

(19) DANMARK



PATENTDIREKTORATET
TAASTRUP

(12) FREMLÆGGELSESSKRIFT

(11) 158914 B

(21) Patentansøgning nr.: 1266/82

(51) Int.Cl.⁵ C 22 F 1/04

(22) Indleveringsdag: 22 mar 1982

(41) Alm. tilgængelig: 24 sep 1982

(44) Fremlagt: 30 jul 1990

(86) International ansøgning nr.: -

(30) Prioritet: 23 mar 1981 LU 83249

(71) Ansøger: *LAMITREF ALUMINIUM; Frederic Sheidlaan; 2620 Hemiksem, BE

(72) Opfinder: Leo *Cloostermans-Huwaert; BE

(74) Fuldmægtig: Kontor for Industriel Eneret

(54) Fremgangsmåde til fremstilling af trådstænger af en udfældningshærdbar aluminiumslegering

(56) Fremdragne publikationer

FR pat. nr. 2388893, 2298612
GB pat. nr. 1533892

(57) Sammendrag:

1266-82

Fremgangsmåde til fremstilling af aluminiumstrådstænger.

En fremgangsmåde til fremstilling af trådstænger af udfældningshærdbart aluminium. Det første trin ved fremgangsmåden omfatter et trin med alene termisk behandling ved kontinuerlig bratkøling af en kontinuerlig stang til opnåelse af en genopbygget og overmættet struktur. Det andet trin følger umiddelbart efter det første trin i den samme kontinuerlige operation og omfatter bearbejdning, fortrinsvis valsning, af stangen ved ældningstemperatur til trådstænger, som efterfølgende underkastes ældning. Der opnås aluminiumstrådstænger med gode egenskaber med hensyn til trækstyrke, duktilitet og specifik elektrisk modstand.

DK 158914 B

Den foreliggende opfindelse angår en fremgangsmåde til fremstilling af trådstænger af en udfældningshærdbar aluminiumslegering, såsom Al-Cu, Al-Cu-Mg, Al-Mg-Zn-Cu og Al-Mg-Si, og af den i indledningen til krav 1 angivne art.

- 5 Denne fremgangsmåde er særlig anvendelig til aluminiumlegeringer til elektrisk ledningstråd, dvs. aluminiumlegeringer, som kan behandles til tråd med en specifik modstand på højst $32,8 \text{ milliohm} \times \text{mm}^2/\text{m}$, selvom fremgangsmåden ikke er begrænset til denne aluminiumstype, der som legeringselementer til
- 10 udfældning omfatter 0,3 til 0,9 vægt% magnium, 0,25 til 0,75 vægt% silicium og 0 til 0,60 vægt% jern, hvor resten er aluminium og urenheder (dvs. grundstoffer i en mængde på mindre end 0,05 vægt%). Trådstænger er som bekendt udgangsproduktet til efterfølgende trækning eller valsning, hvor aluminiums-
- 15 trådens tværsnit reduceres. Trådstængerne har sædvanligvis en diameter på 5-20 mm, i de fleste tilfælde mellem 7 og 12 mm, og en trækstyrke som er betydeligt lavere end trækstyrken hos det slutprodukt, som vindes ved trækning, fx for det ovennævnte aluminium til elektrisk ledningstråd en trækstyr-
- 20 ke på mindre end 250 N/mm^2 , i alle tilfælde mindre end 300 N/mm^2 . Som bekendt underkastes tråden efter trækningen en hærkning, under hvilken der dannes udfældning af de legeringselementer, som stadig var forblevet i opløsning, og denne hærkning forbedrer trådens mekaniske og elektriske
- 25 egenskaber.

- Den konventionelle fremgangsmåde til produktion af aluminiumstrådstænger omfatter et første trin med varmevalsning, hvor der dannes ruller af trådstænger, efterfulgt af en diskontinuerlig opløsningsbehandling og bratkøling af de
- 30 ved varmevalsningen vundne ruller. Hvis rullerne i stedet simpelthen nedkøles efter valsningen, vil legeringselementerne udfældes med det resultat, at der ikke mere befinder sig legeringselementer i opløsning til den efterfølgende hærkning. Dette er grunden til at disse elementer atter
- 35 bringes i opløsning efter valsning og tvinges til at forblive i overmættet opløsning efter den umiddelbart efterfølgende bratkølingsoperation.

