



NORGE

[NO]

**STYRET
FOR DET INDUSTRIELLE
RETTSVERN**

[B] (11) UTLEGNINGSSKRIFT Nr. 143802

[C] (45) PATENT MEDDELT

15. APR. 1981

(51) Int. Cl.³ C 22 F 1/00

(21) Patentsøknad nr. 760326

(22) Inngitt 02.02.76

(23) Løpedag 02.02.76

(41) Alment tilgjengelig fra 03.08.77

(44) Søknaden utlagt, utlegningsskrift utgitt 05.01.81

(30) Prioritet begjært Ingen.

(54) Oppfinnelsens benevnelse Varmegjenvinnbar gjenstand laget av et metallisk materiale som er i stand til å undergå en reversibel omvandling mellom martensittiske og austenittiske tilstander, og fremgangsmåte ved fremstilling derav.

(71)(73) Søker/Patenthaver RAYCHEM CORPORATION,
300 Constitution Drive,
Menlo Park, CA,
USA.

(72) Oppfinner GREVILLE BERTRAM BROOK, High Wycombe, Buckinghamshire, England,
PETER LEONARD BROOKS, Palo Alta, CA,
ROGER FRANCIS ILES, Foster City, CA, USA.

(74) Fullmektig Tandbergs Patentkontor A-S, Oslo.

(56) Anførte publikasjoner Svensk (SE) utl. skrift nr. 389690 (C 22 F 1/00)
A.D. Merriman, A Concis Encyclopaedia of
Metallurgy, 1965, Elsevier Publishing Company
Amsterdam, sidene 38 og 533

Oppfinnelsen angår varmegjenvinnbare gjenstander og en fremgangsmåte ved fremstilling derav.

Metalliske materialer, f.eks. legeringer, som er istand til å undergå reversibel omvandling fra austenittisk til martensittisk tilstand, er kjente, og enkelte av disse kan omdannes til gjenstander som er formgjenvinnbare ved oppvarming. Slike legeringer er f.eks. de som er beskrevet i US patentskrifter nr. 3012882, nr. 3174851, nr. 3351463, nr. 3567523, nr. 3753700 og nr. 3759552, i belgisk patentskrift nr. 703649 og i britiske patentskrifter nr. 1315652, nr. 1315653, nr. 1346046 og nr. 1346047. De fire sistnevnte patentskrifter vil herefter bli betegnet som "Fulmerpatentene".

Slike legeringer er også beskrevet i NASA Publication SP110, "55-Nitinol-the alloy with a memory, etc." (U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1972) og av N. Nakanishi og medarbeidere, Scripta Metallurgia 5, 433-440 (Pergamon Press 1971).

Disse og andre legeringer har det felles særtrekk at de undergår en skjæromvandling ved avkjøling fra en høytemperaturtilstand (austenittisk) til en lavtemperaturtilstand (martensittisk). Hvis en gjenstand laget av en slik legering deformeres når den befinner seg i den martensittiske tilstand, vil den beholde denne deformasjon. Hvis den oppvarmes til en temperatur ved hvilken den er austenittisk, vil den være tilbøyelig til å gå tilbake til sin udeformerte tilstand. Omvandlingen fra den ene tilstand til den annen i hver retning finner sted innen et temperaturområde. Den temperatur ved hvilken martensitt begynner å dannes ved avkjøling, betegnes med M_s , mens den temperatur ved hvilken denne prosess er avsluttet, betegnes med M_f . Hver av disse temperaturer er de som oppnås ved høye, f.eks. $100^{\circ}\text{C}/\text{min.}$, temperaturhastighetsforandringer i prøven, dvs. den "basiske" M_s og M_f . På lignende

måte betegnes temperaturen ved begynnelsen og avslutningen av omvandlingen til austenitt ved A_s og A_f . M_f er vanligvis en lavere temperatur enn A_s , og M_s er en lavere temperatur enn A_f . M_s kan være lik, lavere eller høyere enn A_s avhengig av legeringens sammensetning og også av legeringens termomekaniske historie. Omvandlingen fra den ene form til den annen kan følges ved å måle en av en rekke fysikalske egenskaper for materialet, foruten den ovenfor beskrevne reversible deformering, f.eks. materialets elektriske motstand som viser en anomalitet etter hvert som omvandlingene finner sted. Hvis kurver for den elektriske motstand i forhold til temperaturen eller formendringen i forhold til temperaturen trekkes opp, vil en linje som forbinder punktene M_s , M_f , A_s , A_f og tilbake til M_s , danne en sløyfe som betegnes som hysterese-sløyfen. For en rekke materialer er M_s og A_s tilnærmet ved den samme temperatur.

En spesielt anvendbar legering som er formgjenvinnbar ved oppvarming eller har formhukommelse, er den intermetalliske forbindelse TiNi som beskrevet i US patentskrift nr. 3174851. Den temperatur ved hvilken deformerte gjenstander av legeringene vender tilbake til deres opprinnelige form, er avhengig av legeringens sammensetning, som beskrevet i britisk patentskrift nr. 1202404 og US patentskrift nr. 3753700. Gjenvinningen av den opprinnelige form kan f.eks. bringes til å finne sted under, ved eller over værelsetemperatur.

For visse kommersielle anvendelser hvor varmegjenvinnbare legeringer benyttes, er det ønsket at A_s er ved en høyere temperatur enn M_s , av den følgende grunn. En rekke gjenstander laget av legeringene tilbys brukerne i deformert tilstand og således i den martensittiske tilstand. Således selges f.eks. kuplinger for hydrauliske komponenter, som beskrevet i britiske patentskrifter nr. 1327441 og nr. 1327442, i deformert (dvs. ekspandert) tilstand. Brukeren anbringer den ekspanderte kupling over komponentene (f.eks. endene av hydrauliske rørledninger) som skal forbindes med hverandre, og øker kuplingens temperatur. Etter hvert som kuplingens temperatur når det austenittiske omvandlingsområde, går kuplingen tilbake eller forsøker å gå tilbake til sin opprinnelige form og krymper på de komponenter som skal forbindes med hverandre. Da det er nødvendig at kuplingen beholder sin austenittiske tilstand under bruk (f.eks. for å unngå spennings-

opphevelse under den martensittiske omvandling og fordi de mekaniske egenskaper for austenitt er langt bedre), velges materialets M_s slik at den er under en hvilken som helst temperatur som materialet kan få under bruk, slik at materialet under bruk hele tiden vil foreligge i den austenittiske tilstand. Av denne grunn må gjenstanden etter deformering oppbevares f.eks. i flytende nitrogen inntil den skal benyttes. Hvis imidlertid A_s som, som anvendt heri, betegner den temperatur som markerer begynnelsen av en kontinuerlig sigmoidal omvandling, som avsatt på en kurve for formendring i forhold til temperaturen, for alt martensitt som er istand til å omvandles til austenitt, til den austenittiske tilstand, kunne økes om bare forbigående, f.eks. for en oppvarmingssyklus, uten en tilsvarende økning i M_s , ville den ekspanderte kupling kunne oppbevares ved en høyere og mer bekvem temperatur.

Det tilveiebringes ifølge oppfinnelsen en fremgangsmåte ved fremstilling av en varmegjennvinnbar gjenstand av et metallisk materiale som er istand til å undergå en reversibel omvandling mellom austenittiske og martensittiske tilstander, hvor gjenstandens gjenvinnbarhetstemperatur økes, og fremgangsmåten er særpreget ved at det metalliske materiales normale A_s -heves til en forhøyet verdi A_{se} ved langsomt å oppvarme gjenstanden fra en temperatur ved hvilken det metalliske materiale befinner seg i martensittisk tilstand, til en temperatur over materialets normale A_s , hvorefter den langsomme oppvarming avsluttes, og gjenstanden gjøres varmegjennvinnbar før eller etter den langsomme oppvarming ved at den deformeres mens det metalliske materiale befinner seg i den martensittiske tilstand.

Ved den foreliggende fremgangsmåte oppvarmes gjenstanden langsomt fra en temperatur ved hvilken den foreligger i den martensittiske tilstand, til en temperatur innenfor eller over dens normale A_s - A_f -område med en hastighet som gjør at en vesentlig omvandling av det metalliske materiale til den austenittiske tilstand vil unngås. Denne hastighet er, som detaljert omtalt nedenfor, avhengig av legeringen, men en hastighet på under $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$. kan betraktes som anvendbar. Varmegjennvinnbarhet kan bibringes materialet ved å deformere dette mens det befinner seg i den martensittiske tilstand, fra en opprinnelig form før eller etter avslutningen av den langsomme oppvarming. Legeringen kan avkjøles til under den temperatur til hvilken den er blitt langsomt oppvarmet, eller den kan holdes på denne temperatur for lagring.

Metalliske materialer som er blitt behandlet eller kondisjonert på denne måte, beholder en vesentlig del av de egenskaper som er forbundet med deres martensittiske tilstand, opp til den temperatur ved hvilken den langsomme oppvarming ble avsluttet. En tilbakevending av materialet til dets austenittiske tilstand oppnås ved hurtig å oppvarme materialet over den temperatur ved hvilken den langsomme oppvarming ble avsluttet. Hvis materialet før det hurtige oppvarmingstrinn deformeres, vil det hurtige oppvarmingstrinn gjøre at materialet gjenvinner sin opprinnelige form.

Det tilveiebringes ved oppfinnelsen også en varme-gjenvinnbar gjenstand laget av et metallisk materiale som er istand til å undergå en reversibel omvandling mellom martensittiske og austenittiske tilstander, og gjenstanden er særpreget ved at det metalliske materiale har en utvidet M_s/A_s hysteresesløyfe idet dets A_s er høyere enn den normale A_s for et materiale med den samme sammensetning.

Som et resultat herav beholdes gjenstandens fysikalske egenskaper som er forbundet med martensitt, ved høyere temperaturer, og hvis gjenstanden er blitt deformert, vil den temperatur ved hvilken den vil gjenvinne eller være tilbøyelig til å gjenvinne sin opprinnelige form, øke.

Gjenstanden ifølge oppfinnelsen kan gjøres varmegjenvinnbar ved å deformere denne mens den befinner seg i den martensittiske tilstand, på et hvilket som helst tidspunkt i forhold til det langsomme oppvarmingstrinn, men av praktiske grunner fortrinnsvis før eller etter dette trinn, fra den form den hadde mens den befant seg i den austenittiske tilstand. Når gjenstanden skal anvendes, oppvarmes den ganske enkelt igjen med en hvilken som helst egnet høy hastighet, f.eks. $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ eller høyere, fortrinnsvis $100^{\circ}\text{C}/\text{min}$ eller høyere, og A_s vil vise seg å være bestemt av og ofte å være tilnærmet den temperatur ved hvilken gjenstanden ble langsomt oppvarmet. Den foreliggende fremgangsmåte betegnes herefter som "forkondisjonering" og det erholdte metalliske materiale som "forkondisjonert".

