mn	Hg	Ni	O	Sn	Zn
		ppm ² →							
		1	1	0,5	1	10	5	2	1

Table 3. EN 133/63 Cu-OF1 composition

Element	Cu	Ag	As	Fe	S	Sb	Se	Te	Pb
	(rem.)	ppm →							
		25 ²	5 ³	10 ⁴	15 ²	4 ²	2 ⁵	2 ⁶	5 ²

- 1 Including Ag
- 2 Maximum content
- 3 $\Sigma \text{As} + \text{Cd} + \text{Cr} + \text{Mn} + \text{Sb} \leq 15 \text{ ppm}$
- 4 $\Sigma \text{Co} + \text{Fe} + \text{Ni} + \text{Si} + \text{Sn} + \text{Zn} \leq 20 \text{ ppm}$
- 5 $\Sigma \text{Bi} + \text{Se} + \text{Te} \leq 3 \text{ ppm}$
- 6 $\Sigma \text{Se} + \text{Te} \leq 3,0 \text{ ppm}$

2.3 Size and tolerances

Copper ingot

Nominal weight, size and surface condition according to SKB order.

Forged copper disk

Nominal weight, size and surface condition according to SKB order.

Rolled plate

Nominal length, width and thickness according to SKB order.

Tolerances:

- Thickness +5% / -0 mm
- Width +5 / -0 mm
- Length +5 / -0 mm
- Flatness 5 mm

Seamless pipe

Length, diameter, wall thickness and tolerances according to SKB order.

Technical Specification No KTS001

Revision No 2
Valid from 1 Nov 1999
Prepared by M Westman
Reviewed by L Werme
Approved by C-G Andersson

Material for Copper Canisters

3 Inspection and testing of forging, plate or pipe prior to delivery

3.1 Soundness

The forging, plate or pipe shall be controlled by 100% ultrasonic testing. Size and shape of reference defect and acceptance criteria shall be as stated in SKB order.

3.2 Mechanical properties and structure

Test pieces for tensile testing (Rp 0,2; Rm; A 50 mm), shall be taken from each **plate** or **pipe**. Specimens for hardness test (HRF) and grain size/structure inspection shall be taken from each **forging, plate** or **pipe**. All sampling is to be described in the quality plan.

Tensile testing shall be performed in the normal manner. Hardness and grain size/structure shall be determined close to the surface and also in the centre of the material. For forgings the centre part refers to one surface part of the disk centre. The structure shall be documented by photos at circa 100 x magnification.

4 Documentation

4.1 Certification of copper ingots

The copper ingot manufacturer shall issue a certificate according to EN 10204 3.1.B, stating as a minimum:

- the manufacturer's name and address,
- date of issue,
- SKB order number,
- heat or cast number,
- copper ingot dimensions and weight,
- applicable standard,
- chemical composition,
- result of hydrogen embrittlement test (ASTM B 477 – method to be stated in the certificate), determination of electrical conductivity and density,
- illustrated description of sampling of solid material,¹
- a declaration that the material has been produced in accordance with the company's own current quality system,
- any other requirement specified in SKB order.

¹ Requirements on sampling, including sample positions, may be added in a later revision of this document.

Technical Specification No KTS001

Revision No 2
Valid from 1 Nov 1999
Prepared by M Westman
Reviewed by L Werme
Approved by C-G Andersson

Material for Copper Canisters

4.2 Hot forming process

The hot forming process shall be performed in such a manner that the specified properties of the delivered product are met. The process shall be controlled and documented by the manufacturer of forging, plate or pipe to the extent necessary for ensuring reproducibility.

4.3 Certification of processed copper material

The forging, plate or pipe manufacturer shall issue a certificate according to EN 10204 3.1.B, stating as a minimum:

- the manufacturer's name and address,
- date of issue,
- SKB order number,
- original heat or cast number,
- lot number and/or number of the forging, plate or pipe,
- dimensions and weight of the forging, plate or pipe,
- material temperatures at each forming step,
- results of ultrasonic testing, tensile and hardness testing, and determination of grain size and structure,
- illustrated description of sampling,¹
- a declaration that the material has been produced in accordance with the company's own current quality system,
- any other requirement specified in SKB order.

