

(19) DANMARK



DIREKTORATET FOR
PATENT- OG VAREMÆRKEVÆSENET



(12) FREMLÆGGELSESSKRIFT (11) 143422 B

(21) Ansøgning nr. 2686/69

(51) Int.Cl.⁹ F 28 F 13/00

(22) Indleveringsdag 19. maj 1969

(24) Løbedag 19. maj 1969

(41) Alm. tilgængelig 21. nov. 1969

(44) Fremlagt 17. aug. 1981

(86) International ansøgning nr. -

(86) International indleveringsdag -

(85) Videreførelsesdag -

(62) Stamansøgning nr. -

(30) Prioritet 20. maj 1968, 730323, US

(71) Ansøger UNION CARBIDE CORPORATION, New York, US.

(72) Opfinder Alfred Michael Czikk, US: Patrick Scott O'Neill, US.

(74) Fuldmægtig Ingeniørfirmaet Lehmann & Ree.

(54) Fremgangsmåde ved overførsel af
varme.

Den foreliggende opfindelse angår en fremgangsmåde ved overførsel af varme fra en varmekilde til en kogevæske gennem en varmeoverførende skillevæg under anvendelse af et porøst kogelag, der er fastgjort til væggen ene side og er opbygget af varmeledende enkelt-partikler, hvilken kogevæske har en Kelvin-parameter $2 C \sigma T_S / \lambda P_V$, der er mindre end $0,001411 \text{ cm} \cdot ^\circ\text{K}$, hvor:

σ = overfladespænding, dyn/cm,

T_S = mætningstemperatur for kogevæsken svarende til væskens damptryk, $^\circ\text{K}$,

λ = latent varme for kogevæsken, gcal/g,

P_V = massefylde af dampen, g/cm^3 ,

C = omsætningsfaktor, $2,4 \cdot 10^{-8} \text{ gcal/dyn} \cdot \text{cm}$.

Overføring af varme med tilstrækkelig store hastigheder fra en opvarmet overflade til en kogevæske, der er i kontakt med denne, kræver almindeligvis en væsentlig temperaturforskel mellem overfladen og væsken, hvilken temperaturforskel i høj grad påvirker virkningsgraden for varmeoverføring. En vigtig faktor, der regulerer denne virkningsgrad, er beskaffenheden af den opvarmede overflade, der er i kontakt med væsken, idet det f.eks. er kendt, at glatte kogeo-verflader tilvejebringer lave varmeovergangstal på kogesiden. Lave kogevarmeovergangstal begrænser ofte i høj grad kogeanlæggets varmeoverføringskapacitet. Når f.eks. varme til kogning tilføres ved hjælp af damp, der kondenserer på en glatvægget varmeoverføringsoverflade, kan kondenseringsvarmeovergangstallet let være af størrelsesordenen $0,271 \text{ gcal/sek. cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$, medens kogevarmeovergangstallet på den modstående side af varmeoverføringsfladen kan være kun $0,01355$ til $0,0271 \text{ gcal/sek. cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$. I overensstemmelse med den kendte fremgangsmåde til at summere varmeoverføringsmodstande, når kogeo- og kondenseringsvarmeoverføringsoverfladerne har samme areal, opnås det totale varmegennemgangstal U tilnærmelsesvis på følgende måde:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_C} + \frac{1}{h_B}$$

og

$$U = \frac{h_B h_C}{h_B + h_C}$$

hvor h_B og h_C er kogeo- henholdsvis kondenseringsvarmeovergangstallene. Det er klart, at hvis h_B er lille sammenlignet med h_C , nærmer værdien for U sig h_B , og det meste af fordelingen med et stort kondenseringsovergangstal går tabt.

Formålet med den foreliggende opfindelse er at tilvejebringe en fremgangsmåde til kogning af væsker, hvorved der tilvejebringes kogevarmeovergangstal, der er mange gange større end de, der er opnået med almindelige glatte eller ru overflader, og således tilvejebringe en fremgangsmåde, der muliggør overføring af store mængder varme til en kogevæske ved meget mindre temperaturforskelle end de, der kræves ved de sædvanlige kogevarmeoverføringsfremgangsmåder.

Dette opnås med en fremgangsmåde af den i krav 1's indledning omhandlede art, hvilken fremgangsmåde er ejendommelig ved, at kogelaget opbygges af partikler, hvoraf i det mindste nogle er tilstrækkelig små til at passere gennem en sigte med maskevidde $0,050 \text{ cm}$,

hvorhos partiklerne er forbundet til væggen og til hinanden i en tilfældig sammenhobet orden til dannelse af en ensartet grundmasse, der mellem tilstødende partikler har mellemliggende og indbyrdes forbundne porer med ækvivalente poreradier på mellem 0,000254 og 0,00635 cm, at det porøse kogelag dækkes fuldstændigt med væsken, i det mindste som en væskehinde, at varmekilden bringes i kontakt med den anden side af væggen, således at der overføres tilstrækkelig varme gennem væggen til dannelse af dampbobler i det porøse kogelag, og at dampen afgives som bobler, der opstår fra det porøse kogelag, til den væskehindedel, der dækker det porøse kogelag.

Kelvin-parametre for repræsentative væsker indenfor området mindre en $0,001411 \text{ cm}^3/\text{K}$ er anført i Tabel I.

<u>Væske</u> x)	<u>Kelvin-parameter</u>
Trifluor 1,1,2-trichlorethan	0,001256
Ethylether	0,001256
Fluortrichlormethan	0,001058
Ethylchlorid	0,001044
n-Pentan	0,00093
n-Hexan	0,00085
Difluordichlormethan	0,00079
Ethylalkohol	0,00078
Acetone	0,00076
Propan	0,00062
Propylen	0,00061
Ethan	0,00055
Propylen ved $1-\frac{1}{2}$ atmosfære tryk	0,00049
Ethylen	0,00045
Methan	0,00031
Oxygen	0,00024
Nitrogen	0,00016

x) ved 1 atmosfære tryk med mindre andet er angivet.

På tegningen er

fig. 1 en grafisk afbildning, der viser sammenhængen mellem ækvivalente poreradier for porøse lag og kogeside-temperaturforskellen for oxygen og fluortrichlormethan, og

fig. 2 er en række grafiske afbildninger, der viser sammenhængen mellem varmestrøm og kogesidetemperaturforskel for fremgangsmåden ifølge opfindelser, der anvender glatte kogeoverflader, forholdsvis grove, porøse lag, og overopvarmningshindrende midler.

I overensstemmelse med fremgangsmåden ifølge opfindelsen tilvejebringes der et porøst kogeoverfladelag, der har en mangfoldighed af små porer, hvilket lag er fastgjort til et varmeudvekslingsanlægs varmeledende væg til overføring af varme til en væske. Det porøse kogeoverfladelag er tilvejebragt af varmeledende partikler, således at disse udgør en enhed og er termisk forbundne for at tilvejebringe indbyrdes forbundne porer af kapillar størrelse i det porøse kogeoverfladelag. Porerne er tilvejebragt i et stort antal pr. arealenhed med lidt ikke-porøst materiale mellem dem. Det porøse kogeoverfladelag er ejendommelig ved en udpræget kapillareffekt, der omtales nærmere i det følgende.