Oppfinnelsen vil nu bli mer detaljert beskrevet i form av et eksempel under henvisning til tegningene, hvorav

Fig 1 er et diagram som viser dimensjonsforandringen for

en varmegjenvinnbar gjenstand,

Fig. 2 er et diagram som viser ett eksempel på forhøyelsen av det temperaturområde innen hvilket omvandlingen fra martensitt til austenitt forekommer, beholdt ved hjelp av den foreliggende fremgangsmåte,

Fig. 3a og 3b viser virkningen av langsom oppvarming på en rekke forskjellige legeringer inneholdende kobber, sink og silicium,

Fig. 4 viser virkningen av oppvarmingshastigheten på gjenvinningen for en varmegjenvinnbar legering,

Fig. 5 viser hvorledes deformasjon av legeringer innvirker på hvorledes vedkommende legering vil påvirkes av den foreliggende fremgangsmåte,

Fig. 6a, 6b og 6c viser virkningen av langsom oppvarming på en rekke forskjellige legeringer inneholdende kobber, aluminium og sink, og

Fig 7a og 7b viser to eksempler på hvorledes det metalliske materiales hysteresesløyfe kan ekspanderes ved hjelp av den foreliggende fremgangsmåte.

På Fig. 1 er det som eksempel vist en del som må kunne anvendes ved så lave temperaturer som -30°C . For dette formål velges en legering som ved avkjøling får en begynnende martensitt-omvandling ved eller under en temperatur på -30°C . For kobber-baserte β -faselegeringer vil den temperatur ved hvilken gjenvinning av den opprinnelige form for en gjenstand fra en deformert tilstand vil begynne, som antydnet ved skraverte del av Fig. 1, også være ca. -30°C , og tilbakevendingen til den opprinnelige form vil være avsluttet innen de neste $40-50^{\circ}\text{C}$. Ved værelsetemperatur vil delen ha gjenvunnet sin opprinnelige form, som vist på Fig. 1. For å kunne sammenligne gjenvinningsegenskaper fås en mer nyttig kurvefremstilling ved å avsette den gjenvinningsgrad som forekommer i løpet av hvert oppvarmingsintervall, dvs. ved å avsette den første deriverte av kurven ifølge Fig. 1, som gjort på Fig. 2. Ved hjelp av den foreliggende fremgangsmåte kan gjenvinningsområdet skiftes fra sin vanlige stilling ved (a) til den nye stilling (b), som vist på Fig. 2.

En legering som begynner å omvandles ved avkjøling ved en temperatur på ca. -30°C , har en sammensetning av 66,45 vekt% Cu, 31,55 vekt% Zn og 2,00 vekt% Si. Legeringen kan smeltes og bearbeides til dens ønskede sluttform på vanlig måte. Den formede del oppvarmes derefter innen det fullstendige β -område, dvs. ved

en temperatur på 700°C eller derover, men ved en temperatur under 950°C . Etter flere minutter ved denne temperatur bråkjøles delen i vann og avkjøles derefter f.eks. med fast carbondioxyd og ethylalkohol for at den skal få sin lavtemperaturstruktur. Ved den lave temperatur deformeres delen til sin nye form. Gode resultater fås med formendringer på 6-10%. Delen oppvarmes derefter langsomt, f.eks. med $0,25^{\circ}\text{C}/\text{min.}$, for å forsinke omvandlingen inn til den ønskede gjenvinningstemperatur er blitt nådd, f.eks. $+40^{\circ}\text{C}$. Delen avkjøles derefter tilbake til værelsetemperatur. Når delen skal gjenvinne sin opprinnelige form, oppvarmes den hurtig, f.eks. med ca. $100^{\circ}\text{C}/\text{min.}$ Gjenvinningen vil begynne i nærheten av $+40^{\circ}\text{C}$ og vil være avsluttet ved ca. 100°C . Ved avkjøling vil omvandlingen til lavtemperaturfasen ikke finne sted ved en temperatur over -30°C . Hvis delen igjen avkjøles til -79°C og på ny deformeres og deretter hurtig oppvarmes, vil gjenvinningen begynne ved -30°C .

Det antas at det kan foreligge et maksimum for temperaturøkningen for A_s som kan oppnås ved hjelp av den foreliggende fremgangsmåte. Ved f.eks. å øke temperaturen for β -messing er materialet tilbøyelig til å omvandles til en likevektsblanding av α - og β -materialer. Dette ville hindre en ytterligere fordelaktig økning av A_s . Ved den foreliggende fremgangsmåte kan imidlertid A_s for enkelte legeringer økes med 100°C , og det antas ikke at dette er det oppnåelige maksimum.

Anvendbarheten av den foreliggende oppfinnelse er i en viss grad avhengig av legeringens sammensetning. Mens en viss påvirkbarhet ved regulering av gjenvinningstemperaturområdet ble notert for legeringene beskrevet i Fulmer-patentene, ga legeringer med et mer begrenset sammensetningsområde en betydelig bedre påvirkbarhet. Sammensetningsområdet for legeringer med god påvirkbarhet innen Cu-Zn-Si-systemet omfatter legeringer for hvilke den normale M_s er så lav som ca. -80°C . De fleste av de ovenfor foreslåtte anvendelser krever at omvandlingen ved avkjøling begynner ved en temperatur under værelsetemperatur, men denne begrensning gjelder ikke for alle anvendelser. Visse legeringssammensetninger for hvilke omvandlingen ved avkjøling begynner ved eller over værelsetemperatur har vist seg å være godt påvirkbare av den foreliggende fremgangsmåte. Legeringer med god påvirkbarhet og med begynnende omvandling ved avkjøling i nærheten av $+100^{\circ}\text{C}$ er blitt funnet innen Cu-Zn-Al- og Cu-Zn-Si-systemene.

Den gjenvinningsgrad som fås innen det forhøyede gjenvinnings-temperaturområde blir ofte maksimal hvis legeringen ikke holdes på den temperatur ved hvilken langsom oppvarming avsluttes, i lengre tid før begynnende hurtig oppvarming eller avkjøling til en lavere lagringstemperatur.

For visse legeringer hvor bråkjøling er nødvendig for å sikre en struktur ved værelsetemperatur som kan undergå en reversibel martensitt-austenittomvandling, foretrekkes det at legeringen til å begynne med bråkjøles fra en høy temperatur, (f.eks. ca. 800°C) til en temperatur som fortrinnsvis er over M_s , med en slik hastighet at legeringen fremdeles er i det vesentlige austenittisk. Enkelte av disse legeringer er tilbøyelige til å tape evne til å undergå reversibel austenitt-martensittomvandling. En minskning av et slik tap er klart ønskelig.

Dette kan oppnås ved å holde legeringen ved bråkjølingstemperaturen eller ved en viss moderat forhøyet temperatur. For legeringer som f.eks. har en M_s av $0-20^{\circ}\text{C}$, vil holding av legeringen ved en temperatur av $50-150^{\circ}\text{C}$ i ca. 10 minutter ved de høyere temperaturer til 24 timer eller endog flere dager ved de lavere temperaturer som regel være tilstrekkelig. Den sistnevnte fremgangsmåte betegnes som "eldning" og er krevet i den samtidig innleverte norske patentsøknad nr. 760325.

Uttrykket "eldning" som anvendt heri er ment å betegne at et materiale holdes ved en temperatur over dets M_s , og et "eldnet" materiale er heri ment å betegne et materiale som er blitt holdt ved en temperatur over dets M_s . Det vil forstås at det foreligger en øvre grense for det temperaturområde innen hvilket et visst materiale kan eldnes. Som nevnt ovenfor er f.eks. β -messing tilbøyelig til å omvandles til en likevektsblanding av α - og β -materialer ved forhøyede temperaturer, og en fagmann vil være klar over at for andre materialer kan andre skadelige forandringer finne sted efter langvarig utsettelse for meget høye temperaturer, som derfor bør unngås.

For legeringer med en basisk M_s tilsvarende værelsetemperatur har 50°C vist seg å være en bekvem bråkjølings- og eldnings-temperatur. Hvis legeringen er blitt bråkjølt til en lavere temperatur (dvs. til en temperatur ved hvilken omvandling til martensitt finner sted), eldnes den derefter, dvs. den oppvarmes

fortrinnsvis til en temperatur ved hvilken legeringen omvandles til austenitt og holdes på en slik temperatur i en egnet tid. Eldningsprosessen utføres fortrinnsvis så snart som mulig etter bråkjølingen.

Det har vist seg at denne behandling av legeringer ved en temperatur over en hvilken som helst temperatur ved hvilken martensitt foreligger, kan anvendes for å hindre eller hemme tap av den reversible austenitt-martensittomvandling når materialene lagres. Jo høyere eldningsbehandlingstemperaturen er, desto kortere behøver behandlingstiden å være.

Det antas at for en gitt legering foreligger det et område for oppvarmingshastigheter, opp til et maksimum, som kan betegnes som "langsom", og et område for hastigheter, fra et minimum, som kan betegnes som "hurtig". Mellom dette maksimum og minimum foreligger det et kritisk område hvori A_s -temperaturen vil variere mellom dens vanlige verdi og en meget høy temperatur.

Det er ikke mulig å definere numeriske områder for "hurtig" og "langsom" som vil være egnede for alle legeringer fordi disse er avhengig av en rekke variable. En av disse er at fysikalsk-kjemiske prosesser er temperaturavhengige, og slike prosesser finner sted langt langsommere ved f.eks. -40°C enn ved $+40^{\circ}\text{C}$. For en legering med M_s ved -40°C er det vanligvis korrekt at både "langsomme" og "hurtige" oppvarmingshastigheter vil være langsommere enn for et "ellers lignende" materiale med en M_s ved 40°C . Da dessuten et ellers lignende materiale nødvendigvis vil inneholde svakt forskjellige forholdsvis mengder av komponentelementene, vil disse elementer og forholdsvis mengder i ethvert tilfelle påvirke grensene for "hurtig" og "langsom".