4.4 Submission of documents and information

Before hot forming, the copper ingot certificate according to 4.1 shall be sent to SKB by mail or telefax for authorization.

The certification according to 4.3 shall be sent to SKB for authorization prior to delivery of the forging, plate or pipe.

The supplier shall, without delay, give complete information to SKB on all observations and other circumstances in connection with the production which may influence the design of the copper canister. SKB shall have the right to use this information without any restriction.

5 Document control

QA Co-ordinator Canister Manufacturing Technique is responsible for document control, including distribution, of this technical specification.²

1 Requirements on sampling, including sample positions, may be added in a later revision of this document.
2 Procedure KT1001

Teknisk specifikation KTS 011 "Nodular Cast Iron SS 0717 Insert"

Technical Specification No KTS011

Revision No 1

Valid from 30 Mar 2000

Prepared by *Marika Westman*

Reviewed by *Jas Weine*

Approved by *Cher Co Aden*

Nodular Cast Iron SS 0717 Insert

KTS011 Nodular Cast Iron SS 0717 Insert

1 Purpose

The purpose of this technical specification, KTS011, is to define the technical requirements and documentation for nodular cast iron inserts.

2 Technical requirements

2.1 Material specification

The material specification for nodular cast iron inserts coincides with the requirements in SS 14 07 17- 00, issue 4 1981.

3 Production

3.1 Drawings

Drawings according to applicable SKB order shall be used for the production and inspection of inserts.

3.2 Steel section cassette¹

The cassette shall be shot blasted and stored under dry conditions to prevent rusting. The shot blasting shall be done as closely in time as possible prior to casting.

3.3 Casting

The melt temperature at the beginning of the casting shall be recorded.

Sample for chemical analysis shall be taken in accordance with normal praxis.

The time from casting to the knocking out shall be recorded.

1 Specification KTS021

Technical Specification No KTS011

Revision No 1
Valid from 30 Mar. 2000
Prepared by Marika Westman
Reviewed by L Werme
Approved by C-G Andersson

Nodular Cast Iron SS 0717 Insert

4 Inspection and testing

4.1 Tensile testing and micro structure evaluation

Test pieces for tensile testing shall be taken from cast-on test samples close to the top and bottom of the casting. Normal tensile testing shall be performed. Requirements for separately cast test samples according to SS 14 07 17- 00 shall apply.

Hardness testing (HB) and micro structure evaluation shall also be performed on the test pieces. The structure shall be documented in micrographs at circa 100x magnification.

4.2 Size and shape inspection

The casting shall be measured to check its conformity with the specified size.

For BWR fuel canister prototypes with cassettes made from square sections (VKR) 180 x 180 x 10 mm (outer size x thickness) the straightness of the channels shall be sufficient to permit a 152 x 152 mm square profile template in accordance with applicable SKB drawing to freely move down the entire channel.

For PWR fuel canister prototypes with cassettes sections 250 x 250 x 10 mm the corresponding template size is 224 x 224 mm.

4.3 Ultrasonic testing

The casting shall be tested from the outside with regard to inner defects such as non-metallic inclusions and other inhomogeneities. 100% outside testing shall be performed. A 6 mm diameter flat bottom hole shall be used as the reference defect. Inhomogeneities giving indications equal to or greater than 50% of the reference level shall be recorded. The position and size shall be recorded on sketches.

Operators shall have a documented competence according to ASNT-TC-1A Level 2.

5 Documentation

5.1 Photographic documentation

The production sequence shall be photographically documented when required by SKB. The extent is to be agreed with SKB from case to case.

Technical Specification No KTS011

Revision No 1
Valid from 30 Mar. 2000
Prepared by Marika Westman
Reviewed by L Werme
Approved by C-G Andersson

Nodular Cast Iron SS 0717 Insert

5.2 Certification

A certificate according to EN 10204 3.1.B shall be issued by the producer stating as a minimum:

- the producer's name and address,
- SKB order number,
- SKB drawing number,
- casting date,
- cast or heat number,
- weight of casting,
- chemical composition,
- results of tensile testing, micro structure evaluation, size and shape inspection, and ultrasonic testing,
- a declaration that the material has been produced in accordance with the company's own current quality system.