På grund af de høje kogevarmeovergangstal, der frembringes af det porøse kogeoverfladelag, kan temperaturforskellen mellem en kogevæske og dens varmekilde formindskes væsentligt, medens der ikke desto mindre opnås en bemærkelsesværdig stor hastighed for varmeoverføring. Porøse kogeoverfladelag ifølge opfindelsen er fundet særlig hensigtsmæssige i systemer, der kræver forhøjede tryk for at opnå en nødvendig temperaturforskel. I reboiler-kondensatorrørene i et lavtemperaturluftadskillelsesanlæg, hvor f.eks. den mere flygtige normalt ved lavere temperatur kogende nitrogengas kondenseres ved kogning af mindre flygtig væskeformet oxygen, idet nitrogenet underkastes et tilstrækkeligt stort tryk til at forhøje dets kondenseringstemperatur over kogepunktet for oxygen. Ved at anvende et porøst kogeoverfladelag i overensstemmelse med fremgangsmåden ifølge opfindelsen, kan den nødvendige trykforskel mellem væskerne formindskes og energiomkostningerne gøres mindst mulige.

En vigtig funktion af det porøse kogeoverfladelag ifølge den foreliggende opfindelse er at forhøje kogevarmeovergangstallet. I den velkendte varmeoverføringsligning $Q/A = h\Delta T$ forøger det porøse kogeoverfladelag i udpræget grad værdien af koefficienten "h". Virkningen af forøgelsen af denne koefficient kan anvendes på en række måder. Den samlede mængde overført varme "Q" kan forøges, arealet "A" kan formindskes, " ΔT " kan formindskes, eller der kan gennemføres forskellige kombinationer af disse fordele.

Da opfindelsen forbedrer koefficienten "h", er den forskellig fra den kendte anvendelse af porøse stoffer og indretninger, der er kendte som "overopvarmningshindrende midler", der almindeligvis opslættes eller neddyppes i den kogende væske for at formindske overopvarmning og for at bringe hele væsketemperaturen i nærmere ligevægt med væskens damptryk. Overopvarmningshindrende midler er ofte ikke-metalmaterialer, såsom pimpsten, der indeholder forholdsvis store porer af tilfældig størrelse, af hvilke kun nogle få behøver at være aktive. Det overopvarmningshindrende middels opgave er forholdsvis let og enkel, da den frie varme repræsenteret af nogle få graders overopvarmning i væsken er forholdsvis lille og kan spredes effektivt ved hjælp af en beskeden grad af kogning. Det opslættede opvarmningshindrende materiale behøver ikke at være varmeledende, da det ikke overfører varme til væsken. Den varme, der er nødvendig til kogning på et overopvarmningshindrende middels overflade, tilføres denne af væsken selv i form af overopvarmning. Selvom et opslættet overopvarmningshindrende middel således i det væsentlige kan formindske størstedelen af overopvarmning af væsken, må der i nogen grad eksistere væskeoveropvarmning, for at kogning kan finde sted på det overopvarmningshindrende middel.

I modsætning til den kendte anvendelse af overopvarmningshindrende midler er det porøse kogeoverfladelag ifølge den foreliggende opfindelse anbragt på kogeanlæggets varme væg mellem den varme væg og væsken, der skal koges, og dets materiale skal være varmeledende. Dets opgave er vanskeligere, idet den består i at overføre en meget stor mængde varme med en høj grad formindsket varmeoverføringsmodstand, d.v.s. med en formindsket temperaturforskul mellem den varme væg og væsken. Denne temperaturforskul mellem den varme væg og den mættede væske, der er et mål for varmeoverføringsmodstanden, er ΔT , der fremgår af den almindelige varmeoverføringsligning. Dens formindskelse opnås ifølge opfindelsen med det forøgede varmeovergangstal for det porøse kogeoverfladelag.

Selvom materialer, der er opbygget svarende til de kendte overopvarmningshindrende midler, anbringes mod den varme væg, vil der ikke blive opnået de forbedrede resultater, der opnås ifølge den foreliggende opfindelse. For at være effektiv må den porøse overflade opfylde visse specielle begrænsninger med hensyn til den ækvivalente poreradius som omtalt nærmere nedenfor.

Den ekstremt ringe tykkelse af den væskeformede hinde i porerne antages for en stor del at ligge til grund for den påfaldende

forbedring med hensyn til varmeoverføringstallet h , der opnås ifølge den foreliggende opfindelse. Det er blevet opdaget, at dette er en virkning, der kun i meget små porer antager et betydeligt omfang, og at den ikke er væsentlig i overopvarmningshindrende midler, der primært er udformet til at formindske overopvarmning. Virkningen af overopvarmningshindrende midler er både beskrevet og forudsagt ved kombinationen af de velkendte Gibbs og Clapeyronske ligninger, der angår det termiske potential, der er nødvendigt for vækst af en boble (udtrykt i overopvarmningen af den væske, der omgiver boblen) i forhold til størrelsen af boblen:

$$r_c = \left(\frac{2C\sigma}{T - T_S} \right) \cdot \frac{T_S (P_L - P_V)}{P_L \cdot P_V \cdot \lambda}$$

hvor r_c = hulrumsradius (svarende til den ækvivalente poreradius r for de porøse kogeoverfladelag ifølge den foreliggende opfindelse, cm. Også den tilnærmelsesvise radius af en boble, der afgives fra et hulrum med radius r_c),

σ = overfladespænding, dyn/cm,

T = temperaturen af væsken, der omgiver en boble, $^{\circ}\text{K}$,

T_S = mætningstemperatur for kogevæske svarende til damptrykket for væsken, $^{\circ}\text{K}$,

P_L = massefylde for væsken, g/cm^3 ,

P_V = massefylde af damp, g/cm^3 ,

λ = latent varme for kogevæsken, gcal/g ,

C = omsætningsfaktor $2,39 \cdot 10^{-8} \frac{\text{gcal}}{\text{dyn} \cdot \text{cm}}$.

Værdien for T skal være større end T_S i et tilstrækkeligt omfang til at bringe en boble med radius r_c til at vokse mod overfladespændingen. Som følge deraf er $T - T_S$ den mindste overopvarmning, der er påkrævet for at opretholde kogningen. Ifølge Gibbs-Clapeyron-ligningen formindskes den overopvarmning, der er nødvendig for boblevækst, d.v.s. $T - T_S$ gøres mindst mulig med stigende r_c , og som følge heraf skulle et overopvarmningshindrende middel udformes med en porøs overflade, der har så store porer som muligt, men stadig kan tilbageholde den omsluttede gas eller damp, der er nødvendig for at aktivere den omtalte dannelses. På fig. 1 er kurve A fremstillet ved at afsætte r_c som funktion af den overopvarmning ΔT , der er nødvendig for at opretholde boblevækst, d.v.s. $T - T_S$ svarende til Gibbs-Clapeyron-ligningen, for oxygen og fluortrichlormethan, der koger i kontakt med overflader med forskellig porestørrelse med en varmestrøm på 0,2262

gcal/sek. cm^2 . I overensstemmelse med formålet med overopvarmningshindrende midler, der består i at formindske den nødvendige overopvarmning, vil virkningen af et godt overopvarmningshindrende middel ligge på den del af kurve A, der svarer til lave værdier for ΔT og høje værdier for r_c . Forsøg viser, at dette virkelig er rigtigt, da værdierne for r_c , der er bestemt for materialer opbygget som overopvarmningshindrende midler for fluortrichlormethan, ligger mellem ca. 0,0203 og 0,0381 cm. Overopvarmningsens ΔT , der svarer til sådanne poreradier, er under $0,056^\circ\text{C}$.

