

(19) DANMARK



PATENTDIREKTORATET
TAASTRUP

(12) FREMLÆGGELSESSKRIFT

(11) 156227 B



(21) Patentansøgning nr.: 5429/87

(51) Int.Cl.⁴ C 22 F 1/00

(22) Indleveringsdag: 16 okt 1987

(24) Løbedag: 02 feb 1976

(41) Alm. tilgængelig: 16 okt 1987

(44) Fremlagt: 10 jul 1989

(86) International ansøgning nr.: -

(62) Stamansøgning nr.: 0418/76

(30) Prioritet: 18 feb 1975 US 550847 18 feb 1975 US 550556 18 feb 1975 US 550555

(71) Ansøger: *Raychem Corporation; 300 Constitution Drive; Menlo Park; California 94025, US

(72) Opfinder: Greville Bertram *Brook; GB, Peter Leonard *Brooks; US, Roger Francis *Iles; US

(74) Fuldmægtig: Ingeniørfirmaet Budde, Schou & Co.

(54) Fremgangsmåde til behandling af en genstand af et metalmateriale, som kan undergå reversibel omdannelse mellem austenitisk og martensitisk tilstand, og som udviser formerindringsegenskaber

(56) Fremdragne publikationer

(57) Sammendrag:

5429-87

P A T E N T K R A V:

1. Fremgangsmåde til behandling af en genstand af et metalmateriale, som kan undergå en reversibel omdannelse mellem austenitisk og martensitisk tilstand, og som udviser formerindringsegenskaber, k e n d e t e g n e t ved, at genstanden holdes under indspænding i en deformeret konfiguration ved en sådan temperatur over dens M_s -temperatur og i så lang tid, at i det mindste en del af deformationen bibeholdes, når indspændingen fjernes, idet der foreligger martensitisk tilstand, og metalmaterialets A_s -temperatur forøges til en værdi over den normale under mindst én opvarmningscyklus.

2. Fremgangsmåde ifølge krav 1, k e n d e t e g n e t ved, at genstanden holdes under indspænding ved en temperatur, der ligger under M_d -temperaturen.

3. Fremgangsmåde ifølge krav 1 eller 2, k e n d e t e g n e t ved, at genstanden deformeres, medens den er i den austenitiske tilstand.

DK 156227 B

fortsættes

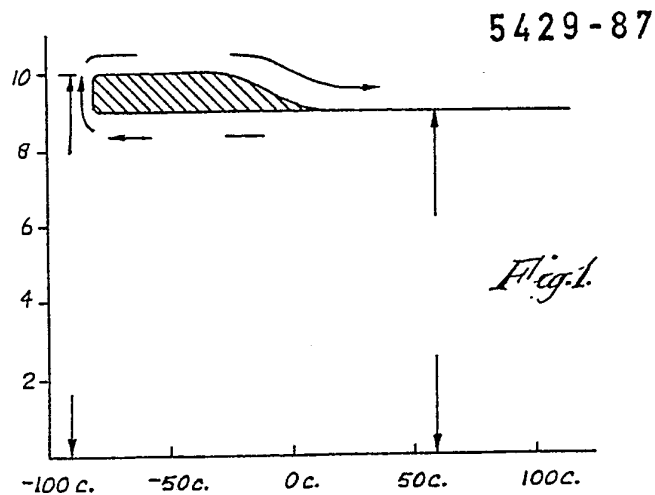
4. Fremgangsmåde ifølge krav 1 eller 2, k e n d e - t e g n e t ved, at genstanden deformeres ved en temperatur, der ligger under holddetemperaturen, og at dens temperatur forøges til holddetemperaturen, medens genstanden holdes under indspænding.

5. Fremgangsmåde ifølge krav 4, k e n d e t e g n e t ved, at genstanden deformeres ved ca. dens M_S -temperatur.

6. Fremgangsmåde ifølge krav 4, k e n d e t e g n e t ved, at genstanden deformeres ved en temperatur, der ligger i M_S - M_F -området.

7. Fremgangsmåde ifølge krav 4, k e n d e t e g n e t ved, at genstanden deformeres ved en temperatur, der ligger under M_S - M_F -området.

8. Fremgangsmåde ifølge et hvilket som helst af kravene 1-7, k e n d e t e g n e t ved, at indspændingskraften fjernes efter afslutning af behandlingen, og at genstandens temperatur nedsættes til under M_S -temperaturen før fjernelsen af indspændingskraften.



Den foreliggende opfindelse angår en fremgangsmåde til behandling af en genstand af et metalmateriale, som kan undergå reversibel omdannelse mellem austenitisk og martensitisk tilstand, og som udviser formerindringsegenskaber.

5 Metalmaterialer, f.eks. legeringer, der er i stand til at undergå en reversibel omdannelse fra austenitisk til martensitisk tilstand, er kendte, og af nogle af disse kan der fremstilles genstande, som er varme-restituerbare. Sådanne legeringer er f.eks. beskrevet i USA patentskrifterne
10 nr. 3.012.882, 3.174.851, 3.351.463, 3.567.523, 3.753.700 og 3.759.552, belgisk patentskrift nr. 703.649 og de britiske patentskrifter nr. 1.315.652, 1.315.653, 1.346.046 og 1.346.047, hvilke fire sidstnævnte er i navnet Fulmer Research Institute og derfor i det følgende vil blive omtalt
15 som "Fulmer-patenterne".

Sådanne legeringer findes også beskrevet i NASA Publication SP110, "55-Nitinol - the alloy with a memory, etc." (U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 1972), samt N. Nakanishi et al., Scripta Metallurgica, 5, 433-440
20 (Pergamon Press 1971)).

En for disse og andre legeringer fælles egenskab er deres evne til at undergå en forskydningsomdannelse ved køling fra en højtemperaturtilstand (austenitisk) til en lavtemperaturtilstand (martensitisk). Hvis en genstand frem-
25 stillet af en sådan legering deformeres, når den er i sin martensitiske tilstand, vil den bibeholde denne tilstand efter deformationen. Hvis den genopvarmes til en temperatur, ved hvilken den er austenitisk, vil den være tilbøjelig til at vende tilbage til sin udeformerede tilstand. Omdannelsen
30 fra den ene tilstand til den anden i begge retninger sker over et temperaturområde. Den temperatur, ved hvilken der ved afkølingen begynder at dannes martensit, betegnes som M_s , medens den temperatur, ved hvilken denne proces er afsluttet, betegnes som M_f , idet hver af disse temperaturer
35 er dem, som opnås ved høje hastigheder (f.eks. 100°C/min.) for ændringen af prøvens temperatur, dvs. "basis- M_s "- og

"basis- M_f "-værdierne. På lignende måde betegnes temperaturerne for begyndelsen og afslutningen af omdannelsen til austenit som henholdsvis A_S og A_f . Almindeligvis er M_f en lavere temperatur end A_S , og M_S er en lavere temperatur end A_f . M_S kan være lig med lavere end højere end A_S , afhængigt af legeringssammensætningen samt af legeringens termokemiske forhistorie. Omdannelsen fra den ene tilstand til den anden kan følges ved måling af et antal fysiske egenskaber for materialet foruden ved den ovenfor beskrevne deformations-
10 omvenden, f.eks. dets specifikke elektriske modstand, der udviser en anomali, efterhånden som omdannelserne foregår. Hvis der optegnes kurver over den specifikke modstand versus temperaturen eller spændingen versus temperaturen, vil en linie, der forbinder punkterne M_S , M_f , A_S og A_f og går tilbage til M_S , danne en kurve, der betegnes som hysteresesløjfen. For mange materialer ligger M_S og A_S ved omtrentlig
15 samme temperatur.

En særlig anvendelig legering, der er i besiddelse af varme-restituerbarhed og form-erindring, er den intermetalliske forbindelse TiNi, der er omhandlet i USA patentskrift nr. 3.174.851. Den temperatur, ved hvilken deformerede genstande af legeringen vender tilbage til deres oprindelige form, afhænger af legeringssammensætningen, således som det f.eks. er forklaret i britisk patentskrift nr. 1.202.404 og
25 USA patentskrift nr. 3.753.700, idet den omtalte tilbagevenden til den oprindelige form kan bringes til at foregå under, ved eller over stuetemperatur.

Ved nogle kommercielle eller tekniske anvendelser af varme-restituerbare legeringer er det ønskeligt, at A_S ligger
30 ved en højere temperatur end M_S , og grunden hertil er følgende: Mange genstande opbygget af legeringerne leveres til brugerne i deformeret tilstand, dvs. i den martensitiske tilstand. Således forhandles f.eks. koblinger til hydrauliske komponenter, som omhandlet i de britiske patentskrifter nr.
35 1.327.441 og 1.327.442, i deformeret (dvs. ekspanderet) tilstand, og brugerne anbringer den ekspanderede kobling

over de komponenter, f.eks. enderne af hydrauliske rørledninger, der skal forenes, og forøger derefter koblingens temperatur. Når koblingens temperatur når det austenitiske omdannelsesområde, vil koblingen vende tilbage til eller
5 forsøge at vende tilbage til sin oprindelige form og krympe omkring de komponenter, der skal forenes. Da det er nødvendigt, at koblingen forbliver i sin austenitiske tilstand under anvendelsen (f.eks. for at undgå spændingsafslapning under den martensitiske omdannelse, og fordi de mekaniske
10 egenskaber for austeniten er bedre), vælges materialets M_S således, at den ligger under enhver værdi, som den eventuelt kan nå under brug, således at materialet under brugen hele tiden vil forblive i den austenitiske tilstand. Af denne grund må det efter deformation opbevares i f.eks. flydende
15 nitrogen, indtil det skal anvendes. Hvis imidlertid A_S , der, som det er tilfældet her, betyder den temperatur, som markerer begyndelsen af en kontinuerlig sigmafase-omdannelse, som aftegnet på en spænding/temperatur-kurve, af al den martensit, der er i stand til at blive omdannet til austenit,
20 til den austenitiske tilstand, kunne forøges blot midlertidigt, f.eks. under én opvarmingscyclus, uden en tilsvarende forøgelse af M_S , da kunne den ekspanderede kobling opbevares ved en højere og mere bekvem temperatur.