Dessuten er de nødvendige oppvarmingshastigheter avhengige av legeringsinnholdet og eldningsgraden. I en legering av kobber-silicium med et siliciuminnhold på f.eks. 1% eller som er blitt utsatt for en kort eldningstid, er f.eks. de kritiske verdier både for "langsomme" og "hurtige" oppvarmingshastigheter høyere enn for et materiale med et lavere siliciuminnhold eller som er blitt utsatt for en lengre eldningstid. Det kan ved rutineforskning bestemmes hvilke hastigheter som er foretrukne og kritiske for en gitt legering. Det skal her bare tilføyes at for en gitt legering vil det være en øvre grense for "langsom" oppvarming og

en nedre grense for "hurtig" oppvarming, og disse grenser for den gitte legering kan lett fastslås ved hjelp av enkle rutineforsøk.

Legeringen er fortrinnsvis en intermetallisk forbindelse. Av egnede legeringer kan nevnes kobber/sink og kobber/aluminiumlegeringer som fortrinnsvis inneholder forholdsvis små andeler av aluminium, silicium, tinn eller mangan, eller blandinger derav, og det antas at disse legeringer kan inneholde opp til ca. 20 vekt% eller derover (basert på vekten av kobber og sink eller kobber og aluminium) av den tredje komponent eller av den samlede mengde av de ytterligere komponenter. For å oppnå de nyttige gjenvinningsmengder bør legeringen ha en forlengelse ved brudd i martensittisk tilstand på minst 5%. Det vil forstås at den forholdsvis mengde av andre metaller enn kobber og sink påvirker omvandlingstemperaturen og andre av legeringenes egenskaper. Egnede legeringer for anvendelse ifølge oppfinnelsen inneholder 69,7% Cu, 26,3% Zn og 4% Al, 62,2% Cu, 37,3% Zn og 0,5% Al, og 80,5% Cu, 10,5% Al og 9% Mn. Som eksempler vil her legeringer bli detaljert omtalt som inneholder ca. 65% kobber og opp til 35% sink, idet de eventuelt inneholder opp til 2% eller 3% silicium eller opp til 3 eller 4,5% aluminium, beregnet som vekt%. Fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen kan imidlertid anvendes i forbindelse med legeringer som har f.eks. M_s -temperaturer som er lavere eller høyere enn omgivelsestemperaturen, og i forbindelse med andre legeringer enn de som er basert på kobber, f.eks. legeringer basert på gull eller sølv. Ytterligere egnede legeringer er beskrevet f.eks. i de ovennevnte Fulmer-patenter.

I den termiske forkondisjonering ifølge oppfinnelsen kan materialet deformeres før den opprinnelige langsomme oppvarming eller etter den langsomme oppvarming, eller etter den langsomme oppvarming og påfølgende avkjøling, idet deformeringen i hvert tilfelle finner sted i det vesentlige i den martensittiske tilstand og fortrinnsvis ved en temperatur under M_f og helst ved en temperatur like under M_f .

De variable som bør tas i betraktning ved utførelse av den foreliggende fremgangsmåte, er som følger:

For kobber/sink- og kobber/aluminiumlegeringer må legeringen foreligge i det vesentlige i β -fasen for å kunne undergå en reversibel austenitt-martensittomvandling. En legering inneholdende

over 70% β -fase har vanligvis i det vesentlige de samme egenskaper som en legering bare bestående av β -fase. I de tilfeller hvor det er nødvendig å oppvarme legeringen til en høy temperatur for beholdelse av en β -fase, bør derfor en temperatur velges ved hvilken i det minste en vesentlig del av legeringen vil foreligge i β -fasen. Det temperaturområde hvori en legering får i det vesentlige β -fase, varierer med legeringens sammensetning. For kobberbaserte legeringer kan dette forekomme ved en så lav temperatur som ca. 700°C.

Legeringen bør bråkjøles til en temperatur ved hvilken β -fasen foreligger i halvstabil tilstand, dvs. uten en merkbar tilbøyelighet til å vende tilbake til α -fasen. Avkjølingshastigheten til bråkjølingstemperaturen bør dessuten være hurtig nok til at en utskilling av α -fase ved avkjøling ikke vil bli betydelig. Bråkjøling til en temperatur under M_s kan uheldig innvirke på de varmegjenvinnbare egenskaper, mens i enkelte tilfeller bråkjøling til en temperatur for høyt over M_s kan føre til en utilstrekkelig hurtig avkjøling til at utskillelse av α -fase vil hindres i de ovennevnte kobberlegeringer. Den foretrukne bråkjølingstemperatur er en temperatur som ikke uheldig innvirker på de varmegjenvinnbare egenskaper, og en temperatur på ca. 20°C er bekvem i praksis, spesielt for legeringer med en M_s under 0°C.

Oppvarmingshastigheten fra den lave martensitttilstands temperatur er viktig. Kvalitativt er en "langsom" oppvarmingshastighet en hastighet som er tilstrekkelig langsom til at martensitt i det vesentlige vil hindres fra å omvandles til austenitt ved og over den normale A_s -temperatur. Det antas at f.eks. hastigheter på 0,01-1,0°C/min. er egnede for kobber/sinklegeringer inneholdende aluminium og/eller silicium. En "hurtig" oppvarmingshastighet er en hastighet som tillater en normal A_s -temperatur ved oppvarming direkte fra den martensittiske tilstand, eller en hastighet som muliggjør omvandling av martensitt til austenitt ved en valgt høyere A_s -temperatur når den anvendes etter "langsom" oppvarming.

Mens den foreliggende fremgangsmåte kan anvendes for å regulere gjenvinningstemperaturområdet for udeformerte prøver, vil en deformasjon samvirke med legeringens sammensetning og med denne bestemme de optimale betingelser for regulering av gjenvinningsområdet. Således vil etterhvert som deformasjon økes,

lavere konsentrasjoner av silicium føre til optimal påvirkbarhet i systemet Cu-Zn-Si.

Spenning må også tas i betraktning da temperaturen for avkjølingsomvandlingsområdet vil bli høyere med høyere spenning. På lignende måte er den temperatur som er nødvendig for fullstendig gjenvinning ved oppvarming, høyere hvis delen gjenvinnes under spenning eller settes under spenning på grunn av gjenvinningen.

Som vist på Fig. 7a og 7b kan innvirkningen av den langsomme oppvarmingsbehandling ifølge oppfinnelsen variere. Som vist på Fig. 7a kan en ny A_s , antydnet som A_{se} , dannes ved hvilken i det vesentlige hele varmegjenvinningen begynner å finne sted ved oppvarming for gjenvinningsformål. Som vist på Fig. 7b kan dessuten innvirkningen av den langsomme oppvarmingsbehandling ifølge oppfinnelsen være at det dannes en ny A_{se} mens et visst kjennetegn på den normale A_s beholdes. Selv om oppfinnerne ikke ønsker å være bundet av noen spesiell teori for å forklare deres oppfinnelse, antas det at bibeholdelsen av et visst kjennetegn på den normale A_s kan skrive seg fra at varmegjenvinningsgraden ved den langsomme oppvarmingshastighet dominerer i forhold til ekspansjonen av hysteresesløyfen ved den normale A_s , eller at dette kan oppnås med hensikt ved å utføre den opprinnelige del av den langsomme oppvarmingsbehandling ifølge oppfinnelsen med en hastighet som er tilstrekkelig høy til at en viss varmegjenvinning vil finne sted ved den normale A_s .

Det vil forstås fra det ovenstående at A_{se} vil bestemmes av den temperatur ved hvilken den langsomme oppvarming avsluttes. Den langsomme oppvarming kan avsluttes ved avkjøling eller ved igangsettelse av en hurtig oppvarming som, dersom den utføres i en tilstrekkelig lang tid, vil føre til en fullstendig omvandling av alt omvandlingsbart martensitt som er tilstede på det tidspunkt den hurtige oppvarming igangsettes. Det tas derfor ved oppfinnelsen også sikte på å danne en ny A_{se} ved hvilken en nyttig gjenvinning av en gjenstand laget av et metallisk materiale og som er blitt således behandlet, kan settes igang.

Formen, både i den gjenvinnbare og gjenvundne tilstand, for en gjenstand fremstilt ifølge oppfinnelsen vil variere avhengig av den beregnede sluttanvendelse av gjenstanden. Således kan f.eks. sylindriske gjenstander fremstilles slik at de trekker seg sammen

eller ekspanderer radialt, eller formen kan omvandles fra en tvunnet til utvunnet tilstand eller omvendt, eller gjenstanden kan utsettes for en lengdeforandring, eller omvandlingen kan være fra en I-form til en L-form.

Det tilveiebringes ved oppfinnelsen bl.a. en fremgangsmåte for regulering av gjenvinningstemperaturen for varmegjenvinnbare metallgjenstander, hvor gjenstanden kan være forsynt med et på forhånd bestemt gjenvinningsområde som kan varieres innen vide grenser ganske enkelt ved å avslutte den langsomme oppvarming på et valgt punkt.

De ved hjelp av den foreliggende fremgangsmåte fremstilte produkter vil være martensittiske innen et videre temperaturområde enn produkter med den samme sammensetning, men som ikke er blitt utsatt for den foreliggende behandling. Da martensittiske materialer har utmerkede dempningsegenskaper, kan deformere uten trett-hetsbrudd, deformeres lett og har en lav Young's modul, tilveiebringes ved oppfinnelsen også et bredere utvalg av metallmaterialer med disse egenskaper enn hva som tidligere var tilgjengelig.

Eksempel 1

En rekke forsøk ble utført for å fastslå påvirkningen av den termiske forkondisjoneringsprosess ifølge oppfinnelsen på forskjellige legeringer innen systemene Cu-Zn-Si og Cu-Zn-Al. Legeringsprøver ble støpt fra smelter med forskjellige forhold mellom kobber, sink og enten silicium eller aluminium. Støpestykkene ble varmvalset til bånd og skåret opp i prøvestykker med en størrelse på 37 x 3 x 0,75 mm. Alle prøvestykker ble oppvarmet inntil de fullstendig besto av β -fasen ved høy temperatur, og de ble derefter bråkjølt i vann. Halvparten av prøvene ble eldnet i 10 minutter ved 100°C, mens den annen halvpart ikke ble eldnet. Alle prøver ble deformert ved at de ble bøyd ved -79°C slik at de fikk en ytre fiberforlengelse på 6%. Etter deformeringen ble prøvene frigjort og målt for å fastslå hvor meget av formendringen som var beholdt. Prøvestykker fra de eldnede og ueldnede grupper ble derefter oppvarmet ved hjelp av en av de tre følgende metoder: (1) hurtig oppvarmet ved neddykning i en væske med en temperatur på 40°C, avkjølt til værelsetemperatur og målt for å fastslå hvor meget av formendringen som ble gjenvunnet, derefter oppvarmet hurtig ved neddykning i en væske med en temperatur på 200°C og

igjen avkjølt til værelsetemperatur for å fastslå hvor meget ytterligere gjenvinning av formendringen hadde funnet sted.

