

Tillverkning av bly- och titan kapsel

**Folke Sandelin AB
VBB
ASEA-Kabel
Institutet för metallforskning**

Stockholm november 1977

TILLVERKNING AV BLY-TITAN KAPSEL

Delrapport 1

Titan-blykapsel för inneslutning av förglasat högaktivt avfall.

G Fröman, VBB

Delrapport 2

Tillverkningsmetodik för inneslutning av förglasat högaktivt avfall.

A Zausznica, ASEA-KABEL

Delrapport 3

Tillverkningssteknik, baserad på kontinuerlig extrusionspressning av bly för framställning av blykapsel för inneslutning av högaktivt avfall.

A Runevall, H Folke Sandelin AB

Delrapport 4

Beräkning av kryphastigheten hos ett blyhölje innehållande en glaskropp under inverkan av tyngdkraften.

A Samuelsson, Institutet för Metallforskning

Denna rapport utgör redovisning av ett arbete som utförts på uppdrag av KBS. Slutsatser och värderingar i rapporten är författarens och behöver inte nödvändigtvis sammanfalla med uppdragsgivarens.

I slutet av rapporten har bifogats en förteckning över av KBS hittills publicerade tekniska rapporter i denna serie.

Titanium - lead canister for encapsulation of
solified high level radioactive waste

Summary

The report describes a proposed design for a titanium-lead canister and its manufacturing process. This process is based on well-known technology. The strength of the canister has been considered and it is evident that it will withstand the hydrostatic water pressure in the final storage.

The lead material and its behaviour are discussed. It is shown that high purity lead and an extruding process for the manufacturing of the lead shield can be used to obtain a high quality product.

The extruding equipment is described. The costs of the canister is estimated at 40 000 Swedish Crowns excluding the encapsulation work (which will be performed in a "hot cell") and the costs for the extruder.

Titan - blykapsel för inneslutning av förglasat
högaktivt avfall

Orientering

Innan den slutliga deponeringen av det högaktiva avfallet förutsätts att avfallscylindern innesluts i en metallkapsel. Denna metallkapsel skall hindra eller fördröja att grundvatten kommer i kontakt med avfallsglaset.

Metallkapseln är uppbyggd av en yttre mantel av titan med en tjocklek av ~ 6 mm och ett inre skydd av bly med en tjocklek av 10 - 15 cm (se figur 1). Titanmanteln utgör den primära barriären mot grundvattnet medan blyskiktet tjänstgör som strålskydd, vilket reducerar radiolysen av vattnet och därmed även risken för korrosionsskador på titanet. Om titanbarriären skulle brytas ned utgör emellertid blyskiktet ett ytterligare skydd mot grundvattnet. (Se KBS-rapport 31.)

För att få en uppfattning om en metallkapsel uppbyggd på detta sätt kan framställas med etablerad teknik har den konstruktiva utformningen samt tillverkningsfrågorna studerats av en arbetsgrupp. Gruppen har utgjorts av A Zausznica Asea-Kabel, R Lackinger Avesta Jernverk AB, G Fröman VBB samt A Samuelsson Institutet för Metallforskning.

De synpunkter och bedömningar som gruppen tagit fram redovisas i fyra delrapporter. Delrapport 1 behandlar sammanfattningsvis tillverkningsmetoderna och tillverkningskostnaderna samt ger synpunkter på kapselns konstruktion. Delrapport 2 och 4 behandlar blymaterialet och dess egenskaper samt delrapport 3 redovisar tillverkningsmetoden för blyskyddet.

Titan - blykapsel

Tillverkningsmetoder och synpunkter på kapselkonstruktionen.

Förutsättningar

Följande förutsättningar har utgjort underlag för gruppens arbete:

- Alla tillverkningsmoment skall om möjligt vara väl kända från andra tillverkningsprocesser inom etablerad tillverkningssteknik.
- Det förglasade högaktiva avfallet förutsätts vara inneslutet i en cylindrisk behållare av kromnickelstål med en diameter av 400 mm och en höjd av cirka 1 500 mm.
- De ingående materialen i kapseln skall vara olegerade med låg halt av föroreningar.
- Varje tillverkningsmoment skall vara kontrollerbart så att kapselns kvalitet kan garanteras.
- Den slutliga förseglingen av glaset i kapseln skall ske avståndsmanövrerat i en strålskärmad cell
- Kapseln skall efter deponering kunna motstå ett yttre övertryck av storleksordning 50 bar och en temperatur av 100°C.

Tillverkningsmetod

Tillverkningen av kapseln omfattar:

- Tillverkning av titanmantel
- Tillverkning av de blydetaljer som bildar blyskyddet.

- Inkapslingsprocessen

Tillverkningen av titanmanteln utgör en tillämpning av väl beprövade och i dag helt komersiella tillverkningsprocesser. Moderna svetsmetoder ger i titan fullgoda svetsfogar med i stort sett samma egenskaper som grundmaterialet.

Materialet i manteln kan lämpligen vara ATi-24 (max 0.05 % Fe, 0.10 % O, 0.03 % N, 0.05 % C samt 0.012 H).

Tillverkningsgången är i korthet:

- Varmvalsning av slabs till plåt av lämplig dimension
- Sträckning och kantskärning av valsad plåt
- Glödning och bockning av varmvalsad plåt
Glödningstemperatur 675° - 700° C under 1,5 h.
- Blästring av plåten
- Betning av den blästrade plåten i 5 % HF +
20 % HNO_3
- Svetsning av den bockade mantelplåten. Svetsmetod TIG eller MIG.
- Gavelrondeller och lyftöron skärs ut ur betad plåt
- Insvetsning av övre gavel och lyftöron
All svetsning skall ske under skyddsgas senast 10 timmar efter betningen.
- Slutkontroll av titanmanteln

Tillverkningen av blyskyddet redovisas i delrapport 2 och 3.

Av dessa framgår att endast högrent avoxiderat bly (H.P.O.F) bör användas för att erhålla de önskvärda kvaliteten på godset.

Tillverkningen av de ingående blydetaljerna som vid inkapslingen bildar ett homogent skydd kring glaset bör ske genom en extruderingsmetod och ej genom gjutning. Skyddet bygges upp av en rörformad mantel med separata topp- och bottengavlar samt en delad utfyllnadsring.

Tillverkningsgången är i korthet:

- Kontroll av blymaterialet
- Smältning av blymaterialet för kontinuerlig matning till blypressen
- Extrudering av ämnen för de ingående detaljerna
- Maskinbearbetning
- Dimensionskontroll

Inkapslingsprocessen måste med hänsyn till glasbehållarens ytdosrat ske avståndsmånövrerat i avskärmade utrymmen. Processutrustningen kan därför lämpligen placeras i en cell i anslutning till förvaringsanläggning för glaset. (KBS-rapport 35)

Inkapslingen utföres i ett antal arbetspositioner i cellen avpassad för specifika arbetsmoment. (Fig 2)

Dessa arbetsmoment är i korthet följande:

- Inslussning och uppställning av de ingående titan och blydelarna i förrådspositioner.
- Uppställning av glasbehållaren på en rörlig arbetsfixtur
- Titanbehållaren med blyskyddets mantel och lock lyftes upp och placeras över glasbehållaren.
- Kapseln med glasbehållaren vändes
- Blygaveln som skall utgöra botten i kapseln läggs på plats.
- Kapseln värms med en induktionsslinga som flyttas succesivt nerifrån och upp. Blydelarna belastas under uppvärmningen så att de ingående blydetaljerna formförändras. Spalterna mellan bly och glasbehållaren samt mellan glasbehållaren och titanmanteln fylls härigenom ut samtidigt som skarvarna mellan de ingående blydelarna fogas ihop. (Efter praktiska försök kan detta arbetsmoment erfordra viss komplettering.)
- Titanrondellen som skall utgöra botten läggs på plats.
- En svetskammare som innehåller en automatisk MIG-svetsutrustning ansluts till kapseln. Luften i kammaren ersätts med en täckgas bestående av argon och helium.
- Locket svetsas till kapselns mantel, varefter svetsutrustningen lyftes av.

- Den färdiga kapseln vändes och överförs till en behållare för läcksökning. Genom att sänka trycket i behållaren kan utläckande helium spåras med heliundetektor.
- Kapseln lyfts upp ur cellen för transport till slutdeponering.

Kostnaderna för titan - blykapseln

Kostnaderna för material, tillverkning och kontroll har i 1977 års prisnivå beräknats till:

Titanmantel med insvetsad gavel	13 925:-	
Lockrondell	2 400:-	<hr/>
		16 325:-
Blymaterial (6 000 kg)	18 000:-	
Avgår för blyskrot	-2 900:-	
Extruderingskostnad för blyämnen	3 000:-	
Maskinbearbetning av blydetaljer	3 500:-	<hr/>
		21 600:-
Pris per kapsel vid leverans till inkapslingsstation		<u>37 925:-</u>

I kostnaderna är arbetet i cellen med inkapslingen av glaset samt kostnader för blypress med tillhörande verktyg, ej inräknade.

Synpunkter på kapselns konstruktion och hållfasthet

Av förutsättningarna framgår att kapseln under lång tid skall motstå ett yttre vattentryck av 50 bar. Kapselns temperatur kommer dessutom att stiga till cirka 100°C efter deponeringen (KBS rapport 15).

För att få en uppfattning om en tom kapsel håller för detta övertryck vid aktuell temperatur har spänningsförhållandena i titan och bly analyserats med hjälp av ett beräkningsprogram (SAP 5). Vid beräkningen har förutsatts att bly och titan samverkar, det vill säga titanmanteln ligger an mot blyskyddet.

Resultatet visar att enbart trycket ger måttliga tryckspänningar i titanet medan spänningarna i blyet blir relativt höga (max cirka 50 N/mm² i titanet respektive 10 N/mm² i blyet).

Vid en temperaturhöjning till 100°C sker en markant förändring av spänningsbilden på grund av den stora skillnaden i termisk utvidgning (9,8 respektive 29,3 · 10⁻⁶) mellan de båda materialen. Spänningarna i titanet övergår från måttliga tryckspänningar till stora dragspänningar (cirka 300 N/mm²) medan blyskyddet får en markant ökning av tryckspänningarna (cirka 25 N/mm²). Spänningen som framräknats för dessa belastningsfall är emellertid helt teoretiska eftersom så höga tryckspänningar i blyskyddet ej kan vara bestående på grund av krypfenomenet.

Om man förutsätter att de kvarstående spänningarna i blyskyddet kommer att stabilisera sig vid max 2 N/mm² kommer i stort sett endast dragspänningar av storleksordningen 200 N/mm² att uppträda i titanet.

Av detta framgår att kapseln ensam kan bära trycket och att risken för buckling i titanet är liten vid aktuella temperaturer.

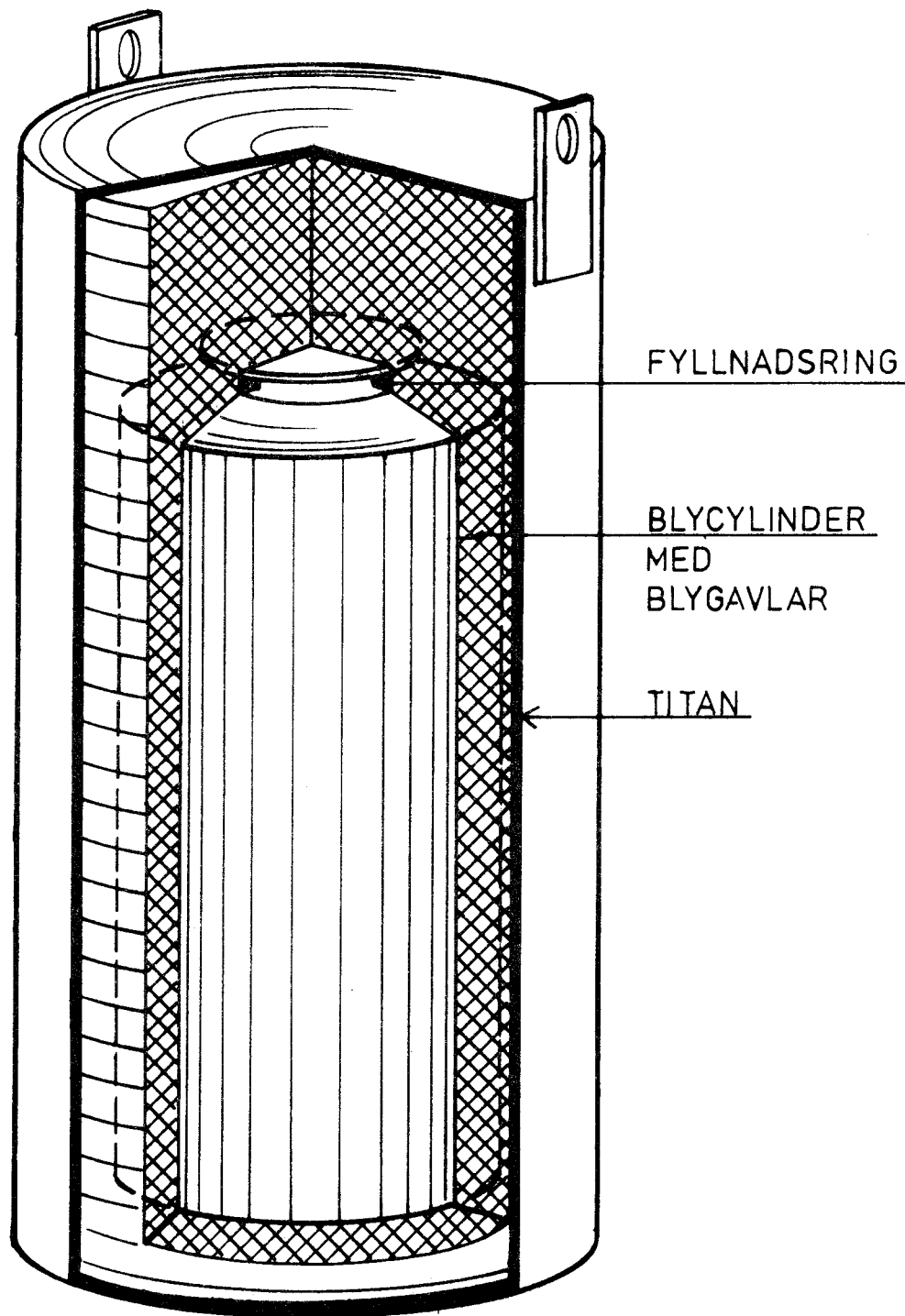
Den inneslutna glasbehållaren kommer emellertid i verkligheten att utgöra ett stöd för kapseln om anläggningen är god mellan blyet och glasbehållaren, vilket i hög grad minskar deformationerna och därmed även spänningarna i materialen.

Skillnaden i termisk utvidgning kommer dock att medföra en avsevärd belastning av titanet redan vid temperaturer omkring 100°C .

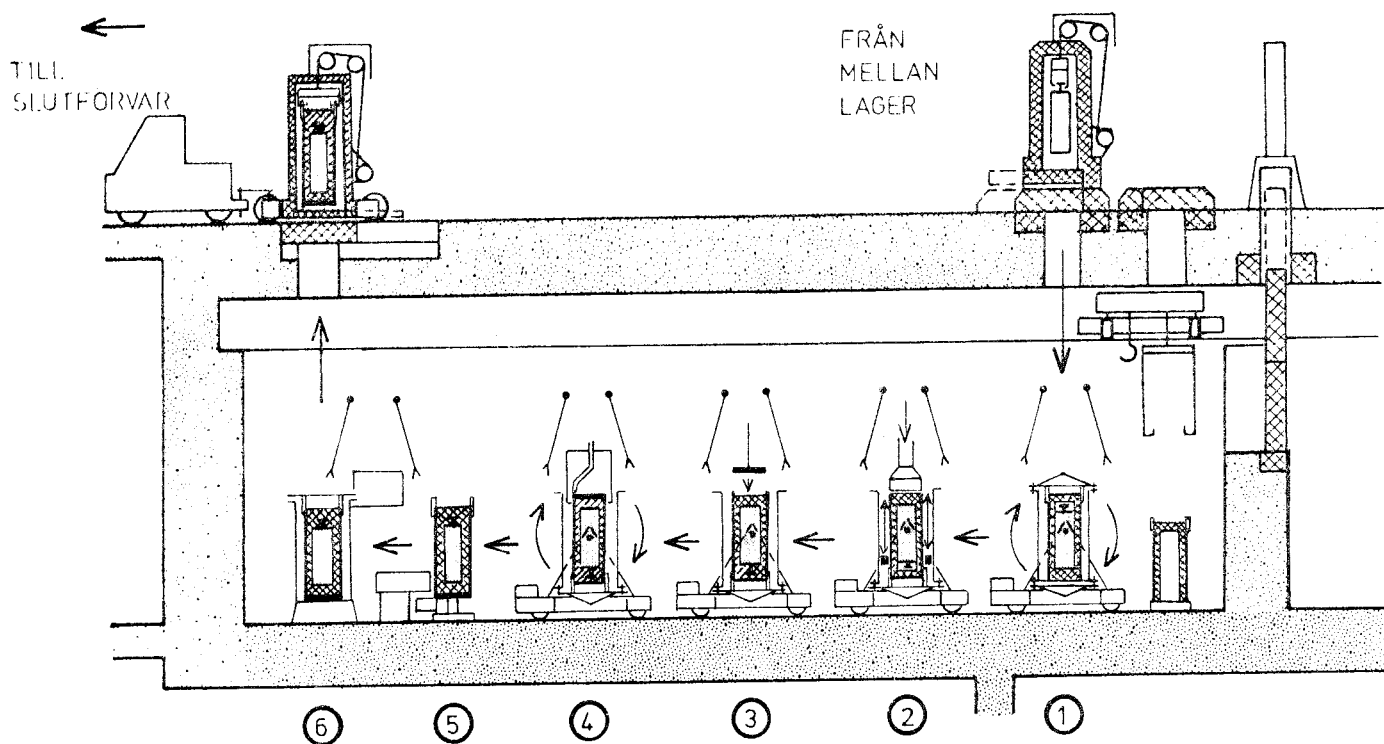
Den föreslagna inkapslingsprocessen ger emellertid automatiskt små spalter mellan titan och bly, vilket medför att spänningarna i titanmanteln reduceras till en acceptabelt låg nivå.