I dansk patentansøgning nr. 418/76 beskrives en fremgangsmåde, ved hvilken A_S hos visse metalmaterialer kan
25 forøges under en opvarmingscyclus. Ved denne fremgangsmåde sænker man først materialets temperatur fra en temperatur, ved hvilken materialet foreligger i den austenitiske tilstand, til en temperatur, som ligger under dets M_f -temperatur.
30 Derpå opvarmes materialet til en temperatur, ved hvilken det normalt helt skulle foreligge i den austenitiske tilstand, dvs. over A_f -temperaturen. Omdannelsen fra den martensitiske til den austenitiske tilstand sker imidlertid ikke, såfremt man vælger en "langsom" opvarmningstakt. Den nævnte
35 patentansøgning indeholder en udførlig definition af det, der menes med en "langsom" opvarmningstakt. Det er her til-

strækkeligt at angive, at den kan variere afhængigt af arten af det metalliske materiale, men let kan bestemmes af fagmanden med vejledning i den nævnte ansøgnings beskrivelse.

Såfremt materialet efter afslutningen af den langsomme opvarmning afkøles og derefter genopvarmes i hurtig takt, 5 begynder det ikke at undergå omdannelse fra den martensitiske til den austenitiske tilstand førend omtrentlig den temperatur nås, ved hvilken den langsomme opvarmning blev afsluttet. Hvad der er vigtigere er, at et af materialet fremstillet 10 emne, som deformeres i den martensitiske tilstand, enten før eller efter afslutningen af den langsomme opvarmning, ikke vil begynde at undergå tilbagevenden til den form, hvori det eksisterede i den austenitiske tilstand, førend det når omtrentlig den temperatur, ved hvilken den langsomme 15 opvarmning blev afsluttet. Denne proces kaldes "termiske forkonditionering".

I den danske patentansøgning nr. 5428/87 er der gjort rede for den opdagelse, at tendensen hos visse metalmaterialer til at miste martensit-austenit-reversibilitet, hvilket 20 f.eks. sker med visse materialer med en M_s -temperatur på 0°C eller højere, kan hindres. Fremgangsmåden ifølge den nævnte ansøgning omfatter den foranstaltning, at man "ælder" materialet ved at holde det ved en forhøjet temperatur, typisk ved $50-150^\circ\text{C}$, ved hvilken det eksisterer i den austenitiske tilstand, inden det omdannes til den martensitiske 25 tilstand. Den nødvendige ældningstemperatur og den holdetid, som kræves for at inhibere tab af den nævnte reversibilitet, varierer alt efter materialets natur, men kan let bestemmes af fagmanden med vejledning i ansøgningens beskrivelse.

30 Som følge af de ovennævnte opdagelser har det vist sig muligt at fremstille anvendelige varmerestituerbare genstande af metalmaterialer, der som følge af varmebehandlingen har en betydeligt formindsket tendens til at miste martensit-austenit-reversibilitet, og som tillige har en 35 forhøjet A_s -temperatur. Trods de mange fordele ved disse erkendelser med hensyn til at forhøje A_s -temperaturen for

metalmaterialer er det imidlertid nødvendigt at anvende et apparatur, som muliggør en reguleret "langsom" opvarmningstakt. Endvidere er det nødvendigt at udføre en del præliminære undersøgelser med andre materialer end dem, som specielt
5 beskrives til bestemmelse af den optimale langsomme opvarmningstakt. Endelig kan den "langsomme" opvarmningstakt, som kræves for at undgå den for tidlige restituering, nødvendiggøre en uønsket lang forkonditioneringstid, for at den ønskede A_S -temperatur skal kunne opnås. Det ville derfor være
10 fordelagtigt, såfremt man rådede over en fremgangsmåde, ved hjælp af hvilken en forhøjet A_S -temperatur kunne bibringes metalmaterialer, der er i stand til at undergå en reversibel omdannelse mellem en austenitisk og en martensitisk tilstand, hvilken fremgangsmåde ikke lider af de nævnte mangler eller
15 ulemper.

Formålet med den foreliggende opfindelse er således at tilvejebringe en yderligere fremgangsmåde til at bibringe metalmaterialer, som har evne til at undergå en reversibel omdannelse mellem en austenitisk og en martensitisk tilstand,
20 en forhøjet A_S -temperatur for i det mindste én opvarmningscyclus. Ved fremgangsmåden fås der hidtil ukendte metalmaterialer, der udviser en sådan forhøjet A_S -temperatur.

Fremgangsmåden ifølge opfindelsen til behandling af en genstand af et metalmateriale, som kan undergå en reversibel omdannelse mellem austenitisk og martensitisk tilstand,
25 og som udviser formerindringsegenskaber, er ejendommelig ved, at genstanden holdes under indspænding i en deformeret konfiguration ved en sådan temperatur over dens M_S -temperatur og i så lang tid, at i det mindste en del af deformationen
30 bibeholdes, når indspændingen fjernes, idet der foreligger martensitisk tilstand, og metalmaterialets A_S -temperatur forøges til en værdi over den normale under mindst én opvarmningscyclus.

Den grad af deformation, der bibeholdes, er en funktion bl.a. af den temperatur, ved hvilken materialet holdes,
35 og varigheden af holdetrinet. Denne metode kan betegnes som

"mekanisk forkonditionering". Holdetiden for en given legering kan bestemmes ved rutineforsøg. Almindeligvis vil det mindste tidsrum, der er anvendeligt til opnåelse af de ønskede virkninger, afhænge af holdetemperaturen, men den kan
5 f.eks. være 10 sekunder ved 200°C, 10 minutter ved 100°C og 1 time ved stuetemperatur.

En genstand, der er fremstillet af de her omhandlede materialer, kan deformeres, medens den er i den austenitiske tilstand, men normalt kræver dette en stor kraft. Følgelig
10 er det at foretrække at deformere genstanden, medens denne er i den lettere bearbejdelige tilstand, som forekommer nær ved eller indenfor området M_S - M_f , og derefter at hæve dens temperatur, medens den holdes indspændt, til den ønskede holdetemperatur over M_S .

15 En mekanisk forkonditioneret genstand vil ved opvarming med stor hastighed i det mindste delvis vende tilbage til den oprindelige form.

Det er kendt, at påføring af en belastning eller en spænding på en genstand af et metalmateriale i den austenitiske tilstand, f.eks. ved udsættelse for kompression eller
20 trækspænding, eller ved bøjning af prøveemnet, kan resultere i indføring af en deformation i prøven gennem en spændingsinduceret omdannelse af en del af austeniten til martensit. Denne deformation, som forsvinder, når belastningen fjernes,
25 betegnes som "pseudoelastisk deformation", fordi dens virkninger afviger fra virkningerne af normal elastisk opførsel, idet deformationen ikke varierer lineært med belastningen, se H. Pops, Met. Trans. 1 (1), 251-258 (1970). Deformationen forsvinder, fordi den af den påførte spænding inducerede
30 omdannelse til martensit vendes om, så den går tilbage til austenit på en elastisk måde, som ikke følger Hooke's lov. Almindeligvis eksisterer der en maksimumtemperatur, op til hvilken der vil ske spændingsinduceret martensitdannelse. Denne temperatur, der varierer med metalmaterialesammensæt-
35 ningen, betegnes sædvanligvis og også her som M_d .

Reversibiliteten mellem spændingsinduceret pseudoela-

stisk martensit og den austenitiske tilstand er et fænomen, som overfladisk set ligner den virkning med hensyn til form-erindring, der iagttages, når et prøveemne af et metalmateriale, som er blevet deformeret i en lavtemperaturstabil martensitisk tilstand, undergår en tilbagevenden til sin oprindelige form ved opvarmning til et temperaturområde, hvorover martensiten omdannes til austenit. Hovedforskellene mellem dette fænomen og det, der er forbundet med pseudoelastisk frembragt martensit, er, at ved det sidstnævnte er dannelsen af martensit lokaliseret i et spændingsområde, og omdannelsen fra martensit til austenit, såvel som den omvendte proces, er en isoterm omdannelse.

Af den sidstnævnte grund er reversibel pseudoelastisk deformation, selv om den er af teoretisk interesse, ikke egnet til de praktiske anvendelser, som er mulige, når man udnytter den termisk restituerbare deformation, der opnås ved, at man deformerer en prøve af et metalmateriale under dets M_f -temperatur og holder den dér, indtil det er ønsket at restituere deformationen. Imidlertid vil, som påpeget ovenfor, denne sidste proces ofte kræve, at prøven holdes ved en forholdsvis lav temperatur, dvs. under A_s , for at hindre en tilbagevenden, indtil den er ønsket, medmindre den temperatur, ved hvilken austenitdannelse normalt sker (A_s), kan forøges tilstrækkeligt til at tillade, at prøven kan håndteres uden restituering ved omgivelsernes temperatur. Med undtagelse af fremgangsmåden ifølge opfindelsen er den eneste fremgangsmåde, ved hvilken dette har været muligt, den ovenfor beskrevne "termiske forkonditioneringsmetode".

