

NORGE



**STYRET
FOR DET INDUSTRIELLE
RETTSVERN**

Utlegningskrift nr. 124830

Int. Cl. C 04 b 21/00 kl. 80b-9/10

Patentsøknad nr.	1875/70	Inngitt	15.5.1970
Løpedag	-		
Søknaden alment tilgjengelig fra			16.11.1971
Søknaden utlagt og utlegningskrift utgitt			12.6.1972
Prioritet begjært fra:	-		

Sentralinstitutt for industriell forskning,
Forskningsveien 1, Blinderen, Oslo 3.

Oppfinnere: Aksel Jebens, Grøndahls vei 14, 1347 Hosle og
Richard Hoegh Westergaard, Langmyrgrenda 36 d,
Oslo 8.

Fullmektig: Cand mag. Johan H. Gørbitz.

Fremgangsmåte til å redusere termiske restspenninger
i en blokk av uorganisk skummateriale.

Denne oppfinnelse angår en fremgangsmåte til fremstilling av elementer av uorganiske skummaterialer, spesielt går den ut på å redusere termiske spenninger i en blokk av uorganisk skummateriale, fremstilt av f.eks. et leireholdig materiale, glasspulver eller aggregater derav, slagg, flotasjonsavfall og lignende ekspanderbart materiale. Slike blokker eller elementer av disse er særlig anvendelige som bygge- og isolasjonsmaterialer, og de fremstilles ved charging av f.eks. pellets, granulater eller pulver i form, på en transportør eller i en kombinasjon av disse. I pelletene kan det være naturlig tilstede eller tilsatt drivmiddel som enten alene eller ved reaksjon med materialet avgir gass samtidig som materialet smelter, hvorved det dannes et

124830

høyviskøst skum som kan stabiliseres ved kjøling.

Det er kjent to forskjellige fremstillingsmetoder for slike skumelementer, hvorav den ene går ut på engangscharging i formen og deretter oppvarming til ekspansjon slik det fremgår av U.S. patentene nr 1.845.350 og 1.858.499, og den andre metoden går ut på sjiktvis oppbygging med pellets i formen under kontinuerlig varmetilførsel slik det fremgår av f.eks. U.S. patentene 1.877.137 og 1.882.082. Foreliggende oppfinnelse kan anvendes i forbindelse med begge disse fremgangsmåter.

Et særlig anvendelig skumelement av den type som kan fremstilles på disse måter, er skumleire, og oppfinnelsen skal i det følgende beskrives med henvisning til et slikt materiale alene, fordi det kan forstås at hvilke som helst uorganiske materialer som kan smeltes sammen og ekspanderes på lignende måte som leire, kan anvendes.

Det er i ovennevnte patentskrifter nevnt som en betingelse at materialet varmebehandles og at kjølingen foretaes meget langsomt for å unngå at blokkene sprekker på grunn av termiske spenninger, uten at det er spesifisert nærmere om det dreier seg om permanente, termiske restspenninger eller temporære spenninger, og heller ikke er det spesifisert om begrepet blokk er å oppfatte som en enkeltvis oppbygget blokk, som en lang skumleirestreng som kommer fra ovnen, eller som enheter i anvendelige formater som er kappet av denne strengen, eller ved mindre elementer laget ved oppdeling av enhetene. Oppdelingen er tidligere foretatt enten i plastisk tilstand, eller i nedkjølt tilstand etter lang nedkjølingstid. Det er å anta at den lange nedkjølingstid har vært en årsak til at disse utmerket egnede byggeelementene ennå ikke har fått noen anvendelse.

Foreliggende oppfinnelse løser kjøleproblemene ved å angripe disse fra grunnen av, og resulterer i at mesteparten av de termiske restspenningene i de ferdiglagede blokkene er blitt eliminert når temperatur-utjevning ved omgivelsestemperatur har funnet sted. Oppfinnelsen kan gjerne utøves i forbindelse med den hurtige kjøleprosess som er beskrevet i norsk patentsøknad nr 1874/70, så vel som den som er beskrevet i norsk patentsøknad nr 1872/70 hvorved en hurtig kjøling kan utføres etter størkning, forutsatt at den der beskrevne oppdelingsmetode blir anvendt.

