



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
24.11.2010 Patentblatt 2010/47

(51) Int Cl.:
F28F 1/26 ^(2006.01) **F28F 1/36** ^(2006.01)
F28F 1/40 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **10004200.1**

(22) Anmeldetag: **20.04.2010**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA ME RS

(72) Erfinder:
• **Gotterbarm, Achim**
89160 Darmstadt (DE)
• **El Hajal, Jean, Dr.**
89077 Ulm (DE)
• **Beutler, Andreas, Dr.**
89264 Weißenhorn (DE)
• **Lutz, Ronald**
89143 Blaubeuren (DE)

(30) Priorität: **14.05.2009 DE 102009021334**

(71) Anmelder: **Wieland-Werke AG**
89079 Ulm (DE)

(54) **Metallisches Wärmeaustauscherrohr**

(57) Die Erfindung betrifft ein Metallisches Wärmeaustauscherrohr (1) mit einer Rohrwand (2) und mit auf der Rohraußenseite (21) umlaufenden, integral ausgeformten Rippen (3), welche einen Rippenfuß (31), Rippenflanken (32) und eine Rippenspitze (33) haben, wobei der Rippenfuß (31) im Wesentlichen radial von der Rohrwand (2) absteht und die Rippenflanken (32) mit zusätz-

lichen Strukturelementen versehen sind, die als Werkstoffvorsprünge (4) ausgebildet sind, die seitlich an der Rippenflanke (32) angeordnet sind, wobei die Werkstoffvorsprünge (4) mehrere Begrenzungsflächen (41, 42) aufweisen, wobei zumindest eine der Begrenzungsflächen (42) mindestens eines Werkstoffvorsprungs (4) konvex gekrümmt ist.

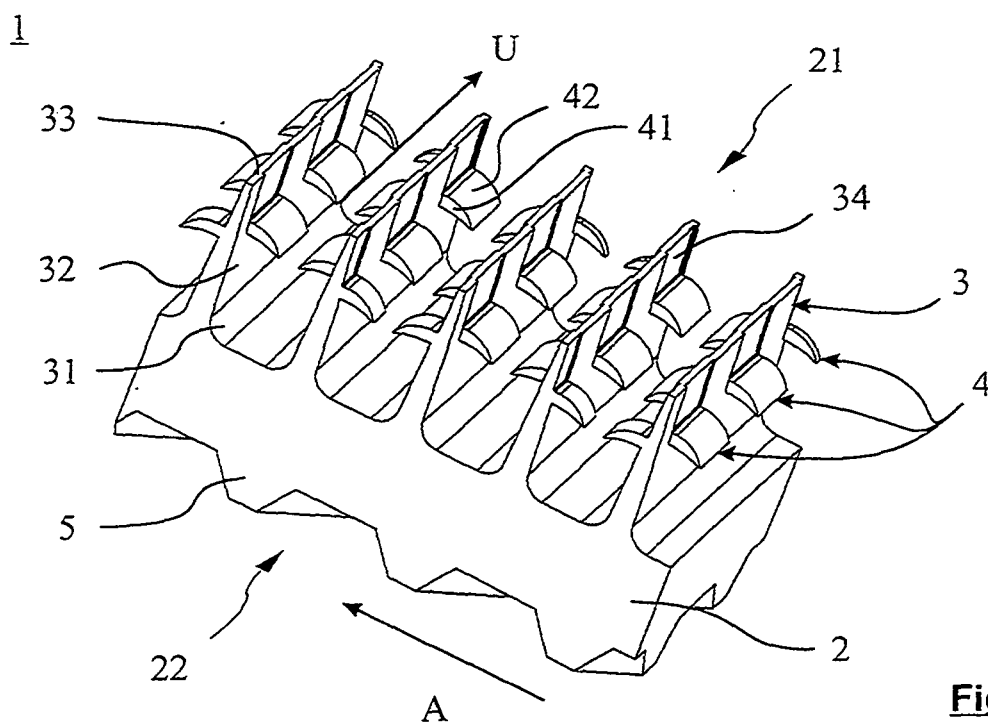


Fig. 6

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein metallisches Wärmeaustauscherrohr gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Derartige metallische Wärmeaustauscherrohre werden insbesondere zur Kondensation von Flüssigkeiten aus Reinstoffen oder Gemischen auf der Rohraußenseite eingesetzt. Kondensation tritt in vielen Bereichen der Kälte- und Klimatechnik sowie in der Prozess- und Energietechnik auf. Häufig werden Rohrbündelwärmeaustauscher verwendet, in denen Dämpfe von Reinstoffen oder Mischungen auf der Rohraußenseite verflüssigt werden und dabei auf der Rohrinenseite eine Sole oder Wasser erwärmen. Solche Apparate werden als Rohrbündelkondensatoren oder Rohrbündelverflüssiger bezeichnet.