Hvis man imidlertid ønsker at gå ud over fænomenet med det overopvarmningshindrende middel, og som helhed at forbedre kogevirkningen, vil det ikke være tilstrækkeligt blot at formindske den overopvarmning, der er nødvendig for at fastholde boblevækst. Når kogning sker ved dannelse af bobler i porer eller hulrum i en overflade, der omfatter en varmekilde, er det blevet opdaget, at overopvarmningsens ΔT , d.v.s. $T - T_s$ ifølge Gibbs-Clapeyron-ligningen, kun er en del af modstanden mod den samlede kogning. Et andet ΔT eksisterer over væskehinden mellem vægtemperaturen T_w og den overopvarmede damp-væskekontaktfladetemperatur T , og i virkeligheden er denne hinds ΔT forbundet i serie med overopvarmningsens ΔT ifølge Gibbs-Clapeyron-ligningen. Det samlede ΔT mellem væggen og dampen er summen af overopvarmningsens ΔT og hindens ΔT , og kurve B på fig. 1 er fremstillet ved at afsætte r som funktion af dette samlede ΔT . Det er uventet blevet konstateret, at denne hinds ΔT , d.v.s. $T_w - T$, stiger, når r stiger, hvilket er en virkning modsat den, der er iagttaget med hensyn til overopvarmningsens ΔT , d.v.s. $T - T_s$. Den vandrette forskel mellem kurverne A og B på fig. 1 fremstiller denne hinds ΔT .

Udtrykt på en anden måde viser fig. 1, at når den ækvivalente poreradius r bliver mindre, aftager hindens ΔT , og overopvarmningsens ΔT ifølge Gibbs-Clapeyron-ligningen dominerer det samlede ΔT . Omvendt vil, når den ækvivalente poreradius r stiger, overopvarmningsens ΔT aftage og hindens ΔT dominere det samlede ΔT . Disse modsatte rettede påvirkninger af det samlede ΔT tilvejebringer et maksimum på kurve B svarende til en optimal værdi for r og en mindste værdi for samlet ΔT .

For oxygen ved 1 atmosfære tryk og en repræsentativ værdi for varmestrøm Q/A på $0,2262 \text{ gcal/sek. cm}^2$ findes som vist på fig. 1 det optimale r mellem 0,000508 og 0,00508 cm, i det bredere område mellem 0,000254 og 0,00635 cm. Området mellem 0,000508 og 0,00508 cm er også det optimale for andre cryogener, såsom f.eks. nitrogen og

methan, da deres Kelvin-parametre er meget lig med parameteren for oxygen. For fluortrichlormethan ligger det optimale r mellem 0,000762 og 0,00635 cm, som det fremgår af fig. 1. Det skal bemærkes, at Kelvin-parameteren tilnærmelsesvis er lig med $r_c (T - T_s)$ bestemt ved den ovennævnte Gibbs-Clapeyron-ligning og kun afviger med hensyn til den antagelse, at $P_L - P_V$ er lig med P_L .

Væsker, der er ejendommelige ved at have Kelvin-parameter over 0,001411, såsom vand, kan koges i porøse overflader med 0,000254 til 0,00635 cm poreradier med væsentlig større varmeoverføringstal end med de hidtil kendte ru overflader. Imidlertid frembyder sådanne varmeoverføringsmåder ikke den optimale udnyttelse af den foreliggende fremgangsmåde, da den nederste del af dette poreradiusområde 0,000254-0,00635 cm er mindre end de bedst egnede for disse væsker med store Kelvin-parametre.

Den ækvivalente poreradius for et porøst kogeoverfladelag bestemmes mest hensigtsmæssigt og nøjagtigt ved lodret at neddyppe en ende af det porøse kogeoverfladelag i en frit befugtende væske og bestemme kapillarstigningen for væsken langs overfladen af det porøse kogeoverfladelag. Bestemt på denne måde er den ækvivalente poreradius r lig med $2 \sigma / ph$, hvor p er massefylden i g/cm^3 af den væske, hvori den ene ende af det porøse kogeoverfladelag er neddyppet lodret, σ er overfladespændingen i dyn/cm for den væske, hvori den ene ende af det porøse kogeoverfladelag er neddyppet lodret, og h er den lodrette kapillarstigning i cm for væsken langs overfladen på det porøse kogeoverfladelag.

Fordelen ved at vælge en frit befugtende væske til at bestemme den ækvivalente poreradius er, at væskefasekontaktvinklen (θ), som væskeoverflader tilvejebringer med de materialer, af hvilke det porøse kogeoverfladelag er sammensat, vil være meget lille og derfor ikke vil påvirke bestemmelsen. Hvis der ikke vælges en frit befugtende væske, må udtrykket $2 \sigma / ph$ sættes lig med $r / \cos \theta$, og kontaktvinklen (θ) må tages i betragtning ved bestemmelse af værdien for den ækvivalente poreradius (r). Da den nøjagtige bestemmelse af kontaktvinklen er vanskelig og unødigt medfører risiko for fejl, er det at foretrække at anvende en frit befugtende væske til bestemmelse af den ækvivalente poreradius. Væsker, der udviser en kontaktvinkel på mindre end 20° med det materiale, hvoraf det porøse kogeoverfladelag er sammensat, defineres i denne henseende som "frit befugtende" og kan anvendes uden at tage hensyn til kontaktvinklens indvirkning, da $\cos 20^\circ$ er 0,95, og den fejl, der fremkommer ved at negligere kontakt-

vinklen, vil være mindre end 5%.

Eksempler på egnede væsker, der frit befugter aluminium- og kobberoverflader (to af de foretrukne materialer til opbygning af porøse kogeoverfladelag), er methanol, fluortrichlormethan, dichlortetrafluorethan, acetone, ethylchlorid, flydende oxygen og flydende nitrogen. Den særlige væske, der vælges til bestemmelse af den ækvivalente poreradius, skal fortrinsvis være et godt opløsningsmiddel for olie og fedt, således at virkningen af disse almindelige overflade-forureningsstoffers tilstedeværelse gøres mindst mulig. Rent vand betragtes ikke som en frit befugtende væske, da dets kontaktvinkel (θ) f.eks. med en aluminiumsoverflade er omkring 66° .

Den ækvivalente poreradius er uafhængig af egenskaberne af det materiale, der er anvendt til at opbygge det porøse kogeoverfladelag. Den bestemmer kvalitativt de geometriske egenskaber af og måleegenskaberne for selve det porøse kogeoverfladelag. Den ækvivalente poreradius bør ikke anvendes til at forudsige den kvantitative virkning af noget specielt, porøst kogeoverfladelag, da en sådan virkning bl.a. vil afhænge af materialet, hvorefter det porøse kogeoverfladelag er opbygget, og af væsken, der skal koges.

Til illustrering af fremgangsmåden til bestemmelse af den ækvivalente poreradius er efterfølgende resultat og beregning anført for en 325 maske (0,0044 cm i diameter) sfærisk, porøs kobberoverflade, nr. 1 i Tabel II. En smal strimmel kobberplade, på hvilken den porøse overflade var påført, blev ophængt lodret med den ene ende neddyppet i fluortrichlormethan. Væsken befugtede overfladen ved hjælp af kapillarvirkning til en højde h over væskeoverfladen på 6,40 cm. Fluortrichlormethan har en overfladespænding på 18,98 dyn/cm og en massefylde på $1,46 \text{ g/cm}^3$. Indsættes disse værdier i den ækvivalente poreradiusligning, fås en værdi for r på 0,0042 cm.

