



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 156 294 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
21.11.2001 Patentblatt 2001/47

(51) Int Cl.7: **F28F 13/18**

(21) Anmeldenummer: **01111034.3**

(22) Anmeldetag: **08.05.2001**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: **18.05.2000 DE 10024682**

(71) Anmelder: **Wieland-Werke AG
89070 Ulm (DE)**

(72) Erfinder:
• **Brand, Karine
Bryan, TX 77801 (US)**
• **Beutler, Andreas, Dr.
89264 Weissenhorn (DE)**
• **Knab, Manfred
89160 Dornstadt (DE)**
• **Schüz, Gerhard, Dr.
89269 Vöhringen (DE)**
• **Schwitala, Andreas
89186 Illerrieden (DE)**

(54) **Wärmeaustauscherrohr zur Verdampfung mit unterschiedlichen Porengrößen**

(57) Die Erfindung betrifft ein Wärmeaustauschrohr (1), insbes. Verdampferrohr, mit auf der Rohraußenseite umlaufenden Rippen (2), die unter Ausbildung im wesentlichen abgeschlossener Kanäle (4) verformt sind. Die Kanäle (4) sind nach außen durch Poren (5, 6) mit

mindestens zwei unterschiedlichen Größen geöffnet.

Zur Verbesserung der Verdampfungseigenschaften werden erfindungsgemäß vorteilhafte Bereiche für das Verhältnis der Porengrößen und das Verhältnis der Porenanzahl vorgeschlagen (Fig. 1).

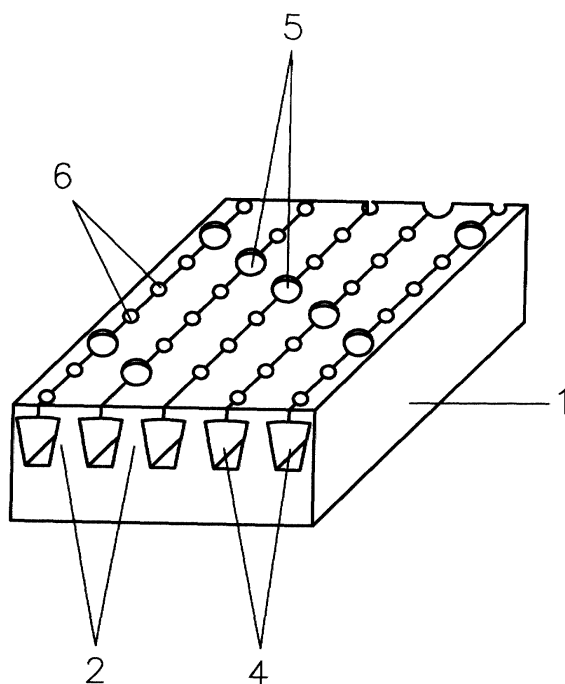


Fig.1

EP 1 156 294 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein metallisches Wärmeaustauschrohr, insbesondere zur Verdampfung von Flüssigkeiten aus Reinstoffen oder Gemischen auf der Rohraußenseite, nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Verdampfung tritt in vielen Bereichen der Kälte- und Klimatechnik sowie in der Prozess- und Energietechnik auf. In der Technik werden häufig Rohrbündelwärmeaustauscher verwendet, in denen Flüssigkeiten von Reinstoffen oder Mischungen auf der Rohraußenseite verdampfen und dabei auf der Rohrinenseite eine Sole oder Wasser abkühlen. Solche Apparate werden als überflutete Verdampfer bezeichnet.

[0003] Durch die Intensivierung des Wärmeübergangs auf der Rohraußen- und der Rohrinenseite lässt sich die Größe der Verdampfer stark reduzieren. Hierdurch nehmen die Herstellungskosten solcher Apparate ab. Außerdem sinkt die notwendige Füllmenge an Kältemittel, die bei den heute überwiegend verwendeten chlorfreien Sicherheitskältemitteln einen nicht zu vernachlässigenden Kostenanteil an den gesamten Anlagekosten ausmachen kann. Bei toxischen oder brennbaren Kältemitteln lässt sich durch eine Reduktion der Füllmenge ferner das Gefahrenpotential herabsetzen. Die heute üblichen Hochleistungsrohre sind etwa um den Faktor drei leistungsfähiger als glatte Rohre gleichen Durchmessers.

[0004] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf strukturierte Rohre, bei denen der Wärmeübergangskoeffizient auf der Rohraußenseite intensiviert wird. Da hierdurch der Hauptanteil des Wärmedurchgangswiderstandes häufig auf die Innenseite verlagert wird, muss der Wärmeübergangskoeffizient auf der Innenseite in der Regel ebenfalls intensiviert werden. Wärmeaustauscherrohre für Rohrbündelwärmeaustauscher besitzen üblicherweise mindestens einen strukturierten Bereich sowie glatte Endstücke und eventuell glatte Zwischenstücke. Die glatten End- bzw. Zwischenstücke begrenzen die strukturierten Bereiche. Damit das Rohr problemlos in den Rohrbündelwärmeaustauscher eingebaut werden kann, darf der äußere Durchmesser der strukturierten Bereiche nicht größer sein als der äußere Durchmesser der glatten End- und Zwischenstücke.

[0005] Zur Erhöhung des Wärmeüberganges bei der Verdampfung wird der Vorgang des Blasensiedens intensiviert. Es ist bekannt, dass die Bildung von Blasen an Keimstellen beginnt. Diese Keimstellen sind meist kleine Gas- oder Dampfeinschlüsse. Solche Keimstellen lassen sich bereits durch Aufrauen der Oberfläche erzeugen. Wenn die anwachsende Blase eine bestimmte Größe erreicht hat, löst sie sich von der Oberfläche ab. Wenn im Zuge der Blasenablösung die Keimstelle durch nachströmende Flüssigkeit geflutet wird, wird u.U. der Gas- bzw. Dampfeinschluss durch Flüssigkeit verdrängt. In diesem Fall wird die Keimstelle inaktiviert. Dies lässt sich durch eine geeignete Gestaltung der Keimstellen vermeiden. Hierzu ist es notwendig, dass die Öffnung der Keimstelle kleiner ist als die darunterliegende Kavität, wie z.B. bei hinterschnittenen Strukturen.

[0006] Es ist Stand der Technik, derartige Strukturen auf der Basis von integral gewalzten Rippenrohren herzustellen. Unter integral gewalzten Rippenrohren werden berippte Rohre verstanden, bei denen die Rippen aus dem Wandungsmaterial eines Glatthohres geformt wurden. Hierbei sind verschiedene Verfahren bekannt, mit denen die zwischen benachbarten Rippen befindlichen Kanäle derart verschlossen werden, daß Verbindungen zwischen Kanal und Umgebung in Form von Poren oder Schlitzeln bleiben. Durch diese kann der Transport von Flüssigkeit und Dampf erfolgen. Insbesondere werden solche im wesentlichen geschlossenen Kanäle durch Umbiegen oder Umlegen der Rippe (US 3.696.861, US 5.054.548), durch Spalten und Stauchen der Rippe (DE 2.758.526, US 4.577.381), und durch Kerben und Stauchen der Rippe (US 4.660.630, EP 0.713.072, US 4.216.826) erzeugt.