(2) Langsamt oppvarmet med en hastighet på $0,25^{\circ}\text{C}/\text{min}$ fra -79°C til $+40^{\circ}\text{C}$, avkjølt til værelsetemperatur, målt for å fastslå hvor meget formendring ble gjenvunnet, derefter oppvarmet hurtig ved neddykning i en væske med en temperatur på 200°C , avkjølt til værelsetemperatur og målt for å fastslå hvor meget ytterligere gjenvinning hadde funnet sted.

(3) Behandlet som under (2), men med den forandring at den langsomme oppvarmingshastighet var 1°C pr. 24 minutter istedenfor $0,25^{\circ}\text{C}$ pr. minutt.

Et "kvalitetstall" for påvirkbarheten av hver sammensetning som ble undersøkt for å kontrollere gjenvinningstemperaturområdet, ble erholdt fra den prosentuelle gjenvinning som forekom ved en temperatur over 40°C for langsomt oppvarmede prøvestykker, minus den prosentuelle gjenvinning som forekom ved en temperatur over 40°C for hurtig oppvarmede prøvestykker, dividert med 5 (som er den ideelle gjenvinning i prosent etter den elastiske tilbakefjæring som adfølger opphevelse av bøyepeningen) , dvs:

$$\text{Kvalitetstall} = 100 \times \frac{\begin{array}{l} \text{gjenvinning over } 40^{\circ}\text{C} \\ \text{for langsomt opp-} \\ \text{varmede prøvestykker} \end{array} - \begin{array}{l} \text{gjenvinning over} \\ 40^{\circ}\text{C for hurtig} \\ \text{oppvarmede} \\ \text{prøvestykker} \end{array}}{5}$$

Eksempler på sammensetninger som ble funnet å være spesielt egnede for anvendelse ifølge oppfinnelsen, vil nu bli nærmere beskrevet under henvisning til tegningene.

På fig. 3a og 3b er kvalitetstallet avsatt mot sammensetningen på "topografisk" måte. Lengdeaksene for sonene for konstant kvalitetstall er generelt parallelle i forhold til kurver for isoomvandlingstemperaturen. Sammensetninger med lavere omvandlingstemperaturer forekommer innen den øvre venstre del, mens sammensetninger med høyere omvandlingstemperaturer forekommer innen den nedre høyre del av tegningen. Et tydelig optimum er vist på fig. 3 for området 1,8-2,7 Si, 66,2-67,5 Cu og resten Zn (29,8-32,0%). En sammenligning av fig. 3a og 3b viser at eldning i 10 minutter ved 100°C øker optimumet fra det samme generelle sentrale område. Den valgfrie temperatur av 40°C som avslutningstemperatur for den lang-

somme oppvarming utelukker tilsynelatende legeringer som har et vanlig omvandlingsområde ved en temperatur over eller delvis over $+40^{\circ}\text{C}$, dvs. legeringer innen den nedre høyre del av tegningen, men det vil forstås at et lavt kvalitetstall på kurven ikke antyder uegnethet for disse legeringer for behandling ifølge den foreliggende fremgangsmåte, men ganske enkelt at en annen temperatur enn $+40^{\circ}\text{C}$ bør velges. På lignende måte innebærer for de legeringer som forekommer i den øvre venstre del av tegningen, et lavt kvalitets-tall på kurven ikke nødvendigvis at disse ikke er påvirkbare av den foreliggende fremgangsmåte. I disse tilfeller innebærer et lavt tall ganske enkelt at den valgte langsomme oppvarmingshastighet ikke var istand til å hindre gjenvinning før en temperatur på 40°C ble nådd. De legeringer som har høyere kvalitetstall, må imidlertid betraktes som om de er blitt påvirket av den langsomme oppvarmingsbehandling ifølge oppfinnelsen, og en langsom oppvarming med en annen hastighet kan gi bedre resultater. Valget av 40°C bevirker at sonen for det samme kvalitetstall innsnevres henimot siden for høy omvandlingstemperatur (den nedre høyre del). Legeringer innen den nedre høyre del er påvirkbare av den foreliggende fremgangsmåte, som antydnet ved de nedenstående resultater for CuZnAl.

Det optimale områdes ømfintlighet overfor hastigheten av den langsomme oppvarming ble undersøkt ved å prøve prøver med sammensetningen 66,45 vekt% Cu, 31,55 vekt% Zn og 2,0 vekt% Si, fremstilt på samme måte som de ovennevnte prøver, men langsomt oppvarmet innen et område av forskjellige oppvarmingshastigheter. Den gjenvinning som fant sted under oppvarming gjennom temperaturområdet fra -79°C til $+40^{\circ}\text{C}$, i forhold til oppvarmingshastigheten er vist på fig. 4. Langsomme oppvarmingshastigheter opp til ca. $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ er anvendbare. Høyere hastigheter enn $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ fører til en betydelig gjenvinning under langsom oppvarming, og dette antyder at ca. $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ er grensen for den "langsomme" oppvarming for dette system.

Det optimale områdes ømfintlighet overfor formendringsgraden ved de ovennevnte forsøk ble undersøkt ved anvendelse av prøver med sammensetningene 66,45 vekt% Cu, 31,55 vekt% Zn, 2,0 vekt% Si, og 64,2 vekt% Cu, 34,8 vekt% Zn, 1,0 vekt% Si. En gruppe av prøver ble behandlet ved hjelp av den ovennevnte metode, men med den forandring at 12% formendring ble påført ved -79°C . En annen gruppe ble behandlet som beskrevet ovenfor, men med null formendring før det langsomme oppvarmingstrinn. Etter langsom oppvarming ble prøvene

med uendret form utsatt for en 12% formendring ved værelsetemperatur, og derefter ble alle prøver hurtig oppvarmet til $+200^{\circ}\text{C}$. Et kvalitetstall ble bestemt for hver prøve ved hjelp av den ovenfor beskrevne prøvemethode, men med den forandring at 10% (den antatte ideelle gjenvinning for en 12% formendring) ble anvendt som nevner istedenfor 5%. Resultatene er gjengitt på fig. 5.

Selv om 12% formendring synes å ligge utenfor den optimale formendring for materialet med sammensetningen 66,45 vekt% Cu, 31,55 vekt% Zn og 2,0 vekt% Si, gir denne formendring en bedre påvirkbarhet for materialet med sammensetningen 64,2 vekt% Cu, 34,8 vekt% Zn og 1,0 vekt% Si enn en formendring på 0 eller 6%.

En "topografisk" fremstilling av kvalitetstallresultatene for CuZnAl-systemet er vist på fig. 6. Sonene for konstant kvalitetstall er igjen parallelle med isoomvandlingskurvene. Et mer tydelig optimalt område ble erholdt med de ueldnede prøver, fig. 6a, enn med de eldne prøver, fig. 6b.

Fem legeringssammensetninger med en normal A_s ved eller over 40°C ble anvendt for å undersøke mobiliteten av gjenvinningsområdet ved høyere temperaturer. Den samme generelle prøvemethode ble igjen benyttet, men den langsomme oppvarming ble fortsatt til $+100^{\circ}\text{C}$ istedenfor å bli stanset ved $+40^{\circ}\text{C}$. Resultater for eldne prøver er vist på fig. 6c. Det nye optimum ligger parallelt i forhold til det på fig. 6b viste optimum, men er blitt forskjøvet, som ventet, henimot sammensetninger med høyere omvandlingstemperaturer. Selv om gjenvinningsområdet er mobilt for CuZnAl-systemet, synes gjenvinningsområdet å være mindre mobilt enn for CuZnSi-systemet.

Da de ueldne CuZnAl-prøver mistet sine formhukommelsesegenskaper på grunn av den langsomme oppvarming opp til 100°C , mens de eldne prøver ikke gjorde dette, fremgår det at eldningsbehandlingen kan anvendes med godt resultat for å beholde de reversible omvandlingsegenskaper innen det høyere temperaturområde.

Det vil forstås at eldningstidene og -betingelsene valgt for fig. 3b og 6b fører til visse materialer med optimale egenskaper og at andre eldningstider og -betingelser fører til andre materialer med de samme eller generelt lignende optimale egenskaper. De eldne legeringer innen områdene avgrenset av linjene 40, 60 og 80 på fig. 3b og linjen 20 på fig. 6b er nye og er spesielt egnede for behandling ved den foreliggende fremgangs-

måte. De ueldnede legeringer avgrenset av linjene 60 og 80 på fig. 3a og linjene 20, 40 og 60 på 6b er også nye.

Formålet med dette eksempel er å vise hvorledes et optimalt materiale kan velges ut fra et ønsket sett med kjennetegn. De følgende eksempler vil vise hvorledes kjennetegn kan forandres for å optimalisere forskyvningen av gjenvinningsområdet for en legering med gitt sammensetning. Det optimale område ifølge eksempel 1 kan f.eks. gi en for lav duktilitet eller en for lav elektrisk ledningsevne for visse anvendelser.

Eksempel 2

En legering inneholdende 64,5 vekt% kobber, 34,5 vekt% sink og 1 vekt% silicium ble anvendt for dette eksempel. Dens basiske A_s var $15-25^{\circ}\text{C}$, og normalt vil ca. 75% av en eventuell varmegjenvinning ha funnet sted ved 75°C . En prøve ble varmebehandlet og bråkjølt som beskrevet i eksempel 1 og eldnet i ca. 5 minutter ved omgivelsestemperaturen. Den ble derefter avkjølt til under M_f til den martensittiske tilstand, derefter oppvarmet med en hastighet på mellom $0,75$ og $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ved 75°C og derefter avkjølt til -50°C (dvs. til under dens M_f på ca. -20°C). Prøven ble deretter deformert for at den skulle få en 8% formendring ved -50°C . Ca. halvparten av deformeringsforlengelsen ble gjenvunnet ved oppvarming til over A_f . Gjenvinningen var 4%, og ca. 0,8% fant sted under og 3,2% over 75°C .

Eksempler 3-6

Prøver av den samme legering som ble anvendt i eksempel 2, ble varmebehandlet og bråkjølt til 20°C og eldnet i 2 dager ved 50°C . De ble derefter avkjølt til -50°C og deformert. Prøver ble derefter oppvarmet til 75°C med den samme langsomme hastighet som i eksempel 2 og igjen avkjølt til 20°C . Forskjellige prøver ble derefter lagret i forskjellige tider og oppvarmet med $50-200^{\circ}\text{C}/\text{min}$ (dvs. hurtig) for å oppnå gjenvinning.