5.3 Submission of documents and information

The documentation according to 3.3, 5.1 and 5.2 shall be sent to SKB for authorisation prior to delivery.

The supplier shall, without delay, give complete information to SKB on all observations and other circumstances in connection with the production which may influence the design of the insert. SKB shall have the right to use this information without any restriction.

6 Document control

QA Administration is responsible for document control, including distribution, of this technical specification.¹

1 Procedure KT1001

Teknisk specifikation KTS 021 "Steel Section Cassette"

Technical Specification No KTS021

Revision No 1

Valid from 30 Mar. 2000

Prepared by

Marika Westman

Reviewed by

Lars Weine

Approved by

Klas Gö Aden

Steel Section Cassette

KTS021 Steel Section Cassette

1 Purpose

The purpose of this technical specification, KTS021, is to define the technical requirements and documentation for the manufacture of steel section cassettes intended for cast canister inserts.

2 Technical requirements

2.1 Material specification for square sections

The material specification for VKR¹ (RHS²) square hollow sections coincides with the requirements in SS 14 21 34-04, issue 4 1993, concerning chemical composition and mechanical properties (ReL, Rm, A5). Test pieces for determination of lower yield strength, tensile strength and elongation according to SS 11 21 10 shall be used.

For BWR fuel canisters 180 x 180 x 10 mm (outer size [D] x thickness [t]) VKR square section size applies, and for PWR fuel canisters the corresponding size is 250 x 250 x 10 mm.

Size and shape tolerances, based on SS 21 28 20 and SS 21 28 30:

- D: ± 1% of D
- t: – 6% of t
- squareness: 90° ± 1°
- flatness deviation: ≤ 1% of D (across section, inwards or outwards)
- skewness: max 2 mm + 0,5 mm/m section length
- outer corner radius: max 3 t
- length: +10 – 0 mm
- straightness: 0,20% of total length

Seamless sections as well as welded sections can be used. In the latter case the weld bead shall be flush against the section inner wall, if necessary machined.

2.2 Material specification for plates and flat bars

The material specification for steel plates and flat bars coincides with the requirements in SS 14 13 12, issue 11 1990.

Plate and bar sizes are specified on applicable SKB drawings.

-
- 1 Hot finished square structural hollow sections (Varmbearbetade konstruktionsrör)
 - 2 Rectangular hollow sections

Technical Specification No KTS021

Revision No 1
Valid from 30 Mar. 2000
Prepared by M Westman
Reviewed by L Werme
Approved by C-G Andersson

Steel Section Cassette

2.3 Material specification for tubes

The material specification for steel tubes coincides with the requirements in SS 14 21 72, issue 11 1990.

The tube size is specified on the applicable SKB drawing.

3 Production

3.1 Drawings

Drawings according to applicable SKB order shall be used for the manufacture of cassettes.

3.2 Manufacture of steel section cassette

The cassette shall be assembled by welding. The selection of welding method is at the discretion of the manufacturer but shall follow a welding procedure specification (WPS), issued by the manufacturer. Precautions shall be taken to prevent deformation of the sections as well as burning-through during the welding operation.

4 Inspection and testing

4.1 Size and shape inspection

The completed manufactured cassette shall be measured to check its conformity with the specified size and shape. For prototype cassettes made from square sections (VKR) 180 x 180 x 10 mm (outer size x thickness) the straightness of the channels shall be sufficient to permit a 156 x 156 mm square profile template, manufactured according to applicable SKB drawing, to freely move down the entire channel.

For cassettes made from 250 x 250 x 10 mm sections the corresponding square profile template shall be 226 x 226 mm.

4.2 Inspection of welds

The complete, welded cassette shall be visually inspected for welding defects, and the welded bottom ends of the sections shall be penetrant tested. Cracks and incomplete welds at the bottom ends are not permitted. Any defects of such a type shall be repaired by welding and subsequently inspected by the manufacturer.