[0007] Die bekannten Schutzrechte zielen darauf ab, eine möglichst gleichmäßige, definierte Kanal- und Porengröße zu erzeugen. In der US-PS 5.054.548 werden je nach dem zu verdampfenden Medium (Hochdruck- oder Niederdruck-Kältemittel) unterschiedlich große optimale Porengrößen angegeben. Diese Betrachtung setzt voraus, dass das Porensystem am besten aus gleich großen Poren aufgebaut wird.

[0008] In der JP-OS 63-172.892 wird eine Methode beschrieben, mit der voneinander abgeschlossene, große und kleine Kavitäten erzeugt werden. Dies geschieht durch Aufweiten der gewalzten Rippenkanäle in regelmäßigen Abständen. Die einzelnen Kavitäten sind durch verschieden große Poren mit dem Außenraum verbunden; große und kleine Kavitäten sind jedoch voneinander getrennt. Das Ziel der JP-OS 63-172.892 ist die Schaffung einer Struktur, die bei unterschiedlichen Heizflächenbelastungen, ausgedrückt durch die Wandüberhitzung, gleichbleibend funktionieren soll. Die großen Kavitäten und Poren sollen bei hoher Wandüberhitzung den Wärmeübergang sicherstellen, die hiervon abgetrennten kleinen Kavitäten und Poren hingegen bei kleiner Wandüberhitzung. Diese Betrachtungsweise setzt ebenfalls wieder voraus, dass jeweils eine Porengröße für einen gegebenen Betriebszustand (Heizflächenbelastung, Sättigungsbedingungen, verdampfender Stoff) optimal ist. Die Aufweitung der Rippengänge wird durch eine gezahnte Scheibe erreicht, die dicker ist als die Kanalbreite zwischen den Rippen. Hierdurch werden die Rippen an der Aufweitungsstelle nach beiden Seiten weit auseinandergedrückt. In der Folge werden die beiden benachbarten Kanäle an dieser Stelle verschlossen, wodurch einzelne voneinander abgetrennte Kavitäten entstehen. An der Aufweitungsstelle entsteht eine im Verhältnis sehr große Öffnung.

[0009] In der JP-OS 54-16.766 wird eine Wärmeübertrageroberfläche mit großen und kleinen Porenöffnungen vorgeschlagen, wobei die Poren so angeordnet sind, daß sich alle großen Poren auf einer Seite des Rohres und alle

kleinen Poren auf der anderen Seite des Rohres befinden. Ein derartiges Rohr ist für den horizontalen Einbau in einen Rohrbündelapparat vorgesehen. Der Einbau muß jedoch so erfolgen, daß die großen Poren nach oben und die kleinen Poren nach unten gerichtet sind. Die Flüssigkeit wird dann durch die kleinen Poren eingesaugt, der Dampf nach oben durch die großen Poren ausgestoßen. Ein derartiger Einbau in einer vorgegebenen Orientierung ist jedoch bei einer Großserienfertigung von Wärmeübertragern nicht durchführbar, da die Rohre üblicherweise durch einen Einwalzvorgang mit dem Apparat verbunden werden und bei diesem Einwalzvorgang das Rohr um ein unkontrollierbares Winkelmaß um seine Achse rotiert. Ferner ist zu berücksichtigen, daß bei diesem Rohrkonzept aus strömungstechnischen Gründen die Kanäle ein sehr großes Volumen besitzen müssen. Dies bedingt nachteilig hohe Rohrgewichte und eine große Schichtdicke der Außenstruktur. Letztgenanntes führt zu einem kleinen inneren Rohrquerschnitt und somit zu unerwünscht hohem Druckabfall des rohrseitig strömenden Mediums.

[0010] US 5.597.039 (bzw. US-PS 5.896.660) beschreibt ein Verdampferrohr mit umgebogenen Rippenspitzen, wobei die Rippenspitzen vor dem Umbiegen mit Kerben versehen werden. Hierbei haben jeweils benachbarte Kerben einer Rippe unterschiedliche Form und/oder Größe, so daß ein System von unterschiedlichen Porenöffnungen entsteht. Als entscheidend wird dabei angesehen, daß unmittelbar benachbarte Öffnungen unterschiedlich groß sind. Je nach Betriebszustand, ausgedrückt durch die Heizflächenbelastung, wird die für den Betriebszustand günstigste Porensorte aktiviert sein. Die vielen unterschiedlichen Poren dienen dazu, dem Rohr über einen weiten Bereich von Betriebszuständen gute Verdampfungseigenschaften zu verleihen. Die jeweils nicht aktiven Poren tragen jedoch nicht zum Verdampfungsprozeß bei. Sie reduzieren hingegen die Dichte der aktiven Blasenkeimstellen und können damit die Wärmeübertragungseigenschaften des Rohres sogar verschlechtern.

[0011] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Wärmeaustauscherrohr der genannten Art mit verbesserten Eigenschaften hinsichtlich der Wärmeübertragung bei Verdampfung von Stoffen auf der Rohraussenseite zu erzeugen. Die Wärmeübertragungseigenschaften sollen auf die Eigenschaften des zu verdampfenden Stoffs sowie auf den Betriebszustand anpassbar sein.

[0012] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

[0013] Die Größe einer einzelnen Pore ist exakt definierbar und messtechnisch erfassbar. Aufgrund des Herstellungsverfahrens und bedingt durch Toleranzen in Material und Werkzeug haben zwei beliebig gewählte Poren praktisch nie die gleiche Form und Größe. Die Porengröße unterliegt statistischen Schwankungen. Es ist deshalb sinnvoll, die Poren entsprechend ihrer Größe in Größenklassen einzuteilen, wobei sich die Poren mit einer endlichen Verteilungsbreite um Häufigkeitsmaxima gruppieren. Unterschiedlich große Poren im Sinne der Erfindung sollen dann vorliegen, wenn sich im Häufigkeitsdiagramm nach Fig. 5 die Abszissenwerte benachbarter Maxima der Häufigkeitsverteilung um mindestens 50% des zur kleinsten Porenklasse gehörenden Abszissenwerts unterscheiden.

[0014] Zur messtechnischen Bestimmung von Porengröße und -häufigkeitsverteilung wird beispielsweise ein geeignetes Bildverarbeitungssystem, bestehend aus optischer Bilderfassungseinheit und digitaler Auswertungseinheit, benutzt. Die Rohroberfläche wird fotografisch erfaßt und das Bild in Graustufen sortiert. Durch geeignete Wahl einer Grauwertschwelle wird das Bild der Rohroberfläche in Porenbereiche und Bereiche metallischer Oberfläche zerlegt. Die Porenbereiche werden dann geometrisch vermessen und digital ausgewertet. In Figur 5 ist die mittels eines derartigen Systems an einem erfindungsgemäßen Rohrmuster ermittelte Häufigkeitsverteilung der Porengröße dargestellt (vgl. das später behandelte Zahlenbeispiel). Die Porengröße ist durch die Fläche der Porenöffnung, gemessen in μm^2 , charakterisiert. Man erkennt im Histogramm zwei Maxima. Die Klasse der kleinen Poren gruppiert sich um das Maximum bei einer Porenfläche A_k , die Klasse der großen Poren gruppiert sich um das Maximum bei einer Porenfläche A_g . Die Werte A_g und A_k können damit jeweils als die mittlere Porengröße der beiden Porenklassen interpretiert werden. Das Häufigkeitsverhältnis N_k/N_g (Anzahl N_k der kleinen Poren zur Anzahl N_g der großen Poren) wird mit m bezeichnet.