Problemene som angår eliminering av restspenninger er løst ved fremgangsmåten ifølge foreliggende oppfinnelse som er karakte-

risert ved at de materialer som anvendes i de ytre partier for produksjon av blokken har slike egenskaper at de ytre partier på en eller flere sider av blokken, etter oppvarming og smelting, viser seg å ha en høyere termisk utvidelseskoeffisient enn de øvrige partier av blokken.

Før foreliggende oppfinnelse forklares, skal beskrives hvorfor sprekkdannelser i skumleireblokker oppstår hvis ikke nedkjølingstiden holdes uøkonomisk lang, i den hensikt å lette forståelsen av den etterfølgende forklaring.

Skumleire er ved høye temperaturer viskøs, og følgelig spenningsfri. Når en blokk av skumleire kjøles med en hastighet som overskrider nedkjølingshastigheten som måtte brukes ved metoden ifølge de nevnte U.S. patentskrifter, krever varmetransporten fra blokkens indre til overflaten at temperaturen faller relativt sterkt mot overflatene. Kjøleforløpet kan beskrives matematisk for følgende idealiserte og generelle tilfelle: En skive med uendelig lengde og bredde og konstant tykkelse, kjøles slik at temperaturen er lik på begge flater av skiven, og faller med jevn hastighet. Hvis den termiske utvidelseskoeffisient og varmeledningsevnen er temperaturuavhengige og konstante gjennom blokkens tykkelse L , vil temperaturprofilen gjennom blokkens tykkelse være parabolisk. Dette kan beregnes fra ligningen

$$\lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \rho c \frac{dT}{dt}$$

hvor x -aksen er perpendikulær på skivens plan og t -aksen kan tenkes i skivens plan, som gir for konstante verdier for λ = varmeledningsevne, ρ = tetthet og c = spesifikk varme og dT/dt = kjølehastighet i grader pr. tidsenhet:

$$T = \frac{\rho c L^2}{2} \frac{dT}{dt} \left[\left(\frac{x}{L} \right)^2 - \frac{x}{L} \right] + T_0$$

I et reelt tilfelle, der blokken har endelig bredde og lengde, vil innflytelsen av de fire kantflatene innvirke på temperaturprofilen slik at denne ute ved alle seks overflater blir brattere enn den paraboliske.

I skumleire vil varmeledningsevnen stige med temperaturen på grunn av varmetransport ved stråling i hulrommene. Dette gjør også at temperaturprofilen blir flatere midt i blokken og steilere ved overflatene enn den paraboliske profil, særlig ved høyere tempe-

124830

raturer.

Når en blokk av et viskøst stoff som skumleire kjøles gjennom et temperaturintervall der viskositeten stiger mot uendelig, vil blokken være spenningsfri så lenge temperaturfordelingen er uforandret. Forandres temperaturen i et volum-element i blokken med intervallet ΔT , vil den termiske utvidelseskoeffisienten α medføre at elementets lineære dimensjoner endres med faktoren $1 + \alpha \Delta T$. Hvis denne endringen hindres, oppstår en spenning som er proporsjonal med materialets dimensjonsforandring $(1 + \alpha \Delta T)$ fra den spenningsfrie tilstand. Den mekaniske spenningen i ethvert element i en blokk med symmetrisk temperaturfordeling, er altså proporsjonal med differansen mellom temperaturen i elementet og den temperatur der elementet er spenningsfritt. For å sikre likevekt må gjennomsnittspenningen i den fri blokk være null.

Dette medfører, for kjølingen av skumleireblokker med noen praktisk brukbar kjølehastighet, at spenningsfordelingen i blokken etter at temperaturene er de samme i hele blokken, er tilnærmet proporsjonal med temperaturfordelingen som fantes i blokken mens denne ble kjølt gjennom størkningsintervallet, og at disse spenningene stiger til et maksimum når nedkjølingen er slutt og temperaturen er utjevnet. Når den endelige temperaturutjevning finner sted, dvs. når ytterflatene har nådd omgivelsestemperaturen og det indre av skummet også avkjøles til denne temperatur, vil det oppstå sprekkdannelser når de restspenninger som er tilbake etter full temperaturutjevning er større enn materialets fasthet. Restspenningene oppstår fordi midtpartiene skal avkjøles flere grader enn ytterpartiene etter størkning og da vil trekke seg mer sammen.