Technical Specification No KTS021

Revision No 1
Valid from 30 Mar. 2000
Prepared by M Westman
Reviewed by L Werme
Approved by C-G Andersson

Steel Section Cassette

5 Documentation

5.1 Steel section certificates

The steel section producer shall issue a certificate according to EN 10204 2.2, or higher, stating, as a minimum:

- the steel section producer's name and address,
- reference to applicable material/product standard,
- result of chemical analysis and mechanical testing of material according to clause 2.

5.2 Photographic documentation

The cassette manufacture shall be photographically documented when required by SKB. The extent is to be agreed with SKB from case to case.

5.3 Other documentation

The cassette manufacturer shall issue a report indicating

- weight of cassette,
- result of size and straightness inspection,
- result of visual and penetrant inspection of welds.

5.4 Submission of documents and information

The documentation mentioned in 5.1, 5.2 and 5.3 shall be submitted to SKB by the party receiving the SKB order (foundry or cassette manufacturer).

The supplier shall also, without delay, give complete information to SKB and to the foundry concerned on all observations and other circumstances in connection with the production which may influence the design of the cassette. SKB shall have the right to use this information without any restriction.

6 Document control

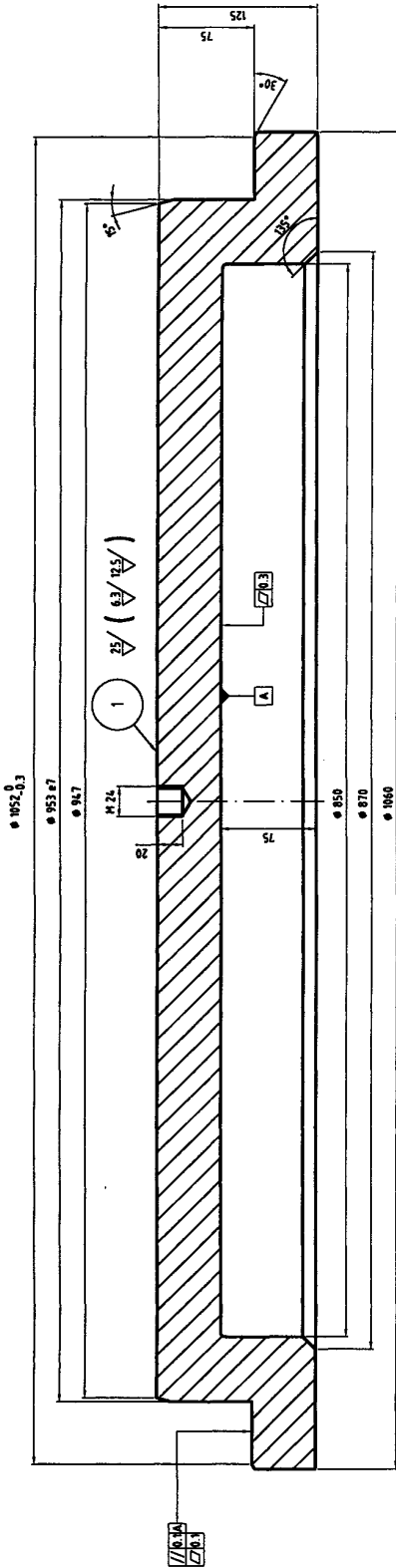
QA Administration is responsible for document control, including distribution, of this technical specification¹.