Med den foreliggende opfindelse tilvejebringes der en anden hidtil ukendt fremgangsmåde, ved hvilken en deformeret metalgenstands tilbagevenden til sin oprindelige konfiguration i den austenitiske tilstand hindres i at foregå, indtil den når en temperatur på over den normale A_s -temperatur, dvs. den normale temperatur for tilbagevenden for det givne metalprodukt. Denne fremgangsmåde omfatter fortrinsvis,

at man deformerer genstanden fra en oprindelig konfiguration og holder den i denne deformerede tilstand ved en temperatur under M_d , men over M_s , i et tidsrum, der er tilstrækkeligt til at resultere i en bibeholdelse af i det mindste en del
5 af den oprindelige deformation, når belastningen ophæves. Derpå følgende hurtig opvarmning af prøven, dvs. med en hastighed, som udelukker yderligere hævning af A_s ved termisk forkonditionering, almindeligvis og fortrinsvis $100^\circ\text{C}/\text{min}$. eller mere, vil resultere i restitution af i det mindste en
10 del af den bibeholdte deformation. Som følge heraf tilvejebringes der med opfindelsen også varme-restituerbare metalmaterialer med et A_s - A_f -område, som er hævet sammenlignet med det normale A_s - A_f -område for en speciel sammensætning.

I almindelighed er fremgangsmåden ifølge opfindelsen
15 anvendelig til mange forskellige metalmaterialer, som undergår reversible austenit/martensit-omdannelser, og den er særlig velegnet til metalmaterialer, som er legeringer, og især til legeringer, som danner elektron-forbindelser. Foretrukne elektronforbindelser er sådanne, som svarer til Hume-
20 -Rothery-betegnelsen for strukturmæssigt analoge rumcentreerede kubiske faser (f.eks. β -messing), eller elektronforbindelser med forhold på ca. 3 valenselektroner til 2 atomer, se A.S.M. Metals Handbook, bind 1, 8.udg. (1961), side 4.

Blandt egnede legeringer kan nævnes β -fase-legeringer,
25 hvorpå typiske eksempler er de kobber/zink- og kobber/aluminium-legeringer, der danner β -legeringer af den rumcentrerede kubiske type, som er karakteristisk for β -messing. Blandt disse er de legeringer af kobber/zink eller kobber/aluminium, hvori zink og aluminium kan i det mindste delvis erstatte
30 hinanden og selv kan være delvis erstattet af andre legeringsgrundstoffer, f.eks. silicium, tin, mangan eller blandinger deraf. Nogle legeringer, der falder ind herunder, er detaljeret omtalt i forbindelse med beskrivelsen af den termiske forkonditioneringsproces, jfr. dansk patentansøgning
35 nr. 418/76. Foretrukne legeringer omfatter dem, der (bortset fra tilfældige urenheder) indeholder mellem ca. 60 og ca.

85 vægt% kobber med varierende mængder af zink og/eller aluminium sammen med silicium, mangan eller blandinger deraf, f.eks. legeringer, der indeholder op til 40 vægt% zink, mellem 0 og ca. 5 vægt% silicium, op til ca. 14 vægt% aluminium og mellem 0 og ca. 15 vægt% mangan, og som danner strukturer af den rumcentrerede kubiske type. Der kan anvendes ternære, kvaternære og mere komplekse legeringer af kobber. I de i det følgende anførte eksempler vil der nærmere blive omtalt specielle legeringer, som ligger inden for disse grænser, men det vil dog forstås, at fremgangsmåden ifølge opfindelsen også kan anvendes uden for de grænser, der angiver de foretrukne udførelsesformer. Således ligger det f.eks. inden for opfindelsens rammer at anvende fremgangsmåden ifølge opfindelsen til legeringer baseret på andre metaller end kobber.

Legeringer af denne type fås i β -fasen ved i og for sig kendte metoder. Sædvanligvis opnås β -fasen ved bratkøling af legeringen fra en forhøjet temperatur, ved hvilken den for en væsentlig dels vedkommende eksisterer som en stabil β -fase, til en temperatur, ved hvilken den vil eksistere som en metastabil β -fase. Hvis bratkølingshastigheden er for ringe, kan der blive dannet større mængder af en anden fase, som ikke undergår den reversible austenit/martensit-omdannelse. Imidlertid kan en legering, som i det mindste i hovedsagen foreligger i β -fasen, f.eks. over 70% β -fase, stadig i væsentlig grad være i besiddelse af de samme nyttige egenskaber som den rene β -fase-struktur.

Hvis legeringen bratkøles til under dens M_S -temperatur, kan dens evne til derefter at blive gjort varme-restituerbar blive påvirket ugunstigt, og det er derfor ønskeligt at bratkøle legeringen til en temperatur over M_S -værdien med en sådan hastighed, at der ikke vil ske nogen kendelig α -fase-dannelse. For legeringer med en M_S -temperatur på under ca. 0°C vil en temperatur på ca. 20°C for kølemediet være tilfredsstillende, og dette kan opnås f.eks. ved bratkøling af legeringen i vand af 20°C .

Den anvendte, valgte legering forarbejdes til en genstand af den form, som ønskes efter varme-restitueringen. Deformeringen af genstanden til den konfiguration, fra hvilken der ønskes varme-restituering, dvs. en konfiguration, 5 der til sidst vil være formen af den varme-ustabile (dvs. varme-restituerbare) tilstand, udføres fortrinsvis ved temperaturer under M_d -temperaturen. Således kan f.eks. deformationen udføres, medens genstanden er i den austenitiske tilstand, hvorved den indledende deformation, der udøves på 10 genstanden, vil være af den "pseudoelastiske" type, da dens for hurtige ophævelse vil resultere i, at deformationen undergår den tidligere beskrevne isoterme restitution. Ved at man holder genstanden i den deformerede tilstand i et tilstrækkeligt tidsrum, vil ikke desto mindre i det mindste 15 en del af den oprindeligt "pseudoelastiske" deformation blive omdannet til en deformation, som bibeholdes efter fjernelse af påvirkningen. Den del af den oprindeligt pseudoelastiske deformation, som ikke bibeholdes, kan betegnes som "tilbagespringen".

20 Til restituering af den bibeholdte deformation opvarmes prøveemnet hurtigt som tidligere beskrevet gennem det temperaturområde, hvori omdannelsen til austenit sker. Enhver del af den bibeholdte deformation, som ikke restitueres (en ikke ualmindelig foreteelse i tilfælde af martensit/austenit- 25 -omdannelse), betegnes som "ikke-restituerbar deformation". Den opvarmningshastighed, der er nødvendig til restituering af deformationen, må være tilstrækkelig "stor" til, at man undgår virkningen af "termisk forkonditionering" som tidligere beskrevet, da der ikke vil ske en restituering, hvis 30 genstanden opvarmes alt for langsomt. Da en passende opvarmningshastighed vil variere efter legeringens natur, er det ikke muligt at angive nøjagtige opvarmningshastigheder, som kan betegnes som "langsomme" eller "hurtige" for alle legeringer, men betydningen af disse udtryk vil være klar 35 efter de tidligere givne forklaringer, på basis af hvilke man let kan bestemme, om en opvarmning kan betegnes som "hur-

tig" eller ej, jfr. også den ovennævnte ansøgning vedrørende "termisk forkonditionering".

Hvis genstanden holdes i tilstrækkelig lang tid i den deformerede tilstand, vil praktisk taget hele den oprindelige deformation blive bibeholdt, når påvirkningen fjernes. Det tidsrum, der er nødvendigt for at opnå en kendelig bibeholdt deformation ved en given temperatur, varierer efter legeringens sammensætning og termomekaniske historie. Almindeligvis vil for en given legering længden af den nødvendige holdetid aftage med stigende holdetemperatur, men det kan være skæbnesvangert, hvis holdetemperaturen er alt for høj, da en kendelig del af den bibeholdte deformation da kan blive ikke-restituerbar. Imidlertid er der dog udført "mekanisk forkonditionering" ved så høje temperaturer som ca. 200°C. Af den ovenfor givne redegørelse vil det fremgå, at den optimale kombination af holdetemperatur og påvirkningstid, dvs. det tidsrum, i hvilket genstanden holdes under påvirkning, vil afhænge af den pågældende legering, men at denne kombination let kan bestemmes. I et optimalt tilfælde kan der opnås en restituerbar deformation på op til ca. 10% for genstande behandlet ved fremgangsmåden ifølge opfindelsen.

I tilfælde af "termisk forkonditionering" er den forhøjede A_S -temperatur, betegnet som A_{Se} , ofte omtrent den temperatur, ved hvilken den langsomme opvarmning afsluttes, medens dette ikke er tilfældet ved den "mekaniske forkonditionering", som er et led i fremgangsmåden ifølge opfindelsen. A_{Se} kan ligge under, ved eller over holdetemperaturen. Almindeligvis vil den blive forøget, når længden af holdetiden forøges. Rutineforsøg med en given legering vil gøre det muligt at bestemme den grad af forkonditionering, der er nødvendig til opnåelse af den ønskede forhøjelse af A_S . Opbevaring ved omgivelsernes temperatur efter mekanisk forkonditionering kan resultere i tab af nogen varme-restituerbarhed, men vil ikke påvirke den forhøjede A_S -temperatur.

Som angivet ovenfor bliver ved en for øjeblikket

foretrukket udførelsesform for opfindelsen genstanden deformeret fra sin oprindelige form, medens den er i den austenitiske tilstand, dvs. under betingelser, hvor den fremkaldte begyndelsesdeformation i genstanden kan betragtes
5 som i hovedsagen "pseudoelastisk", men metallsammensætninger, der er egnede til anvendelse ved fremgangsmåden ifølge opfindelsen, er sædvanligvis lettere at deformere, når deres temperatur sænkes fra holdetemperaturen, dvs. til nær ved, inden for eller under området M_S-M_f . I overensstemmelse
10 hermed ligger det inden for opfindelsens rammer, at man fra begyndelsen af sænker genstandens temperatur, f.eks. til under M_S-M_f -området, til lettelse af genstandens deformation, derpå deformerer genstanden og derefter opvarmer den under anvendelse af indspændingsmidler for at holde den deformeret,
15 indtil man når den ønskede holdetemperatur over det normale A_S-A_f -område, og holder den opnåede temperatur i det nødvendige tidsrum.