I Tabel II, kolonne 2, er der anført værdierne for den effektive poreradius bestemt eksperimentelt for en række overflader, herunder kendte overopvarmningshindrende midler, såvel som porøse kogeoverfladelag ifølge den foreliggende opfindelse i frit befugtende væsker, specielt methanol, fluortrichlormethan og dichlortetrafluorethan. Kolonne 3 i Tabel II viser størrelserne af temperaturforskelle, der kræves af de forskellige overflader for at overføre $0,2262 \text{ gcal/sek. cm}^2$ ved kogning af fluortrichlormethan ved 1 atmosfære tryk. Da Q/A holdes konstant på 0,2262, er de eneste variable i varmeoverføringsligningerne ΔT og h , og disse variable er omvendt proportionale. Følgelig vil et fald i det nødvendige ΔT med en faktor på 10

forøge varmeovergangstallet h med en faktor på 10. Kolonne 3 i Tabel II tilvejebringer således et middel til at sammenligne forskellige overfladers varmeoverføringsevne i en almindelig væske.

Tabel II

Overflade	Ækvivalent pore- radius i cm	ΔT °C nødvendig for $Q/A = 0,2262 \text{ gcal/sek.}$ cm^2
<u>Porøse kogeoverfladelag</u>		
1. Kobber, maskevidde 0,0044 cm, sfærisk, plan plade	0,00419	0,61
2. Kobber, maskevidde 0,0044- 0,0074 cm, sfærisk, plan plade	0,00381	0,89
3. Kobber, maskevidde 0,0044 cm, sfærisk cylinder	0,00424	0,89
4. Aluminium, maskevidde 0,0053- 0,0105 cm, kornformet, plan plade	0,00444	0,56
5. Aluminium, maskevidde 0,025- 0,05 cm, kornformet, plan plade	0,00699	0,94
6. Kobber, maskevidde 0,025- 0,0297 cm, sfærisk, plan plade	0,01041	0,94
7. Kobber, maskevidde 0,025-0,05 cm, sfærisk, plan plade	0,00864	1,22
8. Aluminium, maskevidde 0,0149- 0,0177 cm, kornformet, plan plade	0,00762	1,39
9. Aluminium, maskevidde 0,0038- 0,042 cm, kornformet, plan plade	0,00864	1,39
11. Kobber, maskevidde 0,0125- 0,0149 cm, sfærisk, plan plade	0,00381	1,67
<u>Metalliske overopvarmnings- hindrende midler</u>		
10. Moslignende zinkoveropvarmnings- hindrende middel	0,0254-0,0381	3,33
12. Antimonoveropvarmningshindrende middel, kornformet	0,0203	4,06
<u>Glatte overflader</u>		
13. Glat kobberplade x)	(ikke-porøs)	8,33
14. Glat aluminiumsplade x)	(ikke-porøs)	12,5
<u>Ikke-metallisk overopvarmnings- hindrende middel</u>		
15. Natriumsilikatoveropvarmnings- hindrende midler	0,0422	19,44

x) Udviser ikke kapillarvirkning.

Et porøst kogeoverfladelag, som beskrevet ovenfor, tilvejebringer ved anvendelse en mangfoldighed af indbyrdes forbundne delvis væskefyldte kapillarrør, der virker som kerner for væksten af mange bobler i den kogende væske. Hvis porerne ikke var indbyrdes forbundne, ville deres fortsatte virkning som kerner for boblevækst på kritisk måde være afhængig af tilbageholdelse af indesluttet luft eller damp i porerne. Med indbyrdes forbundne porer kan damp, der er dannet i en pore, imidlertid aktivere en eller flere tilstødende porer, således at processen fortsætter uden afbrydelse og uden afhængighed af luft- eller dampindeslutning. Det antages også, at i det mindste nogle af porerne i den indbyrdes forbundne grundmasse tilfører væske til tilstødende porer. Når boblerne vokser, kommer de til sidst frem fra de indbyrdes forbundne kapillarrør på grund af den fortsatte dannelse af damp i kapillarrørene, river sig løs fra overfladen og stiger op gennem den væskehinde, der dækker det porøse kogelag. Væsken fortsætter sin strømning ind i kapillarrørene og holder kapillarvæggene befugtede, hvilket således giver forøget overfladefordampning. Den store varmeoverføring skyldes den kendsgerning, at varmen, der forlader basismetalooverfladen, ikke skal bevæge sig gennem et betydeligt væskelag, før den møder en damp-væskeoverflade, der tilvejebringer fordampning.

I det porøse kogeoverfladelag vokser en mangfoldighed af bobler, således at varmen for at nå en damp-væskegrænse kun behøver at bevæge sig gennem et overordentligt tyndt væskelag, som har en tykkelse, der er væsentlig mindre end den omgivende pores meget lille diameter. Fordampning af væske finder udelukkende sted i porerne, og stort set er overopvarmning af hovedmængden af væske ikke påkrævet og kan heller ikke forekomme.

Med en glat metaloverflade eksisterer der kun nogle få boblepunkter, og iværksættelsen af boblevækst kræver en høj grad af overopvarmning på grund af væskeoverfladespændingens sammentrykningskraft på en meget lille boble. Varmen til boblevækst skal overføres ved hjælp af konvektion og ledning fra det glatte basismetall til den fjerne damp-væskekontaktflade i en boble, der er næsten fuldstændig omgivet af hovedmængden af væske.

Den ovenfor omtalte virkning af et porøst kogeoverfladelag er ikke blot resultatet af en forøgelse af overfladearealet, f.eks. ved mekanisk at gøre overfladen ru. Dette blev påvist ved et forsøg, der bestod i at neddykke et porøst kogeoverfladelag, som var anbragt på en kobberblok indeholdende indlejrede opvarmningsspiraler til kogning af oxygen ved 1 atmosfæres tryk. Ved meget små varmestrømme, der

var utilstrækkelige til at aktivere porerne med damp, var kogevarmeovergangstallet og det visuelle boblepunktsfænomen ganske svarende til de, der opnås med en kobberblok med glat overflade. Ved større varme-strømme, der tilvejebringer dampaktivering af porerne, opnåedes der imidlertid meget store kogevarmeovergangstal, som var umulige at opnå ved den glatte blok eller med en blok, hvis overflader var gjort fuldstændig ru ad mekanisk vej. De nedenstående forsøgsresultater vedrørende kogning af væskeformig oxygen og fluortrichlormethan viser virkningen af porøse kogeoverflader ved tre temperaturforskelle og ved varme-strømme, der er tilstrækkeligt store til at tilvejebringe dampaktivering af porerne.