1 Procedure KT1001

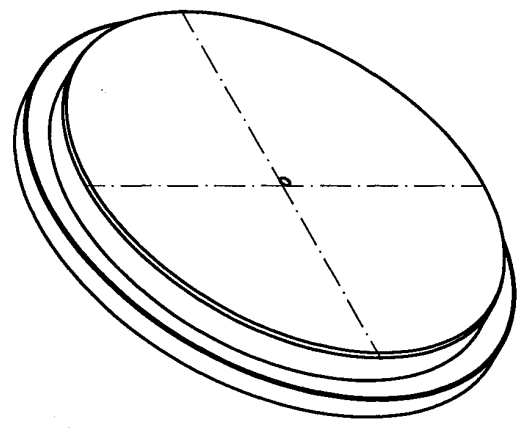
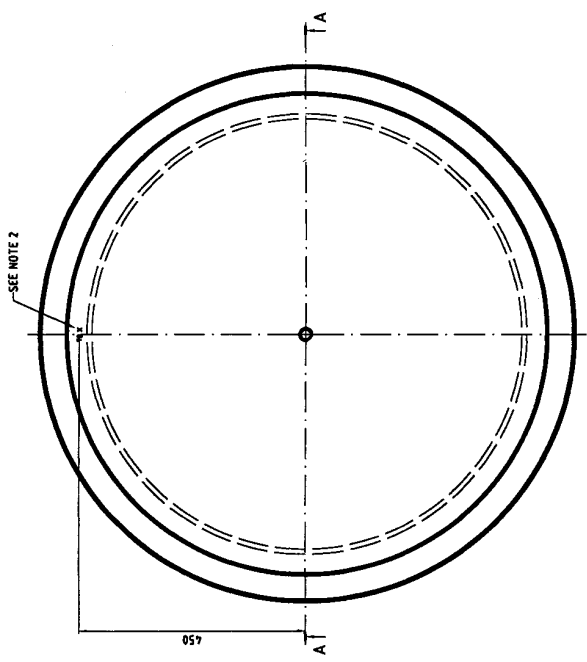
Bilaga 5

Ritningar. Anpassning av kopparrör och botten för EB-svetsning

Rev	Rev	Rev	Rev	Rev	Rev	Rev	Rev	Rev	Rev



SECTION A-A
SCALE 1:2

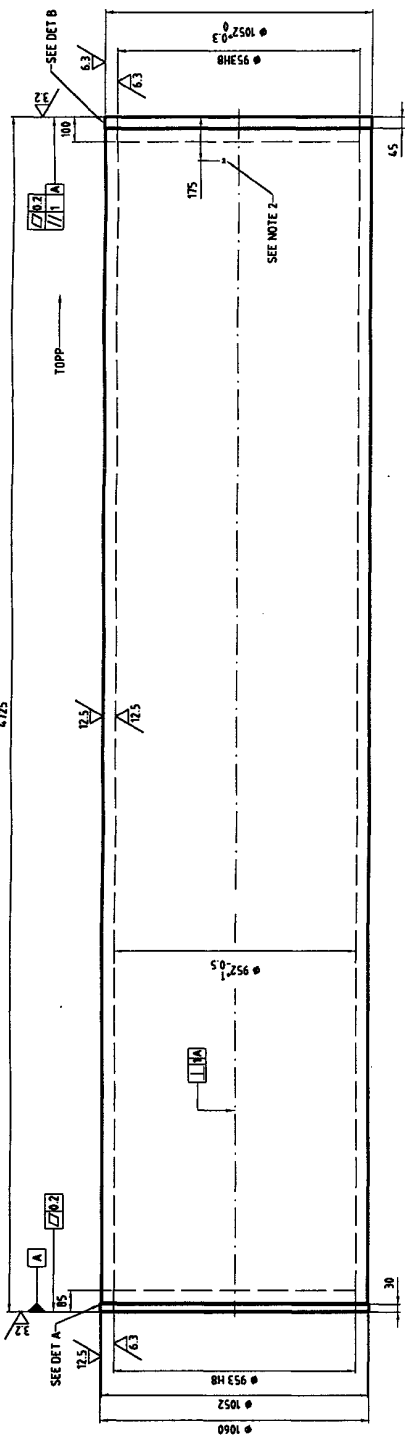


NOTE
ANM.