Denne opløsningsbehandling er kostbar med hensyn til

opvarmningsenergi, og desuden kræver den, at fremstillingen foretages på en diskontinuerlig måde. Dette er grunden til, at det tidligere er foreslået at afslutte det første trin med varmevalsning ved en så høj temperatur som mulig, for at

5 holde den størst mulige mængde af legeringselementer i opløsning og at bratkøle trådstængerne øjeblikkeligt og ved en kontinuerlig proces efter udgangen fra valsemøllen til en bratkølingstemperatur på en sådan måde, at disse legeringselementer holdes i en overmættet opløsning.

10 Ved en sådan bratkølingstemperatur er atomernes mobilitet så lav, at den metallografiske struktur bliver praktisk talt fastlåst i den tilstand, den befinder sig i (bortset fra hærdfænomener): de legeringselementer, som er forblevet i overmættet opløsning vil således tilbageholdes

15 og udfældningerne og dislokationerne ændres ikke. For en given legering har området for "bratkølingstemperaturer" derfor en øvre grænse, som ikke er en nøje og absolut grænse. Denne øvre grænse er bestemt af en tilstrækkelig immobilitet af atomerne, som ikke giver en væsentlig ændring af den metallografiske struktur i løbet af en tidsperiode af stør-

20 relsesordenen for en kontinuerlig fremgangsmåde til behandling af aluminium, dvs. i størrelsesordenen på 1 minut. Den acceptable maksimale grænse for hver legeringstype er tilstrækkelig kendt af fagmanden. For det ovennævnte aluminium

25 til elektrisk ledningstråd kan den maksimale bratkølingstemperatur sættes til 260°C, skønt den grænse ikke er nogen absolut grænse.

Det har også været foreslået at benytte et første varmevalsningstrin, som slutter ved så høj en temperatur som

30 mulig, for at holde et maksimum af legeringselementer i opløsning, efterfulgt af en bratkøling, hvorunder metallet bearbejdes, idet der tages hensyn til, at metallet bearbejdes under en periode, hvori det går gennem det temperaturområde, der ligger mellem den maksimale bratkølingstemperaturgrænse

35 og den mindste temperaturgrænse for varmebearbejdning. Til trods for at der udførtes en bratkøling, blev det iagttaget, at legeringselementerne i opløsning udfældede under denne termomekaniske operation. Mængden af legeringselementer, som

blev holdt i opløsning til det efterfølgende hærkningstrin, viste sig at være betydelig mindre end ønskeligt, og dette syntes at være en ulempe. Men det blev iagttaget, at de således vundne trådstænger var af en sådan type, for hvilken
5 nødvendigheden af hærkning efter efterfølgende trækning var elimineret enten delvis eller totalt, afhængigt af om udfældningen havde været partiel eller total. Således fremkom den forventede ulempe ikke, og der vandtes trådstænger med egenskaber, som muliggjorde betydeligt lettere opfyldelse af
10 de foreskrevne krav for mekaniske og elektriske egenskaber hos tråd trukket fra sådanne trådstænger. Desuden undgik man det kostbare trin til opløsningsbehandling, og der var opnået en kontinuerlig fremgangsmåde. Den i ansøgningen omhandlede fremgangsmåde adskiller sig imidlertid fra denne fremgangsmåde ved rækkefølgen og udformningen af fremgangs-
15 mådetrinnene.

Det er formålet med den foreliggende opfindelse at tilvejebringe et alternativ til den sidste fremgangsmåde, som giver de samme fordele, og som giver en yderligere frihedsgrad i valget af fremgangsmådens parametre til opnåelse
20 af de ønskede kombinationer af trækstyrke, duktibilitet og ledningsevne.

Dette formål opnås ved fremgangsmåden ifølge opfindelsen.

25 Fremgangsmåden ifølge opfindelsen omfatter et første, udelukkende termisk trin (dvs.: uden en samtidig bearbejdningsoperation), hvor en kontinuerlig stang af aluminiummet (som fx forlader en valsemølle og er i delvis afkølet tilstand eller forlader et kontinuerligt støbehjul eller en
30 ekstruderingspresse) bratkøles ved en kontinuerlig proces ned til en bratkølingtemperatur, som defineret ovenfor, hvorved der opnås en genopbygget struktur med legeringselementerne i overmættet opløsning. Med "genopbygget struktur" menes en metallografisk struktur, hvor kornene, der er blevet forlænget ved bearbejdningstrinnet, er blevet reorganiseret under
35 indflydelse af varme til en mere eller mindre isotropisk struktur, som er strukturen vundet efter varmebearbejdning. En minimumsmængde af legeringselementer i overmættethed er

også nødvendig, fx mindst 30% af de udfældelige elementer ved opløsningsbehandlingstemperaturen. Bratkølingen er derfor tilstrækkelig hurtig og starter fra en tilstrækkelig høj temperatur til at opnå dette mål.