I modsætning til den situation, der foreligger ved den "termiske forkonditionering", behøver opvarmningen for
20 at nå den forhøjede holdetemperatur ikke at være "langsom" som tidligere defineret, da en restitution af deformationen hindres af indspændingsmidlerne, men visse fordele vil dog blive opnået ved anvendelse af en reguleret "langsom" opvarmning til opnåelse af den forhøjede temperatur. En af
25 disse fordele er, at den beskadigelse af genstanden, som bevirkes af den kraft, der udøves mod indspændingsmidlerne under den hurtige opvarmning, når genstanden forsøger at blive restitueret, undgås eller nedsættes til et minimum, fordi spændingerne skabt ved indtræden af restitutionen
30 bliver væsentligt formindsket. En anden fordel er, at det på denne måde er muligt at forkonditionere legeringer, som kun er marginalt egnede til ren termisk eller mekanisk forkonditionering. I betragtning af, at spændingsfremkaldt martensit dannes lokalt, ligger det også inden for opfindelsens rammer at meddele en genstand en forhøjet A_S -temperatur
35 ved mekanisk forkonditionering og derefter at køle gen-

standen til under dens normale M_S -temperatur og at deformere den igen under tildeling af en dobbelt A_S -temperatur. Den anden A_S -temperatur kan ved termisk forklonditionering forhøjes til en temperatur, der ligger under den A_S -temperatur, 5 der opnås ved mekanisk forklonditionering.

Selv om indspændingsmidlerne kan fjernes ved holde-temperaturen, opnås der to fordele ved det yderligere trin, som består i at køle den deformerede genstand til en lavere temperatur før en sådan fjernelse. Den første af disse for- 10 dele er, at køling f.eks. til M_S - M_f -området eller lavere, kan formindske det arbejde, der kræves til fjernelse af indspændingsmidlerne. Den anden fordel er, at der ved køling af genstanden under indspænding fra holdetemperaturen til en lavere temperatur kan meddeles genstanden en yderligere 15 forøgelse af varme-restituerbar deformation. Efter fjernelse af indspændingsmidlerne genvindes denne deformationsforøgelse sædvanligvis under et derpå følgende "hurtigt" opvarmnings-trin over det temperaturinterval, der begrænses af den temperatur, ved hvilken indspændingsmidlet fjernes, og holde- 20 temperaturen. Denne yderligere forøgelse af deformationen har sin egen A_S -temperatur, hvilket vil sige, at genstanden har en første A_S under den A_S (anden A_S), der meddeles ved mekanisk forklonditionering. Som resultat heraf kan der opnås en to-trins varmerestitution.

25 Nogle metalmaterialer reagerer også bedre over for termisk og mekanisk forklonditionering, hvis de ældes, medens de er i austenitisk tilstand, idet en større mængde af den bibeholdte deformation da er restituerbar, jfr. også den ovenfor omtalte ansøgning nr. 5428/87. Hvis de mekaniske 30 forklonditioneringsbetingelser er de samme, vil imidlertid den A_S -temperatur, der meddeles en uældet prøve, ofte blive noget højere end for en ældet prøve af samme sammensætning. For de β -fase-legeringer af kobber, som indeholder varierende mængder af zink, aluminium, silicium, mangan eller kombina- 35 tioner deraf, og som har en M_S -temperatur på under stuetemperatur, vil en ældning ved mellem ca. 50 og ca. 125°C i et

tidsrum på mellem ca. 5 minutter og 3 eller 4 timer sædvanligvis være fyldestgørende. For andre sammensætninger kan den tid og den temperatur, som vil give de optimale resultater, variere, men bestemmes let ved sammenligning af den
5 mængde varme-restituerbar deformation, som bibeholdes af prøver med samme sammensætning, men ældet under forskellige betingelser.

Den endelige anvendelse for genstanden vil bestemme dens restituerede og restituerbare form. Den deformations-
10 kraft, som den forconditionerede genstand udsættes for, kan være en hvilken som helst af mange forskellige typer, omfattende bøjnings-, snonings-, kompressions- og ekspansionskræfter, og der kan anvendes alle hensigtsmæssige indspændingsmidler. På denne måde kan der opnås genstande, som
15 vender tilbage fra en L- eller en I-form og vice versa, ligesom det også er muligt at opnå genstande, som bliver længere eller kortere. Hule genstande, især cylindriske, der udvider sig til en større diameter eller trækker sig sammen til en mindre diameter, kan let fremstilles ved frem-
20 gangsmåden ifølge opfindelsen. Som resultat af den kendsgerning, at den mekaniske forconditionering sker i deformationsområdet, er det muligt at forconditionere kun en del af genstanden, og dette tillader indbygning i genstanden af en række deformationer, som kan bringes til restituering ved
25 forskellige temperaturer.

De følgende eksempler skal tjene til nærmere illustration af opfindelsen. De angivne procentindhold er på vægtbasis.

30 Eksempel 1

En strimmel messing på 38 x 5 x 0,75 mm indeholdende 64,6 vægt% Cu, 34,4 vægt% Zn og 1,0 vægt% Si glødedes ved 800°C til omdannelse til β -fase og bratkøledes derefter i vand. Efter denne behandling lå M_S -temperaturen på +2°C, og
35 strimlen var pseudoelastisk ved stuetemperatur, hvilket vil sige, at A_S og A_f lå under stuetemperatur.

Strimlen bøjedes til en sløjfe ved stuetempeatur (ydre fiberdeformation 7%) og holdtes indspændt i 1 time. Efter frigørelse forblev sløjfen bøjet (bibeholdt ydre fiberdeformation ca. 5%). Ved opvarmning til 200°C rettede strimlen sig ud igen.

Eksempel 2

En 14 cm lang tråd med en diameter på 0,9 mm og bestående af 70 vægt% Cu, 26 vægt% Zn og 4 vægt% Al glødedes ved 700°C i 3 minutter til omdannelse til β -fase og bratkøledes derefter i vand. Efter denne behandling var tråden pseudoelastisk ved stuetemperatur og havde en M_S -temperatur ved -3°C.

Dette prøveemne bøjedes således, at det fik en udvendig fiberdeformation på 4,3% og indspændtes i denne form ved stuetemperatur. Fra tid til anden fjernedes indspændingsmidlet, og den bibeholdte deformation målt, hvorefter tråden indspændtes igen. Den bibeholdte deformation steg som følger:

	<u>Døgn</u>	<u>Bibeholdt deformation (%)</u>
	0	0
	3	1
	18	1,4
25	193	2,8
	252	2,9

Efter den sidste måling blev den bøjede tråd neddyppet i olie af 200°C, og den rettede sig øjeblikkeligt ud. Dette eksempel viser virkningen af en forlængelse af holdetiden på den bibeholdte deformation.

Eksempel 3

Prøveemner blev udskåret af 0,76 mm tykke folier af de nedenfor anførte legeringer, og strimlerne blev glødet ved 800°C til omdannelse af β -fase og bratkølet i vand.

Alle var de pseudoelastiske ved stuetemperatur, som man måtte forvente ud fra deres lave M_S -temperaturer. Prøveemnerne blev bøjet og holdt indspændt ved stuetemperatur, således at der opnåedes en ydre fiberdeformation på 4,25%, hvorefter prøverne og indspændingsorganerne overførtes til et bad af 200°C, hvori de holdtes i 72 timer, hvorefter de bøjede indspændte prøver blev kølet til stuetemperatur. Praktisk taget ingen tilbagespringen skete, da prøverne fjernedes fra indspændingsorganerne. Prøverne blev derefter opvarmet hurtigt. Både den varme-restituerbare deformation og den temperatur, hvorover den skete, er anført i nedenstående tabel.

	Sammensætning (vægt%)		M_S	Tilbagebleven deformation	A_S	A_F
15	74Cu 7Al	18 Zn 1Mn	-40°C	0,5%	375°C	500°C
20	76Cu 8Al	12Zn 4Mn	-44°C	2,3%	375°C	525°C
25	77,5Cu 9Al	9,5Zn 4Mn	-40°C	2,75%	350°C	525°C
	77,75Cu 9Al	8,25Zn 5Mn	-28°C	2,3%	300°C	500°C
30	79,1Cu 10Al	5,9Zn 5Mn	-40°C	3%	350°C	525°C
	79Cu 10Al	4Zn 7Mn	-40°C	2,2%	350°C	525°C
35	77,5Cu 9Al	7,5Zn 6Mn	-50°C	1,6%	375°C	525°C
40	78,25Cu 9Al	5,75Zn 7Mn	0°C	1,7%	400°C	525°C

Dette eksempel viser, at den A_S -temperatur, der er meddelt legeringen, ikke afhænger af den temperatur, ved hvilken forconditioneringen udføres.