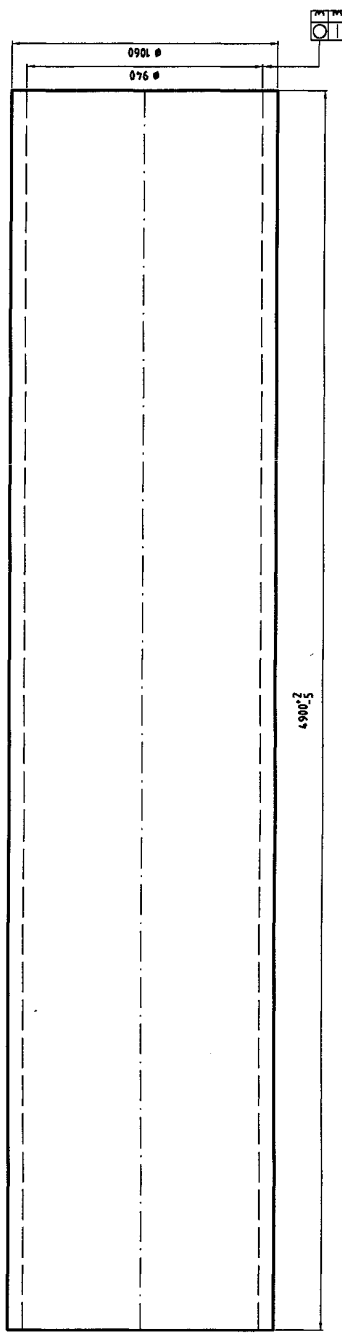
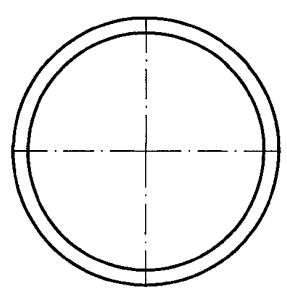
1. SHARP EDGES BROKEN
1. SKARPA KANTER BRUTNA
2. NUMBER OF BOTTOM TO BE PUNCH MARKED ACCORDING TO SKB'S DIRECTIONS
2. NUMMER PÅ BOTTEN STANSAS INJ ENLIGHET MED ANVISNING FRÅN SKB

1	1	FORGING	RODOLF 311
Fig. 017	Design No.	Material	Material
1062	1062	1062	1062
15	15	15	15
TWIN-WELD TEST		COPPER BOTTOM	
COPPER / KOPP		NON CARBIDE	
SKB		TWI-00001-112	