[0015] Gemäß der Erfindung werden die zwischen den Rippen befindlichen Kanäle durch Material der oberen Rippenbereiche im wesentlichen verschlossen, wobei die so entstehenden Hohlräume durch Poren mit dem umgebenden Raum verbunden sind. Diese Poren sind so gestaltet, daß sie in typischerweise zwei Größenklassen eingeteilt werden können. Nach einem regelmäßigen, sich wiederholenden Schema folgen entlang der Kanäle auf jeweils eine bestimmte Anzahl kleiner Poren eine oder mehrere große Poren. Durch diese Struktur wird eine gerichtete Strömung in den Kanälen erzeugt. Flüssigkeit wird durch die kleinen Poren mit Unterstützung des Kapillardrucks eingezogen und benetzt die Kanalwände, wodurch dünne Filme erzeugt werden. Der Dampf sammelt sich im Zentrum des Kanals an und entweicht an den Stellen mit dem geringsten Kapillardruck.

[0016] Dies sind die in bestimmten Abständen angeordneten großen Poren. Größenverhältnis A_g/A_k und Häufigkeitsverteilung m der Poren sind so gewählt, dass der Dampf entweichen kann, ohne dass zu viel Flüssigkeit in die Kanäle eindringt und diese flutet, wodurch die wärmetechnisch sehr effektive Dünnschichtverdampfung zum Erliegen käme. Andererseits müssen die Dampfporen groß genug gewählt werden, dass der Dampf nicht in den Poren zurückgestaut wird.

[0017] Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung sind Gegenstand der Ansprüche 2 bis 4. Insbes. Anspruch 4 ist auf das Verhältnis F_k/F_g gerichtet.

[0018] Für das Verhältnis der gesamten Öffnungsflächen F_k aller kleinen Poren zur gesamten Öffnungsfläche F_g

aller großer Poren gilt:

$$\frac{F_k}{F_g} := \frac{\sum_i A_{k,i}}{\sum_j A_{g,j}} = \frac{A_k \cdot N_k}{A_g \cdot N_g} = \frac{A_k}{A_g} \cdot m$$

[0019] Das Verhältnis der gesamten öffnungsflächen muß auf die Eigenschaften des verwendeten Mediums am Betriebspunkt abgestimmt sein. Hierbei ist bei der Auslegung der Porengeometrie insbesondere zu berücksichtigen, daß dieses Verhältnis proportional zur Quadratwurzel aus dem Dichteverhältnis von Dampf ρ_D und Flüssigkeit ρ_{FI} sein sollte:

$$\frac{F_k}{F_g} \sim \sqrt{\frac{\rho_D}{\rho_{FI}}}$$

[0020] Damit ist die Porenstruktur an die Eigenschaften des verwendeten Stoffs sowie den Betriebszustand, insbesondere die Drucklage, anpassbar.

[0021] Gegenstand der Erfindung ist weiterhin ein Verfahren zur Herstellung des erfindungsgemäßen Wärmeaustauschrohres.

[0022] Ausgehend von dem Verfahren nach der US-PS 5.896.660 gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 5 ist das erfindungsgemäße Verfahren dadurch gekennzeichnet, daß die Kerbung durch am Umfang der Kerbscheibe angeordnete große und kleine Zähne bewirkt wird; die gekerbten Rippenspitzen werden durch radialen Druck bis auf das Niveau der Kerbung gestaucht.

[0023] Eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens nach dem Oberbegriff des Anspruchs 6 ist dadurch gekennzeichnet, daß die Kerbscheibe am Umfang in regelmäßiger Anordnung kleine und große Zähne aufweist, wobei jeweils auf eine bestimmte Anzahl kleiner Zähne ein großer Zahn oder mehrere große Zähne folgen und wobei das Verhältnis der Anzahl kleiner Zähne zur Anzahl großer Zähne $m = 12:1$ bis $1:5$ beträgt; auf die Kerbscheibe folgt eine Stauchrolle.

(Das Verhältnis ist naturgemäß identisch mit $m = N_k/N_g$.)

[0024] Die Ansprüche 7 bis 12 betreffen bevorzugte Ausführungsformen der Vorrichtung.

[0025] Die Erfindung wird anhand der folgenden Ausführungsbeispiele näher erläutert.

[0026] Es zeigt:

Figur 1 schematisch die Oberfläche eines erfindungsgemäßen Wärmeaustauschrohres mit zwei Porenklassen,

Figur 2 eine Vorrichtung zur Herstellung des Wärmeaustauschrohres,

Figur 3 den Teilausschnitt einer Kerbscheibe,

Figur 4 schematisch die gerichtete Dampfströmung entlang eines Rippenkanals,

Figur 5 beispielhaft die Häufigkeitsverteilung von großen und kleinen Poren,

Figur 6 den Wärmeübergangskoeffizienten auf der Rohraußenseite als Funktion der Heizflächenbelastung für drei unterschiedlich gestaltete Porensysteme.

[0027] Das integral gewalzte Rippenrohr 1 nach Figuren 1 und 2 weist auf der Rohraußenseite schraubenlinienförmig umlaufende Rippen 2 auf, zwischen denen eine Nut 3 gebildet ist. Material der Rippenspitzen 2' ist derart verlagert, dass die Rippenzwischenräume unter Ausbildung von Kanälen 4 bis auf große Poren 5 (Fläche A_g) und kleine Poren 6 (Fläche A_k) geschlossen werden. Die Kanäle 4 laufen mit im wesentlichen gleichförmigem Querschnitt um.

[0028] Die Herstellung des erfindungsgemäßen Rippenrohres 1 erfolgt durch einen Walzvorgang (vgl. US-PSen 1.865.575 / 3.327.512) mittels der in Figur 2 dargestellten Vorrichtung.

[0029] Es wird eine Vorrichtung verwendet, die aus $n = 3$ Werkzeughaltern 7 besteht, in die jeweils ein Walzwerkzeug 8 und mindestens eine nachgeschaltete Kerbscheibe 9 und eine Stauchrolle 10 integriert sind (in Figur 2 ist nur ein Werkzeughalter 7 dargestellt. Es können aber beispielsweise vier oder mehr Werkzeughalter 7 verwendet werden).

Die Werkzeughalter 7 sind jeweils um $\alpha = 360^\circ/n$ versetzt am Umfang des Rippenrohres angeordnet. Die Werkzeughalter 7 sind radial zustellbar.

[0030] Sie sind ihrerseits in einem ortsfesten (nicht dargestellten) Walzkopf angeordnet (nach einer anderen Variante wird das Rohr bei sich drehendem Walzkopf lediglich axial vorgeschoben).

[0031] Das in Pfeilrichtung in die Vorrichtung einlaufende Glatтроhr 1' wird durch die am Umfang angeordneten, angetriebenen Walzwerkzeuge 8 in Drehung versetzt, wobei die Achsen der Walzwerkzeuge 8 schräg zur Rohrachse verlaufen. Die Walzwerkzeuge 8 bestehen in an sich bekannter Weise aus mehreren nebeneinander angeordneten Walzscheiben 11, deren Durchmesser in Pfeilrichtung ansteigt. Die zentrisch angeordneten Walzwerkzeuge 8 formen die schraubenlinienförmig umlaufenden Rippen 2 aus der Rohrwandung des Glatтроhres 1', wobei das Glatтроhr 1' hier durch einen Walzdom 12 unterstützt wird.

[0032] Die Rippenspitzen 2' werden mittels der Kerbscheibe 9 gekerbt, die gemäß Figur 3 in regelmäßiger Ordnung am Umfang verteilt große und kleine Zähne 13 bzw. 14 aufweist. Bei der in Figur 3 dargestellten Kerbscheibe 9 folgt auf jeweils drei gleichartige kleine Zähne 14 ein großer Zahn 13.