Til hjelp under forklaringen av denne oppfinnelse taes som utgangspunkt en blokk bygget opp av ekspanderbart materiale som er bragt til å smelte og ekspandere, og deretter er gjort dimensjonstabil ved nedkjøling til størkningstemperatur på overflaten, hvorefter blokken er bragt til en kjøleovn hvor kjølingen startes mens i et hvert fall det indre av blokken ennå har lav nok viskositet til at spenninger elimineres ved at materialet flyter.

Det vises nå til figur 1.

Under videre kjøling vil blokkens indre få en temperatur t_s som står for den temperatur hvorved materialets viskositet blir

124830

for høy til at spenninger kan utjevnes ved at materialet flyter. Temperaturfordelingen over blokkens tykkelse på dette tidspunkt, angitt ved den parabolske kurve A, bestemmer de termiske restspenninger etter full temperaturutjevning ved brukstemperatur t_b , idet en viss overtemperatur i midten av blokken må aksepteres dersom blokken skal kjøles på så kort tid at prosessen blir økonomisk.

Før temperaturutjevning finner sted, vil blokken være spenningsfri. Ved temperaturutjevning derimot, vil de indre partier av blokken trekke seg sammen i forhold til de ytre partier, slik at det oppstår strekkspenninger i blokkens indre og trykkspenninger i dens ytre partier. Ved full temperaturutjevning til brukstemperatur t_b vil det være varige strekkspenninger S i blokkens indre parti og varige trykkspenninger T i dens ytre partier.

I eksemplet angitt ved figur 1 betraktes en uendelig stor, jevntykk skive som blir kjølt ned fra en høyere temperatur t_1 og forbi den temperatur t_s da materialet ikke lengder kan flyte. For å kunne variere utvidelseskoeffisienten α etter ønske over skivens tykkelse i den bestemte hensikt å redusere de termiske restspenningene, må koeffisienten α forhåndsbestemmes. I det følgende skal beskrives hvordan utvidelseskoeffisienten α bestemmes som funksjon av blokkens tykkelse L , for at koeffisienten α skal gi null restspenning etter full temperaturutjevning ved brukstemperatur t_b , som normalt settes lik 20°C .

Anta en overtemperatur i midten på 50°C i det øyeblikk midten har en temperatur t_s som kan settes til 720°C . Vi betrakter nå midtplanet M parallelt med bunn- og topp-plan hvor temperaturen overalt er t_s .

I midtplanet M perpendikulært på x -retningen, får vi en relativ lineær kontraksjon fra størkningstemperatur t_s til brukstemperatur t_b gitt ved $(\Delta l/l)_0 = \alpha_0(t_s - t_b)$, hvor α_0 er lineær utvidelseskoeffisient midt i blokken. For å finne temperaturfordelingen over blokken som funksjon av tykkelsen, setter vi $x=0$ i midten og $x=5$ for topp- og bunnplan, idet vi betrakter 5 ekvidistante plan på hver side av midtplanet, $x=1, 2, 3, 4$ og 5 . Hvis nå temperaturen på overflaten, $x=5$, er 50°C lavere enn i midten, $x=0$, fåes, dersom midttemperaturen er t_s , temperaturen t som funksjon av avstanden fra midten,

$$t = t_s - kx^2$$

124830

hvorav k finnes av at $t_s - t = 50^\circ\text{C} = kx^2$. For $x=5$ blir $k=2$, dvs.

$$t = t_s - 2x^2.$$

Indekserer vi nå koeffisienten α fra 0 til 5 i samsvar med planene 1 til 5, blir betingelsene for at det ikke skal bli restspenninger ved full temperaturutjevning til brukstemperatur t_b :

$$\begin{aligned} \Delta l/l = \alpha_0(t_s - t_b) &= \alpha_1(t_s - 2x^2 - t_b) = \alpha_1(t_s - 2 - t_b) && \text{for } x=1 \\ &= \alpha_2(t_s - 2x^2 - t_b) = \alpha_2(t_s - 8 - t_b) && \text{for } x=2 \\ &= \alpha_3(t_s - 2x^2 - t_b) = \alpha_3(t_s - 18 - t_b) && \text{for } x=3 \\ &= \alpha_4(t_s - 2x^2 - t_b) = \alpha_4(t_s - 32 - t_b) && \text{for } x=4 \\ &= \alpha_5(t_s - 2x^2 - t_b) = \alpha_5(t_s - 50 - t_b) && \text{for } x=5 \end{aligned}$$