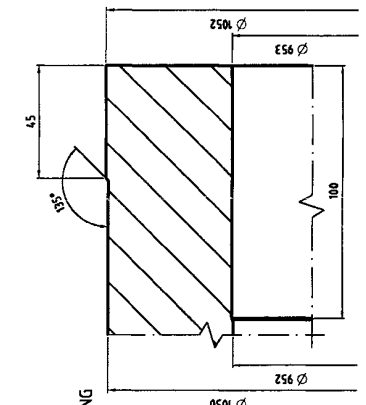
No	Rev	Revisjon	Byttet	Av	Check	Approv



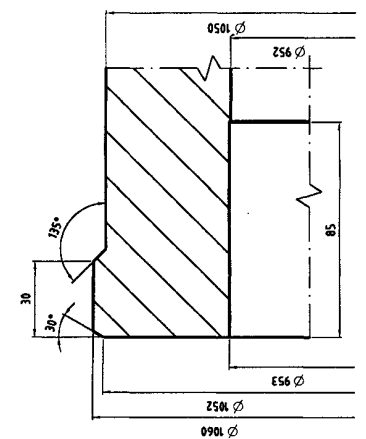
AFTER MACHINING



BEFORE MACHINING



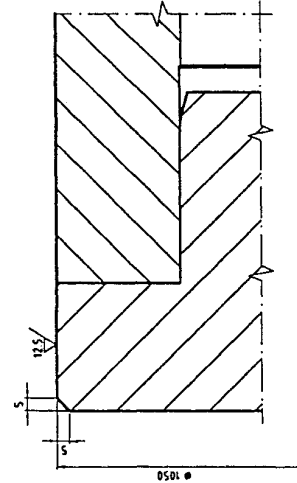
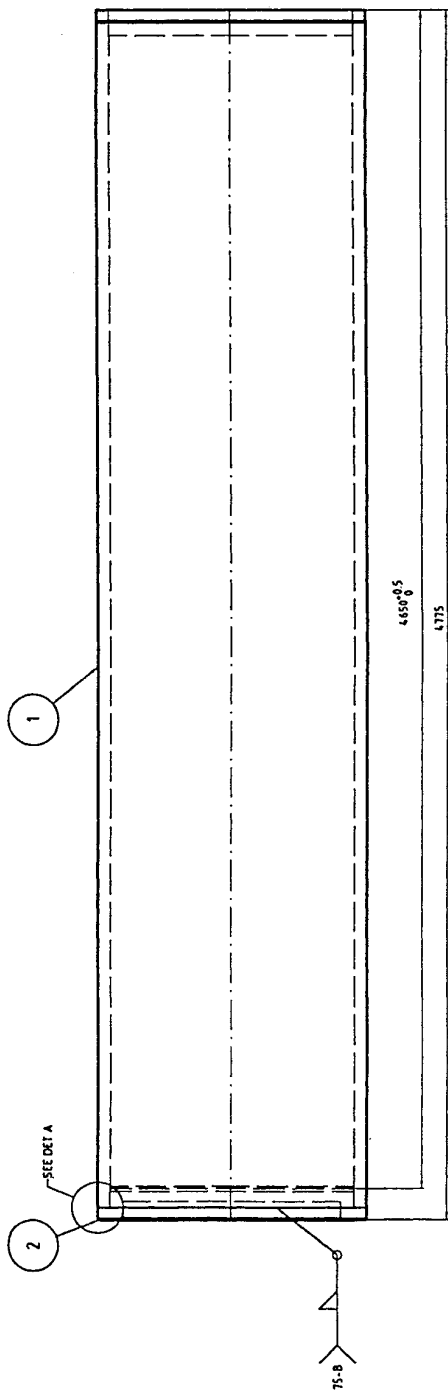
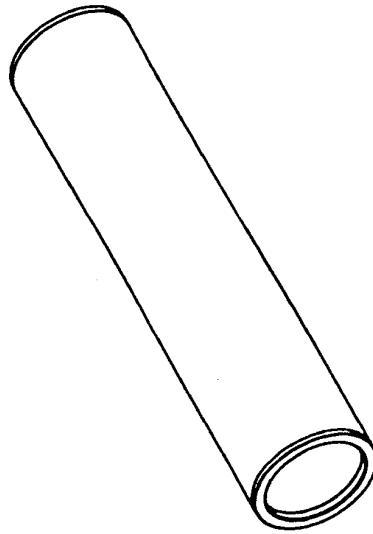
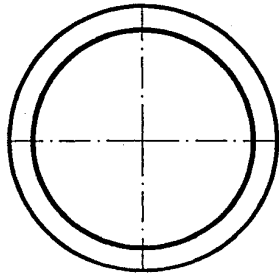
DETAIL B
SCALE 1:1



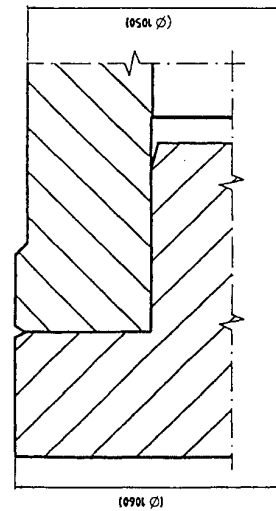
DETAIL A
SCALE 1:1

NOTE
ANM.
1. SHARP EDGES BROKEN
1. SKARPE KANTER BRØYTES
2. NUMBER OF CYLINDER TO BE PUNCHED ON INSIDE
2. NUMMER PÅ CYLINDER STANSAS PÅ INSIDAN