Eks. nr.	Forlengelse	Gjenvinning ved langsom oppvarming til 75°C	Lagrings- tid ved 20°C	A _s °C	Gjenvinning ved hurtig oppvarming til 75°C	Samlet gjenvinning ved hurtig oppvarming, %
3	7,40	0,95	5 min.	85	0	5,30
4	6,80	1,20	90 min.	86	0	4,40
5	7,65	1,60	16 timer	85	0	4,30
6	7,30	1,60	168 timer	86	0	3,60

Det fremgår av eksemplene 2-6 at legeringene kan deformeres før eller etter langsom oppvarming.

Eksempel 7

Tre prøver av en legering med en M_s på -40°C (63,7% Cu, 35,3% Zn og 1% Si) ble bråkjølt fra 850°C i vann med en temperatur på +20°C og overført til alkohol med en temperatur på -70°C. Alle prøver var martensittiske på dette trinn. To prøver ble derefter utsatt for en deformering på 5%. En deformert og den udeformerte prøve ble oppvarmet med 10°C/time (langsom oppvarming), og den annen deformerte prøve ble oppvarmet med 10°C/min (hurtig oppvarming). I den langsomt oppvarmede, udeformerte prøve fant omvandling sted ved en temperatur mellom -64°C og -32°C. I den langsomt oppvarmede, deformerte prøve begynte ikke omvandlingen før ved +30°C. På dette trinn ble den oppvarmet hurtig. 3,7% av deformeringen ble straks gjenvunnet, og alle 5% var gjenvunnet ved 80°C. I den deformerte prøve som ble hurtig oppvarmet fra -70°C, begynte gjenvinningen ved ca. -46°C, og hele deformeringen var gjenvunnet ved -10°C. Deformeringen og oppvarmingshastigheten påvirket således begge A_s.

Eksempel 8

En kobber/sinklegering inneholdende 1% silicium og med en basisk M_s på 0°C; en A_s på -10°C og en A_f på +12°C ble anvendt.

En prøve ble bråkjølt fra 850°C i vann med en temperatur på 20°C og ble derefter overført til alkohol med en temperatur på -40°C og deformert 4%. Prøven ble derefter langsomt oppvarmet til +40°C, og ingen gjenvinning fant sted. Prøven ble derefter på ny avkjølt til -40°C og hurtig gjenoppvarmet til +40°C. Ingen gjenvinning av deformeringen fant sted ved den hurtige gjenoppvarming. For å oppnå gjenvinning ble prøven oppvarmet til over

+40°C.

Efter gjenvinningen ble prøven igjen avkjølt til -40°C, deformert og hurtig oppvarmet. Gjenvinningen var fullstendig ved 20°C, og denne oppførsel overensstemte med den opprinnelige A_f på 12°C.

Eksempel 9

Seksten prøver av en legering inneholdende 80,8 vekt% Cu, 10,5 vekt% Al og 8,7 vekt% Mn ble betatisert ved 800°C eller 900°C i 3 minutter eller 6 minutter og derefter bråkjølt i vann med værelsetemperatur. Halvparten av prøvene ble eldnet i 10 minutter ved 100°C, mens de andre ikke ble eldnet.

Alle prøver ble deformert ved -79°C slik at de fikk en ytre fiberforlengelse på 6%, hvorefter spenningen ble opphevet. Halvparten av prøvene ble oppvarmet til 100°C med 0,25°C/min, avkjølt til værelsetemperatur og derefter hurtig oppvarmet til 200°C. Den annen halvpart ble hurtig oppvarmet til 100°C, avkjølt til værelsetemperatur og derefter hurtig oppvarmet til 200°C. Hastigheten ved den hurtige oppvarming var høyere enn 100°C/min. En analyse av den forlengelse som ble gjenvunnet under den hurtige oppvarming til 200°C, i forhold til de regulerte variable antydte at den termiske forkondisjonering økte gjenvinningsandelen ved over 100°C betydelig. For denne spesielle legering antydte en statistisk analyse at eldning ikke hadde noen virkning.

Gjennomsnittsvirkninger:

Prosentuell deformasjon gjenvunnet over 100°C

Hurtig oppvarmet 0,39%

Forkondisjonert 1,89%

Forsøket ble gjentatt med en legering inneholdende 80,49 vekt% Cu, 10,5 vekt% Al og 9,01 vekt% Mn. En analyse av den deformasjon som ble gjenvunnet under hurtig oppvarming til 200°C, i forhold til de regulerte variable viste innvirkning av eldning i forhold til ingen eldning og for ikke-forkondisjonerte i forhold til forkondisjonerte.

Gjennomsnittsvirkninger:

Prosentuell deformasjon gjenvunnet over 100°C

Ueldnet 1,00 Hurtig oppvarmet 0,15 Eldnet 0,36 Forkondisjonert 1,21.

Eksempel 10

Prøver av en legering inneholdende 79,2 vekt% Cu, 10,0 vekt% Al og 10,8 vekt% Mn ble betatisert ved 550°C i 5 minutter og bråkjølt i vann med en temperatur på 20°C. Legeringen hadde en M_s på -20°C på grunn av denne behandling. Prøver ble eldnet i 5 minutter eller 1 time ved 50°C og derefter avkjølt til -30°C, eller avkjølt til -30°C straks etter bråkjølingen i vann og uten eldning. Alle prøver ble deformert med 4% under strekk ved -30°C, hvorefter spenningen ble opphevet.

Halvparten av prøvene ble straks oppvarmet meget hurtig ved neddykning i væsker med en temperatur på 20°C, 40°C, 100°C og 200°C. Den porsjonsvis økede mengde gjenvunnet deformasjon på grunn av hver neddykning ble skrevet ned.

De øvrige prøver ble til å begynne med langsomt oppvarmet med 6°C/min til 40°C, hvorefter de ble avkjølt til -30°C og hurtig oppvarmet, som for det første sett av prøver. Resultatene er gjengitt i den nedenstående tabell.

Tabell I

Resultat	Forlengelse (%)	Eldnings-temp. (°C)	Eldnings-tid	Oppvarmings-hastighet	Gjenvinning ved 40°C (% deformasjon)	Gjenvinning ved over 40°C (% deformasjon)
1.	3,8		Ueldnet	Bare hurtig 6°C/min til 40°C,	1,4 0	2,1 ---
2.	3,3		Ueldnet	ny avkjøling & hurtig oppvarming	0,3	
3.	3,2	50°C	5 min	Bare hurtig 6°C/min til 40°C,	3,1 0,3	0 --
4.	3,7	50°C	5 min	ny avkjøling og hurtig oppvarming	0,3	2,8
5.	3,6	50°C	1 h	Bare hurtig 6°C/min til 40°C,	3,35 2,5	0 --
6.	3,4	50°C	1 h	ny avkjøling og hurtig oppvarming	0,3	0,1

For de prøver som ble hurtig oppvarmet straks etter deformeringen, var gjenvinningen fullstendig ved 40°C i de prøver som ble eldnet i 5 minutter og i 1 time, mens størsteparten av gjenvinningen fant sted ved over 40°C i den ueldnede prøve. I de prøver som først ble oppvarmet med 6°C/min til 40°C, fant ingen

gjenvinning sted ved 40°C i denne første oppvarmingssyklus i de ueldnede prøver og i de prøver som ble eldnet i 5 minutter ved 50°C . Etter fornyet avkjøling og igjen hurtig oppvarming fant imidlertid størsteparten av gjenvinningen sted ved over 40°C . Den prøve som ble eldnet i 1 time ved 50°C , hadde en nærmest fullstendig gjenvinning i den opprinnelige oppvarmingssyklus av $6^{\circ}\text{C}/\text{min}$ til 40°C .

Disse iakttagelser viser at eldning senker A_s da en betydelig gjenvinning fant sted i ueldnede prøver ved over 40°C uten forkondisjonering (sammenlign resultatene 1, 3 og 5). Mengden av varmegjenvinnbar forlengelse erholdt når en prøve forkondisjoneres termisk, forbedres imidlertid ved eldning (sammenlign resultatene 2 og 4). Eldning påvirker også den nødvendige hastighet for den langsomme oppvarming for termisk forkondisjonering. For en eldnet prøve i bare 5 minutter ved 50°C var $6^{\circ}\text{C}/\text{min}$ en "langsom" oppvarmingshastighet da meget liten gjenvinning fant sted før 40°C (se resultatene 4). For en prøve som ble eldnet i 1 time ved 50°C , var imidlertid en oppvarmingshastighet av $6^{\circ}\text{C}/\text{min}$ en hurtig oppvarmingshastighet da størsteparten av den varmegjenvinnbare forlengelse ble gjenvunnet under forsøket på forkondisjonering. Den kombinerte virkning av disse resultater er at den viser at for en viss legering kan det foreligge en optimal eldningsbehandling, som imidlertid lett kan bestemmes av fagmannen, før den termiske forkondisjonering.

I den ovenstående beskrivelse er vekt blitt lagt på formhukommelse og enkel gjenvinning. Andre modifikasjoner som er blitt gjort mulig ved den foreliggende oppfinnelse, omfatter slike teknikker som hurtig oppvarming for erholdelse av delvis gjenvinning, fulgt av langsom oppvarming for å fastslå et forhøyet gjenvinningsområde, fulgt av avkjøling til strukturområdet ved lav temperatur og fulgt av fornyet deformering. Dette fører til et produkt som ved hurtig oppvarming gjenvinnes i to trinn, hvorav ett er innen det vanlige område for begynnelsen av gjenvinning ved hurtig oppvarming, mens det begynner ved det forhøyede gjenvinningsområde. Denne teknikk kan anvendes supplert med en rekkefølge av langsomme oppvarmingstrinn for å oppnå en rekke gjenvinningsområder. På lignende måte kan den elektriske motstandsevne bringes til å variere trinnvis ved oppvarming.

Den foreliggende fremgangsmåte kan anvendes som en teknikk for å utvide området for lavtemperaturstrukturen til høyere tem-

peraturer. Dette kan føre til legeringer med høy utmattingsmotstand overfor forlengelse på ca. 10%, gode dempningsegenskaper, en uvanlig farve eller en hvilken som helst annen egenskap som er forbundet med lavtemperaturstrukturen.

P a t e n t k r a v

1. Varmegjenvinnbar gjenstand laget av et metallisk materiale som er istand til å undergå en reversibel omvandling mellom martensittiske og austenittiske tilstander, k a r a k t e r i s e r t v e d at det metalliske materiale har en utvidet M_s/A_s hysteresesløyfe idet dets A_s er høyere enn den normale A_s for et materiale med den samme sammensetning.