Tabel III

Plan pladeoverflade Porøst kogelag	Ækvivalent pore- radius i cm	ΔT °C	Varmestrøm ^{x)} gcal/sek · cm ²	Varmeoverføringsstal, gcal/sek · cm ² · °C
<u>Fluortrichlormethan- kogningsforsøg</u>				
1. Kobber, maskevidde 0,0044 cm, sfærisk	0,00419	0,56 0,83 1,11	0,9425	1,1247
2. Kobber, maskevidde 0,0044-0,0074 cm, sfærisk, plan plade	0,00381	0,56 0,83 1,11	1,508	1,355
6. Kobber, maskevidde 0,025-0,0297 cm, sfærisk, plan plade	0,01041	1,11 1,39 1,67	0,2790 0,4147 0,5504	0,2575 0,2981 0,3252
7. Kobber, maskevidde 0,025-0,05 cm, sfærisk, plan plade	0,00864	1,11 1,39 1,67	0,2941 0,4147	0,2168 0,2439
8. Aluminium, maskevidde 0,0149-0,0177 cm, korn- formet, plan plade	0,00762	1,11 1,39 1,67	0,2262 0,3318	0,1626 0,2033

Tabel III (fortsat)

Plan pladeoverflade Porøst kogelag	Ækvivalent pore- radius 1 cm	ΔT °C	Varmestrøm ^{x)} gcal/sek · cm ²	Varmeoverføringsstal, gcal/sek · cm ² · °C
<u>Fluortrichlormethan- kogningsforsøg</u>				
9. Aluminium, maskevidde 0,0038-0,042 cm, korn- formet, plan plade	0,00864	1,11 1,39 1,67	0,2262 0,3016	0,1626 0,1762
11. Kobber, maskevidde 0,0125-0,0149 cm, sfærisk, plan plade	0,00381	1,11 1,39 1,67	0,02262	0,1355
<u>Oxygenkogningsforsøg</u>				
3. Kobber, maskevidde 0,0044 cm, sfærisk cylinder	0,00424	0,56 0,83 1,11	0,5504 0,9425 1,3572	0,9892 1,1247 1,2195
4. Aluminium, maskevidde 0,0053-0,0105 cm, korn- formet, plan plade	0,00444	0,56 0,83 1,11	0,2262 0,4373 0,6861	0,4065 0,5285 0,6233
5. Aluminium, maskevidde 0,025-0,05 cm, kornformet, plan plade	0,00699	1,11 1,39 1,67	0,3016 0,4298 0,5806	0,2710 0,3117 0,3523

x) Hvor værdier er udeladt, ligger varместrømmen Q/A udenfor 0,2662-2,639 gcal/sek · cm²-området på fig. 2.

På fig. 2 er vist de resultater, der er anført i tabel III i form af en grafisk afbildning med varmestrommen som ordinat og temperaturforskellen ΔT som abscisse. De samme overflader er betegnet med de samme identifikationstal i tabel II, tabel III og fig. 2. Sammenligning af de enkelte linier for porøse overflader fremstillet ud fra partikler opnået med forskellig maskestørrelse viser en stor variation i virkningen. Denne sammenligning kan f.eks. baseres på ΔT -værdien ved den samme varmestrom, således at den mest effektive overflade kræver det mindste ΔT , og den mindst effektive overflade kræver det største ΔT (temperaturforskellen kan direkte overføres til energikrav).

Metalpartikler, der er anvendt til at opbygge det porøse kogelag, kan omfatte en lang række maskestørrelser. Imidlertid skal i det mindste nogle af partiklerne kunne passere gennem en sigte med maskevidde 0,05 cm, og fortrinsvis skal nogle passere gennem en sigte med maskevidde 0,0105 cm for at tilvejebringe porer med tilstrækkelig lille størrelse til at blive aktiv ved lille ΔT . Idet der henvises til fig. 2 og begyndes med de glatte overflader nr. 13 og 14, vises den formindskelse i overopvarmning, der opnås med typiske overopvarmningshindrende midler ved hjælp af kurverne nr. 10 og 12. Yderligere forbedring opnås ved hjælp af porøse kogeoverfladelag, der har forholdsvis store ækvivalente poreradier på mellem 0,00635 og 0,0102 cm, som vist ved hjælp af kurverne nr. 5, 6, 7, 8 og 9, der henholdsvis repræsenterer overflader med partikler opnået med maskevidder på 0,025-0,05 cm, partikler opnået med maskevidder på 0,025-0,0297 cm, partikler opnået med maskevidder på 0,025-0,05 cm, partikler opnået med maskevidder på 0,0149-0,0177 cm og partikler opnået med maskevidder på 0,0038-0,042 cm. Ifølge den foreliggende opfindelse opnås der fremragende virkning med porøse kogelag, der har små ækvivalente pore-radier, d.v.s. mellem 0,000254 og 0,00635 cm som vist ved hjælp af kurverne nr. 1, 2, 3 og 4, der repræsenterer overflader med partikler opnået med maskevidder på 0,0044 cm, partikler opnået med maskevidder på 0,0044-0,0074 cm, partikler opnået med maskevidder på 0,0044 cm henholdsvis partikler opnået med maskevidder på 0,0053-0,0105 cm. Følgelig skal de partikler, der anvendes til at opbygge det porøse overfladelag, være opnået med sigte-maskevidder på mellem 0,0105 og 0,0038 cm for at opnå de bedst mulige resultater, hvilket betyder, at stort set alle metalpartiklerne passerer gennem en sigte med maskevidde 0,0105 cm (USA-standard sigter) og tilbageholdes på en sigte med maskevidde 0,0038 cm. Pulver, der anvendes til fremstilling af denne foretrukne overflade, kan indeholde mindre procenter af partikler, som

er grovere eller finere end de partikler, der opnås med maskevidder inden for det foretrukne område på 0,0038-0,0105 cm, og forsøg viser, at sådanne partikler i små mængder, f.eks. 10 vægtprocent, der enten er større eller mindre end det foretrukne område, hverken forøger eller forringer virkningen.

Det skal bemærkes, at selvom mindre partikler i almindelighed tilvejebringer porøse overfladelag med mindre ækvivalentradier, er der ingen direkte sammenhæng mellem disse to parametre. Dette skyldes delvis, at de enkelte partikler, der anvendes ved fremstilling af et givet porøst overfladelag, ikke nødvendigvis har den samme form, eller at disse partikler nødvendigvis af form svarer til de partikler med afvigende maskestørrelse, der er anvendt til fremstilling af andre porøse overflader. Desuden er partiklerne ophobet tilfældigt på den varmeledende væg, og størrelserne af de mellemliggende og indbyrdes forbundne porer kan variere betydeligt. Partikelformen vil påvirke porestørrelsen, da f.eks. kugler vil blive sammenhobet mere kompakt end partikler med uregelmæssig form, og de vil tilvejebringe mindre hulrum. Da utallige variationer, som disse faktorer tillader, gør det upraktisk at sammenfatte alle egnede pulvere under en enkelt specifikation. Af denne grund er den ækvivalente poreradius bestemt ved rutineafprøvning af prøvestykker af det færdige porøse kogeoverfladelag, som beskrevet ovenfor, en nøjagtig fremgangsmåde til identifikation.

Almindeligvis er et hvilket som helst metalmateriale egnet til fremstilling af den porøse kogeoverflade, forudsat at det har god varmeledningsevne, er tilgængeligt som et fint pulver, kan sammenbindes i sig selv og med basismetalltet og let kan befugtes af den væske, der skal koges. Pulverpartiklerne, der anvendes ved fremstilling af den porøse kogeoverflade, er fortrinsvis enten kornede eller sfæriske. Geometriske overvejelser viser, at kornede eller sfæriske partikler er mere effektive end flager eller dendritiske partikler til opnåelse af et stort antal porer med tilnærmelsesvis ens størrelse. Meget tynde flager er mindre ønskelige, da de er vanskelige at sammenbinde som adskilte partikler, og på grund af at deres overordentlig store overfladeareal komplicerer arbejdet med at rense pulveret omhyggeligt.

Det partikelformede materiale skal fortrinsvis have en stor varmeledningsevne, som det er anført ovenfor. Bl.a. er porøse kogeoverfladelagsmaterialer af nikkel hhv. kobber på kobberbasismetall blevet afprøvet under ens betingelser; varmeovergangstallet for kobber-på-kobber er omkring tre gange så stort som for nikkel-på-kobber-

kombinationen, hvilket kunne forventes på grund af kobbers større varmeledningsevne. Kobber udviser også nogle fordele i forhold til aluminium, idet ledningsevnen for disse metaller er 0,926 hhv. 0,484 gcal/sek $\cdot$ cm² $\cdot$ °C/cm. Til korroderende anvendelser kan legeringer, såsom rustfrit stål, der er modstandsdygtigt overfor kemiske angreb, anvendes.