En senare värmeteknisk analys av temperaturförhållanden i kapseln visar att temperaturen efter deponering ej kommer att stiga till mer än $60^{\circ} - 65^{\circ}\text{C}$. (KBS-rapport 45.) Spänningarna i materialet kommer härigenom att reduceras ytterligare.

Innan kapselns dimensionering fastställs i detalj bör emellertid hållfasthetsfrågorna bearbetas ytterligare samt dimensioneringen verifieras genom praktiska försök.

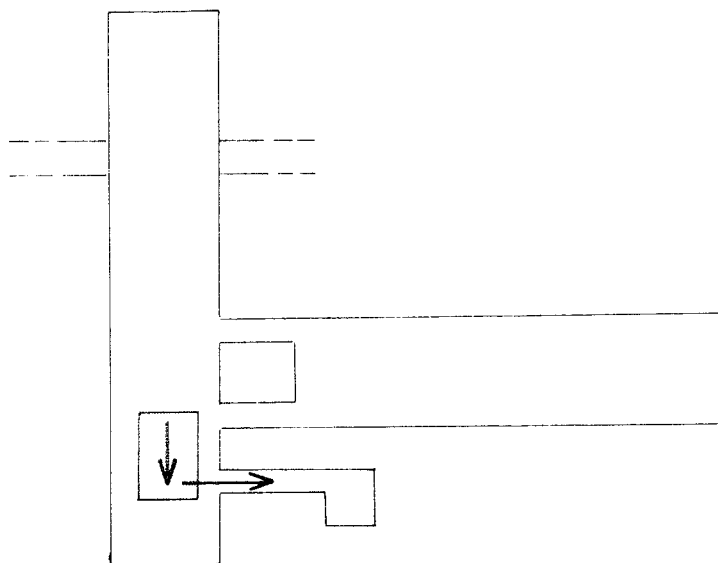


AVFALLSKAPSEL



INKAPSLING

- ①. EN FÖRTILLVERKAD BLY-TITAN KAPSEL PLACERAS ÖVER AVFALLSCYLINDERN
- ②. INPASSNING AV BLYGAVEL SAMT UPPVÄRMNING OCH PRESSNING AV BLYMANTEL
- ③. INPASSNING AV TITANLOCK
- ④. SVETSNING AV TITANLOCK
- ⑤. KONTROLL AV LOCKSVETSEN
- ⑥. TÄTHETSPROVNING AV KAPSELN



NYCKELPLAN

Utförare - Issued by
A Zausznica

Kopia till - Copy to

Datum - Date
1977-10-03

Uppdragsgivare - Requested K.B.S.	Handläggare - Dealt with by A Zausznica <i>Muz</i>	Best. ref. - Customer's ref. Consultation project No. 212	Order nr
Objekt Interim report on the investigation into "Production Methodology for Lead Containers for the Containment of Vitrified High-Activity Waste."		Till - To KBS Projektledningen Brahegatan 47 102 40 STOCKHOLM (3 exemplar)	

Summary

1. The present investigation elucidates the feasibility of producing lead containers on a full industrial scale before 1985 for the containment of vitrified high-activity waste under the conditions specified by the principal that production of containers must be carried out using existing technology and know-how and with present-day material resources.
2. The investigation emphasizes the necessity of using highly purified and deoxidized lead and surveys the pre-conditions for the production of such lead in Sweden within a reasonable time in relation to the application.
3. The production methodology for the actual lead containers is discussed and analysed. A continuous extrusion process which guarantees absolute freedom from cavities and pores is recommended. This technology is well understood and has been well mastered in Sweden and the technological equipment manufactured in Sweden for the continuous extrusion of lead is of the highest technical standard and dominates the world market in this field.
4. The long-term functional durability of the lead containers is discussed. A survey is made of the conditions for the appropriate complexity and functioning of the concomitant elements of the containment system. Measures are suggested for providing satisfactory contact between the separate elements of the containment system. Calculations are made concerning adequate long-term durability in order to be able to guarantee the radiation protection function of the lead containment. Provided that conditions for developing of an adequate grain size in the metal have been realized (this is achieved by virtue of the high degree of purity of the lead and of special processes during the refining stage and also by the use of a heat treatment process) the lead containers will be durable from the point of view of material strength with reassuring margin of safety in relation to the specified requirements.
5. The conclusion from the investigation is that containment of vitrified high activity waste in lead containers with a wall thickness of at least 100 mm and preferably 125 mm and manufactured from high purity deoxidized lead (H.P.O.F.)* by means of a continuous extrusion process followed by heat treatment represents secure and durable protection for the storage of waste in the disposal system in question.

The whole of this technology from the raw material to the finished product has been completely mastered here in Sweden and every part of all the technological equipment can be produced in Sweden. The lead containers can be produced on an industrial scale within three years of a decision to this effect being made.

* H.P.O.F. = High Purity Oxygen Free lead. See the report to the 6th International Conference on Lead, London, June 1977.

COPYRIGHT RESERVED. This document is the property of ASEA KABEL AB and its contents must not be communicated to any third party.

K 252 (9/77)

Utförare - Issued by

Kopia till - Copy to

Datum - Date

A Zausznica *Aleus*

1977-10-03

Uppdragsgivare - Requested

Handläggare - Dealt with by

Best. ref. - Customer's ref.

Order nr

KBS Projektledningen

A Zausznica

Konsultuppdrag nr 212

Objekt

Delrapport om utredningen "Tillverkningsmetodik för inneslutning av förglasat högaktivt avfall"

Till - To

KBS Projektledningen
Brahegatan 47
102 40 STOCKHOLM

(3 exemplar)

Sammanfattning

1. I föreliggande utredning klarlägges möjligheten att före år 1985 i full industriell skala tillverka blykapslar för inneslutning av förglasat högaktivt avfall, under av uppdragsgivaren formulerade förutsättningar om att tillverkning av kapslar måste ske med nuvarande teknologi och know-how samt med för dagen disponibla materiella resurser.
2. Utredningen framhåller nödvändigheten av att använda högraffinerat och avoxiderat bly samt kartlägger förutsättningar för att framställa ett sådant bly i Sverige inom för ändamålet rimlig tid.
3. Tillverkningsmetodiken för själva blykapseln diskuteras. En kontinuerlig extrusionsprocess rekommenderas. Den teknologin är väl behärskad här i landet och den teknologiska utrustningen för kontinuerlig extrusion av bly som tillverkas i Sverige är av högsta tekniska standard inom detta område.
4. Blykapslarnas funktionella varaktighet i tid diskuteras. Villkor för ändamålsenlig komplexitet och funktion av inkapslingssystemets samverkande element kartlägges. Åtgärder för åstadkommande av en betryggande kontakt mellan inkapslingssystemets separata element föreslås. Beräkningar göres om en betryggande varaktighet i tid för blykapselns strålskyddande funktion. Under förutsättning av en viss kornstorlek (som uppnås till följd av en värmebearbetningsprocess) blir blykapslarna ur hållfasthetssynpunkt betryggande långvariga.
5. Utredningen kommer till den slutsatsen att inneslutning av förglasat högaktivt avfall i blykapslar tillverkade av högre avoxiderat bly (H.P.O.F.) medelst en kontinuerlig extrusionsprocess, efterföljd av en värmebehandling utgör ett betryggande och varaktigt skydd vid förvaring av avfallet i det aktuella deponeringssystemet.

Hela teknologin, från råvaran till den färdiga slutprodukten är till fullo behärskad här i landet och all teknologisk utrustning kan i sin helhet tillverkas i Sverige. Blykapslar kan i industriell skala tillverkas inom tre år från beslutsfattande.

* H.P.O.F = High Purity Oxygen Free (lead)

COPYRIGHT RESERVED This document is the property of ASEA KABEL AB and its contents must not be communicated to any third party.

K 252 (9:371)

Föreliggande rapport utgör en delredovisning av utredningar utförda enl KBS konsultuppdrag nr 212: "Tillverkningsmetodik för blykapsel för inneslutning av förglasat högaktivt avfall".

1. Förutsättningar

1.1 Förutsättningarna som ligger till grund för dessa studier är att med teknikens nuvarande ståndpunkt, dvs vetenskapens och teknologins för närvarande disponibla materiella resurser och uppnådd "know-how" utreda:

a) möjligheter att inom landet före år 1985 behärska teknologin och kunna sätta igång tillverkning i full industriell skala av blykapslar för inneslutning av förglasat högaktivt avfall,

b) att dessa blykapslar skall uppfylla de krav som ställs beträffande deras varaktighet i tid och materialtekniska prestanda för att garantera en helt säker förvaring av det högaktiva avfallet i det deponeringssystem som utses för ändamålet.

1.2 I föreliggande studie skall endast principlösningar redovisas. Detaljaspekter beträffande produktionssätt, konstruktion osv skall förbigås, eftersom dessa kan förändras vid kontakter och jämkningar med andra problemgrupper och eftersom deras rang icke kan bli avgörande för helhetsbilden.

2. Materialval

Av den dokumentation och litteratur i ämnet som ställdes till förfogande av KBS samt av den erfarenhet man finner inom området från andra källor framgår klart att det icke föreligger någon tvekan om att bly utgör det effektivaste skyddet mot radioaktiv strålning (se bilaga 1).

I vårt fall gäller dock att strålskyddet (blykapslar) samtidigt måste samverka med korrosionsskyddet, såväl inåt som utåt, (kontakt med "rostfritt" stål resp. titan) samt uppfylla andra villkor av materialteknisk karaktär som t ex homogenitet, krypegenskaper o dyl. Detta ställer oss inför ett val: vilket "bly" som skall användas.

Det på världsmarknaden förekommande blyet ("pure lead", med olika och varierande beteckningar) tillverkas med renhetsgrader av 99,85% - 99,94% (ASTM B-29) eller 99,80% (B.S. 801:1953) samt enl andra i den storleksordningen av renhetsgrad. Vissa tillverkare av bly levererar metallen med renhetsgrader i storleksordningen 99,995% - 99,998% (se bilaga 2). Det föreligger följaktligen situationer när utspädda legeringar på basis av dessa typer av blymetallen kan innehålla högre halter av Pb än standardtyper av det s k "pure lead", i vilket inslag av specifierade och ospecificerade föroreningar kan uppgå till uppemot 200-300 ppm.

Alla ovan uppgivna renhetsgrader och föroreningshalter gäller oräknat oxygenföroreningar i form av löst syre och oxider, vilka i sig kan uppgå till 50 ppm.

Det "bästa" som kan sägas om en blymetall med sådana inslag av

COPYRIGHT RESERVED. This document is the property of ASEA KABEL AB and its contents must not be communicated to any third party.

ospecificerade föroreningselement är att metallens beteende under radioaktiv strålning blir okänt. Radiolyseffekter är svåra att kvantifiera och går icke att förutse med absolut säkerhet. Ett sådant bly bör m a o icke användas för ändamål, aktuella i vårt fall.

Val av blymetallen måste således falla på blykvaliteter av högsta renhetsgrad och med minsta inslag av ospecificerade föroreningar inklusive oxygenhalten.

Enligt en ny process som ASEA KABEL tog initiativ till att införa hos vissa metallproducenter samt tack vare nya analysmetoder utarbetade inom företaget för kontroll av både de metallurgiska processerna och produktkvaliteten blev en ny typ av bly med hög renhetsgrad tillgänglig på marknaden (se bilaga 3).

Sedan 1973 mottager ASEA KABEL blyleveranser av det nya blyet (H.P.O.F. Lead) från BRITANNIA LEAD LTD, England, enligt en strikt specifikation: renhetsgrad 99,997+% (max 30 ppm föroreningar; huvudsakligen Bi:18 - 20 ppm eftersom BL icke "avvismuterar" sitt råbly) och med en oxygenhalt < 1,2 ppm.

BRITANNIA LEAD är inte den enda påtänkta leverantören av bly av HPOF-kvalitet i Europa (se även bilaga 2).

Förutsättningarna för framställningen av ett sådant bly i Sverige är goda. BOLIDEN AB har sedan 1975 visat intresse för HPOF-bly. I samband med denna studie har handläggaren på nytt tagit kontakt med ledningen för BOLIDEN METALL AB och drog för övervägande fram adoptionen av HPOF-blyteknologi inom koncernen. Boliden visade sig intresserade av de nya möjligheterna för tillverkningen av HPOF-bly som eventuellt öppnas i samband med uppkommet behov av metallen för skyddskapslar, och är under vissa premisser av organisatorisk och ekonomisk natur (i detta sammanhang ovidkommande) beredda att planera för att inom en period av 2 - 2 1/2 år efter beslutet utföra de investeringar som är nödvändiga för införande av HPOF-bly i normal produktion.

Parentetiskt sagt är Bolidens förutsättningar för tillverkningen av HPOF-bly minst lika goda som de på sin tid var för Britannia Lead när denna teknologi infördes hos dem av oss. Boliden måste i alla fall avvismutera sitt bly (vilket Britannia Lead icke behövde) och genom att föra denna process effektivare raffinera metallen till lägre Bi-halter än BL, låt oss säga till högst 5 ppm. Detta ger till följd en renhetsgrad av 99,9985+% Pb (självlklart: oxygenhalt < 1,2 ppm).

Förutom hänsyn till radiolys och aktiveringseffekter som kan alstras i bly med lägre renhetsgrad och relativt höga oxygenhalter är det, som i fortsättningen skall framgå av studiet av krypfenomenen i blykapseln, också kristallstrukturöverväganden som talar för användning av ett högraffinerat bly.

3. Tillverkningsmetodiken av blykapseln

Den idéskiss som presenterades av Saint Gobain och som avsåg gjutning av

kapslar med efterföljande utfyllnad av spalten mellan blykapseln och rostfribehållaren med smält bly tyder på en "lekmanmässig" behandling av teknologin inom detta område och är i alla avseenden förkastlig i detta sammanhang.

Gjutning av bly i allmänhet kräver en teknologisk "know-how" som kan besittas endast av specialiserade metallurgiska verk. I detta fall skulle det dessutom gälla ett göte med speciella krav på homogenitet, porfrihet, oxygenhalt, kristallkornsstorlek och struktur, kontaktytornas beskaffenhet osv, vilka i en del fall är svårt styrbara, i andra fall helt ouppnåeliga. Det kan konstateras att det för närvarande icke föreligger någon känd teknologi för gjutning vid utförande av sådana produkter, som skulle uppfylla så högt uppställda krav på materialprestanda, icke heller kontrollmetoder för styrning och kvalitetskontroll av dessa produkter.

Vår studie i fråga om gjutningen som tillverkningsmetod för blykapslar sammanfattas (i samstämmighet med andra gruppers synpunkter) i en slutsats som förkastar gjutningen som tillverkningsmetod för blykapslar.

Ett tillverkningsätt som kan uppfylla de materialkrav som ställs på blykapslarnas kvalitetsegenskaper är tillverkning av kapslar av strängpressat material (ämne) som vidare maskinbearbetas till kapselform, eller direkt pressning (extrusion) av färdiga kapslar.

Bägge dessa processer är möjliga att utföra antingen i intermittent verkande skolvpressar, eller i kontinuerliga skruvpressar. Diskontinuerliga skolvpressar för en produkt med den aktuella vikten och med de aktuella kraven beträffande homogenitet, oxygenhalt, inre struktur osv är olämpliga att användas pga att tillverkningen måste ske i flera och upprepade omgångar, motsvarande pressens engångscharge. Processen (som egentligen består av flera efterföljande och av varandra oberoende extrusionsprocesser) är omöjlig att styra även från produktionssynpunkt.

Det återstår således som den enda tänkbara produktionsmetoden: direkt kontinuerlig extrusion av färdiga kapslar med skruvpressar.

Denna teknologi har här i landet uppnått den högsta nivån i världen.

Kontinuerliga blypressar uppfanns sent på 30-talet av civilingenjör Bror Hansson, då teknisk chef, senare VD i ASEA KABEL. På 40-talet utvecklades pressarna till en marknadsprodukt och tillverkades därefter på licens i USA (Robertson Comp.) och i Sverige (H.Folke Sandelin AB).

Pressar som bär uppfinnarens namn: Hanssons pressar, vars antal inom kabel- och gummislangindustrin världen över för närvarande uppgår till ca 300 st, utgör den helt dominerande typen av maskinutrustning i dessa industrier för extrusion av bly. Under de senaste 20 åren har en omfattande utveckling av extrusionsteknologin, kontrollprocesser, materialteknisk forskning inom blyområdet osv förts inom ASEA KABEL. Samtidigt har presstillverkaren (H.Folke Sandelin AB) utvecklat pressens konstruktion

samt tillhörande utrustning. Man kan utan att bli beskylld för ett "overstatement" konstatera att vad beträffar den "know-how" inom blyteknologin och den kunskap om blyets materialtekniska problem och slutligen den nivå av maskinteknologi för extrusion av bly är Sverige ett i världen erkänt föregångsland. *fotnot

Således måste frågan om huruvida vi disponerar över nödvändiga materiella resurser i form av tillgång till eller möjligheter till framställning av råvaror, i form av en nu existerande maskinteknisk utrustning för produktion av blykapslar samt i form av en teknisk och vetenskaplig know-how inom detta område utan tvekan besvaras jakande.

4. Diskussion om blykapselns funktionella varaktighet i tid

Studien om blykapselns beteende och med tiden eventuella form- och materialegenskapsförändringar begränsas här till analys av hållfasthetens elastiska och rheologiska aspekter som är av betydelse för kapselns funktion och bestånd.

Självklart betraktas blykapseln ej isolerat men i ständigt funktionell samverkan och beroende av de bägge åtslutande höljena, dvs inifrån - rostfribehållaren, och utifrån - titankapseln.

Under förvaringstiden efter slutdeponering utsättes inkapslingssystemet för ett hydrostatiskt yttre tryck av 50 Kp/cm².