De nevnte verdier $t_s = 720^\circ\text{C}$, $t_b = 20^\circ\text{C}$ og $t_{x=0} - t_{x=5} = 50^\circ\text{C}$ er realistiske verdier for skumleireblokker med en tykkelse på 25 cm. Vi får da følgende relasjoner mellom α_0 og α for $x=1, 2, 3, 4$ og 5:

$$\alpha_1 = \frac{\alpha_0(t_s - t_b)}{t_s - 2 - t_b} = \alpha_0 \frac{720 - 20}{720 - 2 - 20} = \alpha_0 \cdot 1,003$$

$$\alpha_2 = \alpha_0 \frac{720 - 20}{720 - 8 - 20} = \alpha_0 \cdot 1,015$$

$$\alpha_3 = \alpha_0 \frac{720 - 20}{720 - 18 - 20} = \alpha_0 \cdot 1,026$$

$$\alpha_4 = \alpha_0 \frac{720 - 20}{720 - 32 - 20} = \alpha_0 \cdot 1,048$$

$$\alpha_5 = \alpha_0 \frac{720 - 20}{720 - 50 - 20} = \alpha_0 \cdot 1,078$$

Det har åpenbart størst virkning å justere utvidelseskoeffisienten for topp- og bunnpartiene. Da det dessuten er tungvint å operere med flere forskjellige materialer, er det mest hensiktsmessig å velge ett materiale for topp- og bunnpartiene og velge den utvidelseskoeffisient som passer.

Vi har i beskrivelsen hittil bare betraktet den termiske restspenning over tykkelsen etter justering av utvidelseskoeffisienten under forutsetning av full temperaturutjevning over blokken. Vi

skal nå betrakte kjøleforløpet forutsatt at den nevnte justering av utvidelseskoeffisient er foretatt.

Som ellers vil blokken være spenningsfri i det øyeblikk den størkner. Vi forutsetter nå at kjølehastigheten under den videre kjøling reguleres slik at man får tilnærmet samme temperaturfordeling over blokken som under størkningen. Det vil da etterhvert bygges opp temporære spenninger som følge av variasjonen i utvidelseskoeffisienten over tykkelsen. Disse temporære spenninger når sitt maksimum i det øyeblikk blokkens ytre har nådd laveste temperatur, men før temperaturutjevningen over blokken er begynt. Det dreier seg i dette tilfelle om trykkspenninger i det indre av blokken og strekkspenning i det ytre. Brudd som følge av disse temporære spenninger vil slå ut som sprekker ytterst i blokken, idet strekkfastheten er lavere enn trykkfastheten.

Temperaturprofilen over lengde og bredde var forutsatt som under størkningen, og når blokkens ytre er nedkjølt, men temperaturutjevningen over blokken ikke har begynt, er det ennå ingen bidrag til permanente eller temporære spenninger som følge av temperatur/tid forløpet over lengde og bredde. Når deretter temperaturutjevningen begynner, vil bidraget til temporær trykkspenning i det indre som følge av variasjonen i utvidelseskoeffisient stadig synke, samtidig som man etterhvert får en økende permanent restspenning som følge av temperatur/tid forløpet over lengde og bredde og som er motsatt rettet, dvs. fører til strekkspenninger i det indre av blokken.

I betraktning av det foregående, vil man forstå at foreliggende oppfinnelse med fordel kan utnyttas til å oppnå blokker med minimal termisk restspenning. Ved praktisk bruk av oppfinnelsen for å oppnå så hurtig kjøling som mulig, må en viss kjølehastighet først beregnes eller bestemmes eksperimentelt. Denne kjølehastighet skal tilsvare den laveste kjølehastighet som resulterer i sprekker på grunn av temporære spenninger som oppstår på det tidspunkt da de ytre deler av blokken er blitt nedkjølt og umiddelbart før temperaturutjevning over blokken begynner. En noe lavere kjølehastighet skal da velges for utførelsen av fremgangsmåten. Det er mest aktuelt bare å justere utvidelseskoeffisienten over tykkelsen, og beregningen kan utføres over én dimensjon, tykkelsen, forutsatt at temperaturfordelingen under kjølingen ikke avviker vesentlig fra temperaturfordelingen under størkningen, idet temperatur/tid for-

124830

løpet over lengde og bredde ikke bidrar til dannelselse av temporære spenninger før etter at blokken er nedkjølt og temperaturutjevningen begynner.