[0003] Die 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. Die heute üblichen Hochleistungsrohre sind etwa um den Faktor vier leistungsfähiger als glatte Rohre gleichen Durchmessers.

[0004] Zur Erhöhung des Wärmeübergangs bei der Kondensation auf der Rohraußenseite sind verschiedene Maßnahmen bekannt. Häufig werden Rippen auf der Außenoberfläche des Rohres aufgebracht. Dadurch wird primär die Oberfläche des Rohres vergrößert und folglich die Kondensation intensiviert. Für die Wärmeübertragung ist es besonders vorteilhaft, wenn die Rippen aus dem Wandmaterial des Glattrohres geformt werden, da dann ein optimaler Kontakt zwischen Rippe und Rohrwand existiert. Berippte Rohre, bei denen die Rippen mittels eines Umformprozesses aus dem Wandmaterial eines Glattrohres gebildet wurden, werden als integral gewalzte Rippenrohre bezeichnet.

[0005] Es ist Stand der Technik, durch Einbringen von Kerben in die Rippenspitzen, die Oberfläche des Rohres weiter zu vergrößern. Ferner entstehen durch die Kerben zusätzliche Strukturen, die den Kondensationsprozess positiv beeinflussen. Beispiele für Kerben der Rippenspitzen sind aus den Druckschriften US 3,326,283 und US 4,660,630 bekannt.

[0006] Heute besitzen kommerziell erhältliche Rippenrohre für Verflüssiger auf der Rohraußenseite eine Rippenstruktur mit einer Rippendichte von 30 bis 45 Rippen pro Zoll. Dies entspricht einer Rippenteilung von ca. 0,85 bis 0,56 mm. Derartige Rippenstrukturen sind beispielsweise aus den Druckschriften DE 44 04 357 C2, US 2008/0196776 A1, US 2007/0131396 A1 und CN 101004337 A zu entnehmen. Der weiteren Leistungssteigerung durch Erhöhung der Rippendichte sind durch

den in Rohrbündelwärmeaustauschern auftretenden Inundationseffekt Grenzen gesetzt: Mit kleiner werdendem Abstand der Rippen wird durch die Kapillarwirkung der Zwischenraum der Rippen mit Kondensat geflutet und das Abfließen des Kondensats durch die kleiner werdenden Kanäle zwischen den Rippen behindert.

[0007] Des Weiteren ist bekannt, dass bei Verflüssigerrohren Leistungssteigerungen erzielt werden können, indem man bei gleichbleibender Rippendichte zusätzliche Strukturelemente im Bereich der Rippenflanken zwischen den Rippen einbringt. Solche Strukturen können durch zahnradartige Scheiben an den Rippenflanken geformt werden. Die dabei entstehenden Werkstoffvorsprünge ragen in den Zwischenraum benachbarter Rippen hinein. Ausführungsformen solcher Strukturen finden sich in den Druckschriften US 2008/0196876 A1, US 2007/0131396 A1 und CN 101004337 A. In diesen Druckschriften werden die Werkstoffvorsprünge als Strukturelemente mit ebenen Begrenzungsflächen gezeigt. Die ebenen Begrenzungsflächen sind nachteilhaft, da das gebildete Kondensat auf einer ebenen Fläche keine durch die Oberflächenspannung induzierte Kraft erfährt, die es von der Begrenzungsfläche entfernen würde. Somit bildet sich ein unerwünschter Flüssigkeitsfilm aus, der die Wärmeübertragung nachhaltig behindern kann.

[0008] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein leistungsgesteigertes Wärmeaustauscherrohr zur Kondensation von Flüssigkeiten auf der Rohraußenseite bei gleichem rohrseitigen Wärmeübergang und Druckabfall sowie gleichen Herstellungskosten weiterzubilden. Die mechanische Stabilität des Rohres soll dabei nicht negativ beeinflusst werden.

[0009] Die Erfindung wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 wiedergegeben. Die weiteren rückbezogenen Ansprüche betreffen vorteilhafte Aus- und Weiterbildungen der Erfindung.