COPPER CYLINDER		Description		Material/Condition	
Doc	017	Rev	1	Rev	1
Approved by: [Signature]		Checked by: [Signature]		Date: 1/11/11	
Scale: 1:10		Part: A1		Drawing No: TWI-00001-111	
Project: TWI-MED TEST		Customer: SKB		Date: 1/11/11	
Drawing No: TWI-00001-111		Part No: A1		Revision: 1	
Drawing Date: 1/11/11		Drawing Scale: 1:10		Drawing Unit: mm	
Drawing Author: [Name]		Drawing Checker: [Name]		Drawing Approver: [Name]	
Drawing Date: 1/11/11		Drawing Scale: 1:10		Drawing Unit: mm	
Drawing Author: [Name]		Drawing Checker: [Name]		Drawing Approver: [Name]	
Drawing Date: 1/11/11		Drawing Scale: 1:10		Drawing Unit: mm	
Drawing Author: [Name]		Drawing Checker: [Name]		Drawing Approver: [Name]	
Drawing Date: 1/11/11		Drawing Scale: 1:10		Drawing Unit: mm	
Drawing Author: [Name]		Drawing Checker: [Name]		Drawing Approver: [Name]	
Drawing Date: 1/11/11		Drawing Scale: 1:10		Drawing Unit: mm	
Drawing Author: [Name]		Drawing Checker: [Name]		Drawing Approver: [Name]	



DETAIL A
AFTER WELDING AND MACHINING
SCALE 1:1



DETAIL A
BEFORE WELDING AND MACHINING
SCALE 1:1

100-0000-113
100-0000-111
100-0000-110

2 1 COPPER BOTTOM
3 1 COPPER CYLINDER

110 A1

7/10/74

TW-WELD TEST
COPPER CANISTER
COPPER / BISMUTH

SKR

**Innehåll i Kvalitetshandbok-Kapseltillverkning och förteckning
över rutinbeskrivningar**

Kapitel 1

Rev nr 4

Översikt

Giltig från 2001-03-09

 Granskad av *Kajsa Torra Brudman*

 Godkänd av *Anders Johansson*

Innehållsförteckning

Kapitel	Rubrik	Rev
1	Översikt	4
2	Policies, verksamhetsinriktning och mål	3
3	Organisation, ansvar och befogenheter	2
4	Relation till handboken för Inkapslingsteknik	2
5	Kvalitets- och miljöledningssystem, kvalitetsrevisioner	3
6	Utveckling av kapsel och kapseltillverkning	3
7	Styrning av kapseltillverkning	4
8	Styrning av stödprocesser (inköp, mottagningskontroll m m)	3
9	Flödesschema material och produkt	2
10	Styrning och behandling av dokument och data	3
11	Behandling av avvikelser	3
12	Korrigerande och förebyggande åtgärder, ständiga förbättringar	4
13	Utbildning och kompetens	2
14	Speciella termer och förkortningar	3
15	Standarder	3
16	Korsreferenslistor	3
17	Förteckning över Procedures	4
18	Ordlista – Glossary	3
19	Sökregister	3

Förteckning över Rutiner

Rev nr 3
 Giltig från 2000-03-30
 Granskad av *Marika Westman*
 Godkänd av *Ches Tom A. dunn*

Förteckning över Rutiner (Procedures)

Rutin	Rubrik	Rev
KT0501	Requirements for external quality auditing	3
KT0601	Techniques for quality analysis	1
KT0602	Qualification of manufacturing process	1
KT0603	Qualification of supplier/subcontractor (manufacturing)	1
KT0604	Qualification of supplier/subcontractor (inspection and metrological confirmation)	1
KT0605 (x)	Qualification of non-destructive testing methods	
KT0701	Final inspection and testing	1
KT0702	Packing and transport of canisters and/or canister components	1
KT0703	Delivery of canisters and/or canister components, documentation	1
KT0704	Requirements on quality plan and manufacturing and inspection plan	2
KT0705	Identification of canister components	1
KT0801	Control of inspection, measuring and test equipment	0
KT0803 (x)	Receiving inspection	
KT1001	Establishing and control of procedures	1
KT1002	Retaining of quality documents and records	2
KT1003	Handling of documents regarding canisters from trial manufacture	2
KT1004	Establishing and control of technical specifications	1
KT1101	Control of nonconformities at SKB	0
KT1102	Request for concession	1
KT1103	Control of nonconformities at supplier	1

(x) under framtagning

Planering av kapsel­fabrik