[0033] Abschließend erfolgt das Stauchen der gekerbten Rippenspitzen durch die Stauchrolle 10, wodurch zwei Porenklassen, nämlich die großen Poren 5 und die kleinen Poren 6, entstehen. Die großen Poren 5 werden dabei an den Stellen gebildet, an denen die großen Zähne 13 der Kerbscheibe 9 ihren Abdruck hinterlassen haben.

[0034] In Figur 3 sind zusätzlich die Breite b an der Spitze der kleinen Zähne 14, die Breite B an der Spitze der großen Zähne 13 eingetragen sowie der Flankenwinkel β angedeutet.

[0035] Bringt man die Rohraußenfläche mit einer zu verdampfenden Flüssigkeit in Kontakt (vgl. Fig. 4), dann wird durch die erfindungsgemäße Gestaltung der Kanäle 4 und der Poren 5, 6 erreicht, dass die Kanalwände 15 von einem Flüssigkeitsfilm 16 benetzt werden.

[0036] Der Phasenwechsel von flüssig nach dampfförmig geschieht dann nicht durch Blasenverdampfung, sondern durch Dünnschichtverdampfung an den Kanalwänden 15. In diesem Fall hat das Porensystem zwei verschiedene Aufgaben zu erfüllen. Die Flüssigkeit muss zunächst in die unter der äußeren Rohroberfläche liegenden Kanäle 4 hineintransportiert werden. Nach der Verdampfung muss der entstandene Dampf 17 nach außen entweichen können.

[0037] Damit der Verdampfungsvorgang aufrechterhalten werden kann, müssen die gleichen Mengen Flüssigkeit und Dampf 17 in zueinander entgegengesetzten Richtungen durch die Poren 5, 6 transportiert werden. Andernfalls werden die Kanäle 4 entweder mit Flüssigkeit überflutet oder sie trocknen aus. In beiden Fällen wird der Verdampfungsvorgang stark beeinträchtigt oder kommt in den Kanälen 4 zum Erliegen.

[0038] Um den erzeugten Dampf 17 aus den Kanälen 4 transportieren zu können, muß in den Kanälen 4 ein höherer Druck herrschen als im Außenraum. Dieser Überdruck wird entsprechend der Dampfdruckkurve des zu verdampfenden Mediums durch die Übertemperatur der Rohrwand eingestellt.

[0039] Üblicherweise werden Flüssigkeiten verwendet, die den Rohrwerkstoff gut benetzen. Eine derartige Flüssigkeit kann aufgrund des Kapillareffekts durch die Poren 5, 6 in der äußeren Rohroberfläche gegen einen Überdruck in die Kanäle 4 eindringen. In jeder Pore 5, 6 bildet sich ein Flüssigkeitsmeniskus, an dessen gekrümmter Oberfläche aufgrund der Oberflächenspannung eine Diskontinuität des Drucks entsteht. Dieser Druckunterschied wird Kapillardruck p_k genannt und ist für kugelförmig gekrümmte Flüssigkeitsoberflächen durch folgenden Zusammenhang bestimmt:

$$p_k = \frac{2 \cdot \sigma}{r}$$

[0040] In dieser Gleichung bedeuten σ die Oberflächenspannung und r den Krümmungsradius der Meniskusoberfläche. Der Krümmungsradius r hängt vom Kontaktwinkel Θ und der Porenform ab. Für Poren 5, 6 mit kreisförmigem Querschnitt und Porenradius R_p gilt:

$$p_k = \frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos \Theta}{R_p}$$

[0041] Für Poren 5, 6 mit nicht kreisförmigem Querschnitt lassen sich ähnliche Zusammenhänge ableiten. Man erkennt, daß sich der größte Kapillardruck an den Poren 6 mit kleinstem Radius einstellen kann. Die Flüssigkeit dringt also durch die kleinen Poren 6 in den Kanal 4 ein, bildet an den Kanalwänden 15 einen dünnen Film 16 und verdampft unter Wärmezufuhr. Der Dampf 17 entweicht durch die größeren Poren 5, da an diesen der Kapillardruck geringer ist. Es bildet sich also eine von den kleinen Poren 6 hin zu den großen Poren 5 gerichtete Strömung aus. Dies ist in Figur 4 schematisch dargestellt.

[0042] Damit ausreichend Flüssigkeit in die Kanäle 4 hineintransportiert werden kann, muss eine ausreichende Menge an möglichst kleinen Poren 6 zur Verfügung gestellt werden. Gleichzeitig müssen die großen Poren 5 so dimensioniert werden, daß der Dampf 17 ausreichend schnell entweichen kann und die Kanäle 4 nicht austrocknen. Die Größe

und Häufigkeit der Dampfporen 5 im Verhältnis zu den kleineren Flüssigkeitsporen 6 sind deshalb äußerst kritische Größen.

[0043] Es kann sich als zweckmäßig erweisen, mehr als zwei Größenklassen von Poren zu verwenden. Hierbei dringt die Flüssigkeit immer durch die Poren der kleinsten Klasse in den Kanal ein, während der Dampf durch die größeren entweicht.

[0044] Zahlenbeispiel:

Der Einfluss der Gestaltung des Porensystems auf die Leistungsfähigkeit des Rohres 1, ausgedrückt durch den Wärmeübergangskoeffizienten auf der Rohraußenseite in Abhängigkeit der Heizflächenbelastung, soll anhand von drei unterschiedlich gestalteten Porensystemen aufgezeigt werden.

[0045] Die schraubenartig umlaufenden Kanäle 4 weisen eine Teilung von 0,5 mm und eine Höhe von insges. 0,75 mm auf. Der Außendurchmesser des Rohres 1 beträgt ca. 19 mm.

[0046] Die geometrischen Daten der verwendeten Kerbscheiben 9 sind in Tabelle 1 zusammengefasst; eine schematische Darstellung einer solchen Kerbscheibe 9 zeigt Figur 3. Je größer die Breite B an der Spitze der großen Zähne 13 ist, desto größer ist die Porenfläche der großen Poren 5.

Tabelle 1

Nr.	Kerbteilung t	Flankenwinkel β	Breite b	Breite B	Häufigkeits- verhältnis m
1	0,50 mm	25°	0,20	-	-
2	0,50 mm	25°	0,20	0,40	8:1
3	0,50 mm	25°	0,20	0,60	8:1

[0047] Die Wirkung auf den äußeren Wärmeübergangskoeffizienten in Abhängigkeit der Heizflächenbelastung ist exemplarisch für das Kältemittel R-22 bei 14,4 °C Sättigungstemperatur in Figur 6 dargestellt.

[0048] Im Vergleich zu einer Kerbscheibe 9 mit gleichbleibender Zahnbreite (siehe Nr. 1), d.h. Poren mit gleicher Größe, erhält man bei Kerbscheibe Nr. 2 eine Verbesserung des Wärmeübergangs um ca. 30 %.

[0049] In Figur 5 ist die an dem erfindungsgemäßen Rohrmuster ermittelte Häufigkeitsverteilung der Porengröße dargestellt. Die Klasse der kleinen Poren 6 gruppiert sich um das Maximum bei einer Porenfläche von ca. $A_k = 30000 \mu\text{m}^2$, die Klasse der großen Poren 5 gruppiert sich um das Maximum bei einer Porenfläche von ca. $A_g = 75000 \mu\text{m}^2$.