[0010] Die Erfindung schließt ein metallisches Wärmeaustauscherrohr ein, mit einer Rohrwand und mit auf der Rohraußenseite umlaufenden, integral ausgeformten Rippen, welche einen Rippenfuß, Rippenflanken und eine Rippenspitze haben, wobei der Rippenfuß im Wesentlichen radial von der Rohrwand absteht und die Rippenflanken mit zusätzlichen Strukturelementen versehen sind, die als Werkstoffvorsprünge ausgebildet sind, die seitlich an der Rippenflanke angeordnet sind, wobei die Werkstoffvorsprünge mehrere Begrenzungsflächen aufweisen. Erfindungsgemäß ist zumindest eine der Begrenzungsflächen mindestens eines Werkstoffvorsprungs konvex gekrümmt.

[0011] 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. Eine Erhöhung des Wärmeübergangs auf der Rohrinenseite hat üblicher-

weise eine Steigerung des rohrseitigen Druckabfalls zu Folge.

[0012] Die Erfindung geht dabei von der Überlegung aus, dass das integral gewalzte Rippenrohr eine Rohrwand sowie auf der Rohraußenseite schraubenlinienförmig umlaufende Rippen aufweist. Die Rippen besitzen einen Rippenfuß, eine Rippenspitze und auf beiden Seiten Rippenflanken. Der Rippenfuß steht im Wesentlichen radial von der Rohrwand ab. Die Höhe der Rippe wird von der Rohrwand bis zur Rippenspitze gemessen und beträgt vorzugsweise zwischen 0,5 und 1,5 mm. Die Kontur der Rippe ist im Bereich des Rippenfußes sowie im sich an den Rippenfuß anschließenden Bereich der Rippenflanke in Radialrichtung konkav gekrümmt. An der Rippenspitze sowie im sich an die Rippenspitze anschließenden Bereich der Rippenflanke ist die Kontur der Rippe in Radialrichtung konvex gekrümmt. Ungefähr auf halber Rippenhöhe geht die konvexe Krümmung in eine konkave Krümmung über. Im Bereich der konvexen Krümmung wird entstehendes Kondensat aufgrund von Oberflächenspannungskräften weggezogen. Das Kondensat sammelt sich im Bereich der konkaven Krümmung und bildet dort Tropfen.

[0013] Seitlich an den Rippenflanken sind erfindungsgemäß zusätzliche Strukturelemente in Form von Werkstoffvorsprüngen gebildet. Diese Werkstoffvorsprünge werden aus Material der oberen Rippenflanke geformt, indem mittels eines Werkzeugs das Material ähnlich einem Span abgehoben und verlagert, jedoch nicht von der Rippenflanke abgetrennt wird. Die Werkstoffvorsprünge bleiben fest mit der Rippe verbunden. An der Verbindungsstelle entsteht eine konkave Kante zwischen Rippenflanke und Werkstoffvorsprung. Die Werkstoffvorsprünge erstrecken sich im Wesentlichen in Axialrichtung von der Rippenflanke in den Zwischenraum zwischen zwei Rippen. Die Werkstoffvorsprünge können insbesondere ungefähr auf halber Rippenhöhe angeordnet sein. Durch die Werkstoffvorsprünge wird die Oberfläche des Rohres vergrößert.

[0014] Gegenüberliegende Werkstoffvorsprünge benachbarter Rippen sollten sich nicht berühren. Deshalb ist die axiale Erstreckung der Werkstoffvorsprünge im Regelfall etwas kleiner als die halbe Weite des Zwischenraums zwischen zwei Rippen. Beispielsweise beträgt bei Verflüssigerrohren für das Kältemittel R134a oder R123 die Weite des Zwischenraums zwischen zwei Rippen ungefähr 0,4 mm, wodurch folglich die axiale Erstreckung der Werkstoffvorsprünge kleiner als 0,2 mm ist.

[0015] Die Werkstoffvorsprünge sind erfindungsgemäß durch mindestens eine konvex gekrümmte Fläche begrenzt. Durch die konvexe Form wird die Wirkung der zusätzlichen Strukturelemente verbessert. Aufgrund der Oberflächenspannung wird das Kondensat von konvex gekrümmten Flächen weg und zur konkaven Kante an der Ansatzstelle zwischen Werkstoffvorsprung und Rippenflanke hingezogen. Deshalb wird der Kondensatfilm auf der konvex gekrümmten Begrenzungsfläche des Werkstoffvorsprungs dünner und der thermische Wider-

stand geringer. Die Werkstoffvorsprünge sind ungefähr in dem Bereich der Rippenflanke angeordnet, in dem die konvex gekrümmte Kontur der Rippe in die konkav gekrümmte Kontur übergeht. Kondensat vom oberen Bereich der Rippe und Kondensat vom Werkstoffvorsprung treffen an der Ansatzstelle zusammen und bilden im konkav geformten Teil der Rippe einen Tropfen.