Tykkelsen af det porøse kogeoverfladelag kan variere med i det mindste en faktor 10 uden alvorlig skade og påvirkes kun i ringe grad af koge væskens fysiske egenskaber. Tykkelsen skal være større end middelpartikeldiameteren og fortrinsvis være mindst to gange middelpartikeldiameteren. Med fine partikler, såsom partikler opnået med en maskevidde på 0,0044 cm, vil belægningens ensartethed og fuldstændige kontinuitet sædvanligvis bestemme den mindste tykkelse, der påføres. En praktisk minimumstykkelse er omkring 0,1 mm (0,01 cm).

Funktionsmæssigt reguleres den maksimale tykkelse, der uden skade kan anvendes, kun af overfladens kapillarvirkning og af overfladens evne til at afgive dampen, der tilvejebringes ved kogning. Ved anvendelse skal overfladen være i stand til at føre væsken hele vejen gennem tykkelsen til basismetallet, således at overfladen befugtes fuldstændigt, medens den samtidig afgiver eller frigør dampen fra porerne. Der er blevet opnået udmærkede resultater med forholdsvis tykke overfladelag; f.eks. er det porøse kogeoverfladelag på prøve nr. 3 i tabel II og på fig. 2 fra 0,4 til 0,5 cm tykt.

En egnet porøs overflade ifølge opfindelsen kan fremstilles ved at sintre varmeledende metalpartikler - f.eks. af kobber - som er opnået med sigte-maskevidder på 0,0038-0,0149 cm, til den varme væg, der tilfører varme til koge væsken. Partiklerne påføres i en sådan mængde, at der tilvejebringes en porøs lagtykkelse på ca. 0,043 cm. Mellemrummene eller hulrummene mellem partiklerne skal i det væsentlige være fri for fast materiale og indbyrdes forbundne i hele lagets tykkelse. De indbyrdes forbundne porer, der således tilvejebringes, vil variere meget i størrelse, og mange vil ligge mellem 0,00152 og 0,00762 cm i diameter, hvilket er påvist mikroskopisk. Der vil være et stort antal porer pr. arealenhed af overfladen.

Der kan anvendes forskellige fremgangsmåder til fremstilling af en sintret porøs metalkogeoverflade på et basismetall. En foretrukken fremgangsmåde er at anvende et midlertidigt bindemiddel, såsom et formstofmateriale til at tilvejebringe og bevare en ensartet belægning på basismetall overfladen, idet bindemidlet er af en sådan beskaffenhed, at det dekomponerer og fordamper under opvarmnings- og sintringsbe-

handlingen. Et sådant formstof er en isobutylenpolymer, der har en molekylvægt på ca. 140.000, og som markedsføres under betegnelsen "Vistanex".

Formstofbindemidlet opløses i et passende opløsningsmiddel, såsom petroleum eller carbontetrachlorid, og der tilsættes tilstrækkeligt metalpulver til at opnå en ensartet viskos opslæmning med et metal-formstof-vægtforhold på ca. 92:1. Basismetalooverfladen skal være fri for fedt, olie og oxidbelægning for at opnå passende vedhæften af den porøse belægning. Lige før opslæmningen påføres, kan overfladen skylles med formstofopløsningen for at lette befugtning af opslæmningen for derved at opnå en mere ensartet fordeling.

Der kan anvendes en række fremgangsmåder til påføring af en opslæmnet belægning på basismetallet. Formålet er at opnå en ensartet belægning, og valget af fremgangsmåde vil afhænge af formen for og orienteringen af overfladen. Påsprøjtning og neddykning er to fremgangsmåder, der med held har været anvendt.

Belægningen lufttørres enten under eller efter påføringen. Hovedmængden af opløsningsmiddel fjernes således ved fordampning, idet det efterlader et fast selvbærende lag, der holdes på plads af bindemidlet. Derefter dækkes basismetallet og belægningen af en svagt reducerende atmosfære, og temperaturen forøges i et tilstrækkeligt tidsrum til at sintre partiklerne indbyrdes og til basismetallet. Den cirkulerende reducerende gas fjerner den tynde oxidhinde og fjerner også dekomponeringsprodukterne fra overfladematerialerne. I tilfælde af kobber sintres belægningen ved omkring 100°C under dens smeltepunkt eller omkring 960°C.

Ifølge en anden vellykket fremgangsmåde påføres kun bindemidlet og opløsningsmidlet på overfladen, og metalpulveret strøes derefter i tør tilstand over den klæbrige belægning. Dette har den fordel, at opløsningsmidlet kan afdrives, før metalpartiklerne påføres, og formstoffet er mindre flydende og bevægeligt. Med en omhyggelig gennemført overstrøningsfremgangsmåde kan der opnås et meget ensartet lag, der har formindsket tendens til at løbe eller falde sammen. Overtrækningsoverdrysningstrinnene kan om ønsket gentages for at opbygge relativt tykke lag under anvendelse af tynde påføringer.

Et andet med held anvendt bindemiddel er en methylcellulosepolymer, der har en viskositet på 4000 cps, og som markedsføres under betegnelsen "Methocel". En foretrukken opslæmning omfatter 32 g kobberpulver i 100 cm³ af en 2% vandopløsning af denne polymer. Efter påføring af en belægning af opslæmningen på basismetallet lufttørres

den ved almindelige temperaturer (under vands kogepunkt) og ovntørres derefter ved omkring 399°C i en atmosfære af vandmættet udglødningsgas. Belægningen sintres derefter ved passende sintringstemperaturer.

Et tredje formstofbindemiddel, der med held har været anvendt, er polystyren, der har en molekylvægt på omkring 90.000, og som er opløselig i toluen eller xylen.

Som anført ovenfor anvendes bindemidler og opslæmninger for at lette fordelingen, og til midlertidigt at holde pulveret på plads, indtil der kan opnås en permanent termisk binding. Når overfladens beskaffenhed tillader det, kan pulveret påføres uden bindemiddel og sintres i tør tilstand.

En fremgangsmåde består i at påføre den porøse kogeoverflade på indersiden af varmevekslerrør. Ved en sådan anbringelse består en udmærket fremgangsmåde i til at begynde med at fordele opslæmningen i hele rørets længde og derefter anbringe røret i en maskine, der er i stand til at dreje røret om dets egen akse med en hastighed, der er tilstrækkelig stor til at tilvejebringe en glat belægning, d.v.s. omkring 200 omdrejninger pr. minut. Belægningen lufttørres under rotationen og ovnsintres derefter under de ovenfor omtalte betingelser.

En anden påføringsfremgangsmåde egner sig især til plane, riflede eller ydersiden af cylindriske overflader. Ifølge denne fremgangsmåde fødes en opslæmning af metalpulver og formstofbindemiddel fra en tragt til den ydre overflade på en poleret valse i et ensartet lag. Idet valsen langsomt roterer, får bindemidlets fordampning formstofhinden til at stivne, og denne trækkes kontinuerligt af valsen som en plade af formstofmateriale, der indeholder det indlejrede metalpulver. Den sammensatte hinde bringes derefter i kontakt med overfladen på en metalplade, der føres ind i ovnen, hvor formstoffet afdrives, og metalpulveret sintres til pladen. Denne fremgangsmåde egner sig især til kvantitative fremstillingsfremgangsmåder.