Eksempel 4

Da flere variable er vigtige for en heldig mekanisk forkonditionering, blev der udført et forsøg til prøvning af flere variable samtidigt. Der prøvedes fem variable hver i to niveauer, således at forsøgsplanen omfattede 2^5 individuelle forsøg for hver legeringssammensætning. De variable var følgende:

	β -Glødning	Kølemetode	Defor- mation	Holde- temp.	Holde tid
10	<hr/>				
	Højt niveau	650°C-5 min.	luftkøling	7,10%	125°C 150 min.
15	<hr/>				
	Lavt niveau	575°C-5 min. i vand og ældning v. 50°C i 5 min.	bratkøling	4,53%	50°C 15 min.
20	<hr/>				

Forsøgsplanen udførtes under anvendelse af fire legeringer:

25	Vægt%			M_s	
	Cu	Al	Mn	Luftkøling	Bratkøling i vand + ældning i 5 min. v. 50°C
30	79,2	10,0	10,8	-10°C	-32°C
	78,9	10,0	11,1	-41°C	-45°C
35	79,04	9,86	11,1	-30°C	-47°C
	79,07	10,13	10,8	-14°C	-32°C

Prøveemnerne fremstilledes ved luft-smeltning af de ovenfor angivne legeringer, udtøbning og udvalsning til 0,76 mm tykke plader. Strimler blev udskåret af pladerne og β -glødet ved opvarmning i 5 minutter til 575 eller 650°C, og derefter blev prøveemnerne bratkølet i vand og ældet i 5 minutter ved 50°C eller luftkølet. Alle prøveemnerne blev afkølet til -60°C og derefter deformeret og indspændt med

en deformation på enten 4,53 eller 7,1% ved bøjning af emnerne omkring en dorn og anbringelse af dem i et indspændingsorgan. Prøverne og deres indspændingsorganer blev derefter overført til bade af 50 eller 125°C, hvor de holdtes
5 i 15 eller 150 minutter. Efter denne varmebehandling blev prøverne og indspændingsorganerne kølet til -80°C, organerne fjernedes, og den bibeholdte deformation målt. De ikke-indspændte prøveemner blev overført til et bad af 0°C, og igen målt den bibeholdte deformation. Dette gentoges med
10 bade af 20, 50, 100, 200 og 400°C. Resultaterne af deformationmålingerne analyseredes til bestemmelse af størrelsen af hoved-effekterne og reaktioner med hensyn til områderne, over hvilke de variable varieredes.

Den deformation, som var varme-restituerbar i temperaturområdet over 50°C, blev taget som mål for præstationen. Statistisk analyse viste signifikans for hoved-effekten af deformation, gennemsnitligt 1,95%, og holdetemperatur, gennemsnitlig 1,65%. De andre hoved-effekter og reaktioner havde ingen signifikans i dette forsøg.

20 Inden for denne forsøgsplan var de bedste betingelser 7,1% deformation ved en holdetemperatur på 125°C, idet der herved opnåedes et gennemsnit på 3,81% varme-restituerbar deformation ved over 50°C.

25 Eksempel 5

Der undersøgte en legering, der indeholdt 64 vægt% kobber, 35 vægt% zink og 1 vægt% silicium, og som havde en M_S -temperatur på -40°C.

Prøvestykker blev β -glødet i 5 minutter ved 860°C,
30 bratkølet i vand af 20°C og derefter ældet i forskellige tidsrum i den metastabile B-fase, hvilket i denne række forsøg blev udført ved 50°C. Efter indsætning i et trækbelastningsorgan (ca. 5 minutter til indstilling på omgivelsestemperatur) blev prøvestykkerne afkølet til -65°C og
35 deformeret 8% ved trækning. Efter deformeringsen anbragtes et indspændingsorgan på træk-anordningen, således at der

ikke kunne ske nogen sammentrækning, men at emnerne var frie til at undergå en spontan udvidelse, hvis der skete en sådan. Det således indspændte prøveemne anbragtes derefter i vand af $+20^{\circ}\text{C}$, hvilket gav en meget stor opvarmningshastighed, og holdtes ved denne temperatur i forskellige tidsrum for genkøling til under M_f -temperaturen. Prøveemnerne frigjordes fra indspændingen under kølingen med en lille udvidelse sammenlignet med de oprindelige dimensioner efter deformation. Indspændingsorganet fjernedes fra apparatet, således at prøveemnerne, der nu var i deres "forkonditionerede" tilstand, frit kunne varme-restituere, når de genopvarmedes "hurtigt" i en ovn indstillet på 600°C .

A_S -temperaturerne og den varme-restituerbare deformation målt som en funktion af de to hovedvariable, nemlig ældningstiden ved 50°C før deformation og holdetiden under indspænding ved 40°C .

Resultaterne af "mekanisk forkonditionering" er anført i tabel I. For hver ældningstid ved 50°C er nogle prøveemner også blevet hurtigt opvarmet direkte efter deformation ved -65°C , for at man kunne sammenligne virkningen af "mekanisk forkonditionering" på A_S -temperaturen.

TABEL I

5	Ældnings- tid	For-kond. Holdetid ved 40°C	Deform. %	A _S -temp.°C		Restitution over A _S %	Samlet nr. 2 restitution %
				1.	2.		
		ingen for- kond.	7,05	-50	-	-	6,50
10	5 min. v. stue- temp.	10 sek.	6,90	-43	-4	5,65	6,80
		30 sek.	7,10	-37	31	4,15	5,65
		1 min.	6,90	-40	19	4,80	5,90
		5 min.	7,65	-37	59	2,90	3,95
		10 min.	6,95	-17	23	2,80	3,55
		1 time	7,10	-45	19	3,10	4,00
15		ingen for- kond.	7,25	-33	-	-	6,95
20	45 min. v. 50°C	10 sek.	6,75	-49	-9	5,30	6,55
		30 sek.	6,35	-52	4	4,40	5,85
		1 min.	7,10	-43	23	4,45	5,70
		5 min.	7,35	-40	20	5,60	7,00
		10 min.	7,20	-51	19	3,65	5,15
		1 time	7,55	-44	54	2,65	4,20
25		ingen for- kond.	7,00	-32	-	-	6,75
30	3 timer v. 50°C	10 sek.	7,25	-41	-4	5,75	7,00
		30 sek.	7,20	-32	15	4,15	5,65
		1 min.	7,05	-30	19	5,65	6,85
		5 min.	6,85	-47	13	4,80	6,20
		10 min.	7,20	-32	29	5,65	6,65
		1 time	7,30	-37	38	4,15	5,25
		5 timer	7,15	-44	44	5,60	6,75
		16 timer	7,50	-39	80	3,75	5,25
35		ingen for- kond.	7,20	-27	-	-	6,70
40	24 timer v. 50°C	10 sek.	7,05	-37	-4	5,85	6,55
		30 sek.	7,25	-42	-5	5,80	7,25
		1 min.	7,45	-43	0	5,70	6,95
		5 min.	7,50	-35	24	5,75	6,70
		10 min.	7,50	-42	35	5,85	7,25
		1 time	7,80	-34	29	4,70	5,80
		5 timer	7,40	-34	35	5,05	5,95
45		16 timer	7,15	-47	69	2,90	4,70
50	1 uge v. 50°C	ingen for- kond.	7,10	-33	-	-	6,80
		10 min.	7,00	-28	33	5,60	6,45
		1 time	7,25	-37	47	5,20	6,20
		5 timer	7,45	-37	40	5,15	6,70
		16 timer	7,55	-40	33	5,60	6,70

Tabel I viser klart den tendens, at A_S nr. 2 hæves, når holdetiden ved 40°C forøges, og i mange tilfælde overskred temperaturen 40°C . På den anden side blev den samlede varme-restituerbare deformation (dvs. A_S nr. 1 til A_S nr. 2) formindsket med stigende holdetid ved 40°C , og dette tab i restitution skete hovedsageligt i den del af den varme-restituerbare deformation, som ligger mellem A_S nr. 2 og A_f . Forøgelse af ældningstiden ved 50°C i den metastabile β -fase forbedrede stærkt de samlede varme-restituerbare deformationer, men havde kun ringe virkning på nedsættelsen af A_S nr. 2.

Virksomheden af opbevaring ved stuetemperatur blev også undersøgt. Efter den mekaniske forkonditioneringsbehandling blev prøveemner afkølet og indspændingen fjernet som tidligere, men i stedet for direkte opvarmning med stor hastighed fik prøveemnerne lov til at varme sig til stuetemperatur ($20 \pm 2^\circ\text{C}$), ved hvilken temperatur de opbevarede i op til tre uger. Efter opbevaringen blev emnerne igen anbragt i prøveapparatet og opvarmet direkte fra stuetemperatur til A_f -temperaturen.

Som eksempel kan anføres, at ét prøveemne blev ældet i én uge ved 50°C og fastholdt indspændt i 16 timer ved 40°C (det sidste resultat i tabel I). Effektiviteten af varmerestitutionen ved direkte opvarmning fra M_f efter op-hævelse af indspændingen var 74%, og denne værdi faldt til 57,4% efter opbevaring i 2 døgn, til 47,8% efter én uge og til 46,4% efter tre uger ved 20°C . Den anden A_S -temperatur holdt sig konstant på ca. 35°C .

30 Eksempel 6

Der undersøgte en legering indeholdende 63,5 vægt% kobber, 35,5 vægt% zink og 1,0 vægt% aluminium, og forsøgsbetingelserne for den "mekaniske forkonditionering" af denne legering var nøjagtig de samme som beskrevet i eksempel 5, bortset fra deformationstemperaturen, som var -50°C . Legeringen havde en M_S -temperatur på ca. -25°C . Prøveemner blev

igen ældet i metastabil β -fase ved 50°C og holdt under indspænding ved 40°C.

For emner ældet i 3 timer ved 50°C og straks hurtigopvarmet efter deformation ved -50°C var A_S nr. 1 -13°C, men der iagttoges ingen A_S nr. 2, og den varme-restituerbare deformation var 7,20% (en effektivitet på 94%). Resultaterne for et prøveemne ældet i 3 timer ved 50°C og mekanisk for-
 10 konditioneret er anført i tabel II. Sammenlignet med det tidligere eksempel på en kobber/zink/silicium-legering er forøgelsen af A_S nr. 2 ikke lige så høj som i denne legering.