Under förutsättning att inkapslingssystemets komponenter ligger an tätt mot varandra kan kompositen glaskropp - rostfribehållare - blykapsel - titansköld betraktas som en enhetlig kropp och effekten av det hydrostatiska trycket kan förbigås vid hållfasthetsöverbäganden. (Anm: Ett förhandsvillkor är dock att själva glaskroppen tål ett kompressionstryck av den storleksordningen utan deformations- och kompressibilitetseffekter.)

De fenomen som således i detta fall bör kartläggas är kryp fenomen hos blykapseln. Dessa skall behandlas från två synpunkter, nämligen

a) som s a s "önskade" krypförlopp vilka kan styras och utnyttjas till att uppfylla en viss funktion inom inkapslingssystemet, och

b) som "oönskade" eller rättare sagt självverksamma krypprocesser, vilka måste förutses och om möjligt vidtagas åtgärder emot för att icke äventyra inkapslingssystemets varaktighet i tid.

Ad a) Vi nämnde ovan att för att eliminera effekter av det yttre hydrostatiska trycket och en eventuell kollaps av höljen och blykapseln antages att mellan de respektive skiktelementen inte föreligger någon spalt. I verkligheten är sammansättningen av de tre inkapslingselementen, rostfribehållaren blykapseln - titaskölden omöjlig att genomföra utan att en spalt emellan dem uppstår.

*Fotnot

I en separat utredning skisserar blypresstillverkaren H. Folke Sandelin AB förslag till adaption av standardelement av pressutrustningen samt vissa nykonstruktioner som blir nödvändiga för tillverkning av blykapslar i en kontinuerlig extrusionsprocess.

COPYRIGHT RESERVED This document is the property of ASEA KABEL AB and its contents must not be communicated to any third party.

Rostfribehållaren är tyvärr tillverkad med (enligt handläggaren) för fritt tilltagna toleranser vad gäller diameter, ovalitet och eventuell midjebildning. Indelning av dessa i t ex tre måttklasser kunde minska toleransintervallen. Även med en sådan lösning måste man räkna med en spalt som lokalt kan uppgå till 1-2 mm radiellt. Förhållandet med spalten mellan blykapseln och titanskölden är mindre kritiskt men även där måste man räkna med en spalt av 1 mm bredd.

Olika lösningar med varierande grad av svårighet och effektivitet för att bortskaffa dessa spalter har utretts. Det verkar vara för tidigt att i dag binda sig för en slutgiltig lösning. Allt lutar dock mot en som, om vissa förhandsförsök (vilka eventuellt kan utföras inom J.M.F.'s regi) utfaller positivt, består av följande förfarande:

Efter uppmätning av den glasfyllda rostfribehållaren påmonteras en blykapsel av lämplig diameterklass och tillslutes. Titanskölden utan övre lock påföres blykapseln och hela inkapslingssystemet ställs upp vertikalt. (se ritning i bilaga 4.) Blykapseln dimensioneras i längd med ett i förväg beräknat överskott. Kring inkapslingssystemets nedre del intill botten placeras en induktionsvärmespole (ring). Med dennas hjälp höjes temperaturen lokalt i blykapselns väggar till 150-250°C (temperaturnivån måste bestämmas vid modellförsök i parallella skivor (ringformiga sektioner), exempelvis 100 mm höga. Under verkan av den lokalt i en sådan zon förhöjda temperaturen samt blycylinderns tryck under egen vikt (eventuellt ökat med tilläggsbelastning) "stukas" det uppmjukade materialet i zonen, av krypet och fyller utrymmet i de båda mellan blykapseln och behållarna inbyggda spalterna. Induktionsslingan höjes (med en av krypförloppet bestämd hastighet) upp till övre locket tills full kontakt mellan blykapseln och de bägge höljena har åstadkommit. Efter justering av blykapselns överskottsdel tillslutes titanskölden slutgiltigt.

Ett begrepp om storleksordningen av blykapselns deformation som är aktuell för spalternas bortskaffande fås av räkneexemplet nedan.

Om man antar att inre spalt = 2 mm och yttre spalt = 1 mm blir blyvolymen som går åt till utfyllnad av spalterna (i cm³)

$$V = H \times (2\pi \cdot r \cdot t_1 + 2\pi \cdot R \cdot t_2) = 150 \times \pi (40 \cdot 0,2 + 65 \cdot 0,1) = 6830 \text{ cm}^3$$

Detta motsvaras av en sättning vid krypet av blykapselns rördel med

$$H = \frac{V}{A} = \frac{6830}{\pi (R^2 - r^2)} = \frac{6830}{\pi (1056 - 400)} = \frac{6830}{\pi \cdot 656} = 3,32$$

dvs blykapseln bör tillverkas med ett överskott i rördelens höjd med 33-35 mm.

Ad b)

När den rostfria behållaren helt blivit omsluten av blyet (dvs när spalten mellan denna och blykapseln blivit utfylld) börjar en annan krypmekanism att ge sig till känna. I det omgivande blyet, med en densitet av $11,4 \text{ g/cm}^3$, fungerar den inneslutna rostfribehållaren med glaskroppen under verkan av tyngdkraften likt en flottör med en komplex medeldensitet av $3-3,5 \text{ g/cm}^3$. Den lyftkraft "f", som blir resultatet av skillnaderna i densitet, uppgår således till ca 8 g (pond) per varje cm^3 av den av rostfribehållaren "utstötta" volymen "V".

$$\text{Då } V = H \times \pi \times r^2 = 150 \times \pi \times 20^2 = 188.400 \text{ cm}^3$$

$$\text{är kraften } F = W \times f = 8 \times 188.400 = 1.507.200 \text{ g} \sim 1.500 \text{ kg}$$

och därav följande trycket verkande på blykapselns lock med area "A"

$$P = F:A = \frac{1500 \text{ kg}}{\pi r^2} = \frac{1500}{1256} = 1,2 \text{ kg/cm}^2 = 1,18 \cdot 10^6 \text{ dyn/cm}^2$$

Detta tryck mot blykapselns övre lock ger en konstant krypspänning, vilken teoretiskt kan möjliggöra rostfribehållarens "uppflytning till ytan tvärsigenom" locket. det är således en fråga om kartläggning av materialets kryphastighet under de aktuella spänningarna och eventuell dimensionering av lockets höjdmått.

Det beskrivna förloppet kompliceras naturligtvis av att rostfribehållaren vid sin uppflytning i realiteten "bromsas upp" av friktionen från mantelytan mot bly samt "materialtransport" i flytning mot blykapselns botten, men om man bortser från dessa effekter och renodlar uppflytningsmekanismen som enaxig och fri, blir de erhållna beräkningsresultaten att betrakta som teoretiska minimivärden för de i verkligheten aktuella (dvs med över-skattning av krypningshastigheten $\dot{\epsilon}$).

4.1 Beräkning av krypförlopp

För bestämning av parametrar för krypningsprocesser användes beräkningsmetoder, kända från publicerade studier i ämnet (ref 1.2.3), i synnerhet Professor M.F. Ashby's (ref 4.5.6) beräkningsmetodik och deformationsdiagram.

Den i vårt fall aktuella krypmekanismen består av sk difusionskryp (som inbegriper både Nabarro- och Coble-krypmekanismen). Den kombinerade ekvationen som, enligt Ashby, representerar krypningsmekanismen är:

$$\dot{\epsilon} = \frac{14 \cdot G \cdot \Omega}{k \cdot T \cdot d^2} \cdot D_v \left\{ 1 + \frac{\pi \delta}{d} \cdot \frac{D_B}{D_v} \right\} \quad (\text{ref 4})$$

$$\dot{\gamma} = \sqrt{3} \cdot \dot{\epsilon} \quad , \quad G = \sqrt{3} \cdot \tau \quad ,$$

I ekvationen ovan är

- $\dot{\gamma}, \dot{\epsilon}$ - krypningshastigheter i skjutning resp. drag
- G - dragkrypspänning
- Ω - atomvolym
- K - Boltzmanns konstant
- T - absolut temperatur
- d - korndiameter
- D_V - volymdiffusivitetsfaktor
- D_p - korngränsdiffusivitetsfaktor
- δ - korngränsarea

I en senare publikation (ref 5) införde Ashby små modifikationer till formeln ovan, och bearbetade sina deformationsdiagram till att föras in på ett dataprogram. På vår begäran utförde Professor Ashby en speciell datakörning för ett bly, som i kvalitet ligger nära HPOF, och det är detta program vi skall använda vid våra beräkningar av krypningshastigheten.

Diagrammet användes på följande sätt:

$$X\text{-axeln är } \text{Log} \frac{G}{\sqrt{3} \cdot \mu} ; x_1 = \frac{1,18 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 7,05 \cdot 10^{10}} = \text{Log} 0,966 \cdot 10^{-5} = -5,075$$

$$Y\text{-axeln är } \frac{T}{T_m} ; y_1 = \frac{333}{600,5} = 0,555$$

Punkt $P(x_1, y_1)$ avläser krypningshastighetens, $\dot{\gamma}$ - värde.

För att ur $\dot{\gamma}$ -värdet komma fram till den tid som är nödvändig för att behållaren skall "flyta upp" eller rättare sagt penetrera in i locket, görs vissa konventioner med realfysikalisk innebörd.

Vi antar att lockets tjocklek är 12,5 cm och räknar ut den tid som går åt för rostfri behållaren att penetrera till 1 cm djup och till 5 cm djup som det slutgiltiga och tillåtna djupet (se bilaga 5).

Ashby's diagram för olika korndiametrar "d" har använts:

$$d(\text{cm}) = 1 \cdot 10^{-3}, \sqrt{10} \cdot 10^{-3}, 1 \cdot 10^{-2}, \sqrt{10} \cdot 10^{-2}, 1 \cdot 10^{-1}$$

$$d(\mu) = 10, 31,62, 100, 316,2, 1000$$

Av ovanstående beräkningar samt av avlästa värden för $\dot{\gamma}$ i respektive diagram har följande resultat av penetrationstiden erhållits (tabell 1).

Tabell 1.

Korndiam. d (μ)	Avläst $\dot{\gamma}$ sek ⁻¹	Omräkn. $\dot{\epsilon}$ sek ⁻¹	Penetrationstid i år till djupet av		Anmärkningar
			1cm(=0,08)	5cm(=0,4)	
10	$3,5 \cdot 10^{-10}$	$2 \cdot 10^{-10}$	13	63	
31,62	$8 \cdot 10^{-12}$	$4,6 \cdot 10^{-12}$	$6 \cdot 10^2$	$2,8 \cdot 10^3$	
100	$4 \cdot 10^{-13}$	$2,3 \cdot 10^{-13}$	$1,1 \cdot 10^4$	$5,4 \cdot 10^4$	
316,2	$9 \cdot 10^{-17}$	$5,2 \cdot 10^{-17}$	$5 \cdot 10^7$	$2,4 \cdot 10^8$	
1000	$6 \cdot 10^{-17}$	$3,5 \cdot 10^{-17}$	$7 \cdot 10^7$	$3,6 \cdot 10^8$	

Tabellen ovan visar att man erhåller betryggande långvariga penetrations-tider vid kornstorlekar med $d = 100 \mu$ och större. Även om, enligt Ashby, osäkerheten vid bestämning av kryphastigheten är av en faktor 3, kompenseras dock denna osäkerhet av den överskattning av kryphastigheten, som följde av att man bortsåg från friktionseffekten av behållarens mantelyta och flödet vid materialtransporten mot blykapselns botten.

Villkoret om minimikornstorleken som följer av denna studie:

$$d > 100 \mu, \text{ helst } d > \sqrt{10} \cdot 100 \mu$$

samt krav på en hög jämnhetsgrad hos kornstorleken har å ena sidan tillgodosetts av materialvalet (H.P.O.F-bly) enligt pkt 2. ovan och å andra sidan av den teknologiska processen för tillverkningen av blykapslar (extrusion, efterföljande värmebehandling etc).

5. Slutsatser

Inneslutning av förglasat högaktivt avfall i blykapslar, tillverkade av högrent avoxiderat bly (H.P.O.F.) medelst en kontinuerlig extrusionsprocess, efterföljd av en värmebehandling i syfte att uppnå för ändamålet adekvata materialegenskaper utgör ett betryggande och varaktigt skydd vid förvaring av avfallet i det aktuella deponeringssystemet.

Blykapslar kan tillverkas av inom landet framställd råvara inom tre år efter beslutfattande.

COPYRIGHT RESERVED. This document is the property of ASEA KABEL AB and its contents must not be communicated to any third party.

Framställning av blykapslar genom en kontinuerlig extrusionsprocess, en teknologi som till fullo är behärskad här i landet samt med en teknologisk utrustning som i sin helhet är tillverkad i Sverige kan påbörjas inom två år från beslutsfattande.

Konsultsuppdragets handläggare



Tekn.Dr. Adam Zausznica

Referenser

1. A.J. Kennedy "Processes of Creep and Fatigue in Metals"
Oliver and Boyd Ltd, Edinburgh, London 1962
2. R.W.K. Honeycombe "The Plastic Deformation of Metals"
Edward Arnold Publ. Ltd, London 1971
3. R.C. Juvinall "Stress, Strain and Strength"
Mc-Graw-Hill Book Comp, New York 1967
4. M.F. Ashby "A First Report on Deformation-Mechanism Maps"
Acta Metallurgica, vol. 20, July 1972
5. H.J. Frost and M.F. Ashby "A Second Report on Deformation-Mechanism Maps"
Harvard University Report, August 1973
6. M.F. Ashby Private communication. "A Program Computed to Construct Deformation Mechanism Maps for Pure Lead"
University of Cambridge, June 1972

COPYRIGHT RESERVED. This document is the property of ASEA KABEL AB and its contents must not be communicated to any third party.

Materialegenskaper för bly (Pb)

Utdrag ur ASEA KABEL's materialdata för Pb (av betydelse vid behandling av KBS Konsultuppdrag nr 212).

1. Plumbum

Symbol	Pb
Atomtal	82
Atomvikt	207,21
Kristallstruktur	Kubisk ytcentrerad
Gitterkonstant	4,9398 Å
Atomvolym	$3,03 \cdot 10^{-29} \text{ m}^3$
Termisk neutronabsorptionssektion	0,17 barn/atom

2. Fysikaliska egenskaper

2.1 Termiska data:

Smälttemperatur	327,4°C
Densitet vid 20°C	11,37 g/cm ³
"- 327,4 liKv	10,686 g/cm ³
"- 327,4 solid	11,005 g/cm ³
Utvidningskoefficient (17-100°C)	$29,3 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$
Volymökning vid smältning	4,01%
Volymminskning vid stelning	3,85%
Värmeledning vid 20°C	0,083 cal/cm·°C·sek
"- 100°C	0,081 "-
"- 200°C	0,077 "-
Specifikvärme " 20°C	0,0309 cal/g·°C
"- 100°C	0,0315 "-
"- 200°C	0,0325 "-
Smältvärme	6,26 cal/g

2.2 Elektriska data (inkl magnetiska o elektrokemiska):

Specifik elektrisk konduktivitet vid 20°C	4,842 m/Ω·mm ²
Superkonduktivitet vid 4 °K	4 °K
Elektrisk resistivitet vid 20°C	0,2065 Ω mm ² /m
Temperaturkoeff. f. elektrisk resistivitet per °C	0,0034 /μΩ mm ² /m
Magnetisk susceptibilitet (18-330°C)	$-0,12 \cdot 10^{-6}/\text{g}$
Elektrokemisk ekvivalent	3,858 g/amp·tim
Elektrodpotential	-0,126 volt

2.3 Mekaniska data:

Hårdhet enl Brinell H _{BR} 10/30/100	3,2-4,5 kg/mm ²
Brottspänning $\bar{\sigma}_B$	1,2-1,6 kg/mm ²

COPYRIGHT RESERVED This document is the property of ASEA KABEL AB and its contents must not be communicated to any third party.

2.3 (forts.)

Temperaturberoende av σ_B och H_{BR}

$^{\circ}\text{C}$	σ_B	H_{BR}
20	1,4	4,0
100	0,75	2,2
150	0,6	1,8
200	0,4	1,2
250	0,25	0,7

Elasticitetsmodul E $1,4 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2$

Skjuvmodul τ $0,75 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2$

Poissonstal $0,434$

Ljudhastighet 1.560 m/sek

2.4 Rheologiska data (mikro):

Burgers vector $3,49 \cdot 10^{-8} \text{ cm}$

Volymdiffusivitetfaktorn $1,37 \text{ cm}^2/\text{sek}$

Korngränsdiffusivitetfaktorn $1,16 \text{ cm}^2/\text{sek}$

Aktiveringsenergi f. volymdiff. $26,1 \text{ K}\cdot\text{cal/mol}$

Aktiveringsenergi f. korngränsdiff. $15,7 \text{ K}\cdot\text{cal/mol}$

COPYRIGHT RESERVED This document is the property of ASEA KABEL AB and its contents must not be communicated to any third party.

Sammanställning av blyproducenter (smältverk resp.refinaderier) och specifikation av bly av bättre kvalitéer.