[0050] Vergrößert man die Dampfporen 5 weiter, wie bei Kerbscheibe Nr. 3, so erhält man gegenüber den gleichmäßigen Poren einen um 25 bis 45 % verringerten Wärmeübergangskoeffizienten auf der Rohraußenseite. In diesem Fall sind die Dampfporen 5 zu groß, die Kanäle 4 werden mit Flüssigkeit geflutet und die Dünnschichtverdampfung bricht zusammen.

[0051] Es zeigt sich, dass die Abmessungen der Poren 5, 6 sowie die Häufigkeit der größeren Dampfporen 5 entscheidenden Einfluss auf die Funktion und damit die Leistungsfähigkeit der Struktur haben.

[0052] Die vorliegenden Beobachtungen ergeben, dass weniger die Kanalgröße, sondern vielmehr die Porengröße für die Funktion und damit den Wärmeübergang maßgebend sind. Durch die fehlende Aufweitung der Kanäle (vgl. JP-OS 63-172.892, dortige Figur 5 und 7) werden jeweils benachbarte Kanäle nicht in negativer Weise beeinflusst.

[0053] Die US-PS 4.729.155 bezieht sich auf nebeneinander liegende Kanäle, die durch kleinere Queröffnungen miteinander verbunden sind. Die vorliegende Erfindung bezieht sich jedoch auf abgeschlossene Kanäle, in denen eine gerichtete Strömung vorliegt, wie oben beschrieben. Querverbindungen zwischen den Kanälen führen zu einer Störung der gerichteten Strömung und sind daher für dieses Konzept nicht brauchbar.

Patentansprüche

1. Metallisches Wärmeaustauschrohr, insbes. zur Verdampfung von Flüssigkeiten aus Reinstoffen oder Gemischen auf der Rohraußenseite, mit auf der Rohraußenseite ring- oder schraubenlinienförmig umlaufenden, integralen Rippen (2), die unter Ausbildung im wesentlichen abgeschlossener Kanäle (4) verformt sind, wobei die Kanäle (4) mit im wesentlichen gleichförmigem Querschnitt umlaufen und nach außen abwechselnd durch Poren (5, 6) mit mindestens zwei unterschiedlichen Größen geöffnet sind, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:

a) das reziproke Verhältnis der mittleren Größe A_k der Poren (6) der kleinsten Porenklasse zur mittleren Größe A_g der Poren (5) der nächstgrößeren Porenklasse beträgt:

EP 1 156 294 A2

$$A_g/A_k = 1,5 \text{ bis } 4;$$

b) das Häufigkeitsverhältnis $m = \text{Anzahl } N_k \text{ der Poren (6) der kleinsten Porenklasse zur Anzahl } N_g \text{ der Poren (5) der nächstgrößeren Porenklasse}$ beträgt:

$$m = \frac{N_k}{N_g} = 12:1 \text{ bis } 1:5.$$

2. Wärmeaustauschrohr nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, **daß** $A_g/A_k = 2 \text{ bis } 3$ und

$$m = \frac{N_k}{N_g} = 9:1 \text{ bis } 1:3 \text{ betragen.}$$

3. Wärmeaustauschrohr nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, **daß** es zwei Porenklassen aufweist.

4. Wärmeaustauschrohr nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, **daß** das Verhältnis der gesamten Öffnungsfläche F_k aller kleinen Poren (6) zur gesamten Öffnungsfläche F_g aller großen Poren (5) auf die Eigenschaften des verwendeten Mediums abgestimmt ist durch:

$$\frac{F_k}{F_g} \sim \sqrt{\frac{\rho_D}{\rho_{Fl}}};$$

mit

$$\frac{F_k}{F_g} := \frac{\sum_i A_{k,i}}{\sum_j A_{g,j}} = \frac{A_k \cdot N_k}{A_g \cdot N_g} = \frac{A_k}{A_g} \cdot m$$

und ρ_D = Dichte des Dampfes und ρ_{Fl} = Dichte der Flüssigkeit.

5. Verfahren zur Herstellung eines Wärmeaustauschrohres mit auf der Außenseite schraubenlinienförmig umlaufenden, integralen Rippen (2) nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, bei dem folgende Verfahrensschritte durchgeführt werden:

a) Auf der äußeren Oberfläche eines Glattrohres (1') werden schraubenlinienförmig verlaufende Rippen (2) herausgewalzt, indem das Rippenmaterial durch Verdrängen von Material aus der Rohrwandung nach außen mittels eines Walzvorgangs gewonnen wird und das entstehende Rippenrohr (1) durch die Walzkräfte in Drehung versetzt und/oder entsprechend den entstehenden Rippen (2) vorgeschoben wird, wobei die Rippen (2) mit ansteigender Höhe aus dem sonst unverformten Glattrohr (1') ausgeformt werden,

b) das Glattrohr (1') wird durch einen darinliegenden Walzdom (12) abgestützt,

c) nach dem Herausformen der Rippen (2) werden die Rippenspitzen (2') durch eine Kerbscheibe (9) gekerbt, **gekennzeichnet durch**:

c') die Kerbung wird **durch** am Umfang der Kerbscheibe (9) angeordnete große und kleine Zähne (13, 14) bewirkt,

d) die gekerbten Rippenspitzen (2') werden **durch** radialen Druck bis auf das Niveau der Kerbung gestaucht.

6. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 5 mit folgenden Merkmalen:

a) Am Umfang des Rippenrohres (1) sind mindestens zwei gegeneinander versetzt und in einem ortsfesten Walzkopf angeordnete, radial zustellbare Werkzeughalter (7) vorgesehen,

b) die Werkzeughalter (7) weisen jeweils ein aus mehreren Walzscheiben (11) bestehendes, angetriebenes Walzwerkzeug (8) mit schräg zur Rohrachse liegender Achse auf,

c) wobei die Walzscheiben (11) einen zunehmenden Durchmesser aufweisen,

d) in mindestens einem Werkzeughalter (7) ist dem Walzwerkzeug (8) eine Kerbscheibe (9) nachgeschaltet, **gekennzeichnet durch** folgende Merkmale:

d') die Kerbscheibe (9) weist am Umfang in regelmäßiger Anordnung große und kleine Zähne (13, 14) auf, wobei jeweils auf eine bestimmte Anzahl kleiner Zähne (14) ein großer Zahn (13) oder mehrere große Zähne (13) folgen und wobei das Verhältnis der Anzahl kleiner Zähne (14) zur Anzahl großer Zähne (13) $m = 12:1$ bis $1:5$ beträgt,

e) auf die Kerbscheibe (9) folgt eine Stauchrolle (10).

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Verhältnis $m = 9:1$ bis $1:3$ beträgt.

8. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Kerbscheibe (9) 8 bis 25 Zähne (13, 14) pro cm Umfang aufweist.

9. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, daß** bei trapezförmiger Ausbildung der Zähne (13, 14) das Verhältnis der Breite B der Spitze eines großen Zahns (13) zur Breite b der Spitze eines kleinen Zahns (14) $B/b = 1,2$ bis 4 beträgt.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Verhältnis $B/b = 1,5$ bis 3 beträgt.

11. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 6 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Kerbscheibe (9) gerade verzahnt ist.

12. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 6 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Kerbscheibe (9) schräg verzahnt ist.