2. Gjenstand ifølge krav 1, k a r a k t e r i s e r t v e d at den er lagringsstabil ved 23°C.

3. Gjenstand ifølge krav 1 eller 2, k a r a k t e r i s e r t v e d at det metalliske materialets M_s er lavere enn værelsetemperatur.

4. Gjenstand ifølge krav 1-3, k a r a k t e r i s e r t v e d at det metalliske materiale er en kobber/sinklegering.

5. Gjenstand ifølge krav 4, k a r a k t e r i s e r t v e d at legeringen også inneholder aluminium, mangan, silicium eller aluminium.

6. Gjenstand ifølge krav 1-3, k a r a k t e r i s e r t v e d at det metalliske materiale er en kobber/aluminiumlegering.

7. Gjenstand ifølge krav 6, k a r a k t e r i s e r t v e d at legeringen også inneholder mangan, silicium, tinn eller sink.

8. Gjenstand ifølge krav 1-7, k a r a k t e r i s e r t v e d at den er laget av en legering med en sammensetning som ligger innenfor kvalitetstallinjene 20 på hvilke som helst av figurene 3a, 3b, 6a, 6b eller 6c.

9. Fremgangsmåte ved fremstilling av en gjenstand ifølge krav 1, hvor gjenvinnbarhetstemperaturen økes for en varmegjenvinnbar gjenstand av et metallisk materiale som er istand til å undergå en reversibel omvandling mellom austenittiske og martensittiske

tilstander, k a r a k t e r i s e r t v e d at det metalliske materiales normale A_s heves til en forhøyet verdi A_{se} ved langsomt å oppvarme gjenstanden fra en temperatur ved hvilken det metalliske materiale befinner seg i martensittisk tilstand, til en temperatur over materialets normale A_s , hvorefter den langsomme oppvarming avsluttes, og gjenstanden gjøres varmegjenvinnbar før eller etter den langsomme oppvarming ved at den deformeres mens det metalliske materiale befinner seg i den martensittiske tilstand.

10. Fremgangsmåte ifølge krav 9, k a r a k t e r i s e r t v e d at den langsomme oppvarming avsluttes ved avkjøling til en temperatur under A_{se} .

11. Fremgangsmåte ifølge krav 9, k a r a k t e r i s e r t v e d at den langsomme oppvarming avsluttes ved hurtig oppvarming.

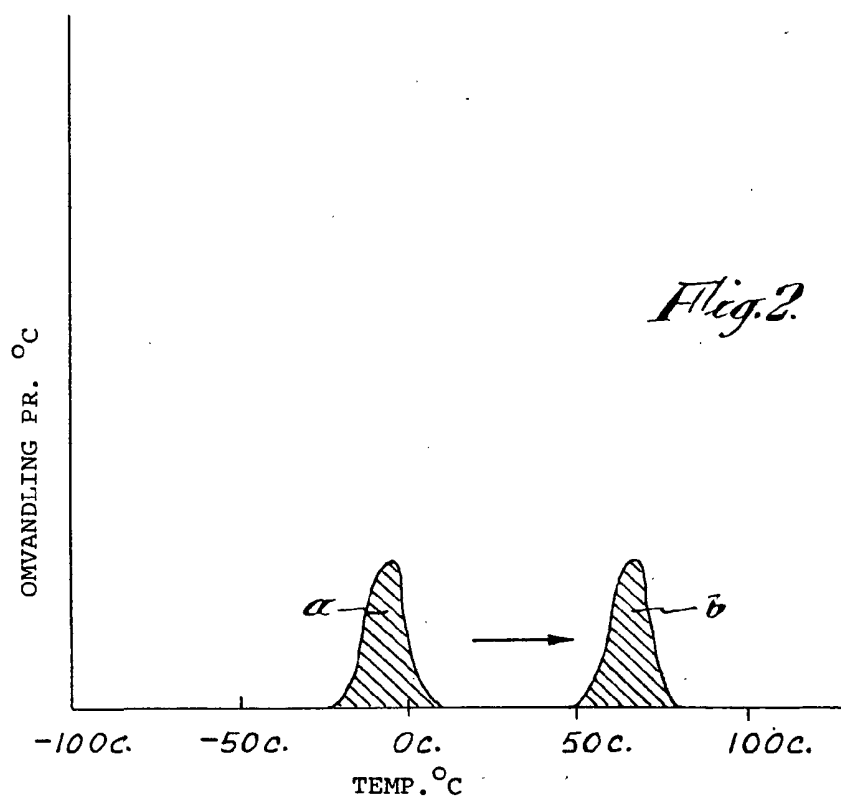
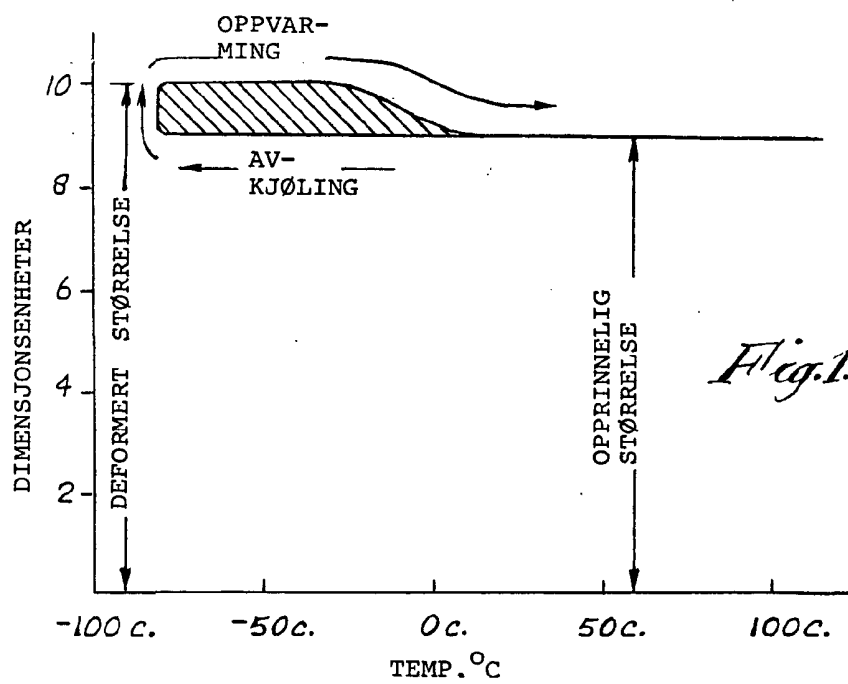
12. Fremgangsmåte ifølge krav 9-11, k a r a k t e r i s e r t v e d at gjenstanden deformeres før den langsomme oppvarming.

13. Fremgangsmåte ifølge krav 9 eller 10, k a r a k t e r i s e r t v e d at gjenstanden avkjøles til en temperatur under A_{se} og derefter deformeres.

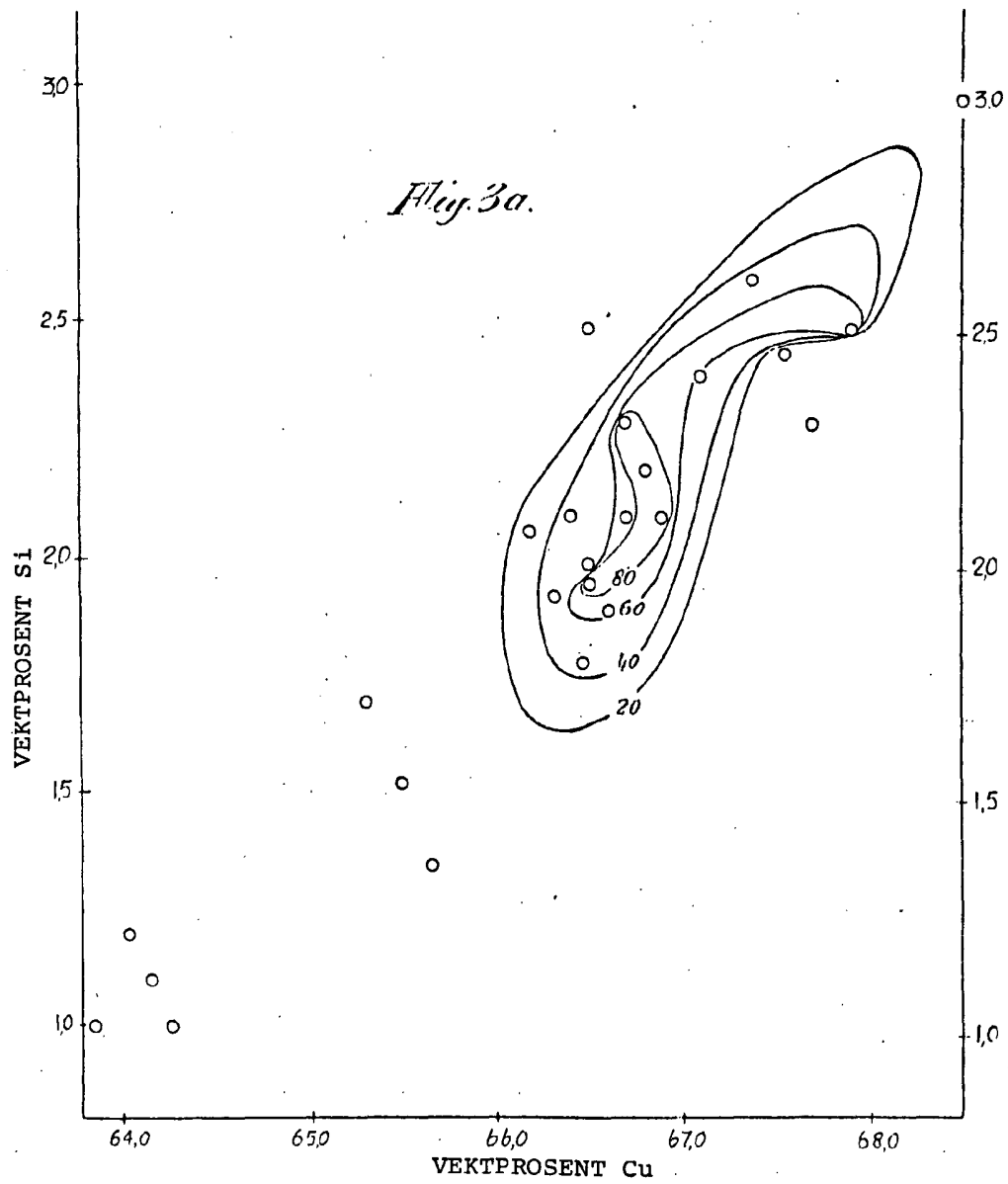
14. Fremgangsmåte ifølge krav 9-13, k a r a k t e r i s e r t v e d at gjenstanden holdes ved en temperatur over M_s -temperaturen mens den befinner seg i austenittisk tilstand, i tilstrekkelig tid til å minske det tap av reversibilitet som ellers ville ha forekommet mellom de martensittiske og austenittiske tilstander, før det metalliske materiale omvandles til sin martensittiske tilstand.