Märke	Bolag	Pb	Bi	Ag	Fe	Cu	Sb	Zn	Cd	As	Andra
B.H.A.S.Special	Broken Hill Associated Smelters Proprietary Ltd. (Australia)	99.9948	0.0034	0.0003	0.0001	0.0002	0.0008	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001 (S)
B.L.Co.	Britannia Lead Co Ltd.(U.K.)	99.9975	0.0008	0.0004 (Ag+Au)	<0.0002	0.0002	0.0005	<0.0002	—	—	<0.0002 (Co+Ni)
Doe Run	St.Joseph Lead Co. (U.S.A.)	99.9965	0.0005	0.0003	0.0001	0.0001	0.0001 (Sb+Sn+As)	0.0001	0.0002	—	
D.X.Refined	Denver Chemical & metal Refining Co.(UK)	99.99min	0.0020	0.0004	<0.0002	0.0015	0.00015	<0.0002	—	—	0.0001 (Sn)
H.J.Enthoven & Sons. Ltd.	H.J.Enthoven & Sons Ltd. (U.K.)	99.99min	0.0050	0.0020	0.0010	0.0010	Trace	0.0002	Trace	Trace	0.0001 (Co+Ni) Trace (Sn)
Montevecchio	Montevecchio Soc. Italiana del Piombo e dello Zinco (Italy)	99.997	0.0003	0.0002	0.0002	0.0008	0.0008	0.0002	—	—	
Penarroya (France)	Societe Miniere et Metallurgique de Penarroya (France)	99.99min	0.0030	0.0008	0.0010	Trace	Trace	0.0010	0.0008	Trace	Trace (Sn)
Pertusola	Sta.Mine Met di Pertusola (Italy)	99.9950	0.0018	0.0008	0.0005	0.0004	0.0005	0.0010	—	—	
R.B.H.D.Refined	Rhodesia Broken Hill Dev.Co.Ltd.(Rhodesia)	99.9987	—	0.0004	0.0002	0.0003	—	0.0004	—	—	
Tadanac	Consolidated Mining & Smelting Co.of Canada Ltd.(Canada)	99.99min	0.0005	0.0004	0.0001	0.0004	0.0002	0.0001	—	<0.0001	<0.0001 (Sn)
Three Diamonds (Devise)	Mitsubishi Metal Mining Co.Ltd.(Jap)	99.998	0.0004	0.0001	0.0003	0.0004	0.0001	0.0001	—	—	

Lead and zinc into the 80's

Sixth international conference
on lead , London

June 1977

77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89

ADAM ZAUSZNICA
ASEA KABEL, STOCKHOLM, SWEDEN

HIGH PURITY OXYGEN FREE LEAD, NOW A REALITY

SIXTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON LEAD
LONDON, JUNE 1977.

HIGH PURITY OXYGEN FREE LEAD, NOW A REALITY

Adam Zausznica
ASEA KABEL, Stockholm, Sweden

1. Preamble

The concept of High Purity and Oxygen Free Lead and the abbreviation proposed by the author: H.P.O.F. Lead (or Lead-Alloy) will not appear strange or unfamiliar to cable people since they are acquainted in their every day practice with similar denotations e.g. "H.C.O.F. Copper" etc.

What are the practical premises necessary for the creation, the maintenance and the spreading of use of a new type or a new quality of a lead or a lead alloy; or for that matter for the introduction of any new material or product on the market.

Firstly, there must exist a real need and a demand from the consumer's side for such a new product. In this case H.P.O.F. Lead.

Secondly, the lead producers must possess adequate and sufficient "know-how" (existing or potential) and equipment for the purpose in order to realize such an innovation.

Thirdly, both the consumer and the producer must be fully aware of the quality requirements with regard to the new product, the material properties of which must be compatibly and strictly defined and specified.

Fourthly, there must exist standardized testing methods with corresponding laboratory equipment and instruments agreed upon or elaborated compatibly by both parts, for the purpose of the quality determinations, of materials properties etc.

In conclusion we find that all the four assumptions forming the basis of the premises as above are fulfilled and exist in reality. In the absence of an actual standard specification for H.P.O.F. Lead, the author established for internal use within ASEA KABEL and for the contacts with lead suppliers principal chemical and physical requirements

evolved from the definition of this lead and expressed in the following propositions:

The H.P.O.F. Lead (or Lead-Alloy) is a lead quality (type) characterized as below:

- a) the metal is refined to a purity grade higher than 99.995 % +
- b) the total impurity content (max 50 ppm) may provide specified limits for some selected impurity elements (e.g.: Bi < 20 ppm, Sb < 2 ppm, etc)
- c) the oxygen content in the metal must be lower than the limit of oxygen solubility in the metal at its solidification temperature; i.e. below 1.5 ppm O₂
- d) the surface of the lead ingots must be free from dross, oxide inclusions and other impurities
- e) ingots of high weight are recommended (0.5 - 1.0 ton) and of a shape minimizing the quotient: Surface/Weight (i.e. roughly of a cube-like form)

2. Historical background

Oxygen is present in lead in two forms: as oxygen in gas form (O₂) dissolved in the metal and in form of lead oxides or oxides of other metals contained in the lead. For a considerable time the contamination of lead with oxides has been regarded as a troublesome impurity in the use of lead in industrial processes, but most of the emphasis has been on the loss of material (metal). It was not until 10-15 years ago that attention began to be directed towards the phenomenon of oxygen contamination of lead without consideration to oxidation losses but towards oxygen contents on a microscale, i.e. oxygen dissolved in the metal or in form of a finely dispersed phase in it. Increased demands for higher lead quality both from the traditional lead consuming industries such as the cable and the battery industries, and from some newly emerged users of lead brought to the foreground the role and the importance of all kinds of oxygen contamination of lead as a quality problem. Paradoxically, the microscale contamination was much more troublesome to get rid of. The cable industry is especially vulnerable when using lead batches with high oxygen contents. One of the peculiarities of the extrusion process of cable sheathing is that this process favours a selective separation of oxides from the metal and their accumulation along some zones and directions of "preference". These local enrichments and

concentrations of oxides have a detrimental effect on the creep and fatigue phenomena in cable sheaths. Similar phenomena have been observed in battery manufacturing and in the industries producing thin foils for use in the photographic and packing industries.

For ten years the Laboratories of ASEA KABEL have investigated and elucidated the mechanisms and the correlations between oxygen and oxide contamination in lead and the strength and material properties of lead sheaths.

Metallographical and fractographical investigation on lead specimens clearly demonstrated the dependency between the oxygen content in lead and the initiation of crack formation under creep and fatigue stresses and could even express it in quantitative terms.

3. Emergence of a new technology

It was just at this stage that we confronted the difficulty arising from the absence of any easy and rapid analytical method for the determination of oxygen contents in lead. All "classical" methods for this purpose known at the time were intricate and unreliable or even confusing especially in the low range of oxygen contents which were gradually achieved in our process.

A metallographical method developed by us in 1969 was quite sensitive, but was very tedious and consequently could not serve as an instrument for production control. In the search for a more adequate method or instrument suitable for the purpose we discovered a type of an instrument in use within the steel metallurgical industry. We found soon that this type of instrument could be converted and adapted for use with the metals (Pb+Sb, Sn, Cd, Te, As, Cu) and the oxygen ranges relevant in our case. The manufacturer of the instrument BALZERS AG, entered into an agreement with us with the object of a joint development venture in this matter.

In the middle of 1971 the final version of the prototype instrument denominated "Exhalograph EAO-202" was successfully tested in our laboratories and then included in the routine production and quality control.

With this means of analysis at our disposal we found it possible to for-

mulate demands to our lead suppliers since it was then possible to specify the limits of oxygen content desirable and acceptable for use in our processes.

Not surprisingly here arose a number of difficulties. Some of the lead producers lacked the facilities, equipment and adequate technology for the production of lead with low oxygen content. In addition, they pointed out the fact that there did not exist any analytical method for oxygen determination which was sufficiently rapid, reliable and adequate for the control of their process.

It became obvious to us that it was realistic to expect any production and supply of lead on our terms only if - on one hand the lead manufacturers would agree to change and improve their technological processes in order to meet our requirements on quality and if we - on the other hand - as the initiators and promoters could provide them with a convenient, rapid and compatible method for oxygen determination.

One lead producer: BRITANNIA LEAD COMPANY LIMITED, Northfleet, accepted our approaches for cooperation with understanding and good-will. The period 1970 - 1971 which soon resulted in a fruitful cooperation between the two companies may be characterized as the period of development and mutual adjustment of technologies and of analytical methods of production and quality control within both companies. Especially, the change-over to the use of 1 ton blocks of lead was a cardinal step forwards into the new technology of lead with lower oxygen content. This change not only introduced important modifications into the technological process of metallurgical treatment of the metal by the producer but caused equally fundamental changes in the technique of use and handling of lead in the consumer link. New melting kettles (of 18 tons capacity each) were installed, designed and constructed by M. FOLKE SANDELIN AB, Stockholm. They had been adapted to meet the requirements of the new technology and they were equipped with special instrumentation satisfying the extended demands for the control of the new process.

The large, 1 ton blocks of lead also motivated quite new and unconventional techniques for the analysis procedures; for instance the sampling of specimens, their conservation for transport (internally and externally) etc. One may imagine the difficulties in handling the one ton

cube of lead, when access to the inner central regions of the block is necessary for the taking of a sample. This alone might force one to question the feasibility of the new technology and of the analytical method.

However, as has already been mentioned (and as it will be seen in the film presentation) a solution has been found to this problem by using unconventional methods. We had an idea for the solution and for its realization we appealed for help to a company experienced with suitable techniques. In cooperation with GUNNEBO BRUKS AB, Västervik, Sweden, a special pistol and shot-sonds have been developed. When fired by the pistol these sonds are able to penetrate into any place and depth in the lead block and to extract a rod of the metal to be used as specimen for the analysis.

In general, when we refer to the new analytical method elaborated by us and made available to lead producing and lead consuming industries, we mean in reality a whole complex of techniques, routines and subsidiary methods to be applied to any stage, phase or shape of the metal during its processing i.e. during refining, melt transport, pouring, remelting and all other treatment and operation with the metal. In addition, it also comprises all operations and techniques and auxiliary means necessary for the achievement of reliable and reproducible analytical results. In particular, these include the taking and preparation of the samples, their conservation for storage and transport, ancillary means and techniques for the calibration of the measurement instruments, preparation of reference materials and standard specimens etc. With the objective of making the new analytical method accessible and permissible for use by other interested parties, but at the same time to make it unassailable from the point of view of reliability we presented it for verification and acceptance as a standard method to the Analytical Sub-Committee of the European Lead Development Committee, Paris (see SCA/ELDC publication: Document No. 190).

Some elements of the method (the techniques concerning reference standard materials) have been submitted to a co-ordination with the studies carried out by the Directorate General for Research, Science and Education of the Commission of the European Communities, Brussels.

An "ad hoc" circle consisting of five European laboratories (including

us) was created with the object of verification of all elements of our method. It should be noted that this cooperation, besides of reaching its principal goal also resulted in two improvements of the operational techniques which reduced the tolerance limits ("uncertainty") of the measurement results by one-half. The results of the laboratories participating in the circle are reported in SCA/ELDC Reports: Document Nos. 203, 204, 205, 206, 207 and summarized in the Final Document of the Secretariate SCA/ELDC, Doc. No. 208. We quote the final conclusion as it is formulated in this document:

"Les résultats du circuit montrent que, même avec le mode opératoire de M. Zausznica décrit dans le document ELDC 190, il est possible d'obtenir des résultats suffisamment bons (donc suffisamment reproductibles et avec un oxygène résiduel en surface suffisamment bas) pour qu'il convienne pour le contrôle de la qualité industrielle des plombs ou alliages de plomb."

4. Presentation of the new analytical method

The new analytical method for oxygen determination in lead is presented by a film projection. The film (commented by the author) illustrates all the operations and techniques used in the whole complex of the new analytical method and instructs in the use of the method both in the producer and the consumer links.

5. Acknowledgements

The activities the results of which are described in the present report extended over a period of ten years. To acknowledge all of the people, organization and companies who have contributed to these works in some manner would clearly be impossible. But a few major acknowledgements must not be omitted. The author wishes especially to express his great indebtedness and gratitude to Mr. Douglas van Reis, President of ASEA KABEL and to Mr. Clas T Jacobsen, Technical Director, for their open-minded support, encouragement and promotion of the technical research in this field during all these years. The unrestrained right to share the results of our technical achievements and making them accessible to international organizations and other interested parties deserves an emphasized éloge.

In our endeavours to carry through the accomplishment of our goal we

met help and cooperation from many people, organizations and companies. We have given their names above in the course of the present report and we wish to express our gratitude to the managers, directors and leading staff of these Companies, Organizations and Institutions for their willing, encouraging and imaginative cooperation which in the end resulted in ingenious solutions to the many intricate problems of the new development.

Finally, expressions of appreciation and gratitude are due to the whole staff of the Laboratories I had the privilege to be responsible for, and to the management, foremen and workers on the floor in the works - all of whom were involved in the development of the new technology. I can only mention a few of them, my colleagues, assistants and collaborators Messrs. Berndt Högberg, Ewert A Nilsson, Sören Örnmyr from the Laboratories and Endel Randmere, Torsten Widjestamm from the works, whose valuable, unselfish and stimulating assistance contributed in a considerable degree to the accomplishment of the whole project.

6. Bibliography

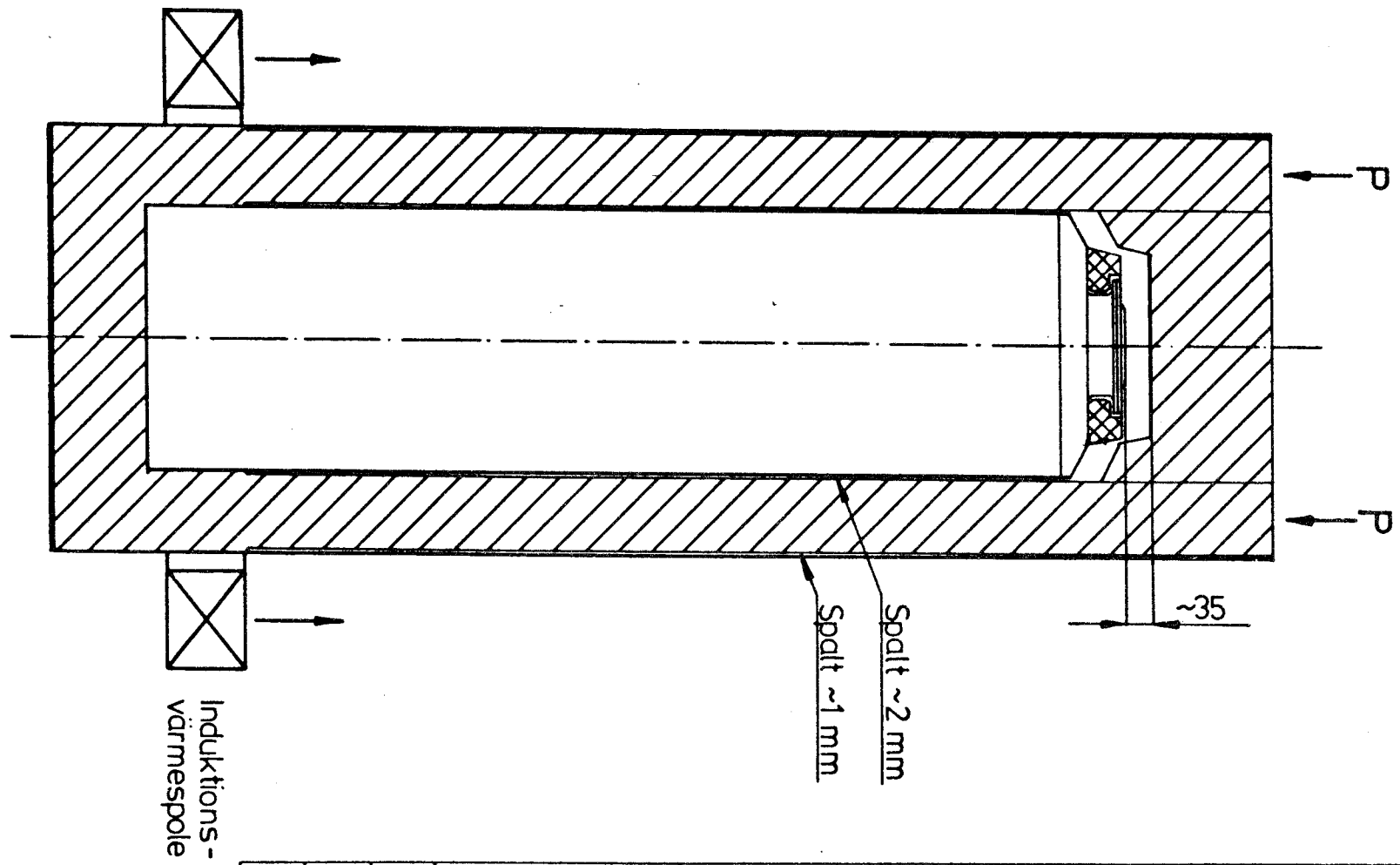
1. W A Baker, "The Estimation of Oxygen in Metals".
Journal of the Institute of Metals
Vol. LXV 1939
2. K W Grosheim-Krisko, "Ueber die Löslichkeit von Sauerstoff in
W Hofmann, Blei". - Mitteilungen d. Inst. f. Metall-
H Hanemann, kunde d. Technischen Hochschule Berlin
36 Jahrg. H.4. April 1944
3. W Hofmann, "Lead and Lead Alloys".
Springer-Verlag Berlin 1970
4. M Hansen, "Constitution of Binary Alloys" McGraw-Hill
Book Comp. Inc. New York 1958
5. W W Krysko, "Oxidation of Molten Lead" Proc.: Third
International Conference on Lead Venice
Sept. 1968
6. W W Krysko, "Die Entkrätzung des Bleies" - Zeitschr. f.
Erzbergbau u. Metallhüttenwesen, B.VI.,
1953, H.11.
7. W W Krysko, "Determination of the Density of Lead Oxide"
Trans. of the Metallurgical Society AIME,
Vol 224, August 1962
8. G Kraft, A Kahles, "Die Bestimmung von Sauerstoff in Kupfer und
Blei sowie ihren Legierungen" Erzmetall
Bd.22, 1969, H.9.