[0016] Bei den in US 2007/0131396 A1 und US 2008/0196876 A1 dargestellten seitlich an den Rippenflanken angebrachten Zusatzstrukturen handelt es sich um Elemente mit ebenen Flächen, die solche vorteilhafte Eigenschaften nicht aufweisen.

[0017] Der besondere Vorteil besteht darin, dass sich durch eine Intensivierung des Wärmeübergangs auf der Rohrinneenseite in Verbindung mit einem günstigen Wärmeübergang auf der Rohraußenseite die Größe der Verflüssiger stark reduzieren lässt. Hierdurch nehmen die Herstellungskosten solcher Apparate ab. Es wird dabei durch die erfindungsgemäße Lösung weder die mechanische Stabilität eines Rohrs noch der Druckabfall negativ beeinflusst. 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 den im Regelfall nur in speziellen Fällen verwendeten toxischen oder brennbaren Kältemitteln lässt sich durch eine Reduktion der Füllmenge ferner das Gefahrenpotenzial herabsetzen.

[0018] In bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung kann der lokale Krümmungsradius der konvexen Begrenzungsfläche mit zunehmender Entfernung von der Rippenflanke verkleinert sein. In jedem Punkt der konvexen Begrenzungsfläche kann ein lokaler Krümmungsradius als Radius des Schmiegekreises definiert werden. Der Schmiegekreis liegt dabei in einer senkrecht zur Rippenflanke ausgerichteten Ebene. Bei einer beliebig geformten Begrenzungsfläche ändert sich dieser lokale Krümmungsradius. Wenn eine solche Fläche mit einem Flüssigkeitsfilm belegt ist, dann entstehen im Flüssigkeitsfilm aufgrund der Oberflächenspannung und des sich ändernden Krümmungsradius Druckgradienten. Diese Druckgradienten ziehen die Flüssigkeit von Bereichen mit kleinem Krümmungsradius weg und hin zu Bereichen mit großem Krümmungsradius. Besonders vorteilhafte Ausführungen der Werkstoffvorsprünge liegen dann vor, wenn der lokale Krümmungsradius ihrer Begrenzungsfläche mit zunehmender Entfernung von der Rippenflanke kleiner wird. Das Kondensat wird dann von den Bereichen der Werkstoffvorsprünge, die von der Rippenflanke entfernt sind, besonders effizient weggezogen und zur Rippe hin transportiert.

[0019] Vorteilhafterweise kann die konvex gekrümmte Begrenzungsfläche die von der Rohrwand abgewandte Begrenzungsfläche eines Werkstoffvorsprungs sein. Der zu kondensierende Dampf kann dann ungehindert an diese Fläche heranströmen.

[0020] In vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung kann die Krümmung der Begrenzungsfläche auch in ei-

ner Ebene parallel zur Rippenflanke konvex gekrümmt sein, wobei die Krümmung der konvexen Begrenzungsfläche in einer Ebene senkrecht zur Rippenflanke stärker ist als die Krümmung der konvexen Begrenzungsfläche in der Ebene parallel zur Rippenflanke. Dadurch wird der Transport des Kondensats in lateraler Richtung von der Spitze des Werkstoffvorsprungs zur Rippe hin zusätzlich begünstigt.

[0021] Der als mittlerer Krümmungsradius der konvexen Begrenzungsfläche bezeichnete Radius eines gedachten Kreises kann durch Messungen an drei Punkten bestimmt werden. In besonders bevorzugter Ausführungsform kann der Radius dieses gedachten Kreises, der in einer Schnittebene senkrecht zur Rohrumfangsrichtung liegt und der durch die Punkte P1, P2 und P3 definiert wird, kleiner als 1 mm sein. P1 ist der Punkt, an dem die konvexe Begrenzungsfläche des Werkstoffvorsprungs an der Rippenflanke angrenzt, P3 ist der Punkt, an dem die konvexe Begrenzungsfläche des Werkstoffvorsprungs am weitesten von der Rippenflanke entfernt ist und P2 ist der Mittelpunkt zwischen P1 und P3 auf der Konturlinie der konvexen Begrenzungsfläche des Werkstoffvorsprungs. Wäre dieser Krümmungsradius größer als 1 mm, dann sind die bei den üblicherweise verwendeten Substanzen, wie beispielsweise Kältemitteln oder Kohlenwasserstoffen, resultierenden Oberflächenspannungskräfte nicht ausreichend groß gegenüber der Schwerkraft, um den Transport des Kondensats maßgeblich zu beeinflussen.