15. Fremgangsmåte ifølge krav 14, k a r a k t e r i s e r t v e d at før holdetrinnet oppvarmes gjenstanden til en temperatur vesentlig over værelsetemperatur og bråkjøles derefter.

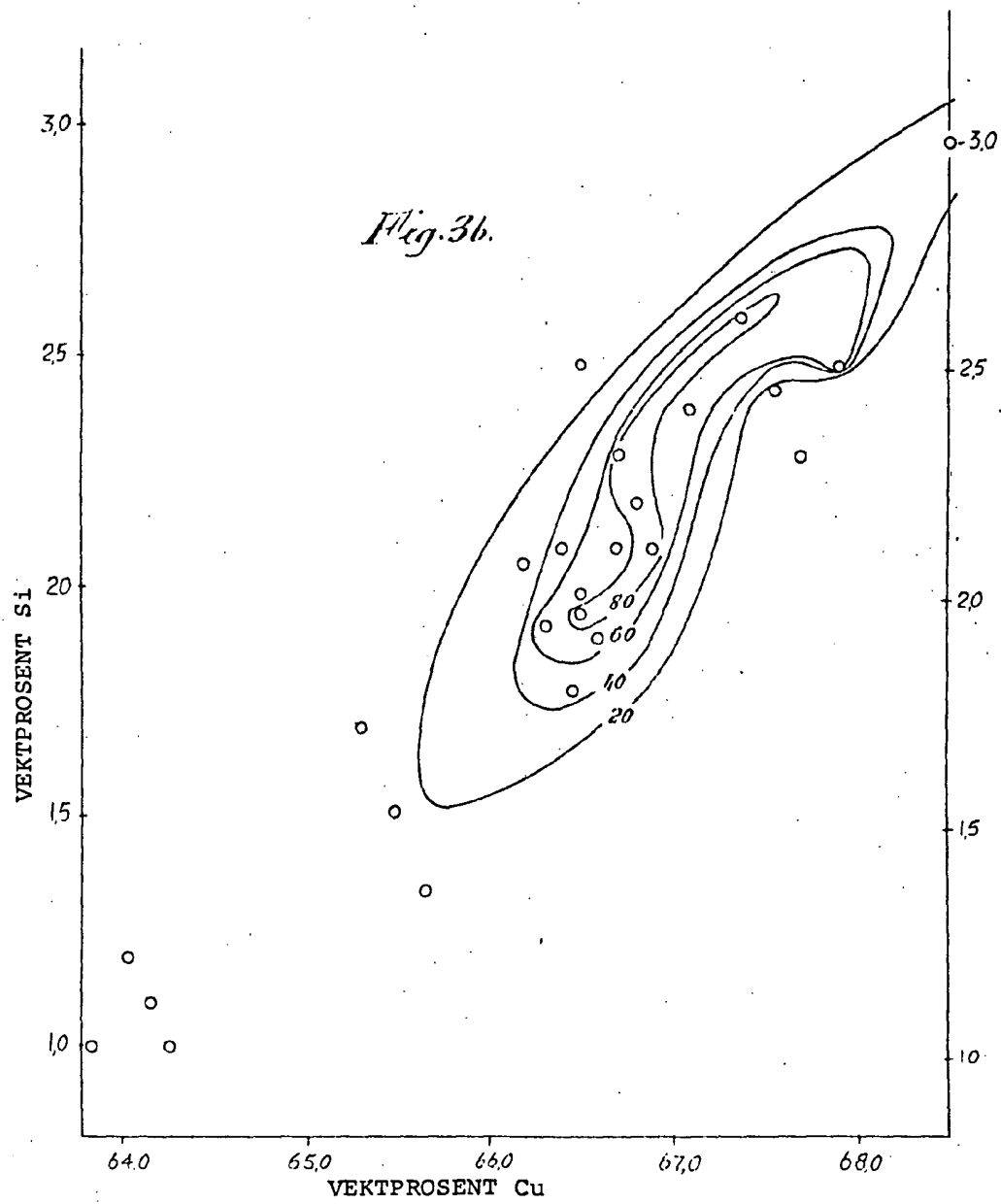
16. Fremgangsmåte ifølge krav 15, k a r a k t e r i s e r t v e d at gjenstanden bråkjøles ved en temperatur ved hvilken det metalliske materiale er fullstendig austenittisk.