5 Fremgangsmåden ifølge opfindelsen er imidlertid ejendommelig ved, at der foretages et andet trin, der er termomekanisk og ligger efter det første trin i den samme kontinuerlige operation, hvor stangen bearbejdes ved en hær-
ningstemperatur, og ved at de således vundne stænger før
10 enhver efterfølgende bearbejdning underkastes en hærkning.

En "hærkningstemperatur" er en temperatur, som ligger inden for et temperaturområde, for hvilket den maksimale grænse er den samme som den maksimale bratkølingstemperaturgrænse som defineret ovenfor, og for hvilken den nedre
15 grænse vil blive defineret i det følgende. En hærkningstemperatur er således en temperatur, ved hvilken atomerne er immobiliseret, bortset fra hærkningsfænomener, som optræder i et tidsrum, der er længere end varigheden af en kontinuerlig operation, dvs. i størrelsesordenen på 1 minut. Når i-
20 midlertid strukturen underkastes bearbejdning ved hærkningstemperatur, er det blevet iagttaget, at udfældningen af legeringselementer under en sådan bearbejdning og under en efterfølgende hærkning giver en metallografisk struktur, som efter koldbearbejdning til tråd udviser en fremragende
25 trådkvalitet og eliminerer delvis eller totalt nødvendigheden for hærkning efter trådtrækning i overensstemmelse med, at der stadig er legeringselementer tilbage i overmættet opløsning. En sådan bearbejdning ved hærkningstemperatur er fortrinsvis en valsning, som reducerer tværsnitsarealet.

30 For en given aluminiumslegering skal den nedre grænse for hærkningstemperaturen bestemmes i det følgende. Det er kendt, at en aluminiumslegering med en given sammensætning, der er i en ikke koldbearbejdet tilstand, men som omfatter legeringselementer i overmættet tilstand, ved opløsningsbe-
35 handling og bratkøling ned til en bratkølingstemperatur, hvis en sådan aluminiumslegering underkastes hærkning, først vil udvise en stigning i trækstyrke med en maksimal værdi og derpå udvise et fald i trækstyrken. Dette forhold skyldes,

at legeringselementerne udfælder under hærddningen, mens de allerede eksisterende udfældede dele yderligere konglomerer. Den første effekt, som får trækstyrken til at stige, dominerer i begyndelsen, mens den anden virkning, som får trækstyrken til at falde, dominerer ved slutningen. Minimumsgrænsen for hærddningstemperaturen, som for en given aluminiumslegering med en given mængde af legeringselementer i overmættet opløsning, er den temperatur, hvor dette aluminium i ikke koldbearbejdet tilstand når sin maksimale trækstyrke efter 3 dage (den koldbearbejdede struktur når sin maksimalværdi tidligere på grund af blødgøringen af den koldbearbejdede struktur). For det ovennævnte aluminium til elektrisk ledningstråd er denne nedre grænse ca. 130°C.

Et vigtigt punkt ved denne fremgangsmåde er, at det andet trin gennemføres umiddelbart efter bratkølingsoperationen i det første trin (for ikke at tillade nogen som helst ændring af strukturen, når mellemproduktet efterlades uden behandling i et stykke tid), og således i den samme kontinuerlige operation sammen med det første trin. Til dette formål foretrækkes det at gennemføre bratkølingen i det første trin ned til en hærddningstemperatur, som defineret ovenfor, således at det andet trin kan starte uden nogen som helst mellemliggende opvarmning.

Den hærddning, som følger efter bearbejdningstrinnet ved hærddningstemperatur, kan gennemføres direkte ved udgangen fra det instrument, som udfører en sådan bearbejdning, fx ved fri afkøling til den omgivende luft af trådstængerne, og dette fremkalder en udfældning af samtlige eller kun en del af de legeringselementer, der stadig er tilbage i overmættet tilstand. Det kan siges, at der er sket en hærddning, når en betydelig del, fx den halve mængde af de elementer, der kan udfældes efter bratkøling, faktisk udfældes under en sådan hærddning. Det foretrækkes imidlertid at gennemføre en total udfældning for at eliminere enhver nødvendighed for hærddning efter trådtrækning og for at eliminere alle forandringer af egenskaberne ved trådstængerne, efter at de er blevet fremstillet. Når temperaturen ved udgangen fra det instrument, som udfører bearbejdningsoperationen ved hærdd-

ningstemperatur, kommer tæt ved den nedre grænse for hær-
ningstemperaturen, vil det i visse tilfælde være nødvendigt
at forsinke afkølingen af trådstængerne ved denne udgang
(dvs. langsommere end den frie afkøling til den omgivende
5 luft). Dette gøres ved at omgive trådstængerne med varmeiso-
latorer, fx ved at danne trådruller, som indesluttet i
tilstrækkeligt lukkede kasser for at undgå nedkøling ved
luftkonvektion. Trådstængerne kan også ved opvarmning holdes
i en bestemt tidsperiode ved den nævnte udgangstemperatur
10 eller temperaturen kan endog hæves til over udgangstempera-
turen, for så vidt som den efterfølgende hærkning så gennem-
føres.