[0022] Vorteilhafterweise kann sich die konvexe Begrenzungsfläche des Werkstoffvorsprungs im Bereich seiner Spitze über den am weitesten von der Rippenflanke entfernten Punkt P3 hinaus mit konvexer Krümmung fortsetzen. In diesem Fall ist die Spitze des Werkstoffvorsprungs dann meist spiralförmig gekrümmt. Dadurch wird in dem zur Verfügung stehenden Zwischenraum zwischen den Rippen bei gleichem Rippenabstand weitere Oberfläche für die Kondensation gewonnen.

[0023] In bevorzugter Ausführungsform der Erfindung können die an der Rippenflanke angeordneten Werkstoffvorsprünge in Umfangsrichtung beabstandet sein. Dadurch entstehen zusätzliche Kanten, an denen die Kondensation stattfindet. Ferner kann das sich an der Rippenflanke sammelnde Kondensat in den Bereichen zwischen zwei Werkstoffvorsprüngen zum Rippenfuß hin abfließen.

[0024] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung können die an der Rippenflanke angeordneten Werkstoffvorsprünge in Umfangsrichtung äquidistant und zumindest um deren Breite beabstandet sein. Hierdurch wird ausreichend Zwischenraum für das sich an der Rippenflanke sammelnde Kondensat geschaffen, um einen Abtransport zu gewährleisten.

[0025] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand der schematischen Zeichnungen näher erläutert.

[0026] Darin zeigen:

Fig. 1 eine perspektivische Teilansicht eines Rippen-

abschnitts eines Wärmeaustauscherrohres mit Werkstoffvorsprüngen,

Fig. 2 eine Detailansicht eines in Figur 1 dargestellten Werkstoffvorsprungs mit einer konvex gekrümmten Begrenzungsfläche.

Fig. 3 eine weitere Detailansicht eines Werkstoffvorsprungs mit zwei konvex gekrümmten Begrenzungsflächen,

Fig. 4 eine weitere Detailansicht eines Werkstoffvorsprungs mit einer zweifach konvex gekrümmten Begrenzungsfläche,

Fig. 5 eine weitere Detailansicht eines Werkstoffvorsprungs mit einer über den am weitesten von der Rippenflanke entfernten Punkt hinausgehende Fortsetzung,

Fig. 6 eine perspektivische Teilansicht der Außenseite eines Wärmeaustauscherrohrabschnitts,

Fig. 7 eine perspektivische Teilansicht der Innenseite eines Wärmeaustauscherrohrabschnitts, und

Fig. 8 den Querschnitt eines Wärmeaustauscherrohrabschnitts.

[0027] Einander entsprechende Teile sind in allen Figuren mit denselben Bezugszeichen versehen.

[0028] Fig. 1 zeigt eine perspektivische Teilansicht eines Rippenabschnitts eines Wärmeaustauscherrohres 1 mit drei Werkstoffvorsprüngen 4. Von der Rohraußenseite 21 ist nur ein Teil der umlaufenden, integral ausgeformten Rippen 3 abgebildet. Die Rippen 3 haben einen Rippenfuß 31, der an der hier nicht dargestellten Rohrwand ansetzt, Rippenflanken 32 und eine Rippenspitze 33. Die Rippe 3 steht im Wesentlichen radial von der Rohrwand ab. Die Rippenflanken 32 sind mit den zusätzlichen Strukturelementen versehen, die als Werkstoffvorsprünge 4 ausgebildet sind, die seitlich an der Rippenflanke 32 ansetzen. Diese Werkstoffvorsprünge 4 weisen mehrere Begrenzungsflächen 41 und 42 auf. In der abgebildeten Ausführungsform sind die drei dargestellten Begrenzungsflächen 42 der Werkstoffvorsprünge 4 auf der von der Rohrwand abgewandten Seite konvex gekrümmt. Prinzipiell können allerdings erfindungsgemäß bei jedem Werkstoffvorsprung 4 auch eine andere Begrenzungsfläche 42 oder gleich mehrere Begrenzungsflächen 42 mit einer konvexen Krümmung ausgestattet sein. Die übrigen, nicht konvexen Begrenzungsflächen 41, können entweder eben oder auch konkav ausgestaltet sein. Das Material der integral herausgearbeiteten Werkstoffvorsprünge 4 stammt in erster Linie aus der Rippenflanke 32, wobei durch eine Materialverlagerung bei der Herstellung der Wärmeaustauscherrohre 1 Ausnehmungen 34 entstehen.