Det er alminnelig kjent hvilke oksyder som gir ~~keramiske~~ materialer og glass, høy eller lav utvidelseskoeffisient. Ved tilsats av alkali vil utvidelseskoeffisienten normalt øke.

Et eksempel på bruk av blandematerialer for justering av utvidelseskoeffisienten, vil nå bli avgitt for praktisering av oppfinnelsen.

Det vises til Hermann Salmang: Die physikalischen und chemischen Grundlagen der Glasfabrikation (Springer Verlag 1957), p. 197 - 202, der det er vist hvordan utvidelseskoeffisienten for glass avhenger av kjemisk materialsammensetning. Utvidelseskoeffisienten kan ikke beregnes eksakt på basis av kjemisk sammensetning, men det fremgår klart av litteraturen at tilsats av kalium- og natrium oksyd gir størst bidrag til økning av utvidelseskoeffisienten.

Under den sjiktvis oppbygging av en skumleireblokk, kan man sørge for at den leire som brukes til de første og siste pelletlag, er tilsatt kalium- eller natriumoksyd, f.eks. i form av feltspat eller et annet alkaliholdig mineral, for å øke utvidelseskoeffisienten av det materialet som dannes under brenningen. Det mest hensiktsmessige vil være å blande finmalte mineraler med leiren. Det er også mulig å tilsette leiren alkali i form av vannglass (løst natrium- eller kaliumsilikat) som gir en god blanding.

Selve kjølingen foregår nå på den måten at kjølehastigheten under størkningen reguleres slik at man oppnår den ønskede eller beregnede temperaturfordeling over tykkelsen. Denne kjølehastighet må i praksis bestemmes ved forsøk, som nevnt ovenfor, idet man måler temperaturdifferanse mellom blokkens ytre og indre når det indre har størkningstemperatur, ved forskjellige kjølehastigheter. Etter størkningen kan kjølehastigheten økes noe, eller med andre ord, man kan øke temperaturdifferansen mellom midten av blokken og det ytre tilsvarende en temporær spenning opp imot bruddspenningen. Etterhvert må imidlertid kjølehastigheten reduseres slik at man, når blokkens ytre er nedkjølt, har tilnærmet den beregnede og samme temperaturdifferanse som under størkningen.

Ved at blokken deles opp som beskrevet i ovennevnte patentsøknad, vil stort sett bidraget til permanent restspenning

som følge av temperatur/tid forløpet over lengde og bredde under størkning, kjøling og temperaturutjevning elimineres. Dette bidrag vil være av størrelsesorden dobbelt så stort - eller vel så det - som det temporære spenningsbidraget som følge av justering av utvidelseskoeffisienten. Dette betyr at den totale kjøletid kan halveres ved slik oppdeling.

Oppdeling i mindre elementer kan i det generelle tilfelle foregå ved i det minste å gjennomskjære blokken med snitt perpendikulært på et par sider hvor varmeutvidelseskoeffisienten er høyere enn i den øvrige del av blokken. Oppdelingen kan dessuten omfatte fjerning av blokkens ytterste lag på to motstående sider der varmeutvidelseskoeffisienten ikke er justert. For oppdeling i mange mindre elementer legges oppdelingssnittene vinkelrett på hverandre i alle tre dimensjoner. Det vises til figur 2 og den nevnte patentsøknad nr 1872/70.

For produksjon av veggelamenter med noen kvadratmeters areal, er fremgangsmåten spesielt godt egnet. Av råblokken bør det da ved snitt langs sideflatene skjæres vekk tilstrekkelig materiale til at permanent restspenning som følge av temperatur/tid forløpet over lengde og bredde under størkning elimineres. Det materiale som skjæres vekk brukes til fremstilling av mindre blokker i standard format. For effektivt å eliminere sistnevnte restspenninger, bør man minst fjerne så meget at det utgjør halv blokktykkelse. Det er forutsatt at utvidelseskoeffisienten er justert i storsideflatene, normalt topp og bunn av blokken under fremstillingen.