Den kontinuerlige stang, som benyttes ved begyndelsen
af fremgangsmådens første trin, kan være en stang, som for-
15 lader et varmeformende instrument, såsom en ekstruderings-
presse eller et støbehjul. En sådan varmeformningsoperation
vil fortrinsvis omfatte en kontinuerlig støbeoperation, som
leverer en aluminiumstreng, der er rettet mod indgangen til
en valsemølle og en varmevalsningssproces, ved hvilken tvær-
20 snitsarealet af strengen reduceres til dannelse af den nævn-
te stang. Med "varme"-valsning menes en valsning med genop-
bygning under operationen eller umiddelbart derefter før den
efterfølgende bratkøling. For det ovennævnte aluminium til
elektrisk ledningstråd betyder dette en valsning med en ud-
25 gangstemperatur på over 350°C. Temperaturen ved indgangen
til valsemøllen vil fortrinsvis være en temperatur, som
overskrider opløsningsbehandlingstemperaturen, hvilket for
aluminiummet til elektrisk ledningstråd betyder en tempera-
tur på over 470°C.

30 Opfindelsen er specielt anvendelig til det aluminium
til elektrisk ledningstråd, hvis sammensætning er angivet
ovenfor. I en foretrukket udførelsesform vil der blive an-
vendt en kontinuerlig fremgangsmåde, som i produktionsrække-
følge omfatter: en kontinuerlig støbningsoperation, indfø-
35 ring af strengen, som forlader det kontinuerlige støbnings-
instrument ved en temperatur på over 470°C i en første val-
semølle, kontinuerlig valsning ved en temperatur på over
350°C til formning af en kontinuerlig stang, kontinuerlig

bratkøling af denne stang ved udgangen fra den første valse-
mølle, indføring af den stang, der forlader bratkølingsin-
strumentet ved en temperatur på over 130°C i en anden valse-
mølle, kontinuerlig valsning ved en temperatur på over
5 130°C, og hærkning ved fri afkøling ved hjælp af omgivende
luft. Indgangstemperaturen til den anden valsemølle skal re-
guleres således, at der opnås en udgangstemperatur fra val-
semøllen liggende fra 155 til 185°C, fortrinsvis 175°C.

Der har eksempelvis været anvendt en Al-Mg-Si-lege-
10 ring af typen 6201 med følgende sammensætning: Mg: 0,60%,
Si: 0,55%, Fe: 0,18%, Zn: 0,006%, Cu: 0,004%, Mn: 0,015% Ti:
0,001% og V: 0,004%. Der kan imidlertid anvendes aluminium,
som er rigere eller fattigere på legeringselementer, afhæn-
gig af hvilken pris man kan tillade sig eller må spare for
15 at opnå en bedre eller mindre god kvalitet som følge af sam-
mensætningen. Men dette påvirker ikke mulighederne for den
udvalgte legering til at forbedre kvaliteten ved anvendelse
af fremgangsmåden ifølge opfindelsen.

Efter at legeringen med den ovenfor angivne sammen-
20 sætning forlader et kontinuerligt støbehjul i form af en
streng med et tværsnitsareal på ca. 2000 mm², indføres den
ved en temperatur på 490°C i en kontinuerlig valsemølle med
9 passager. Den forlader valsemøllen i form af en rund stang
med en diameter på 15 mm og ved en temperatur på 430°C. Ved
25 denne temperatur er de fleste af legeringselementerne stadig
i opløsning, da kun 20% af det magnium og silicium, som kan
udfældes i form af Mg₂Si, da er i den udfældede form.

Denne stang, som forlader den første kontnuerlige
valsemølle med en hastighed på ca. 2,4 m/sek., føres derpå
30 mod indgangen til en anden kontinuerlig valsemølle, hvis
indgang er placeret ca. 2 m fra udgangen fra den første val-
semølle. Mellem valsemøllerne passerer stangen gennem et rør
med en diameter på 30 mm og med en længde på 1 m, hvilket
rør forsynes med en kølende emulsion i modstrøm, hvis gen-
35 nemløb kontrolleres på en sådan måde, at stangen forlader
røret ved en temperatur på 220°C. Der kan også benyttes an-
dre metoder til bratkøling, fx ved sprøjtning med en emulsi-
on rettet mod stangen, for så vidt temperaturen kan regule-

res til den ønskede temperatur.