[0029] Fig. 2 zeigt eine Detailansicht eines Werkstoffvorsprungs 4 mit einer konvex gekrümmten Begrenzungsfläche 42. Die übrigen nicht konvexen Begrenzungsflächen 41 verlaufen in diesem Falle eben. Im Bereich der konvexen Oberfläche wird das sich aus der Gasphase niederschlagende Kondensat aufgrund der Oberflächenspannung abtransportiert, wodurch sich ver-

mehrt Kondensat im Bereich der konkaven Krümmung oder auch auf ebenen Oberflächenbereichen ansammelt.

[0030] Der mittlere Krümmungsradius R_M der konvexen Begrenzungsfläche 42 eines gedachten Kreises K ist durch die drei Punkte P_1 , P_2 und P_3 definiert. Dieser Radius R_M kann als charakterisierendes Maß für die Ausprägung der konvexen Oberfläche herangezogen werden. P_1 ist der Punkt, an dem die konvexe Begrenzungsfläche 42 des Werkstoffvorsprungs 4 an der Rippenflanke angrenzt, P_3 ist der Punkt, an dem die konvexe Begrenzungsfläche 42 des Werkstoffvorsprungs 4 am weitesten von der Rippenflanke entfernt ist und P_2 ist der Mittelpunkt zwischen P_1 und P_3 auf der Konturlinie der konvexen Begrenzungsfläche 42 des Werkstoffvorsprungs 4. Bei üblichen Strukturgrößen der erfindungsgemäßen Wärmeaustauscherrohre mit integral gewalzten Rippen liegt der mittlere Krümmungsradius R_M typischerweise im Submillimeterbereich.

[0031] Eine weitere Detailansicht eines Werkstoffvorsprungs 4 mit zwei einander gegenüberliegenden konvex gekrümmten Begrenzungsflächen zeigt Fig. 3. Mit dieser Geometrie wird, ausgehend von der Spitze eines Werkstoffvorsprungs 4, besonders effektiv Kondensat zur Rippenflanke hin transportiert. Prinzipiell könnten für die effizienteste Ausführungsform auch alle Begrenzungsflächen 42, einschließlich der Seitenflächen 41, eine konvexe Krümmung aufweisen. Allerdings sind derartigen Ausführungsformen im Zuge der Strukturierung integraler Rippenformen und deren Werkstoffvorsprünge 4 prozesstechnologisch hohen Anforderungen unterworfen.

[0032] Als weitere vorteilhafte Ausführungsform lässt sich auch der in der weiteren Detailansicht in Fig. 4 dargestellte Werkstoffvorsprung 4 mit einer zweifach konvex gekrümmten Begrenzungsfläche 42 und ebenen Seitenflächen 41 realisieren. Die Krümmung der konvexen Begrenzungsfläche in einer Ebene senkrecht zur Rippenflanke ist dabei stärker als die Krümmung der konvexen Begrenzungsfläche 42 in der Ebene parallel zur Rippenflanke. Derartig gewölbte Oberflächen unterstützen den Kondensatabfluss zur Rippenflanke hin zusätzlich.

[0033] Eine weitere beispielhafte Ausführungsform zeigt Fig. 5 in einer Detailansicht eines Werkstoffvorsprungs 4 mit ebenen Seitenflächen 41 und mit einer über den am weitesten von der Rippenflanke entfernten Punkt P_3 hinausgehende Fortsetzung. In diesem Fall ist die Spitze SP des Werkstoffvorsprungs 4 spiralig zum Rippenfuß hin eingerollt. Dadurch wird im zur Verfügung stehenden Zwischenraum zwischen den Rippen weitere Oberfläche für die Kondensation gewonnen. Durch die Punkte P_1 , P_2 und P_3 wird wiederum der mittlere Krümmungsradius R_M der konvexen Begrenzungsfläche 42 eines gedachten Kreises K festgelegt.