Det er klart at man kan variere betingelsene og få flere varianter av metoden i henhold til foreliggende oppfinnelse, og det er f.eks. ikke sikkert at man vil ta sikte på å oppnå minimal restspenning, men heller vil gjøre et kompromiss for å få en mer økonomisk prosess.

P A T E N T K R A V :

1. Fremgangsmåte til å redusere termiske restspenninger i en blokk av uorganisk skummateriale, fremstilt av f.eks. et leireholdig materiale, glasspulver eller aggregater derav, slagg, flotasjonsavfall og lignende ekspanderbart materiale under oppvarming av materialet til sammensmelting og ekspansjon av en fortrinnsvis

124830

rektangulær blokk, og etterfølgende kjøling av blokken til romtemperatur, k a r a k t e r i s e r t ved at det for fremstillingen av blokken i de ytre partier anvendes materialer som har eller kan bibringes slike egenskaper at de ytre partier på en eller flere av blokkens sider etter oppvarmingen har høyere varmeutvidelseskoeffisienter enn de øvrige partier av blokken.

2. Fremgangsmåte som angitt i krav 1, k a r a k t e r i s e r t ved at blokkens bunn- og topp-partier består av materialer med høyere varmeutvidelseskoeffisient enn den øvrige del av blokken.

Anførte publikasjoner: -

124830

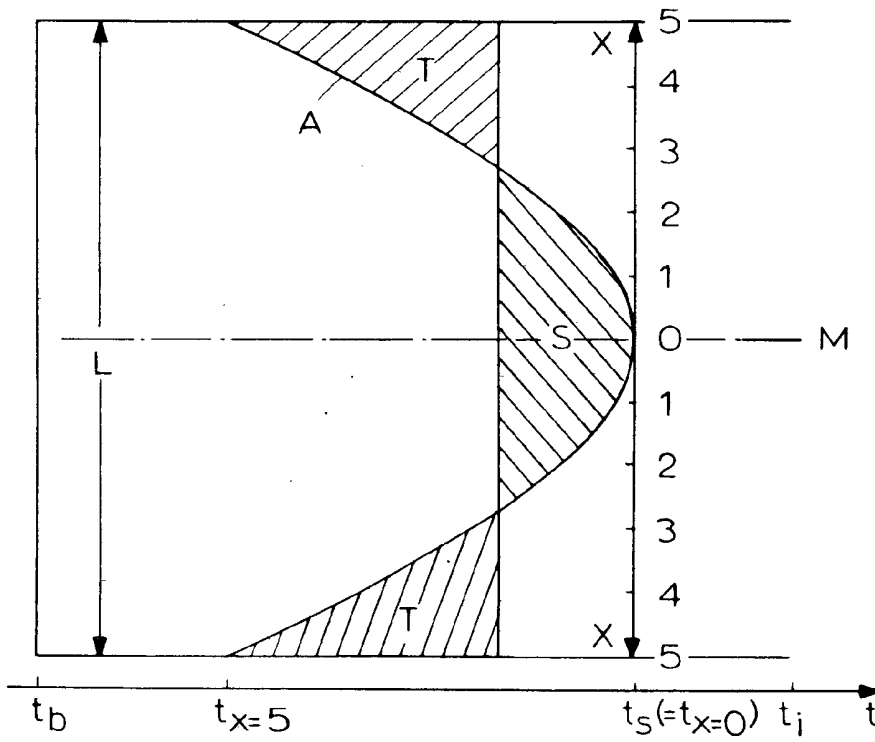


FIG. 1.

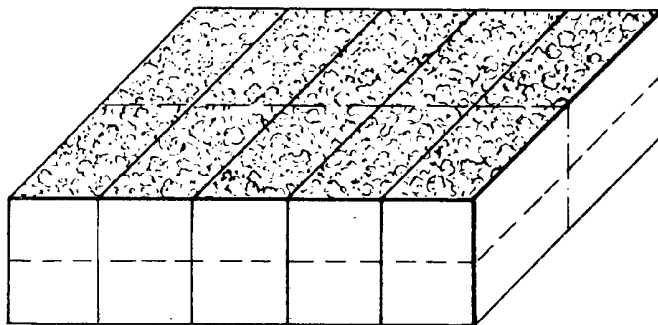


FIG. 2.