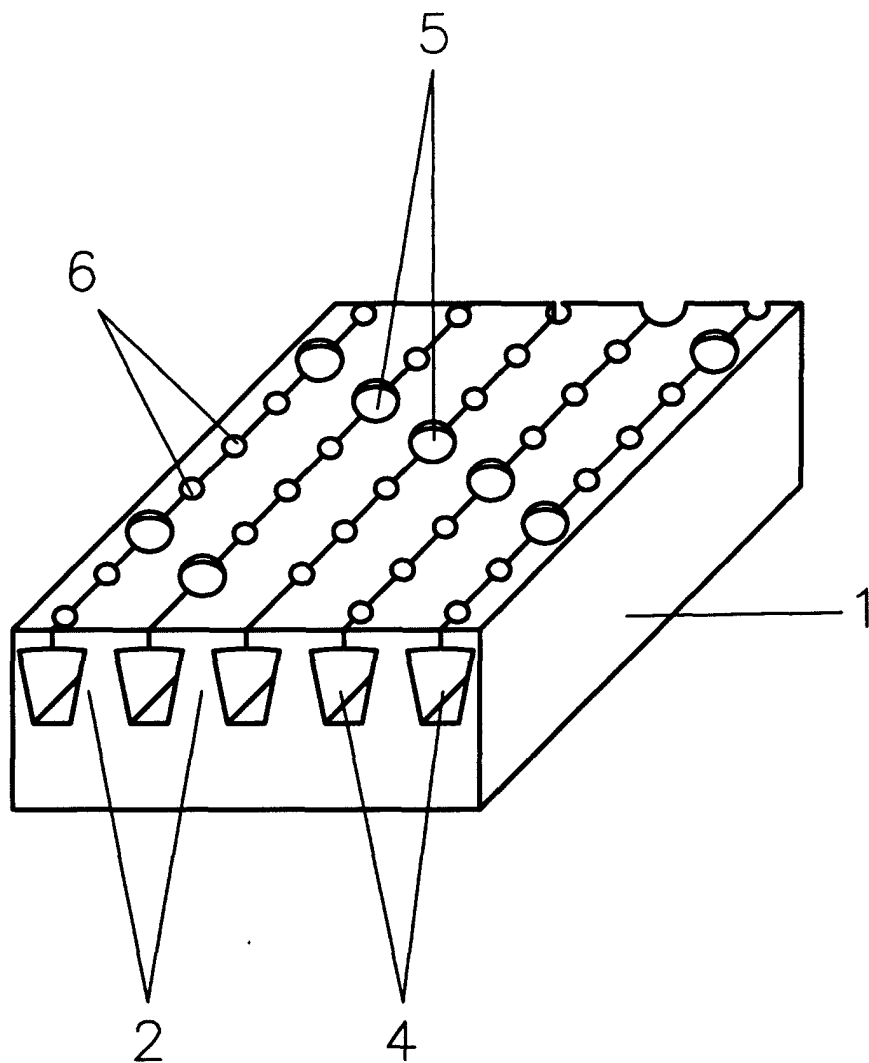


Fig.1

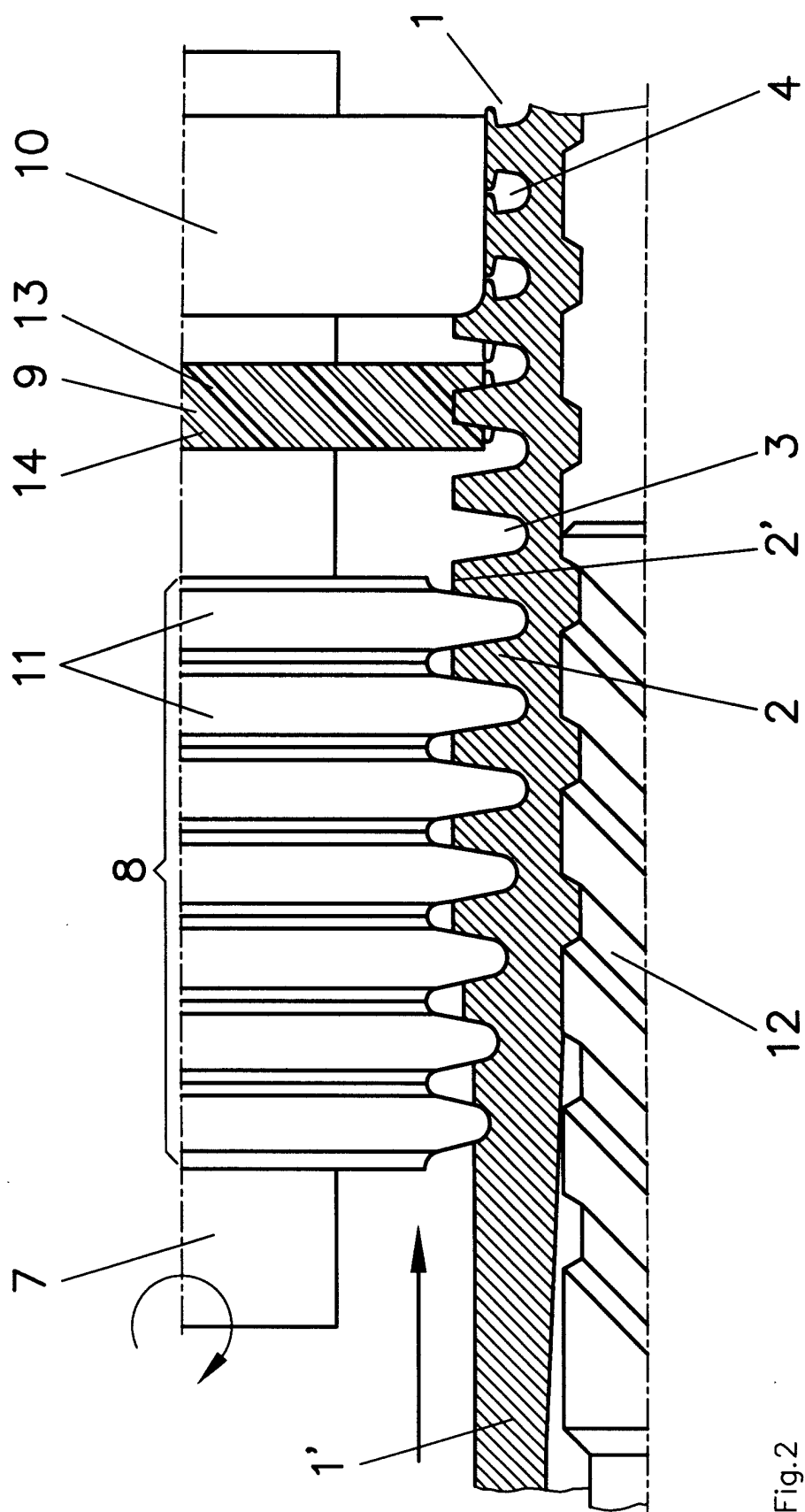