9. L Danielsson, "Bestämning av Oxygen i Bly", Inst. f. Metallforskning. Report to ASEA KABEL Stockholm 1970
10. S Lundquist,
B E Lundin,
S Eriksson, "Lead Oxide in Cable Sheaths". Proc.: Fourth Intern. Conf. on Lead, Hamburg, Sept. 1971
11. A Zausznica, "New Sampling Methods for Oxygen Content Determination in Lead from 1 ton Blocks and from Melting Kettles". Technical Memorandum, ASEA KABEL, May 1972, Stockholm.
12. A Zausznica "Oxygen Content Determination in Lead and Lead Alloys by Reductive Fusion". Research Report, ASEA KABEL, March 1975, Stockholm.
13. Commission of the European Communities, BCR Information, Community Programme on the Assay of Non-Metals in Non-Ferrous Metals 1.1.1969-30-9-1975, Directorate General for Research, Science a. Education, 1976 Brussels
14. Commission of the European Communities, Eurisotop Office "Surface Treatment of Non-Ferrous Metals for the Purpose of Gas Analysis". Report No. 90 1976 Brussels
15. European Lead Development Committee, Sous Comité Analytique. ELDC/SCA, "Contrôle des Teneurs en Oxygène dans le Plomb et Alliages de Plomb", Document Nr. 190, Octobre 1975
16. ELDC/SCA, "Etude en Vue de Fabrication et Utilisation d'Echantillons-Etalons de Plombs et Alliages de Plomb pour Dosage de l'Oxygène. Document Nr. 191, Octobre 1975
17. ELDC/SCA, "Dosage d'Oxygène dans le Plomb sur des Baguettes Prélevées par Pistolet et Décapées par un Mélange Acide Acétique + Eau Oxygénée". Document Nr. 203 Décembre 1976: Résultats du Laboratoire Minemet - Recherche (France).
18. ELDC/SCA, Document Nr. 204 Décembre 1976 Résultats du Laboratoire ASEA KABEL (Suède)
19. ELDC/SCA, Document Nr. 205 Décembre 1976 Résultats du Laboratoire de Fontenay du CEA (France)
20. ELDC/SCA, Document Nr. 206 Décembre 1976 Résultats du Laboratoire de la Métallurgie Hoboken-Overpelt (Belgique)
21. ELDC/SCA, Document Nr. 207 Septembre 1976 "Mesure d'Oxygène de Surface Effectuées Après Différents Décapages Chimiques par l'Université de Liège" (Belgique)
22. ELDC/SCA, Document Nr. 208 Janvier 1977 "Récapitulation du Circuit Réalisé Entre Laboratoires ELDC...." (Rédigé par le Secrétaire du SCA)

This document must not be copied without our written permission, and the contents thereof must not be imported to a third party nor be used for any unauthorized purpose. Contravention will be prosecuted.
 ASEA KABEL AB

Denna handling får ej utan vårt medgivande kopieras. Den får ej heller delgivas annan eller eljest obehörigen användas. Överträdelse härav beivras med stöd av gällande lag.
 ASEA KABEL AB

Nr	Andring	Datum	Inf.	Godk.	Ritn.-nr



Bilaga 4

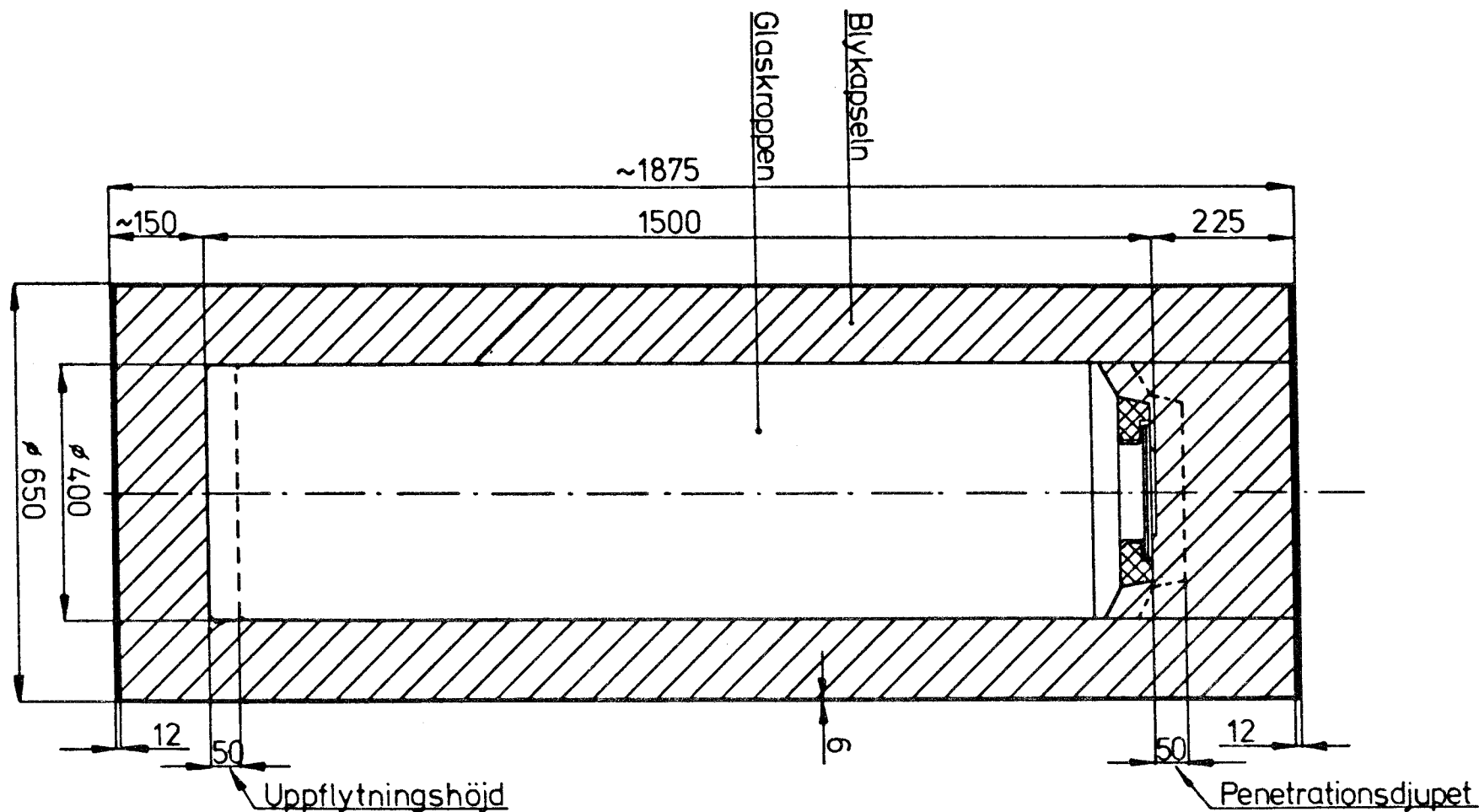
Antal		Pos. nr	Detalj nr	Benämning	Material	Ämne Dim.	Anm.	
B	A	Utförande	Idéskiss för sättning av blykapseln.				Datum	Skala
			Ersätter	Ersatt av				
			Godk.	Kontr.	Konstr.	Ritad	Ritn.-nr	

ASEA KABEL

This document must not be copied without our written permission, and the contents thereof must not be imported to a third party nor be used for any unauthorized purpose. Contravention will be prosecuted.
 ASEA KABEL AB

Denna handling får ej utan vårt medgivande kopieras. Den får ej heller delgivas annan eller ejest obehörigen användas. Överträdelse härav beivras med stöd av gällande lag.
 ASEA KABEL AB

Nr	Andring	Datum	Inf.	Godk.	Ritn. nr



Bilaga 5

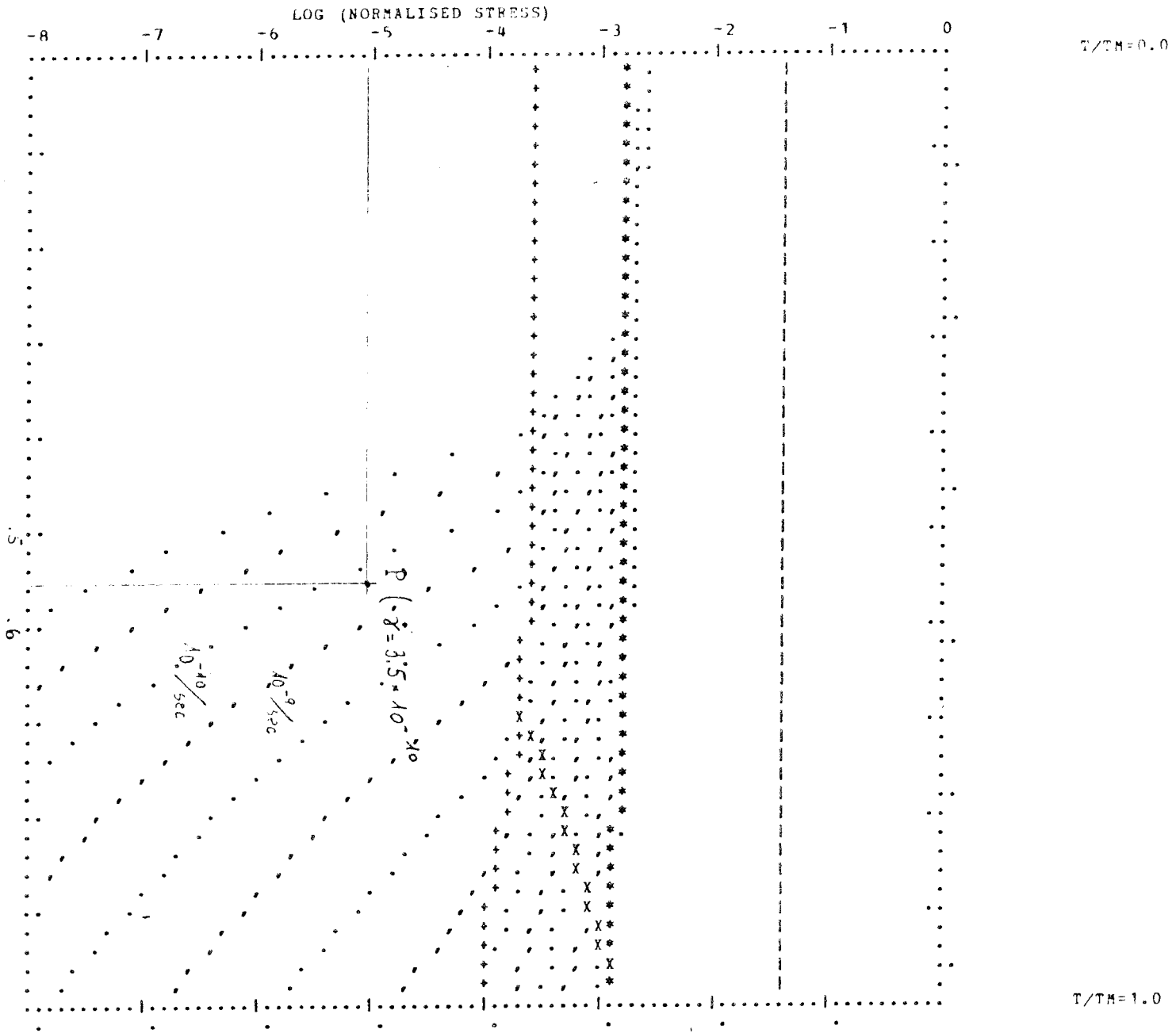
Antal		Pos. nr	Detalj nr	Benämning	Material	Ämne Dim.	Anm.	
B	A						Datum	Skala
		Utförande	Idéskiss för penetrationsprocess.				Ersätter	Ersatt av
ASEA KABEL			Godk.	Kontr.	Konstr.	Ritad	Ritn. nr	

LEAD, REVISED DATA NUMBER 1.

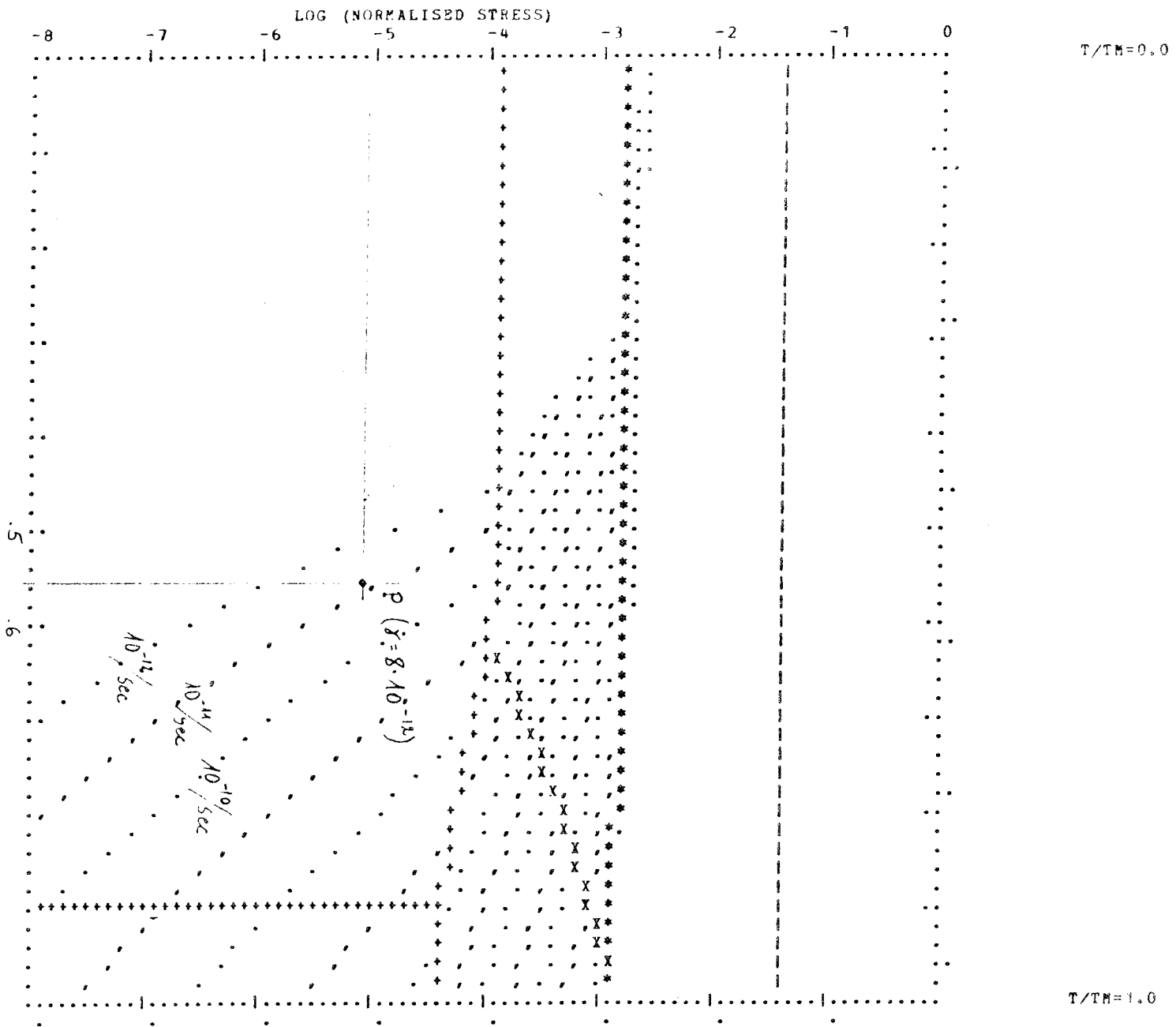
VERSION 304

BOLTZ	=	1.380E-16	ATVOL	=	3.030E-23
BURGV	=	3.490E-08	TMELT	=	6.005E 02
SHMOD	=	7.320E 10	X (1. - (T-300.) X	1.120E-03)	
DOV	=	1.370E 00	QVOL	=	1.812E-12
DOB	=	1.160E 00	QBDRY	=	1.090E-12
EN	=	4.200E 00	A	=	3.780E 04
EL	=	1.500E-05	GAMZRO	=	1.000E 06
TAUZRO	=	7.678E-04	TAUTH	=	3.900E-02
TAUPLS	=	1.000E-10	GAMPLS	=	1.000E 10
UK	=	1.000E-16			
GAMPST	=	1.000E-12	DGRAIN	=	1.000E-04
GAMMLT	=	1.000E 01	DGRMLT	=	3.162E 00
NGAM	=	13	NDGR	=	9

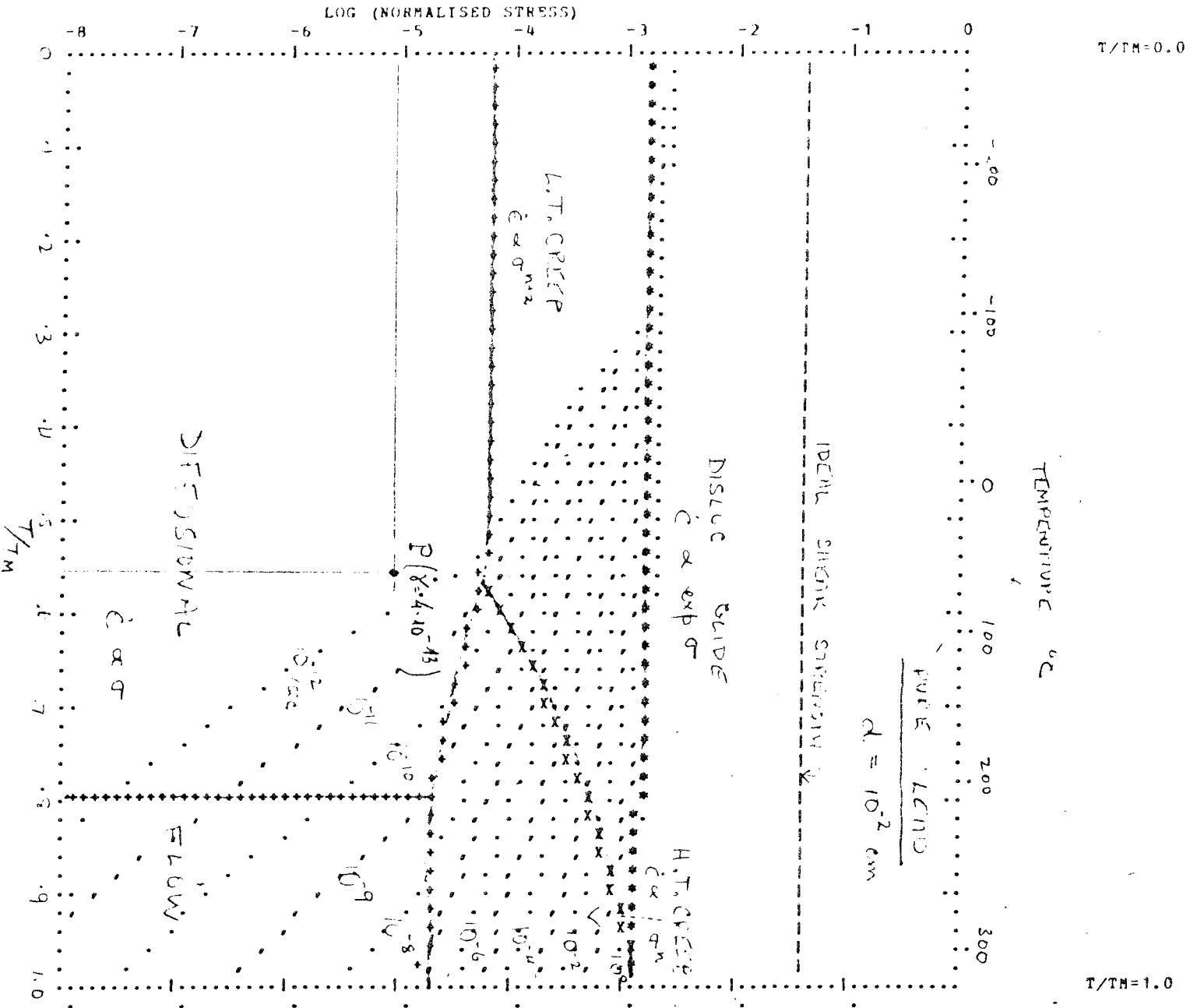
PEIERLS STRESS IS NOT INCLUDED.