Den anden kontinuerlige valsemølle omfatter fire passager med samme tværsnitsreduktion, der reducerer stangen til trådstænger med en diameter på 9,5 mm, der forlader den anden valsemølle ved en temperatur på 175°C og med en hastighed på ca. 6 m/sek. Trådstængerne bliver derpå oprullet eller opspolet i en rulle og anbringes i en beholder fremstillet af ildfast tegl. Det vigtige punkt er, at beholderen lukkes, således at nedkølingen med fri luftkonvektion omkring rullen undgås. I eksemplets tilfælde var nedkølingshastigheden 2°C pr. time.

De vundne egenskaber kan nu sammenlignes med egenskaberne vundet ved trådstænger af samme sammensætning, fremstillet ved den konventionelle metode, som er: kontinuerlig støbning efterfulgt af kontinuerlig varmevalsning, oprulning på ruller, som frit nedkøles i den omgivende luft, efterfølgende opløsningsbehandling, hvor rullerne holdes i en ovn i 8 timer ved en temperatur på 550°C og derpå bratkøling af rullerne ned til en temperatur på ca. 45°C.

Disse to typer trådstænger med en diameter på 9,5 mm, den ene fremstillet ifølge den foreliggende opfindelse og den anden fremstillet ifølge den konventionelle metode, trækkes derpå til tråd ned til en diameter på 3,60 mm og derpå yderligere til 3,15 mm. Den ved den konventionelle metode vundne tråd underkastes derefter en hærkning i løbet af 5 timer ved 160°C.

P a t e n t k r a v

1. Fremgangsmåde til fremstilling af trådstænger af en
5 udfældningshærdbar aluminiumlegering, såsom Al-Cu, Al-Cu-Mg, Al-Zn-Mg, Al-Mg-Zn-Cu, Al-Mg-Si, især en legering med 0,6 - 0,9 vægt% magnium, 0,25 - 0,75 vægt% silicium og 0 - 0,60 vægt% jern, idet resten udgøres af aluminium og urenheder, og omfattende et første udelukkende termisk trin, hvor en
10 kontinuerlig fremstillet stang af aluminiummet bratkøles ved en kontinuerlig proces ned til en bratkølingstemperatur, hvorved der opnås en genopbygget struktur med legeringselementerne i overmættet opløsning,
k e n d e t e g n e t ved et andet trin, der er termo-mek-
15 nisk og ligger efter det første trin i samme kontinuerlige operation, hvor stangen bearbejdes ved en hærkningstemperatur, og ved at de således vundne trådstænger derefter før en eventuel efterfølgende bearbejdning underkastes en hærkning.
2. Fremgangsmåde ifølge krav 1,
20 k e n d e t e g n e t ved, at hærkningen gennemføres under en fri afkøling af trådstængerne til omgivelsernes temperatur umiddelbart efter bearbejdningen ved hærkningstemperaturen.
3. Fremgangsmåde ifølge krav 1,
25 k e n d e t e g n e t ved, at hærkningen gennemføres ved en forsinket afkøling af trådstængerne umiddelbart efter bearbejdningen ved hærkningstemperaturen.
4. Fremgangsmåde ifølge krav 1,
k e n d e t e g n e t ved, at hærkningen gennemføres ved at
30 holde trådstængerne på hærkningstemperaturen ved hjælp af opvarmning umiddelbart efter bearbejdningen ved hærketemperaturen.
5. Fremgangsmåde ifølge et hvilket som helst af kravene 1 - 4, k e n d e t e g n e t ved, at bearbejdningen ved
35 hærkningstemperatur er en valsning med reduktion af tværsnitsarealet.
6. Fremgangsmåde ifølge et hvilket som helst af kravene 1 - 5, k e n d e t e g n e t ved, at stangen i det første

trin bratkøles til en hærkningstemperatur.

7. Fremgangsmåde ifølge et hvilket som helst af kravene 1 - 6, k e n d e t e g n e t ved, at stangen i det andet trin bearbejdes ved en temperatur på mellem 130°C og 260°C.

5 8. Fremgangsmåde ifølge krav 7,

k e n d e t e g n e t ved, at stangen bearbejdes i en kontinuerlig valsemølle, som forlades af trådstængerne ved en udgangstemperatur på mellem 155°C og 185°C, at trådstængerne oprulles, og at de således dannede ruller derefter afkøles i

10 en lukket beholder.