Den ovennævnte formstofbelægning-metaloverstrøningsfremfangsmåde foretrækkes til fremstilling af kogeoverflader på ydersiden af varmevekslerrør. Formstofbelægningen påføres let ved påsprøjtning eller påstrygning. Pulveret kan afgives fra en overliggende sigte. Som en anden mulighed kan det formstofovertrukne rør rulles i metalpulver, der derefter tilstoppes for at fjerne overskydende partikler, der ikke er fast vedhæftet.

Fremgangsmåden ifølge den foreliggende opfindelse kan praktiseres i varmevekslere, hvor i det mindste to gennemgange er termisk

forbundne, såsom f.eks. ved hjælp af en fælles væg, således at væsken, der skal koges, strømmer gennem en første gennemgang, og en varmere væske strømmer gennem den anden gennemgang. I et sådant anlæg udgør den varmere væske varmekilden, og den fælles væg udgør den varmeledende væg, der modtager varme fra den varmere væske. Det porøse lag er hæftet til den fælles væg på dennes ene side og udgør en del af den første gennemgang.

Dynamiske gennemstrømningsvarmevekslere, der er egnede til gennemførelse af fremgangsmåden ifølge opfindelsen, kan f.eks. være af pladetyper, hvor en flerhed af parallelle rumligt adskilte skilleplader er anbragt i en kernesektion, der er forsynet med passende samlekanaler og forgreningsrør for væskestrømmene.

Varmeveksleren kan også være af kappe-rørtypen med et eller flere rør anbragt i en kappe, således at rørene danner en første væskegennemgang, og at den omgivende kappe udgør en anden væskegennemgang. Det porøse lag er fastgjort til den ene side af rørvæggen, således at det kan berøre kogevæsken.

Det er klart, at der kan anvendes forskellige midler i varmevekslerne for at forbedre kondenseringskoefficienten i forbindelse med den foreliggende fremgangsmåde. F.eks. kan der anvendes ribber eller riller for at forøge varmeoverføringsarealet i den gennemgang, gennem hvilken den varmere væske strømmer.

Den foreliggende opfindelse kan også anvendes i forbindelse med varmevekslere af karkoge-typen, hvor det porøse overfladelag er hæftet til den ene side af en varmeledende væg, der er anbragt i en beholder. Den anden side af væggen er bragt i kontakt med en varmekilde, der f.eks. kan være en varmere væske eller en elektrisk, atom- eller anden varmekilde i fast tilstand. Det porøse lag dækkes med væsken, der skal koges, og den resulterende damp afgives fra det porøse lag og går gennem væsken op i det overliggende gasrum.

Som endnu en anden egnet varmevekslerudformning kan det porøse lag påføres de indvendige vægge i et rørbundt, der er anbragt lodret i en kappe. Den koldere væske i rørene opvarmes og koges af den varmere væske i kappen, der er i kontakt med røroverfladerne. Væsken koger med en gennemsivende virkning, således at dampbobler, der opstår fra det porøse lag, passerer gennem den forholdsvis tynde væskehinde, der fuldstændig dækker det porøse lag. Den opadstigende damp, der medfører væskepartikler, afgives fra rørenes øverste ender.

Ved opfindelsens gennemførelse behøver væsken, der skal koges, kun at tilvejebringe en tynd hinde over det porøse lag, sålænge

sidstnævnte er fuldstændig dækket. I andre udførelsesformer er det porøse lag neddyppet i en forholdsvis dyb væskebeholder.

Det ses, at det porøse lag kan hæftes til en væg, der er anbragt i en hvilken som helst retning lige fra vandret til lodret. I enten den skråtstillede eller lodrette stilling kan væsken, der skal koges, indføres ved den nederste ende, som beskrevet ovenfor, eller som en anden mulighed indføres ved den øverste ende til nedadgående strømning.

P a t e n t k r a v .

1. Fremgangsmåde ved overførsel af varme fra en varmekilde til en kogevæske gennem en varmeoverførende skilleveg under anvendelse af et porøst kogelag, der er fastgjort til væggen ene side og er opbygget af varmeledende enkelt-partikler, hvilken kogevæske har en Kelvin-parameter $2 C \sigma T_S / \lambda P_V$, der er mindre end $0,001411 \text{ cm} \cdot ^\circ\text{K}$, hvor

σ = overfladespænding, dyn/cm,

T_S = mætningstemperatur for kogevæsken svarende til væskens damptryk, $^\circ\text{K}$,

λ = latent varme for kogevæsken, gcal/g,

P_V = massefylde af dampen, g/cm^3 ,

C = omsætningsfaktor, $2,4 \cdot 10^{-8} \text{ gcal/dyn} \cdot \text{cm}$,

k e n d e t e g n e t ved, at kogelaget opbygges af partikler, hvoraf i det mindste nogle er tilstrækkelig små til at passere gennem en sigte med maskevidde 0,050 cm, hvorhos partiklerne er forbundet til væggen og til hinanden i en tilfældig sammenhobet orden til dannelse af en ensartet grundmasse, der mellem tilstødende partikler har mellemliggende og indbyrdes forbundne porer med ækvivalente poreradier på mellem 0,000254 og 0,00635 cm, at det porøse kogelag dækkes fuldstændigt med væsken, i det mindste som en væskehinde, at varmekilden bringes i kontakt med den anden side af væggen, således at der overføres tilstrækkelig varme gennem væggen til dannelse af dampbobler i det porøse kogelag, og at dampen afgives som bobler, der opstår fra det porøse kogelag, til den væskehindedel, der dækker det porøse kogelag.

2. Fremgangsmåde ifølge krav 1, k e n d e t e g n e t ved, at partiklerne er tilstrækkelig små til at passere gennem en sigte med maskevidde 0,0105 cm og tilstrækkeligt store til at blive holdt tilbage på en sigte med maskevidde 0,0038 cm.

3. Fremgangsmåde ifølge krav 1, ved hvilken oxygen er kogevæske, k e n d e t e g n e t ved, at partiklerne er tilstrækkeligt små til at passere gennem en sigte med maskevidde 0,0105 cm og tilstrækkeligt store til at blive holdt tilbage på en sigte med maskevidde på 0,0038 cm, og at poreradierne er mellem 0,000508 og 0,00508 cm.

4. Fremgangsmåde ifølge krav 1, ved hvilken monofluortrichlormethan er kogevæske, k e n d e t e g n e t ved, at partiklerne er tilstrækkeligt små til at passere gennem en sigte med maskevidde 0,0105 cm og tilstrækkeligt store til at blive holdt tilbage på en sigte med maskevidde 0,0038 cm, og at poreradierne er mellem 0,000762