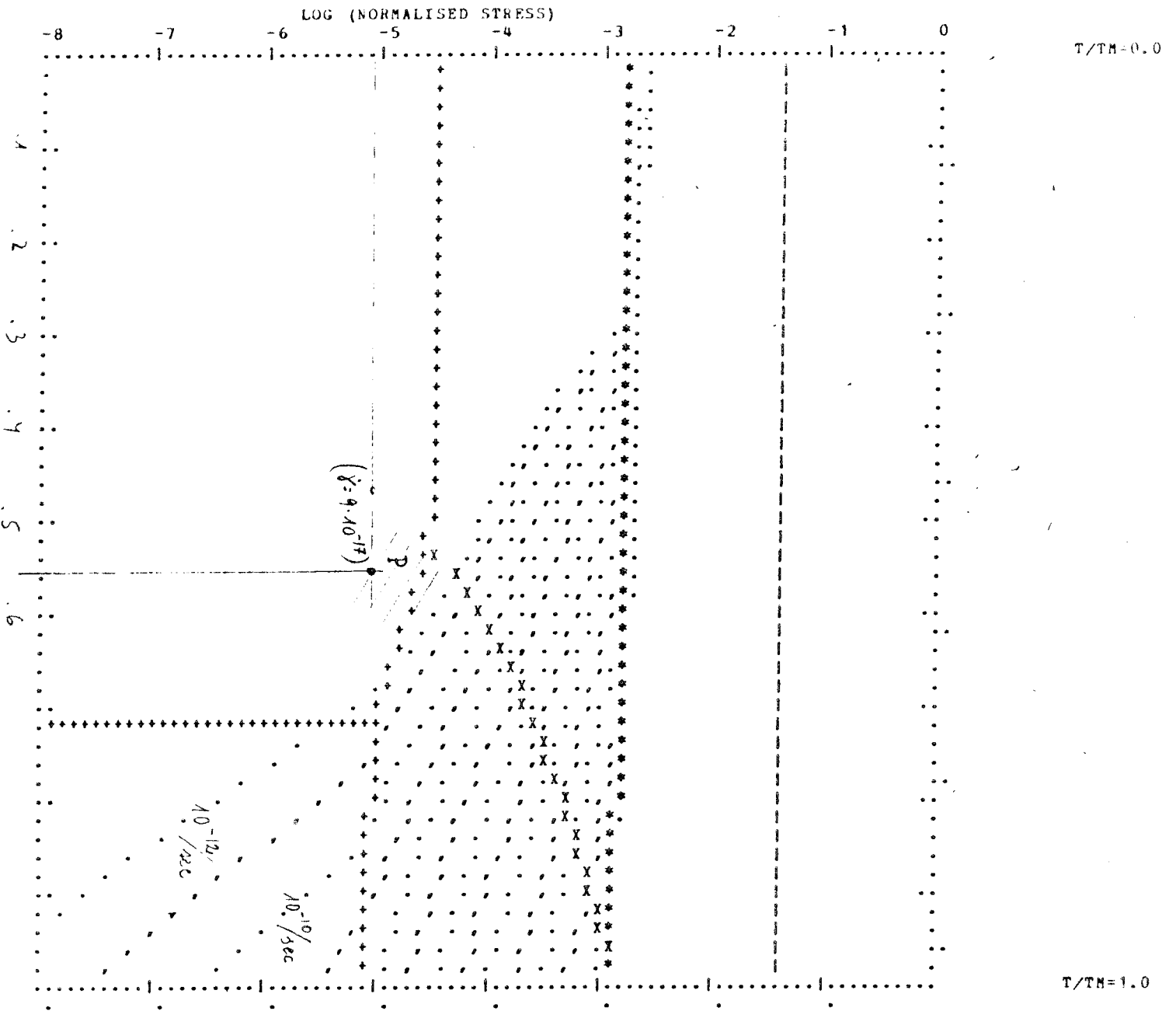
DGRAIN = 1.000E-03 GAMFST = 1.000E-12 GAMLST = 1.000E 00 TCRIT = 1.014E .00
 EL = 1.500E-05 TFST = -2.000E 02 TINTVL = 1.000E 02 STRES1 = 1.000E-04



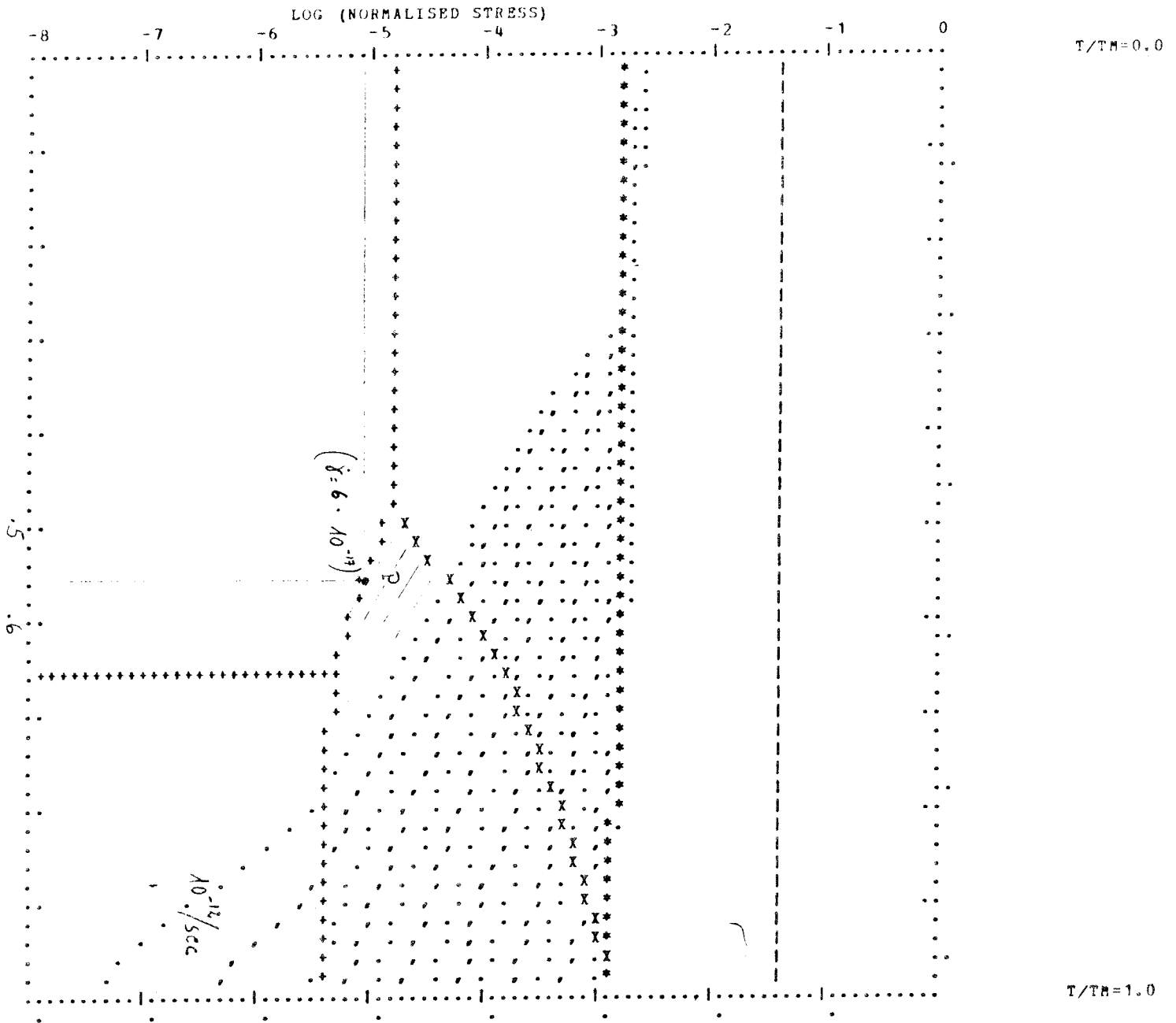
DGRAIN = 3.162E-03 GAMFST = 1.000E-12 GAMLST = 1.000E 00 TCRIT = 8.941E-01
 EL = 1.500E-05 TFST = -2.000E 02 TINTVL = 1.000E 02 STRES1 = 1.000E-04



DGRAIN = 1.000E-02 GAMFST = 1.000E-12 GAMLST = 1.000E 00 TCRIT = 7.997E-07
 EL = 1.500E-05 TPST = -2.000E 02 TINTVL = 1.000E 02 STRES1 = 1.000E-04



DGBAIN = 3.162E-02 GAMFST = 1.000E-12 GAMLST = 1.000E 00 TCRT = 7.232E-01
 EL = 1.500E-05 IFST = -2.000E 02 TINTVL = 1.000E 02 STRES1 = 1.000E-04



DGRAIN = 1.000E-01 GAMFST = 1.000E-12 GAMLST = 1.000E 00 TCRT = 6.601E-01
 EL = 1.500E-05 TPST = -2.000E 02 TINTVL = 1.000E 02 STRES1 = 1.000E-04

Tillverkningsteknik, baserad på kontinuerlig extrusionspressning av bly, för framställning av blykapsel för inneslutning av förglasat, högaktivt avfall.

Premiss

Att med tillgänglig teknologi och maskinutrustning extrudera blykapslar med en innerdiameter av 400 mm, vägg tjocklek 100 mm och höjd 1900 mm. Totalvikt 3,5 - 4 ton.

Följande standardutrustning, som i ett stort antal exemplar varit i drift i 10-20 års tid, kan begagnas för kapselframställning.

- 1) Smältpannor för bly
- 2) Drivutrustning
- 3) Extrusionsskruv
- 4) Extrusionscylinder
- 5) Instrumentutrustning för uppvärmning och kylning
- 6) Matningsanordningar för blytackor
- 7) Blypumpsystem

Nykonstruktion

Standardpresshuvudet ersättes av en presscylinder med invändig dorn för formning av kapseln.

Hydrauliska låsningsanordningar för cylindern.

Produktionsdata

Extrusionskapacitet: 100-110 kg bly/min

Extrusionstid: 35-40 min/kapsel

Inställnings och förvärmningstid)

 samt tid för demontering av): 60-90 min

färdig kapsel)

Produktionstid per kapsel: 2 timmar = 4 kapslar per 8 timmars skift.

Teknisk specifikationSmältutrustning (av standard typ)

2 st 18 tons smältpannor placeras i tandem via ett slutet blypumpnings-system. Vardera pannan är uppdelad i tre zoner och pannorna är elektriskt uppvärmda. Total effekt per enhet = 140 kW.

Temperaturen hålles så låg som möjligt, cirka 360°C, med en variation i panna nr 2 icke överstigande $\pm 3^{\circ}\text{C}$. Panna nr 1 beskickas med en nivåregulerad inmatningsanordning för blytackor upp till 1 ton.

Extrusionscylinder (skruvhus) av standard typ

Från tredje zonen i panna nr 2 matas blyet in i skruvhuscylindern via ett slutet elektriskt uppvärmt tilloppsrorssystem. Skruvhuset är av standardtyp (storlek typ 5) och tillverkat av höglegerat stål, elektriskt uppvärmt och försett med kylkanaler för vattenkyllning.

Starttemperatur: 300-315°C

Drifttemperatur: 220-250°C

ExtrusionsskruvExtrusionsskruv (av standard typ)

Storlek typ 5

Extrusionsskraven är tillverkad av höglegerat stål, värmebehandlad och förkromad.

Skraven roterar med en starthastighet av 3-4 varv/min samt vid full produktion med 16-20 varv/min.

Drivutrustning (standard typ 5)

Huvudmotor

Likströmsmotor: 25-100 kW

150-850 varv/min

Växellåda typ 5

Utväxling: 1:45

Växellådan är försedd med automatiskt smörjölje- och kylsystem.

Extrusionshuvud (nykonstruktion)

Extrusionshuvudet tillverkas av höglegerat stål.

Huvudet tillverkas cylindriskt och delbart i axiell led. Detta för att underlätta avkapning och demontering av färdig kapsel. Extrusionshuvudet placeras på toppen av extrusionscylindern. En skjutbar dorn konstrueras för formning av blykapselns innermått. Dornen förses med anordningar för uppvärmning och kylning.

Extrusionshuvudet förses med anordningar för uppvärmning och kylning samt hydraulik för låsning, öppning och stängning.

Instrumentering (standard typ)

Standardutrustning med temperaturregulatorer, flödesmätare för kylning, reglage för drivmotorn och hydraulik.

Fundamentram (standard typ)

Hela anläggningen placeras horisontellt på två fundamentramar. I ramarna placeras cirkulationssystem för kylning, hydrauliska komponenter etc.

Som framgår av beskrivningen avses att till 90% begagna befintlig och utprovad utrustning.

Riktpris

Som riktpris för ovan beskrivna anläggning kan nämnas 5-7 milj. kronor.

Innan en maskin i full skala tillverkas, föreslås dock att en mindre anläggning provkörs. I denna kan lämpligen kapslar i storlek 1:4 eller 1:5 extruderas.

Priset för en provanläggning av denna typ torde röra sig omkring 2,5-3,5 milj. kronor.

Tidsplan

Konstruktion, tillverkning och montering av provanläggning kan utföras på 14-16 månader. Provkörning av anläggning bör beräknas till 3-4 månader.

Montage och provkörning bör lämpligen utföras hos vår underleverantör AB Motala Verkstad. Detta med tanke på tillgänglig maskinpark för eventuella justerings och ändringsarbeten.

Tidsplan för anläggning i full skala

Motsvarande arbete för denna anläggning tager cirka 18-20 månader i anspråk.

Provkörningstid cirka 6 månader.

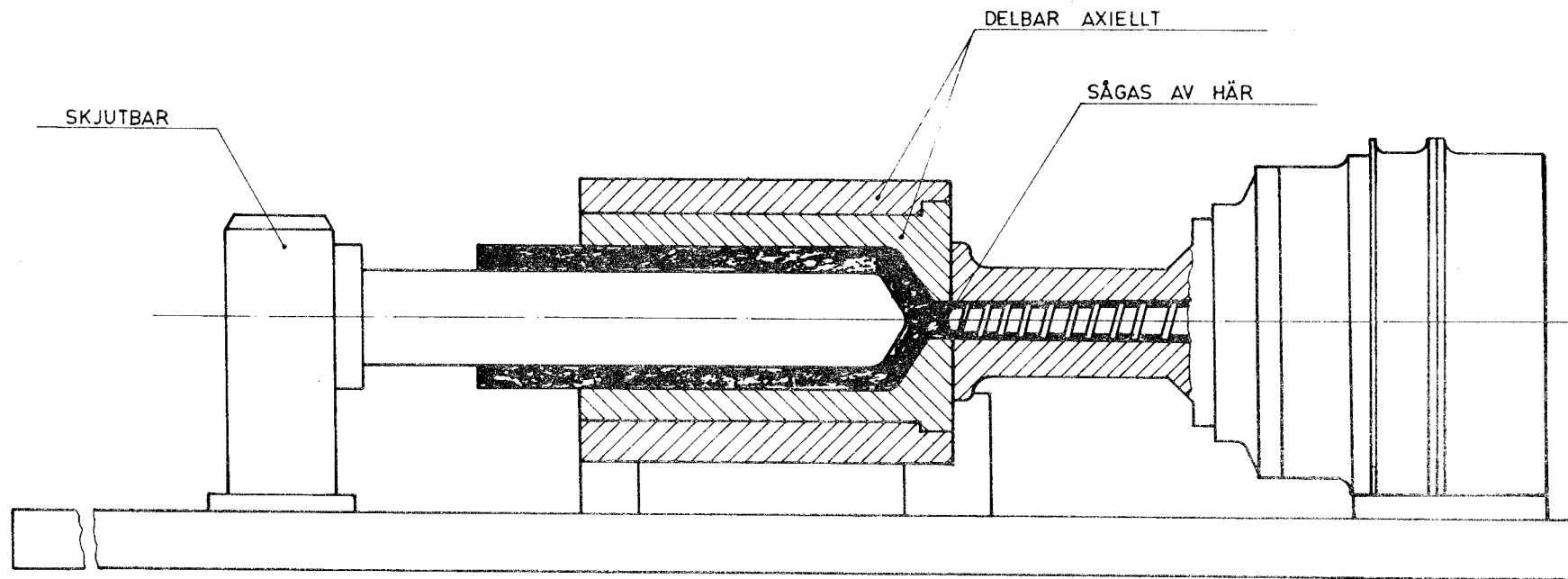
H. FOLKE SANDELIN AB

Agar Runevall

Bilagor

Ritning C-675 visande principen för Blykapsextrusion
Ritning C-676 " smältpanna med pumpsystem