TABEL II

15	Ældnings-tid	For-kond. Holdetid	Deform. %	A_S -temp. °C		Restitution over A_S nr. 2 %	Samlet restitution %
				1.	2.		
20	3 timer v. 50°C	10 sek.	7,75	-35	-1	6,60	7,10
		30 sek.	7,60	-13	40	5,45	6,40
		1 min.	7,95	-32	-5	5,60	5,90
		5 min.	8,40	-19	14	6,80	7,45
		10 min.	7,65	-24	17	6,00	6,60
25	5 timer	1 time	8,10	-15	34	5,05	6,45
		5 timer	7,60	-22	20	5,55	6,45
		16 timer	8,00	-24	25	5,90	6,55

Eksempel 7

Der undersøgtes en legering, som indeholdt 65,75 vægt% kobber, 32,25 vægt% zink og 2,00 vægt% aluminium, og som havde en M_S -temperatur på ca. -25°C.

Denne legering behandledes på samme måde som den ovenfor beskrevne og ældedes ved 50°C før deformationen og holdtes ved 40°C under indspænding ved den mekaniske forkon-
 35 ditioneringsbehandling. I tabel III er anført resultaterne for denne legering ældet i 3 timer ved 50°C.

Resultaterne for en ikke-konditioneret prøve af denne legering, ældet i 3 timer ved 50°C og straks hurtigopvarmet efter deformation ved -50°C, var følgende:
 40 A_S nr. 1 = -35°C, ingen A_S nr. 2, tilbageværende varme-restituerbar deformation 7,10 (en effektivitet på 98%).

Som det fremgår af tabel III, blev A_S nr. 2 i denne legering ikke hævet så meget som i den tidligere omtalte legering indeholdende 1% aluminium, men de varme-restituerbare deformationer var meget høje.

5

TABEL III

10	Ældnings-tid	For-kond. Holdetid	Deform. %	A_S -temp. °C		Restitution over A_S nr. 2 %	Samlet restitution %
				1.	2.		
15	3 timer v. 50°C	10 sek.	6,60	-47	-10	5,85	6,30
		30 sek.	7,50	-40	-8	6,85	7,35
	1 min.	6,85	-19	15	5,75	6,50	
	5 min.	7,10	-34	-9	5,95	6,60	
	10 min.	7,10	-22	11	5,45	6,75	
	1 time	7,70	-24	21	5,25	7,30	
20	5 timer	7,75	-19	8	5,65	6,65	
	16 timer	7,65	-25	19	6,40	7,20	

Det skal bemærkes, at den i dette eksempel anvendte aluminiumholdige legering og den i eksempel 6 anvendte ikke let kunne behandles til bibringelse af en forhøjet A_S -temperatur ved termisk forkonditionering, da det ikke var muligt i praksis at hindre varme-restitution under den langsomme opvarmning til forkonditioneringstemperaturen.

Den samme legering blev også ældet i β -fasen ved 100°C, holdt ved 40°C, ældet ved 50°C og holdt under indspænding ved 80°C. Resultaterne af disse behandlinger er anført i tabel IV for prøveemner ældet i 3 timer ved den anførte temperatur og holdt i forskellige tidsrum i den spændingsinducerede martensit-tilstand.

30

TABEL IV

5	Æld- nings- tid	Forkonditionering		Deform. %	A _S -temp. °C		Restitution	Samlet
		Holdtemp. (°C)	Holdetid		1.	2.	over A _S nr. 2 %	restitution %
10	3 timer v. 100°C	40	10 min.	7,15	-40	-6	5,65	6,50
			1 time	7,70	-33	-2	5,75	6,60
			5 timer	6,10	-28	23	4,35	5,35
			16 timer	7,35	-29	20	5,70	6,65
15	3 timer v. 50°C	80	10 min.	7,80	-33	43	4,85	6,10
			1 time	6,75	-32	53	3,40	5,10
			5 timer	8,25	-26	102	1,90	3,30

Den samlede virkning af den højere ældningstemperatur er, at den forhøjede A_S-temperatur sænkes, og at de varme-restituerbare deformationer forøges.

20 Forøgelsen af forkonditioneringstemperaturen fra 40 til 80°C har meget større virkning end ældningstemperaturen på den forhøjede A_S-temperatur. Som det fremgår af tabel IV, vil forøgelse af holdetiden ved 80°C fra 10 minutter til 5 timer hæve den forkonditionerede A_S-temperatur (A_S nr. 2) fra 43°C (dvs. mindre end holdetemperaturen) til 102°C. Varme-restitutionen bliver tilsvarende formindsket, når A_S nr. 2 forøges.

Eksempel 8

30 Der undersøgte en legering, som indeholdt 62,2 vægt% kobber, 37,3 vægt% zink og 0,5 vægt% aluminium, og som havde en M_S-temperatur på -33°C, og en legering, der indeholdt 67,5 vægt% kobber, 29,5 vægt% zink og blev behandlet på den måde, der er beskrevet for de andre kobber/zink/aluminium-
35 legeringer i eksemplerne 6 og 7. Resultaterne af mekanisk forkonditionering efter ældning i β-fasen i 3 timer ved 50°C og holdetid under indspænding i forskellige tidsrum ved 40°C, er anført i tabel V. Under de samme forsøgsbetin-
40 gelser er de varme-restituerbare deformationer mellem A_S-temperaturen nr. 2 og A_f større for legeringen med 3% aluminium end for legeringen med 0,5% aluminium.

TABEL V

5	Lege- ring	Æld- nings- tid	Forkond. Holdetid ved 40°C	Deform. %	A _S -temp. °C		Restitution over A _S %	Samlet nr. 2 restitution %
					1.	2.		
10	62,2% Cu	3 timer v. 50°C	10 min.	8,20	-41	24	3,15	4,10
			1 time	8,35	-39	34	3,80	4,80
			5 timer	7,90	-44	12	4,90	5,95
			16 timer	8,15	-47	29	4,25	5,30
15	67,5% Cu	3 timer v. 50°C	10 min.	6,65	-27	8	5,75	6,40
			1 time	7,25	-40	24	5,35	6,60
			5 timer	7,15	-33	11	6,05	6,60
			16 timer	7,60	-21	26	5,25	6,60

P A T E N T K R A V.

1. Fremgangsmåde til behandling af en genstand af et metalmateriale, som kan undergå en reversibel omdannelse mellem austenitisk og martensitisk tilstand, og som udviser
5 formerindringsegenskaber, k e n d e t e g n e t ved, at genstanden holdes under indspænding i en deformeret konfiguration ved en sådan temperatur over dens M_S -temperatur og i så lang tid, at i det mindste en del af deformationen bibeholdes, når indspændingen fjernes, idet der foreligger
10 martensitisk tilstand, og metalmaterialets A_S -temperatur forøges til en værdi over den normale under mindst én opvarmningscyclus.

2. Fremgangsmåde ifølge krav 1, k e n d e t e g n e t ved, at genstanden holdes under indspænding ved en temperatur, der ligger under M_D -temperaturen.
15

3. Fremgangsmåde ifølge krav 1 eller 2, k e n d e t e g n e t ved, at genstanden deformerer, medens den er i den austenitiske tilstand.

4. Fremgangsmåde ifølge krav 1 eller 2, k e n d e t e g n e t ved, at genstanden deformerer ved en
20 temperatur, der ligger under holdetemperaturen og at dens temperatur forøges til holdetemperaturen, medens genstanden holdes under indspænding.

5. Fremgangsmåde ifølge krav 4, k e n d e t e g n e t ved, at genstanden deformerer ved
25 ca. dens M_S -temperatur.

6. Fremgangsmåde ifølge krav 4, k e n d e t e g n e t ved, at genstanden deformerer ved en temperatur, der ligger i M_S - M_f -området.

7. Fremgangsmåde ifølge krav 4, k e n d e t e g n e t ved, at genstanden deformerer ved en
30 temperatur, der ligger under M_S - M_f -området.

8. Fremgangsmåde ifølge et hvilket som helst af kravene 1-7, k e n d e t e g n e t ved, at indspændingskraften
35 fjernes efter afslutning af behandlingen, og at genstandens temperatur nedsættes til under M_S -temperaturen før fjernelsen