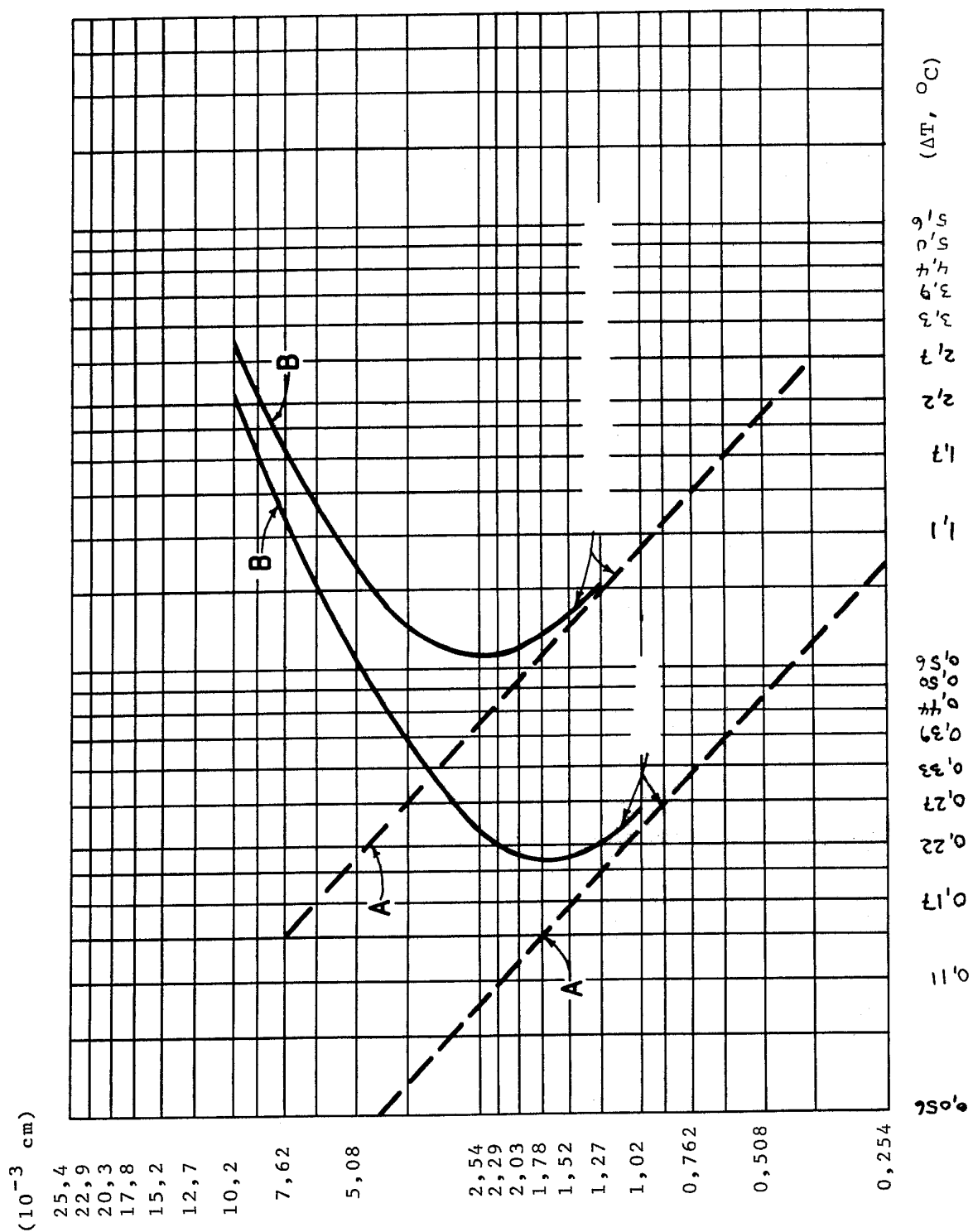
og 0,00635 cm.

5. Fremgangsmåde ifølge krav 1, k e n d e t e g n e t ved, at partiklerne er sfæriske.

6. Fremgangsmåde ifølge krav 1, k e n d e t e g n e t ved, at partiklerne er kornformede.

Fremdragne publikationer:

USA patent nr. 3196634.



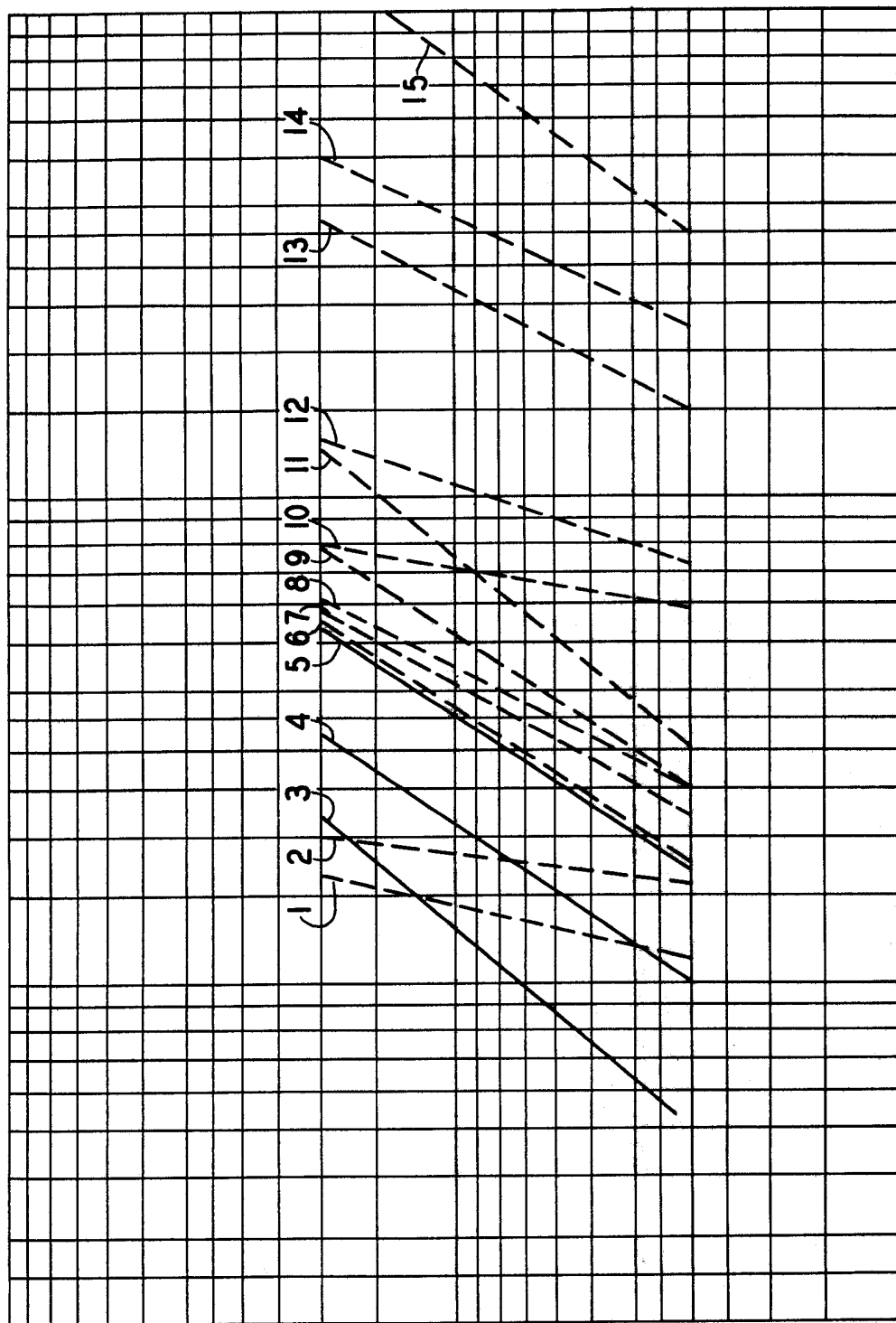
(gcal/sek·cm²)

7,54

FIG. 2.

0,754

0,0754



($\Delta T, ^\circ C$)

143422

11'0
0'17
0'22
0'23
0'33
0'39
0'44
0'50
0'55
0'56
1'1
1'7
2'2
2'7
3'3
3'9
4'4
4'10
5'0
5'6
11
12
13
14
15