Fig.2

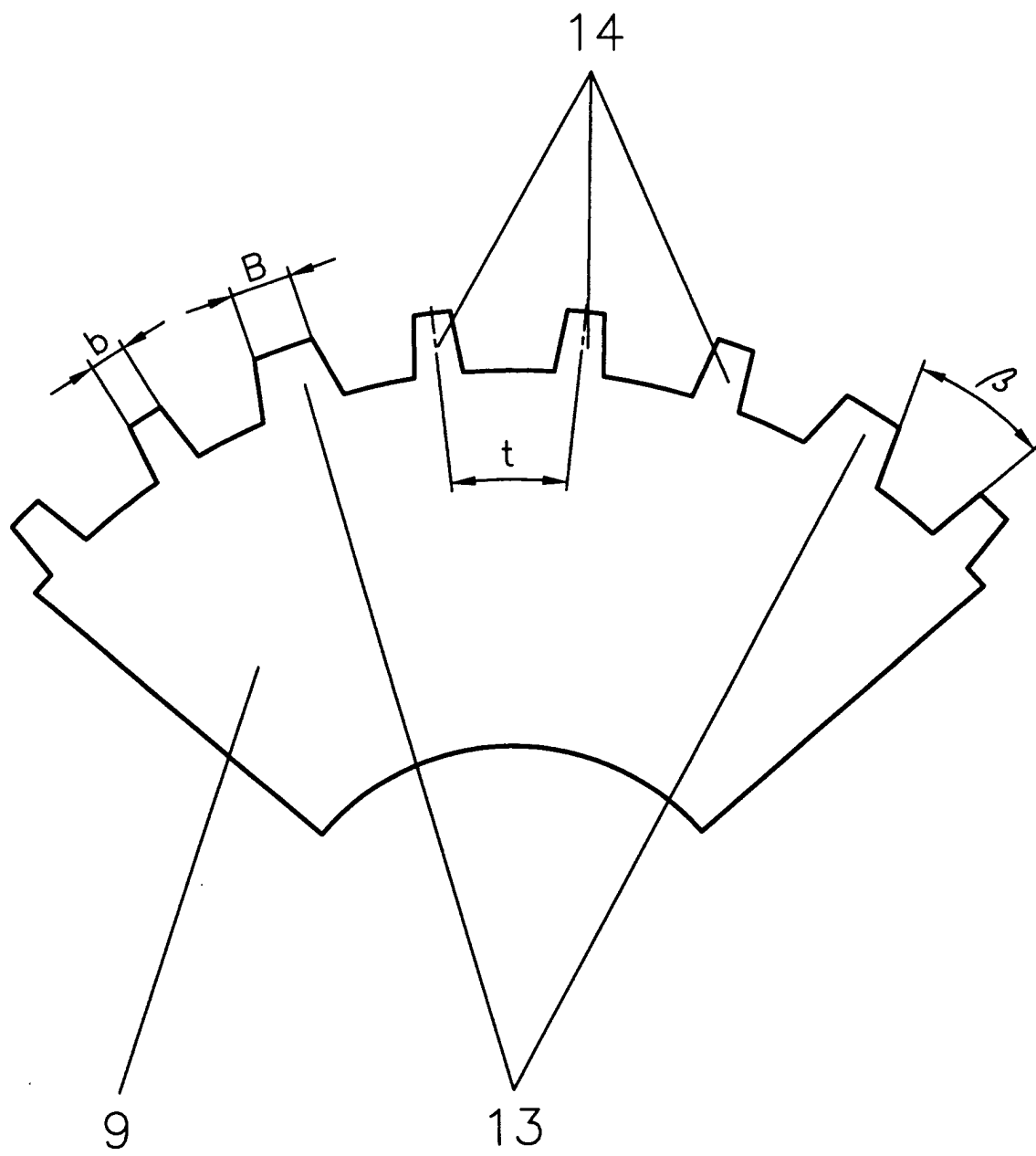
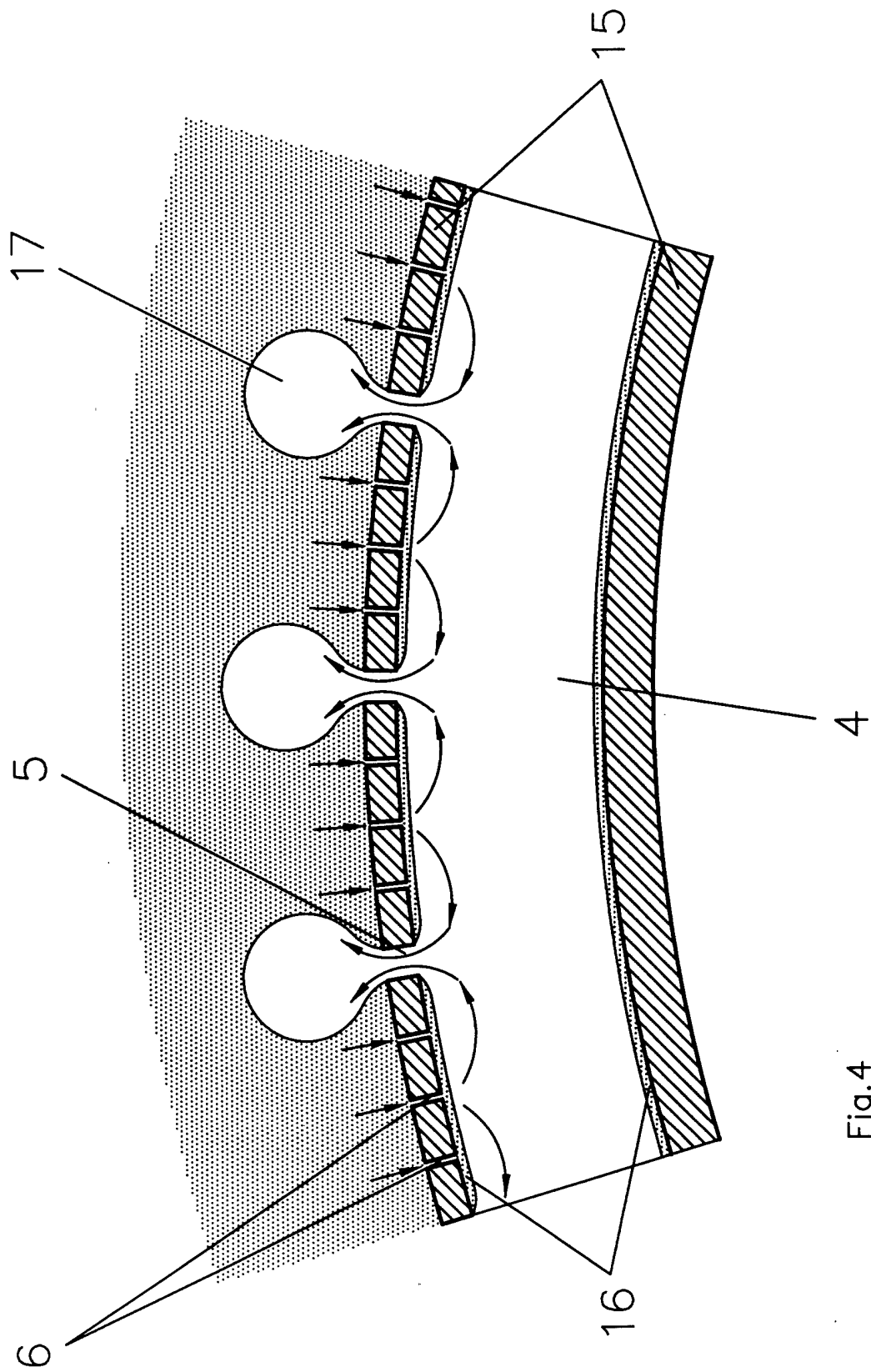