[0034] Fig. 6 zeigt eine perspektivische Teilansicht der Außenseite eines Wärmeaustauscherrohrabschnitts 1. Eine weitere perspektivische Teilansicht auf die Innenseite eines Wärmeaustauscherrohrabschnitts zeigt da-

gegen Fig. 7. Auf der Rohraußenseite 21 sind einige der integral ausgeformten und um die Rohrachse A umlaufenden Rippen 3 dargestellt. Die Rippen 3 stehen radial von der Rohrwand 2 ab und sind über den Rippenfuß 31 mit dieser verbunden. An den Rippenflanken 32 sind Werkstoffvorsprünge 4 ausgebildet, die seitlich an der Rippenflanke 32 ansetzen. Von den Begrenzungsflächen der Werkstoffvorsprünge 4 sind die von der Rohrwand 2 abgewandten Begrenzungsflächen 42 konvex ausgebildet. Die übrigen nicht konvexen Begrenzungsflächen 41 sind in der Ausführungsform nach Fig. 6 eben. In Fig. 7 sind die seitlichen Begrenzungsflächen 41 eben, die zum Rohrinernen hin gerichtete Begrenzungsflächen 41 sind konkav ausgeformt. Das Material der integral herausgearbeiteten Werkstoffvorsprünge 4 stammt in erster Linie aus der Rippenflanke 32 und nur zum Teil aus dem Bereich der Rippenspitze 33, wodurch Ausnehmungen 34 ausgebildet sind. Die an der Rippenflanke 32 angeordneten Werkstoffvorsprünge 4 sind in Umfangsrichtung U äquidistant ungefähr um deren Breite beabstandet. Gegenüberliegende Werkstoffvorsprünge benachbarter Rippen 3 berühren sich nicht, da die axiale Erstreckung der Werkstoffvorsprünge 4 kleiner als die halbe Weite des Zwischenraums zwischen zwei Rippen 3 gewählt ist. Auf der Rohrinenseite 22 sind spiralig umlaufende Innenrippen 5 angeordnet, die den Wärmeübergang auf das Fluid im Inneren des Wärmeaustauscherrohrs 1 gegenüber einem Glatrohr steigern.

[0035] Fig. 8 zeigt einen Querschnitt eines Wärmeaustauscherrohrabschnitts 1. Auf der Rohrinenseite 22 befinden sich spiralig umlaufende Innenrippen 5. Die Rippen 3 auf der Rohraußenseite 21 sind in regelmäßiger Abfolge ausgehend vom Rippenfuß 31 senkrecht auf der Rohrwand 2 angeordnet, die Rippenspitze 33 ist etwas abgeflacht. Die von der Rohrwand 2 abgewandten Begrenzungsflächen 42 der an der Rippenflanke 32 ansetzenden Werkstoffvorsprünge 4 sind konvex ausgebildet, die zum Rohrinernen 22 hin gerichteten Begrenzungsflächen 41 sind konkav. Gegenüberliegende Werkstoffvorsprünge benachbarter Rippen 3 berühren sich wiederum nicht. Hierdurch wird dem sich ansammelnden Kondensat ausreichend Raum zum Abtransport geschaffen.

45 Bezugszeichenliste

[0036]

1	Wärmeaustauscherrohr
2	Rohrwand
21	Rohraußenseite
22	Rohrinenseite
3	Rippe auf der Rohraußenseite
31	Rippenfuß
32	Rippenflanke
33	Rippenspitze
34	Ausnehmungen
4	Werkstoffvorsprung

41	Begrenzungsfläche	
42	konvexe Begrenzungsfläche	
5	Rippe auf Rohrrinnenseite	
SP	Spitze eines Werkstoffvorsprungs	
U	Rohrumfangsrichtung	5
A	Rohrachse	
RM	mittlerer Krümmungsradius	
K	Kreis	
P1, P2, P3	Punkte auf konvexer Begrenzungsfläche	