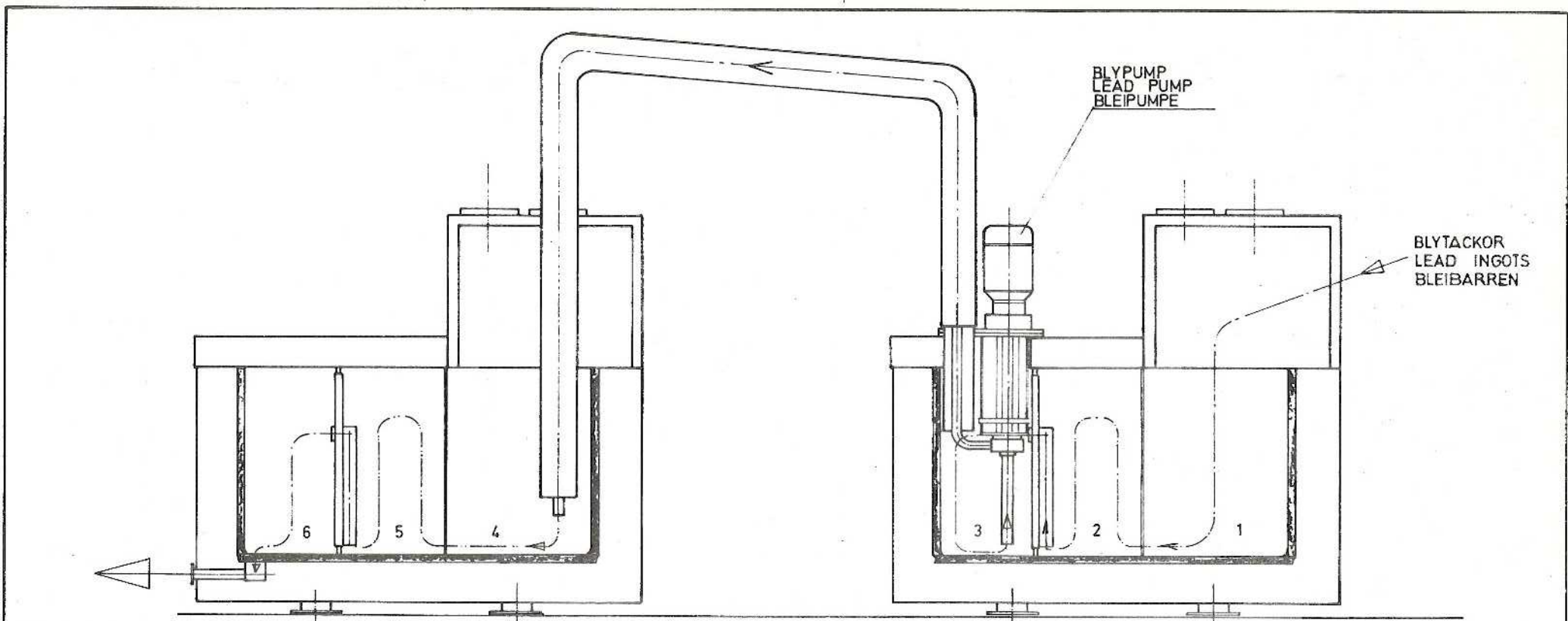
AR/BL 77 09 14



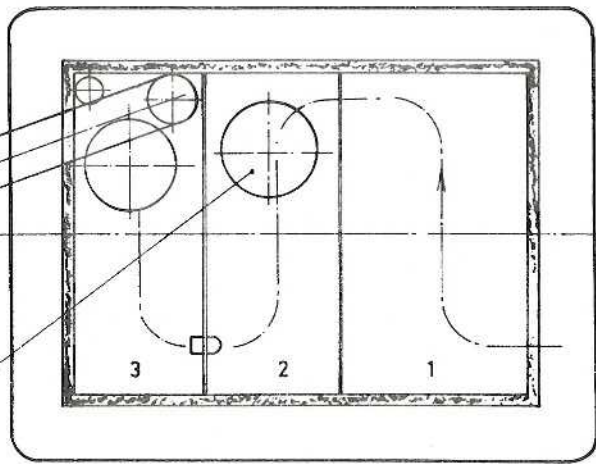
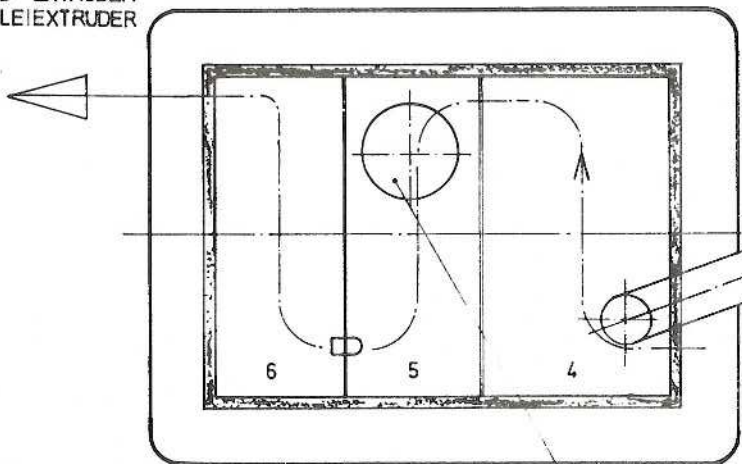
EXTRUDER FÖR TILLVERKNING AV BLYKAPSLAR

Det.-nr	Ant.	Benämning				Material	Mod.-nr	Ämne	Anm	
Konstr	Ritad	Kop.	Kontr.	Stand	Godk	Skala	Dimension	Ersätter	Ersatt av	
		HK								
H. F. SANDELIN AB STOCKHOLM									Dat 77-09-12	
								Ritn.-nr	C-675	

Nr	Ant.	Ändring och eller medd.-nr	Datum	Inf.	Godk



TILL BLYEXTRUDER
TO LEAD EXTRUDER
ZUM BLEIEXTRUDER



OMRÖRARE
LEAD STIRRER
UMRÜHRER

Det.-nr	Ant.	Benämning			Material	Mod.-nr	Ämne	Anm.	
Konstr.	Ritad	Kop	Kontr.	Stand	Godk	Skala	Ersätter	Ersatt av	Dat
		HK							77-09-13
H. F. SANDELIN AB STOCKHOLM		18 TON SMÄLTANNOR 18 TON MELTING POTS 18 TONEN BLEISCHMELZOFEN							Ritm.-nr C-676

Nr	Ant.	Ändring och eller medd.-nr	Datum	Inf.	Godk.

Beräkning av kryphastigheten hos ett blyhölje
innehållande en glaskropp under inverkan av
tyngdkraften.

Anders Samuelsson
Institutet för Metallforskning
September 1977

SAMMANFATTNING

En cylindrisk glaskropp är innesluten i ett blyhölje. Under tyngdkraftens inverkan kommer glaskroppen att flyta upp genom blyhöljet då detta undergår krypdeformation. Beräkningar på ett förenklat fall visar, att vid en temperatur av 60°C kommer blyhöljets tjocklek ovanför glaskroppen att halveras på mellan 200 och 10^7 år. Tiden beror kraftigt av kornstorleken hos blyet. Minst 1 mm kornstorlek bör användas. Beräkningarna är osäkra, men det förenklade fallet ger en överskattning av deformationshastigheten.

1. INLEDNING

En glaskropp är innesluten i ett blyhölje. Blyhöljet är i sin tur inneslutet i en titanbehållare, vilken fixerar dess ytteryta, se fig. 1. Då glaskroppens densitet är lägre än blyets, kommer glaskroppen genom tyngdkraftens inverkan att flyta upp genom blyet. Problemet består i att bestämma hur fort denna uppåtriktade rörelse sker. Titanbehållaren och glaskroppen betraktas som stela kroppar, medan blyet undergår krypdeformation.

2. BERÄKNINGAR

2.1. Bestämning av den uppåtriktade kraften

Glaskroppens radie, $r = 0,2 \text{ m}$

 "- volym, $V = 0,15 \text{ m}^3$

Detta ger glaskroppens höjd, $h = 1,19 \text{ m}$

Densiteten för glas, $\rho_g = 2,6 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

Densiteten för bly, $\rho_b = 11,4 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$

Antag cylinder-symmetri, se fig. 1.

Uppåtriktad kraft på glaskroppen, F .

$$F = \pi r^2 h g (\rho_{Pb} - \rho_g)$$

där g är tyngdaccelerationen.

Detta ger en tryckspänning σ på blyskiktet ovanför glaskroppen.

$$\sigma = h g (\rho_{Pb} - \rho_g)$$

Med ovanstående värden insatta erhålles $\sigma = 1,03 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$

2.2. Bestämning av deformationsmekanismer

Relevanta deformationsmekanismer bestäms genom jämförelse med publicerade deformationskartor (ref.1-3). Dessa utgörs av diagram med normaliserad skjuv- eller normalspänning, σ/G , och homolog temperatur, T/T_m , som variabler. G är skjuvmodul och T_m absolut smälttemperatur. Beroende på värdet av σ/G och T/T_m kommer olika deformationsmekanismer att dominera deformationen. Diagrammen visar även den resulterande töjningshastigheten, se fig. 2 och 3.

I detta fall gäller:

Smältpunkten för bly, $T_m = 327^{\circ}\text{C} = 600\text{k}$

Deformationstemperatur, $T = 60^{\circ}\text{C} = 333\text{k}$

Detta ger $T/T_m = 0,56$

Skjuvmodulen för bly vid 333k, $G = 7,03 \cdot 10^9 \text{N/m}^2$ (ref.1)

Tryckspänning $\sigma = 1,03 \cdot 10^5 \text{N/m}^2$

Detta ger $\sigma/G = 1,5 \cdot 10^{-5}$

Jämförelse med fig.2 och 3, där dessa värden på T/T_m och σ/G markerats (med hänsyn tagen till att dessa diagram är ritade för skjuvspänningar), visar att de dominerande deformationsmekanismerna är diffusionskrypning eller Harper-Dorn-krypning beroende på kornstorleken.

2.3. Beräkning av krypningshastigheten

Att beräkna hur fort glaskroppen i fig.1 förflyttar uppåt är komplicerat eftersom blyet måste flyta runt glaskroppen, och flytningen dessutom påverkas av svåruppskattade friktionseffekter vid begränsningsytorna. I stället behandlas ett förenklat fall, som ger en övre gräns för töjningshastigheten. Deformationen behandlas som en enaxlig kompression av en blykropp, se fig.4.

Från ref.1 fås följande uttryck för töjningshastigheten.

Harper-Dorn krypning

$$\dot{\epsilon} = 4 \cdot 10^{-10} \frac{D_{ov} b}{kT} \sigma \exp \left\{ - \frac{Q_V}{RT} \right\} \quad (1)$$

Diffusionskrypning

$$\dot{\epsilon} = \frac{14\sigma\Omega}{kT} \left(\frac{D_{ov}}{d^2} \exp \left\{ - \frac{Q_V}{RT} \right\} + \frac{\pi\delta D_{oB}}{d^3} \exp \left\{ - \frac{Q_B}{RT} \right\} \right) \quad (2)$$

Här är $\dot{\epsilon}$ töjningshastighet, σ normalspänning, d kornstorlek, Ω atomvolym, b beloppet av Burgers vektor, R allmänna gaskonstanten, T absolut temperatur. D_{ov} och δD_{oB} förfaktorn för volyms- respektive korngränsdiffusivitet. Q_V och Q_B motsvarande aktiveringsenergies. För bly gäller enligt referens 1:

$$\begin{aligned} D_{ov} &= 1,37 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{S} & b &= 3,49 \cdot 10^{-10} \text{ m} \\ Q_V &= 26,1 \text{ kcal/mol} & \Omega &= 3,03 \cdot 10^{-29} \text{ m}^3 \\ \delta D_{oB} &= 8 \cdot 10^{-14} \text{ m}^3/\text{S} \\ Q_B &= 15,7 \text{ kcal/mol} \end{aligned}$$

Vidare gäller:

$$\sigma = 1,03 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$T = 333 \text{ K}$$

Kornstorleken varierar från 10^{-5} till 10^{-2} m.

Med dessa data erhålls:

$$\text{För Harper-Dorn krypning } \dot{\epsilon} = 3,2 \cdot 10^{-15} \text{ s}^{-1}$$

För diffusionskrypning, se tabell

Tabell. Deformationshastighet vid diffusionskrypning som funktion av kornstorlek. $T = 60^\circ\text{C}$

Kornstorlek (m)	Töjnings- hastighet (s^{-1})	Tid till 50 mm tjocklek hos bly- lagret (år)	Tid till 1 mm tjocklek hos bly- lagret (år)
10^{-5}	$1,2 \cdot 10^{-10}$	$1,8 \cdot 10^2$	$1,2 \cdot 10^3$
10^{-4}	$1,2 \cdot 10^{-13}$	$1,8 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^6$
10^{-3}	$1,3 \cdot 10^{-16}$	$1,7 \cdot 10^8$	
10^{-2}	$2,2 \cdot 10^{-19}$	$1,0 \cdot 10^{11}$	

3. RESULTAT OCH DISKUSSION

Töjningshastigheten beror kraftigt av kornstorleken vid diffusionskrypning, $\dot{\epsilon} \propto 1/d^3$, då sista termen i ekvation (2) ovan dominerar. Resultatet av beräkningarna framgår av tabellen ovan. Tabellen visar även tiden för att minska blylagrets tjocklek till 50 mm och 1 mm. Utgångstjockleken t_0 , fig. 1 och 4, har då satts till 100 mm.

Harper-Dorn krypning ger en töjningshastighet $\dot{\epsilon} = 3,2 \cdot 10^{-15} \text{ s}^{-1}$. Tiden till 50 mm tjocklek hos blylagret blir $1,0 \cdot 10^7$ år. Detta är den långsammaste deformationshastighet som kan uppnås, då Harper-Dorn krypning kommer att dominera över diffusionskrypning vid växande kornstorlek. Jämförelse med tabellen ovan visar att detta sker vid kornstorlekar mellan 0,1 mm och 1 mm. Finkornigt material bör därför undvikas.

Enligt Ashby (ref. 1, 2 och 3) tillåter denna typ av beräkningar förutsägelser av töjningshastigheten med en osäkerhet av en faktor 2 till 3, under förutsättning att diffusiviteter och andra indata är väl kända. I detta fall får man räkna med en större osäkerhetsfaktor då speciellt korngränsdiffusiviteten för bly är osäker. För Harper-Dorn krypning finns få experimentella undersökningar, varför även denna är osäker. Detta är emellertid den bästa förutsägelse som kan göras utan ingående undersökningar av det aktuella bly-materialet.

4. SLUTSATSER

Beräkningar på ett förenklat fall visar, att ett 100 mm tjockt blylager som omger en cylindrisk glaskropp med radien 0,2 m och höjden 1,2 m genom krypning halverar sin tjocklek ovanför glaskroppen på mellan 200 och 10^7 år. Denna tid beror kraftigt på blyets kornstorlek, och en kornstorlek på minst 1 mm bör sålunda användas. Beräkningarna är osäkra, men det förenklade beräkningsfallet ger en överskattning av kryphastigheten.

REFERENSER

1. H.J.FROST and M.F.ASHBY; "A second Report on Deformation Mechanism Maps". U.S. Office of Naval Research, Contract N00014-67-A-0298-002 NR-031-732, August 1973.
2. M.F.ASHBY; "A first Report on Deformation-Mechanism Maps"
Acta Met. 20 (1972), 887-897.
3. M.F.ASHBY; "Strengthening Methods in Metals and Alloys", Proc. 3rd Int.Conf on the Strength of Metals and Alloys, vol 2., p8-42, Cambridge 1973.

Cylindersymmetri

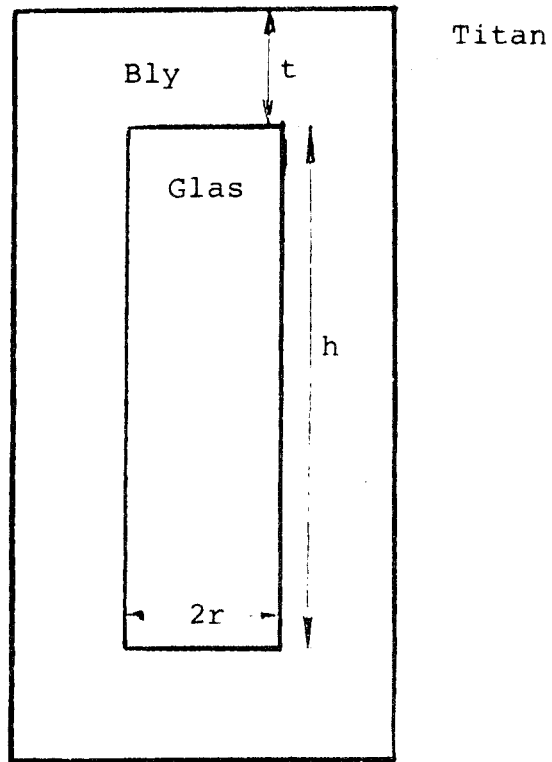


Fig. 1. Cylindrisk glaskropp med höjden h , radien r , innesluten i cylindrisk blymantel med tjockleken t , omgiven av titanhölje.