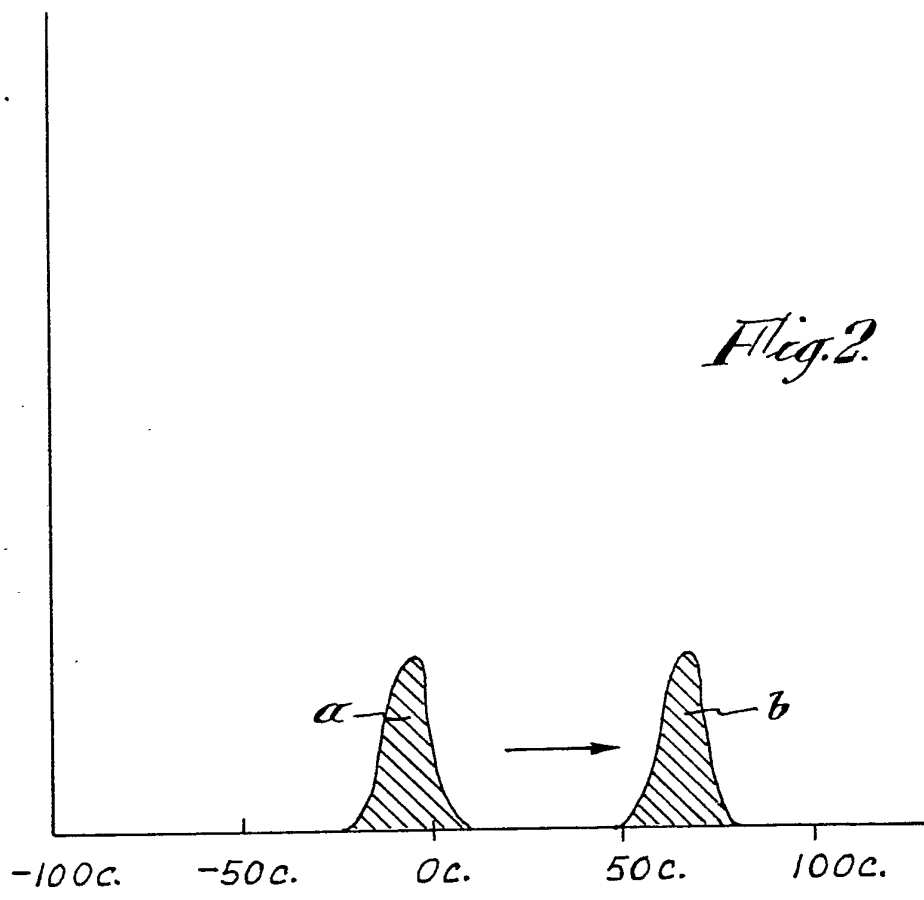
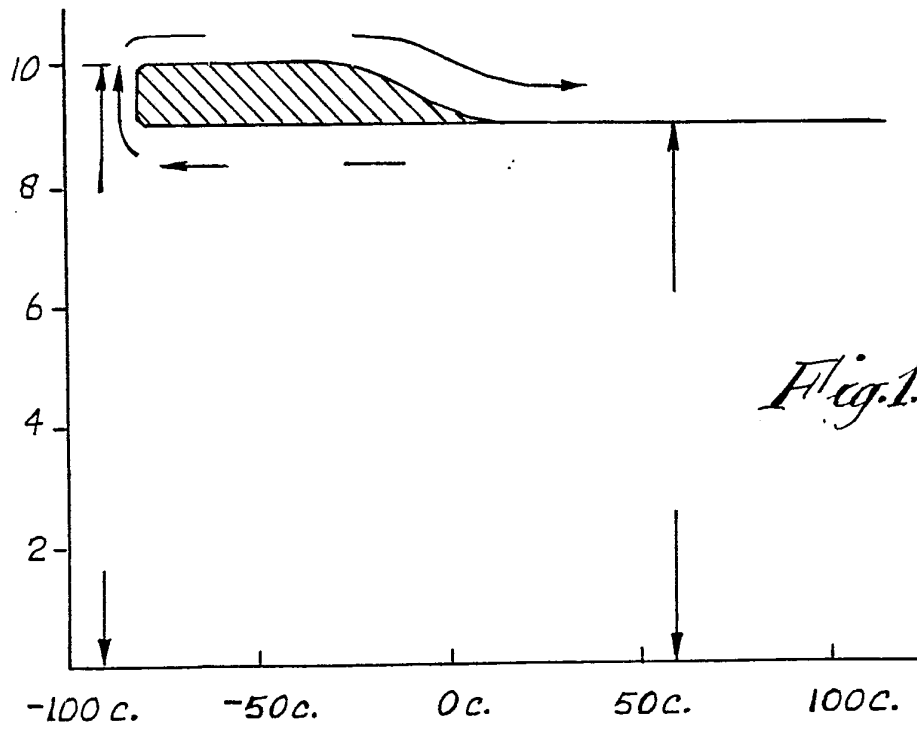
af indspændingskraften.

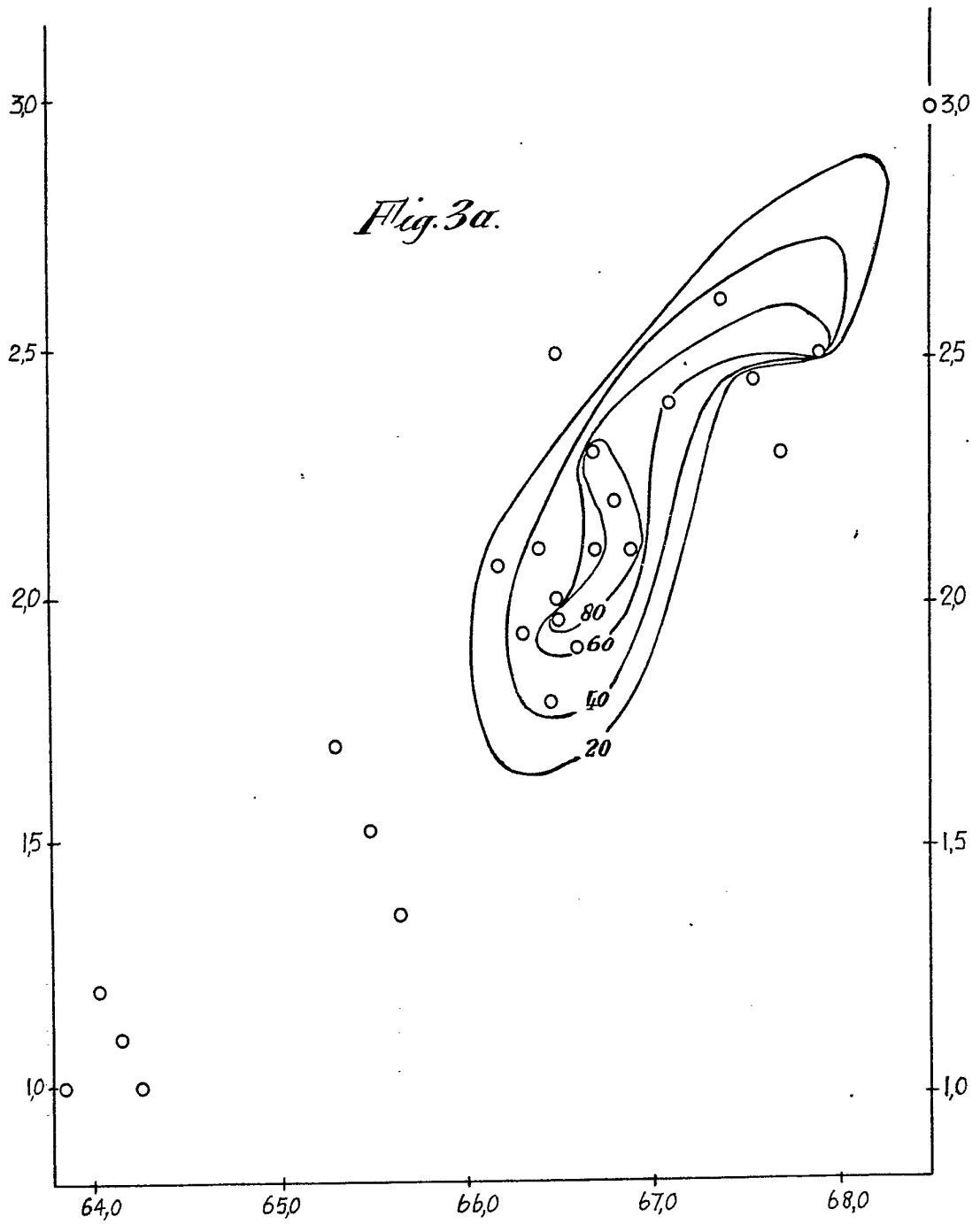
9. Fremgangsmåde ifølge krav 8,
k e n d e t e g n e t ved, at temperaturen nedsættes til
en værdi i M_S - M_F -området før fjernelse af indspændingskraf-
5 ten.

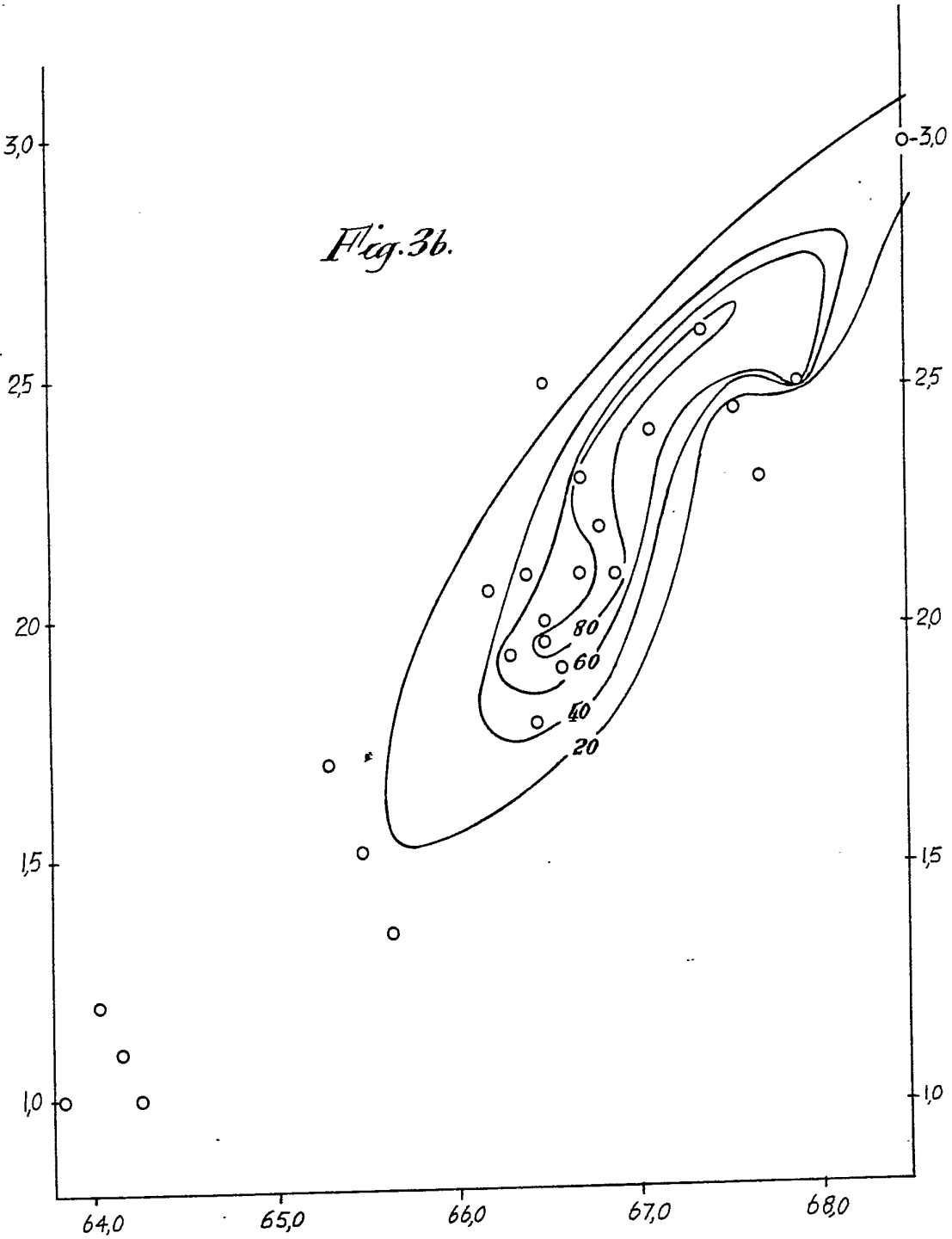
10. Fremgangsmåde ifølge krav 8,
k e n d e t e g n e t ved, at genstanden køles til en tem-
peratur under M_S - M_F -området før fjernelse af indspændings-
anordningen.