Fig.3



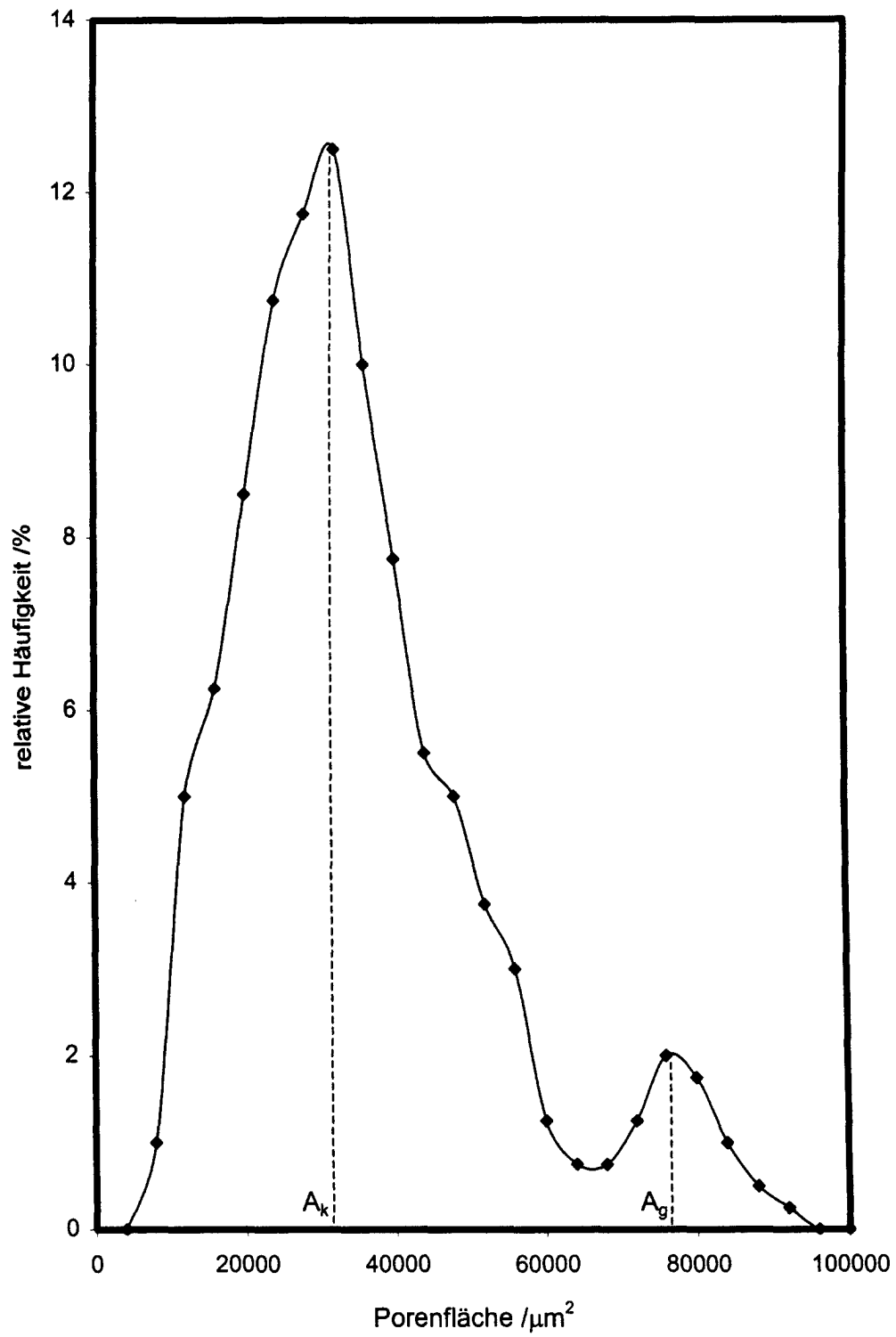


Fig.5

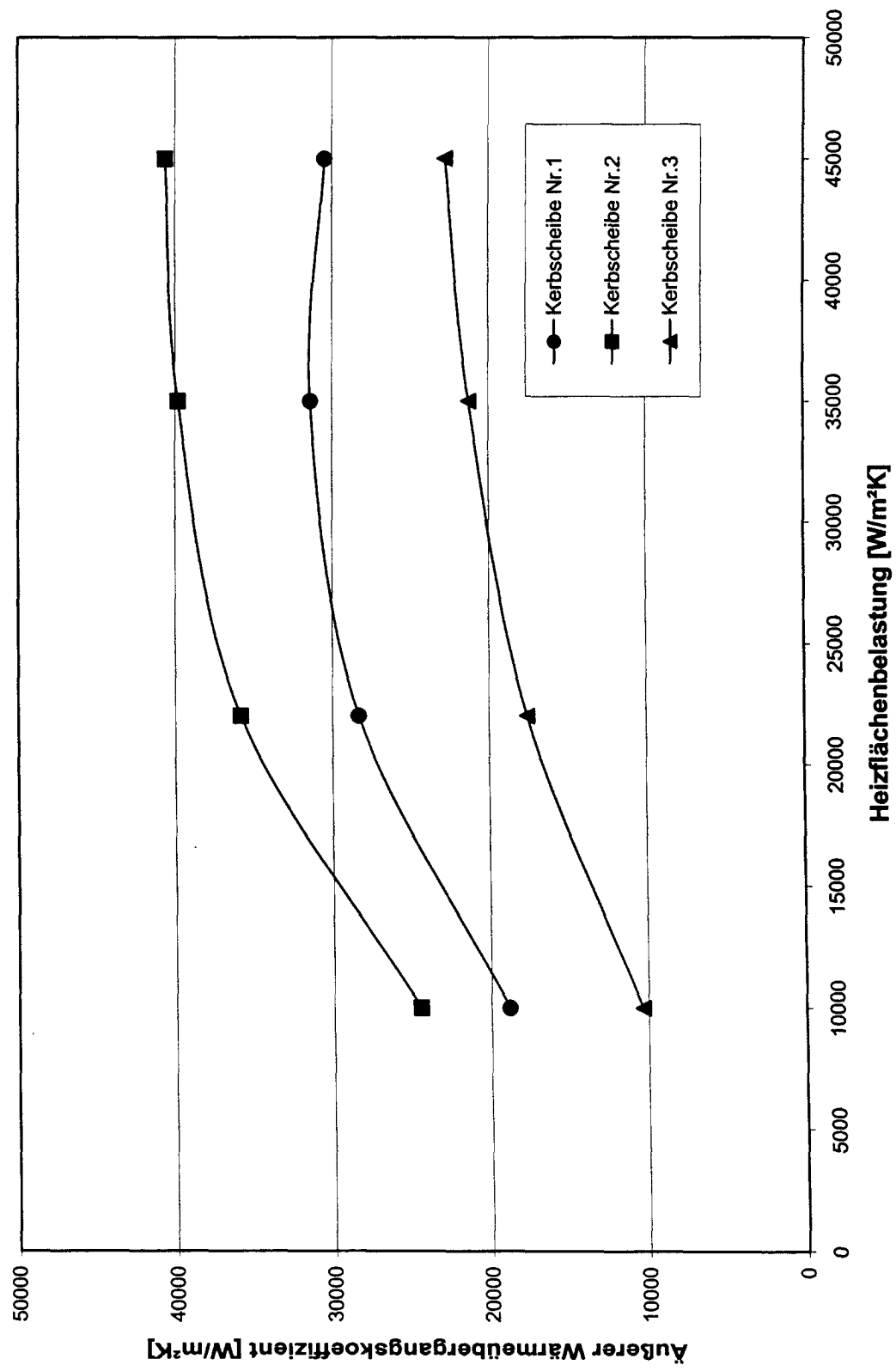


Fig.6