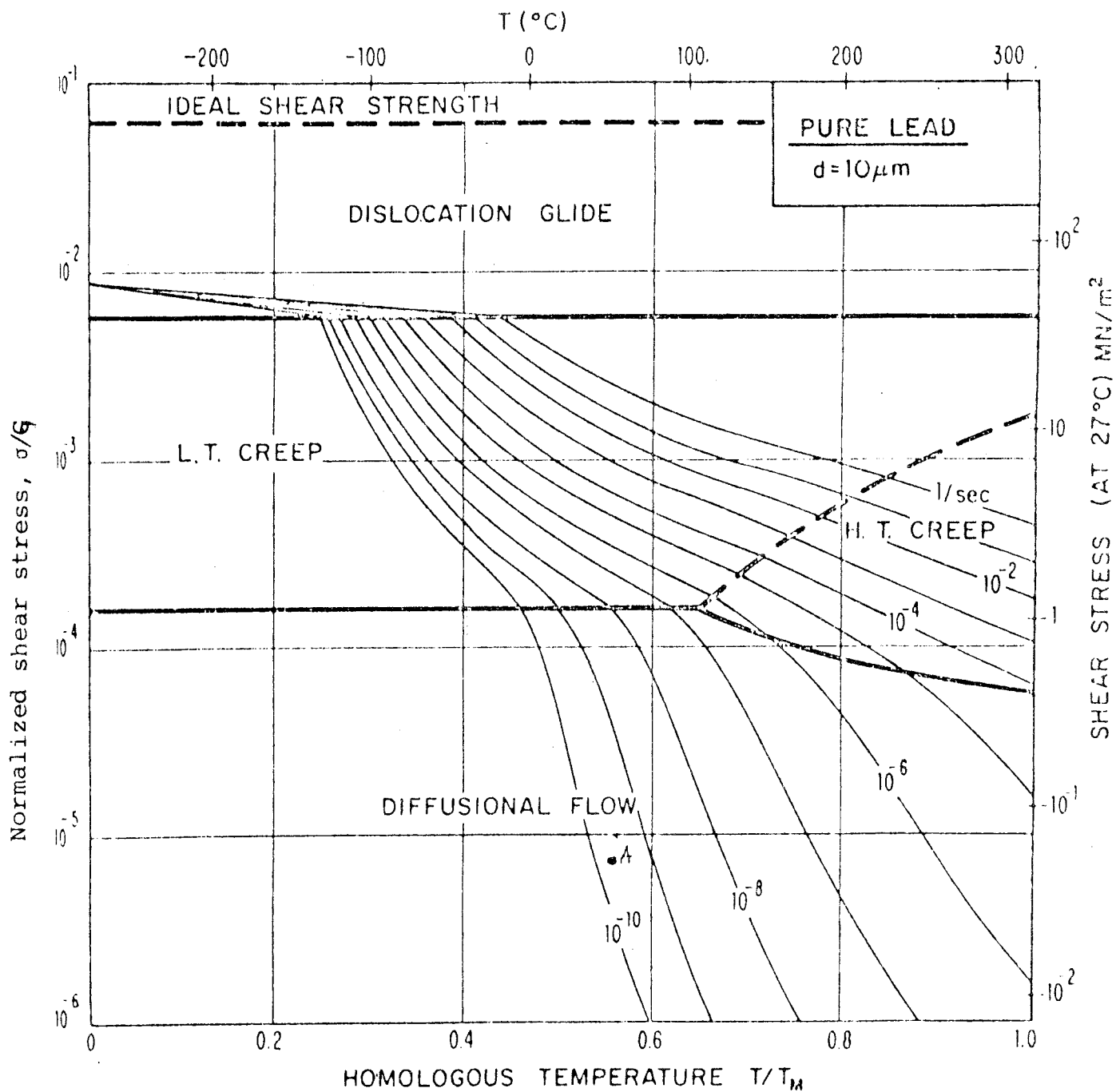


Fig.2. Deformationskarta för rent bly med kornstorleken $10\ \mu\text{m}$.
Från ref. 1. Punkten vid A markerar aktuell spänning och temperatur.

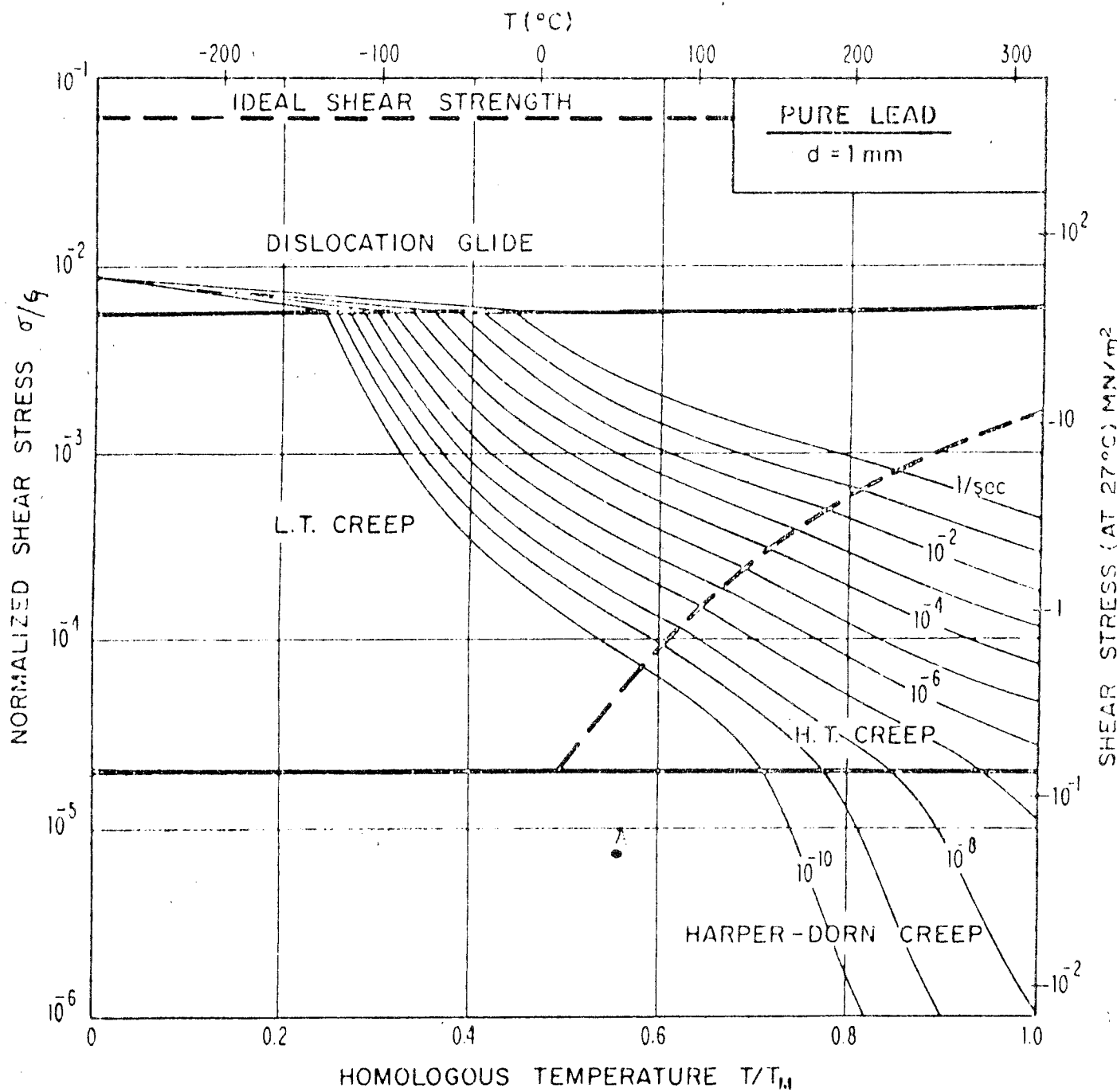


Fig. 3. Deformationskarta för rent bly med kornstorleken 1 mm.
 Från ref. 1. Punkten vid A markerar aktuell spänning och
 temperatur.

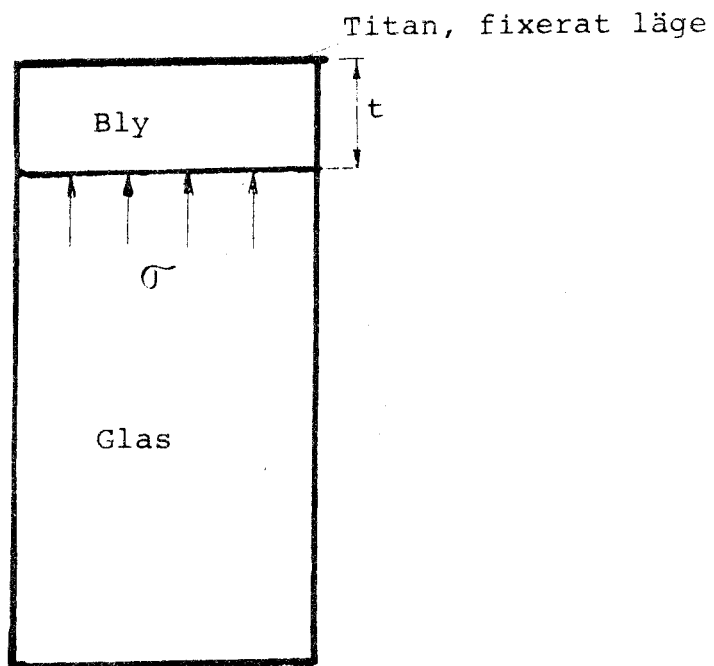


Fig. 4. Förenklad geometri för beräkning av kryphastighet.

FÖRTECKNING ÖVER KBS TEKNISKA RAPPORTER

- 01 Källstyrkor i utbränt bränsle och högaktivt avfall från en PWR beräknade med ORIGEN
Nils Kjellbert
AB Atomenergi 77-04-05
- 02 PM angående värmeledningstal hos jordmaterial
Sven Knutsson
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 77-04-15
- 03 Deponering av högaktivt avfall i borrhål med buffertsubstans
Arvid Jacobsson
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 77-05-27
- 04 Deponering av högaktivt avfall i tunnlar med buffertsubstans
Arvid Jacobsson
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 77-06-01
- 05 Orienterande temperaturberäkningar för slutförvaring i berg av radioaktivt avfall, Rapport 1
Roland Blomqvist
AB Atomenergi 77-03-17
- 06 Groundwater movements around a repository, Phase 1, State of the art and detailed study plan
Ulf Lindblom
Hageconsult AB 77-02-28
- 07 Resteffekt studier för KBS
Del 1 Litteraturgenomgång
Del 2 Beräkningar
Kim Ekberg
Nils Kjellbert
Göran Olsson
AB Atomenergi 77-04-19
- 08 Utlakning av franskt, engelskt och kanadensiskt glas med högaktivt avfall
Göran Blomqvist
AB Atomenergi 77-05-20

- 09 Diffusion of soluble materials in a fluid filling a porous medium
Hans Häggblom
AB Atomenergi 77-03-24
- 10 Translation and development of the BNWL-Geosphere Model
Bertil Grundfelt
Kemakta Konsult AB 77-02-05
- 11 Utredning rörande titans lämplighet som korrosionshärdig kapsling för kärnbränsleavfall
Sture Henriksson
AB Atomenergi 77-04-18
- 12 Bedömning av egenskaper och funktion hos betong i samband med slutlig förvaring av kärnbränsleavfall i berg
Sven G Bergström
Göran Fagerlund
Lars Rombén
Cement- och Betonginstitutet 77-06-22
- 13 Urlakning av använt kärnbränsle (bestrålad uranoxid) vid direktdeponering
Ragnar Gelin
AB Atomenergi 77-06-08
- 14 Influence of cementation on the deformation properties of bentonite/quartz buffer substance
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 77-06-20
- 15 Orienterande temperaturberäkningar för slutförvaring i berg av radioaktivt avfall
Rapport 2
Roland Blomquist
AB Atomenergi 77-05-17
- 16 Översikt av utländska riskanalyser samt planer och projekt rörande slutförvaring
Åke Hultgren
AB Atomenergi augusti 1977
- 17 The gravity field in Fennoscandia and postglacial crustal movements
Arne Bjerhammar
Stockholm augusti 1977
- 18 Rörelser och instabilitet i den svenska berggrunden
Nils-Axel Mörner
Stockholms Universitet augusti 1977
- 19 Studier av neotektonisk aktivitet i mellersta och norra Sverige, flygbildsgenomgång och geofysisk tolkning av recenta förkastningar
Robert Lagerbäck
Herbert Henkel
Sveriges Geologiska Undersökning september 1977

- 20 Tektonisk analys av södra Sverige, Vättern - Norra Skåne
Kennert Röshoff
Erik Lagerlund
Lunds Universitet och Högskolan Luleå september 1977
- 21 Earthquakes of Sweden 1891 - 1957, 1963 - 1972
Ota Kulhánek
Rutger Wahlström
Uppsala Universitet september 1977
- 22 The influence of rock movement on the stress/strain
situation in tunnels or bore holes with radioactive con-
sistors embedded in a bentonite/quartz buffer mass
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 1977-08-22
- 23 Water uptake in a bentonite buffer mass
A model study
Roland Pusch
Högskolan i Luleå 1977-08-22
- 24 Beräkning av utlakning av vissa fissionsprodukter och akti-
nider från en cylinder av franskt glas
Göran Blomqvist
AB Atomenergi 1977-07-27
- 25 Blekinge kustgnejs, Geologi och hydrogeologi
Ingemar Larsson KTH
Tom Lundgren SGI
Ulf Wiklander SGU
Stockholm, augusti 1977
- 26 Bedömning av risken för fördröjt brott i titan
Kjell Pettersson
AB Atomenergi 1977-08-25
- 27 A short review of the formation, stability and cementing
properties of natural zeolites
Arvid Jacobsson
Högskolan i Luleå 1977-10-03
- 28 Värmeledningsförsök på buffertsubstans av bentonit/pitesilt
Sven Knutsson
Högskolan i Luleå 1977-09-20
- 29 Deformationer i sprickigt berg
Ove Stephansson
Högskolan i Luleå 1977-09-28
- 30 Retardation of escaping nuclides from a final depository
Ivars Neretnieks
Kungliga Tekniska Högskolan Stockholm 1977-09-14
- 31 Bedömning av korrosionsbeständigheten hos material avsedda
för kapsling av kärnbränsleavfall. Lägesrapport 1977-09-27
samt kompletterande yttranden.
Korrosionsinstitutet och dess referensgrupp

- 32 Long term mineralogical properties of bentonite/quartz
buffer substance
Preliminär rapport november 1977
Slutrapport februari 1978
Roland Pusch
Arvid Jacobsson
Högskolan i Luleå
- 33 Required physical and mechanical properties of buffer masses
Roland Pusch
Högskolan Luleå 1977-10-19
- 34 Tillverkning av bly-titan kapsel
Folke Sandelin AB
VBB
ASEA-Kabel
Institutet för metallforskning
Stockholm november 1977
- 35 Project for the handling and storage of vitrified high-level
waste
Saint Gobain Techniques Nouvelles October, 1977
- 36 Sammansättning av grundvatten på större djup i granitisk
berggrund
Jan Rennerfelt
Orrje & Co, Stockholm 1977-11-07
- 37 Hantering av buffertmaterial av bentonit och kvarts
Hans Fagerström, VBB
Björn Lundahl, Stabilator
Stockholm oktober 1977
- 38 Utformning av bergrumsanläggningar
Vattenfall
VBB
GAK
Stockholm
- 39 Konstruktionsstudier, direktdeponering
ASEA-ATOM
VBB
Västerås
- 40 Ekologisk transport och stråldoser från grundvattenburna
radioaktiva ämnen
Ronny Bergman
Ulla Bergström
Sverker Evans
AB Atomenergi
- 41 Säkerhet och strålskydd inom kärnkraftområdet.
Lagar, normer och bedömningsgrunder
Christina Gyllander
Siegfried F Johnson
Stig Rolandson
AB Atomenergi och ASEA-ATOM

- 42 Säkerhet vid hantering, lagring och transport av använt kärnbränsle och förglasat högaktivt avfall
Ann Margret Ericsson
Kemakta november 1977
- 43 Transport av radioaktiva ämnen med grundvatten från ett bergförvar
Bertil Grundfelt
Kemakta november 1977
- 44 Beständighet hos borsilikatglas
Tibor Lakatos
Glasteknisk Utveckling AB
- 45 Beräkning av temperaturer i ett envänings slutförvar i berg för förglasat radioaktivt avfall Rapport 3
Roland Blomquist
AB Atomenergi 1977-10-19
- 46 Temperaturberäkningar för använt bränsle
Taivo Tahrandi
VBB
- 47 Teoretiska studier av grundvattenrörelser
Preliminär rapport oktober 1977
Slutrapport februari 1978
Lars Y Nilsson
John Stokes
Roger Thunvik
Inst för kulturteknik KTH
- 48 The mechanical properties of Stripa granite
Graham Swan
Högskolan i Luleå 1977-09-14
- 49 Bergspänningsmätningar i Stripa gruva
Hans Carlsson
Högskolan i Luleå 1977-08-29
- 50 Lakningsförsök med högaktivt franskt glas i Studsvik
Göran Blomqvist
AB Atomenergi november 1977
- 51 Seismotectonic risk modelling for nuclear waste disposal in the Swedish bedrock
F Ringdal
H Gjöystdal
E S Husebye
Royal Norwegian Council for scientific and industrial research
- 52 Calculations of nuclide migration in rock and porous media, penetrated by water
H Häggblom
AB Atomenergi 1977-09-14

- 53 Mätning av diffusionshastighet för silver i lera-sand-blandning
Bert Allard
Heino Kipatsi
Chalmers tekniska högskola 1977-10-15
- 54 Groundwater movements around a repository
- 54:01 Geological and geotechnical conditions
Håkan Stille
Anthony Burgess
Ulf E Lindblom
Hagconsult AB september 1977
- 54:02 Thermal analyses
Part 1 Conduction heat transfer
Part 2 Advective heat transfer
Joe L Ratigan
Hagconsult AB september 1977
- 54:03 Regional groundwater flow analyses
Part 1 Initial conditions
Part 2 Long term residual conditions
Anthony Burgess
Hagconsult AB oktober 1977
- 54:04 Rock mechanics analyses
Joe L Ratigan
Hagconsult AB september 1977
- 54:05 Repository domain groundwater flow analyses
Part 1 Permeability perturbations
Part 2 Inflow to repository
Part 3 Thermally induced flow
Joe L Ratigan
Anthony S Burgess
Edward L Skiba
Robin Charlwood
- 54:06 Final report
Ulf Lindblom et al
Hagconsult AB oktober 1977
- 55 Sorption av långlivade radionuklider i lera och berg
Del 1 Bestämning av fördelningskoefficienter
Del 2 Litteraturgenomgång
Bert Allard
Heino Kipatsi
Jan Rydberg
Chalmers tekniska högskola 1977-10-10
- 56 Radiolys av utfyllnadsmaterial
Bert Allard
Heino Kipatsi
Jan Rydberg
Chalmers tekniska högskola 1977-10-15

- 57 Stråldoser vid haveri under sjötransport av kärnbränsle
Anders Appelgren
Ulla Bergström
Lennart Devell
AB Atomenergi
- 58 Strålrisker och högsta tillåtliga stråldoser för människan
Cunmar Walinder
AB Atomenergi