10 11. Fremgangsmåde ifølge et hvilket som helst af de
foregående krav, k e n d e t e g n e t ved, at genstanden
deformeres, medens den befinder sig under indspænding i den
martensitiske tilstand, og at legeringen langsomt opvarmes
til holdetemperaturen.

15 12. Fremgangsmåde ifølge et hvilket som helst af
kravene 1-11, k e n d e t e g n e t ved, at genstanden før
sin deformation, og medens den befinder sig i den austeni-
tiske tilstand, holdes på en temperatur, der ligger over
 M_S -temperaturen, i et tidsrum, der er tilstrækkeligt til at
20 nedsætte tabet af reversibilitet mellem den martensitiske
og den austenitiske tilstand, og til forbedring af dens
modtagelighed for behandling på den angivne måde.







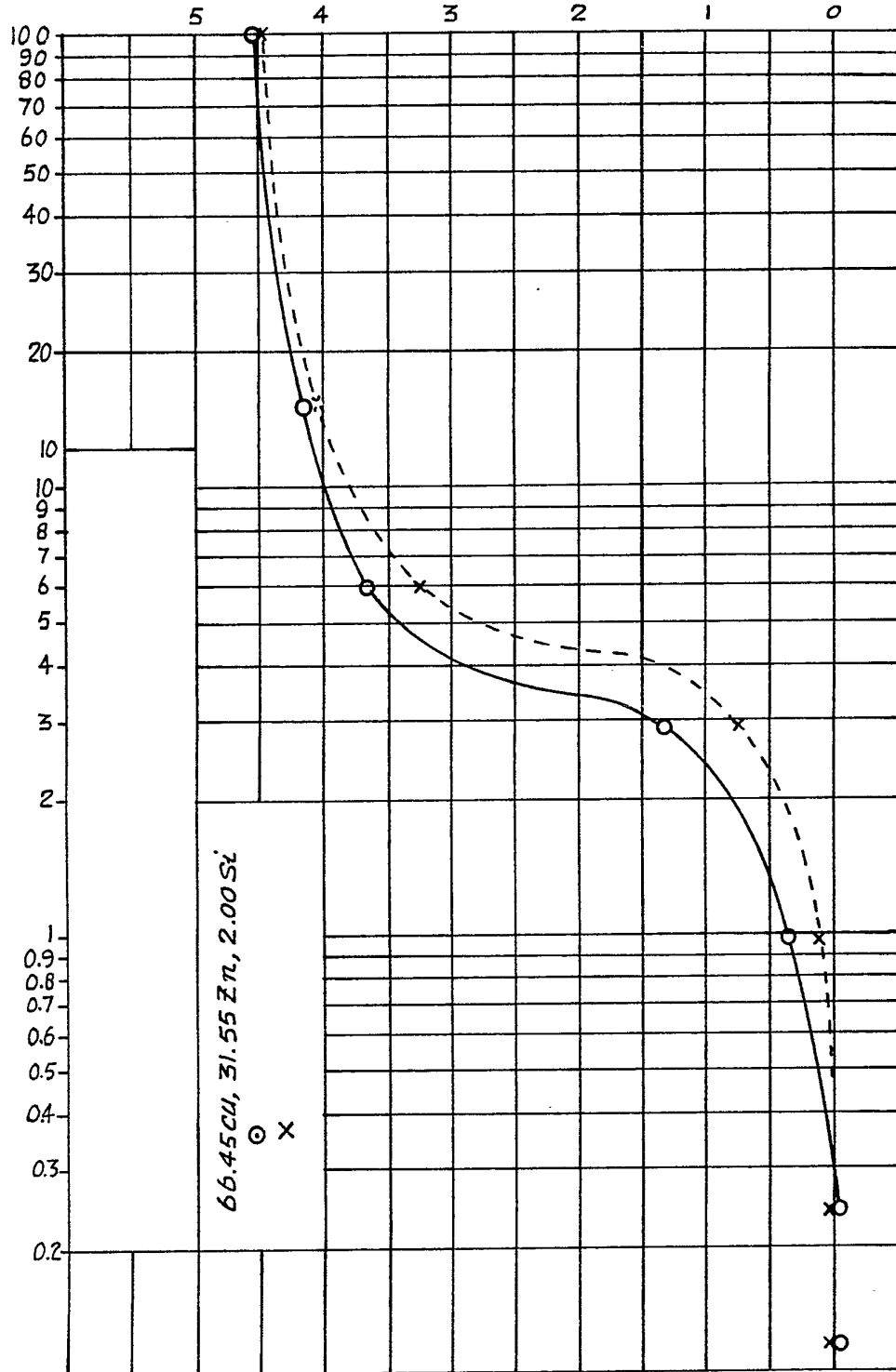


Fig. 4.

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

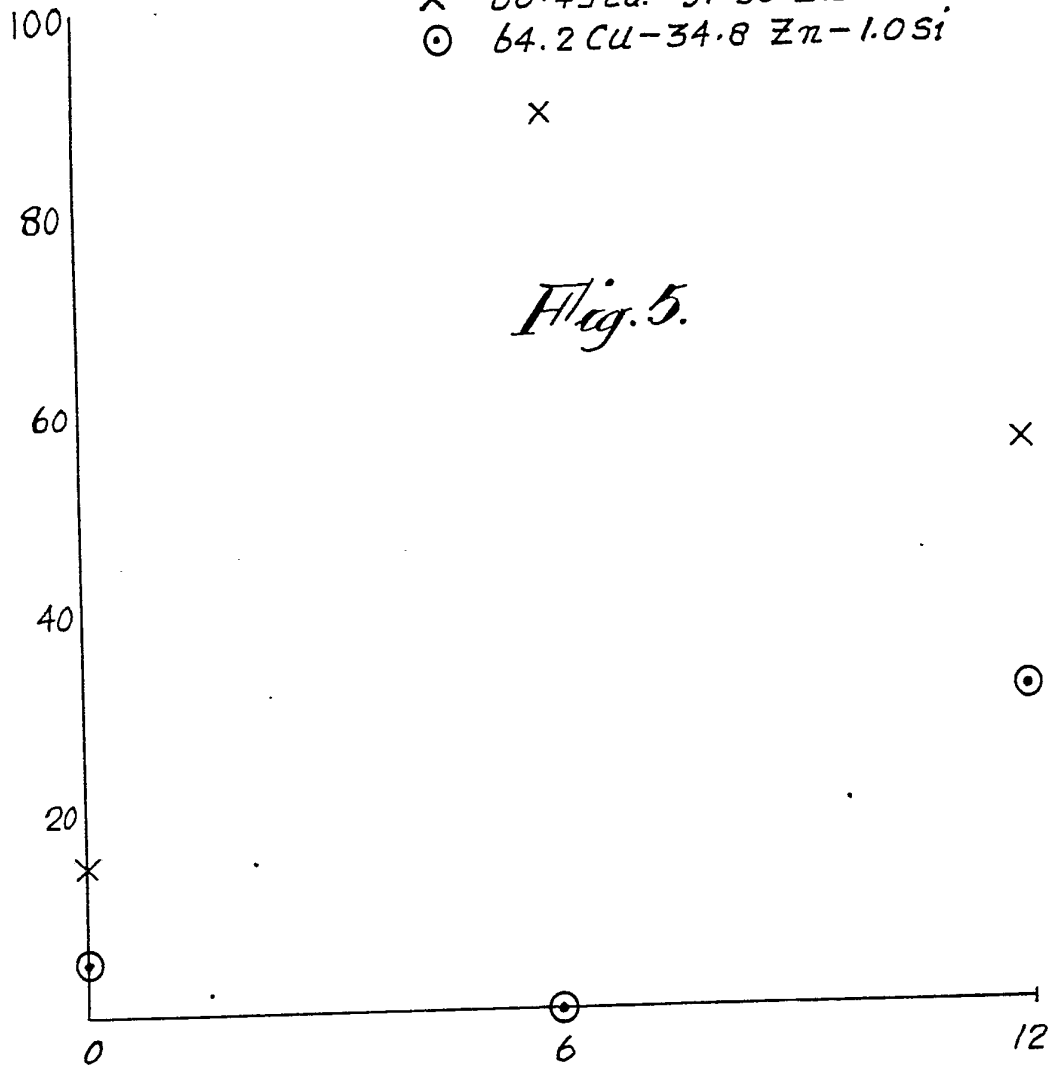


Fig. 5.