143802



143802



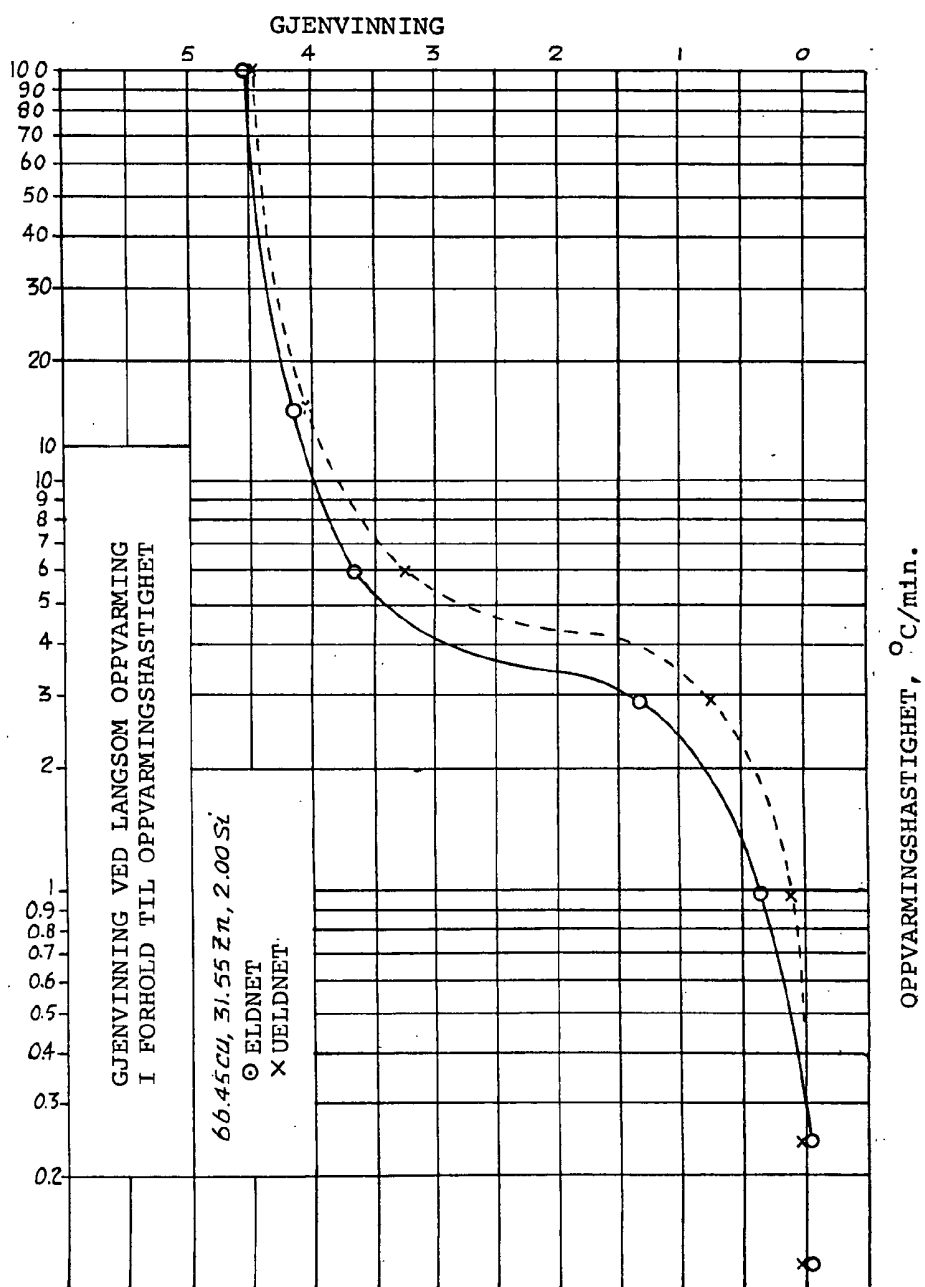


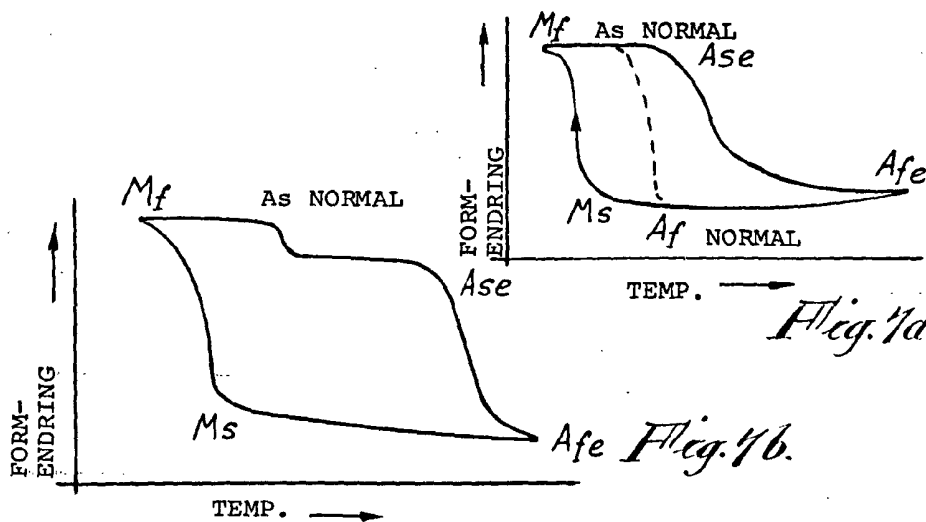
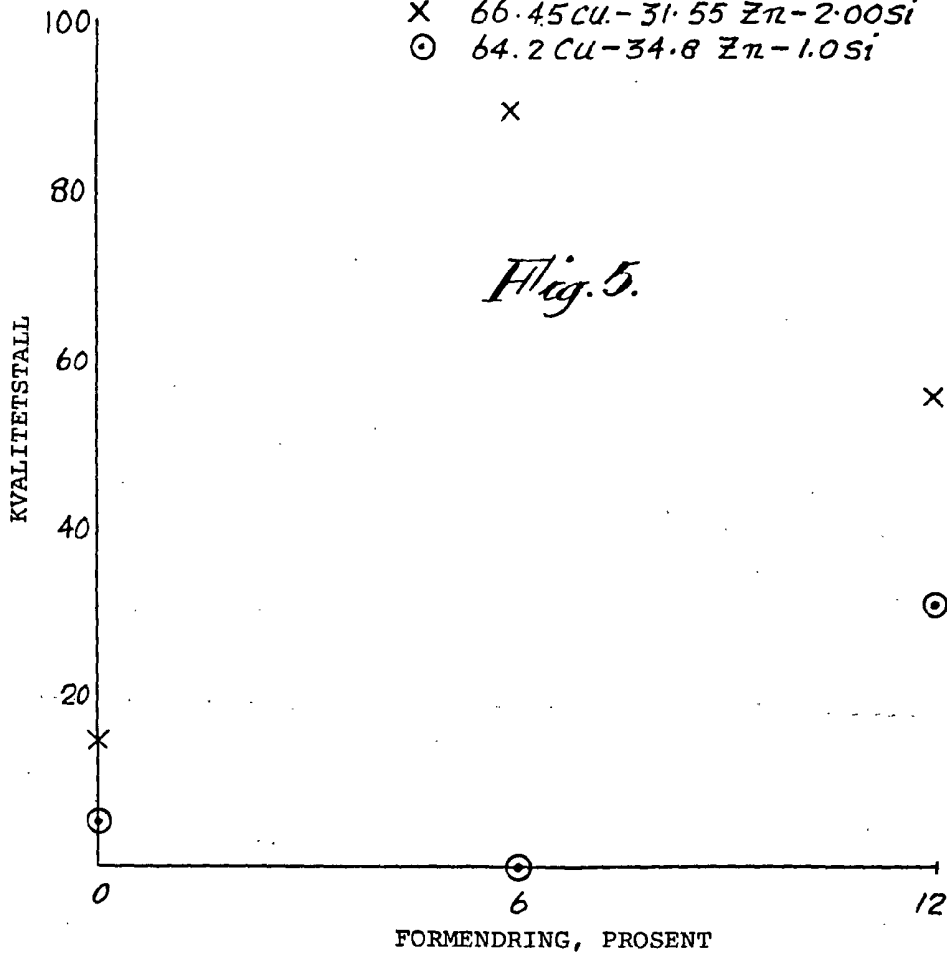
Fig. 4.

143802

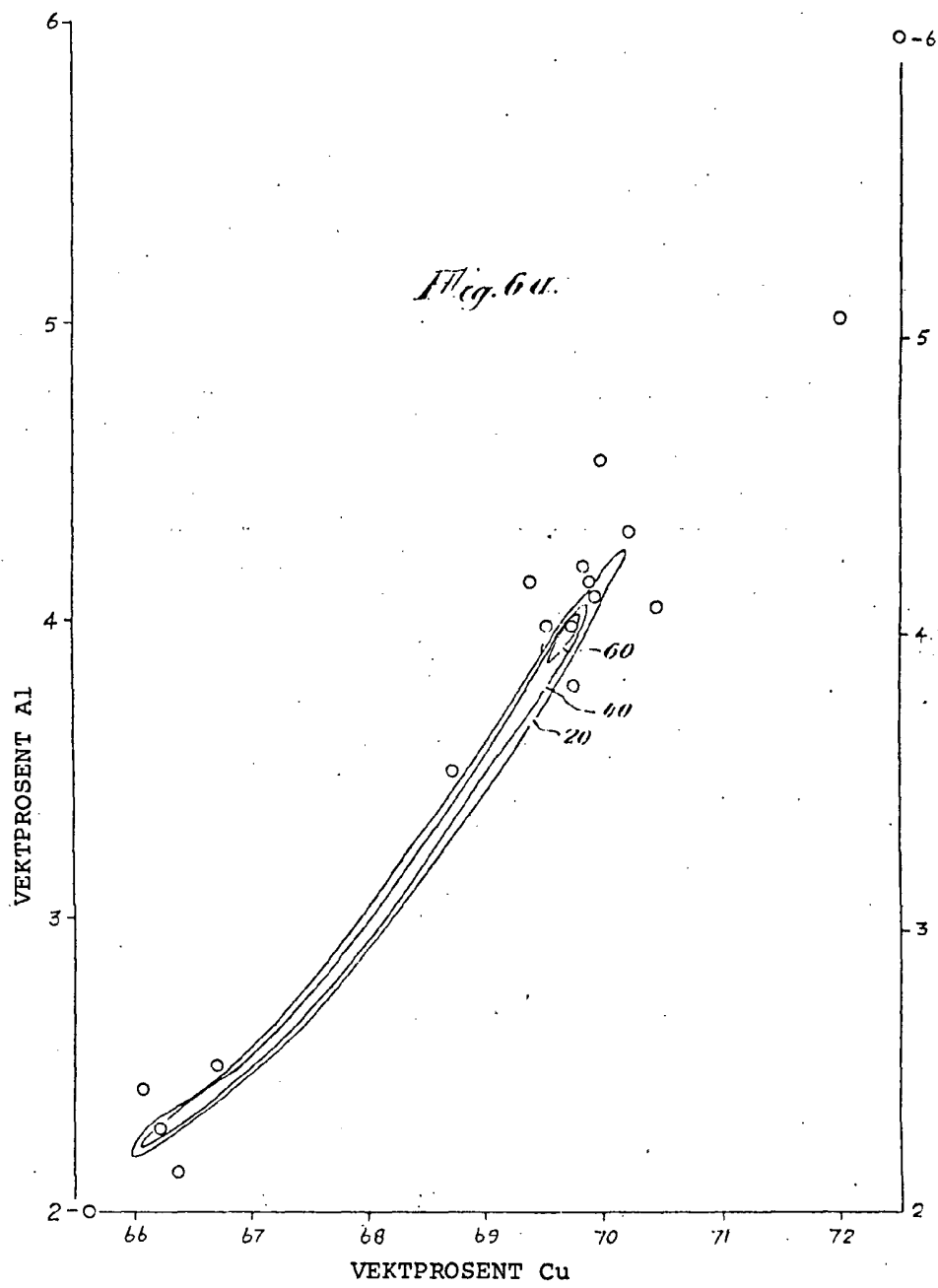
X 66.45 Cu - 31.55 Zn - 2.00 Si
 O 64.2 Cu - 34.8 Zn - 1.0 Si

X

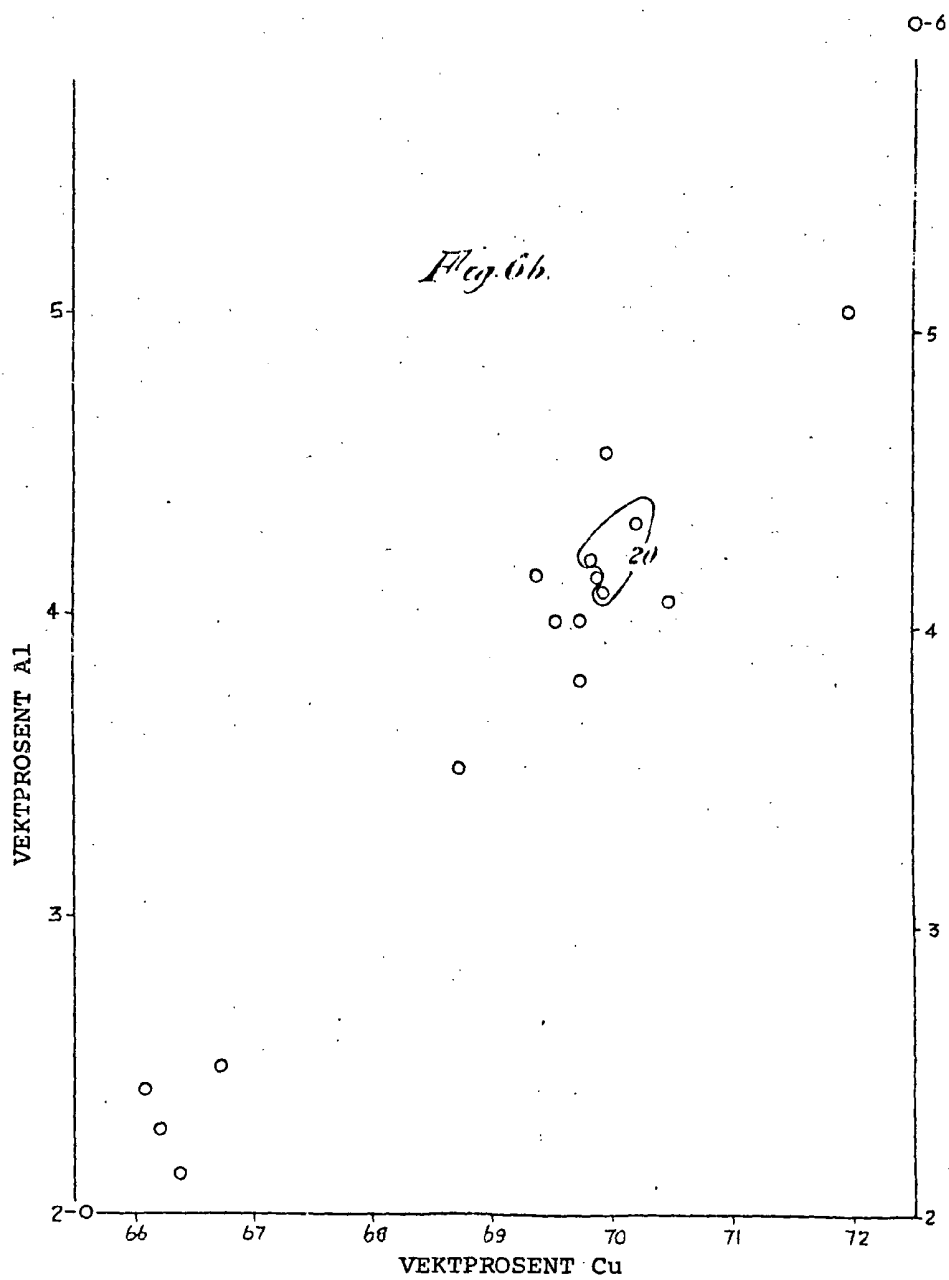
Fig. 5.



143802



143802



143802