Patentansprüche

1. Metallisches Wärmeaustauscherrohr (1) mit einer Rohrwand (2) und mit auf der Rohraußenseite (21) umlaufenden, integral ausgeformten Rippen (3), welche einen Rippenfuß (31), Rippenflanken (32) und eine Rippenspitze (33) haben, wobei der Rippenfuß (31) im Wesentlichen radial von der Rohrwand (2) absteht und die Rippenflanken (32) mit zusätzlichen Strukturelementen versehen sind, die als Werkstoffvorsprünge (4) ausgebildet sind, die seitlich an der Rippenflanke (32) angeordnet sind, wobei die Werkstoffvorsprünge (4) mehrere Begrenzungsflächen (41, 42) aufweisen, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest eine der Begrenzungsflächen (42) mindestens eines Werkstoffvorsprungs (4) konvex gekrümmt ist. 30
2. Metallisches Wärmeaustauscherrohr (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der lokale Krümmungsradius der konvexen Begrenzungsfläche (42) mit zunehmender Entfernung von der Rippenflanke verkleinert ist. 35
3. Metallisches Wärmeaustauscherrohr (1) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die konvex gekrümmte Begrenzungsfläche (42), die von der Rohrwand (2) abgewandte Begrenzungsfläche eines Werkstoffvorsprungs (4) ist. 40
4. Metallisches Wärmeaustauscherrohr (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Krümmung der Begrenzungsfläche (42) auch in einer Ebene parallel zur Rippenflanke (32) konvex gekrümmt ist, wobei die Krümmung der konvexen Begrenzungsfläche (42) in einer Ebene senkrecht zur Rippenflanke (32) stärker ist als die Krümmung der konvexen Begrenzungsfläche (42) in der Ebene parallel zur Rippenflanke (32). 45 50
5. Metallisches Wärmeaustauscherrohr (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Radius (RM) eines gedachten Kreises (K), der in einer Schnittebene senkrecht zur Rohrumfangsrichtung (U) liegt und der durch die Punkte P1, P2 und P3 definiert wird, kleiner als 1 mm ist, 55

wobei P1 der Punkt ist, an dem die konvexe Begrenzungsfläche (42) des Werkstoffvorsprungs (4) an der Rippenflanke (32) angrenzt, P3 der Punkt ist, an dem die konvexe Begrenzungsfläche (42) des Werkstoffvorsprungs (4) am weitesten von der Rippenflanke (32) entfernt ist und P2 der Mittelpunkt zwischen P1 und P3 auf der Konturlinie der konvexen Begrenzungsfläche (42) des Werkstoffvorsprungs (4) ist.

6. Metallisches Wärmeaustauscherrohr (1) nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich die konvexe Begrenzungsfläche (42) des Werkstoffvorsprungs (4) im Bereich seiner Spitze (SP) über den am weitesten von der Rippenflanke (32) entfernten Punkt P3 hinaus mit konvexer Krümmung fortsetzt. 10 15
7. Metallisches Wärmeaustauscherrohr (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die an der Rippenflanke (32) angeordneten Werkstoffvorsprünge (4) in Umfangsrichtung (U) beabstandet sind. 20
8. Metallisches Wärmeaustauscherrohr (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die an der Rippenflanke (32) angeordneten Werkstoffvorsprünge (4) in Umfangsrichtung (U) äquidistant und zumindest um deren Breite beabstandet sind. 25 30

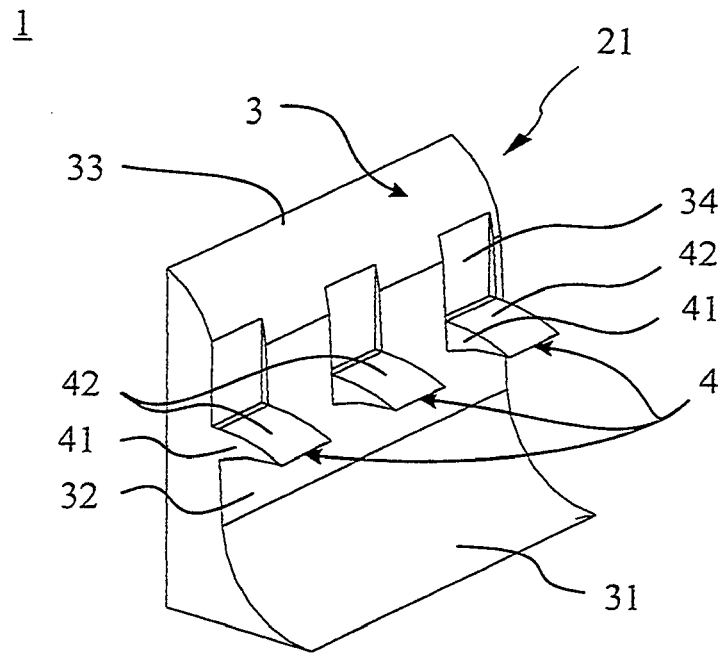


Fig. 1

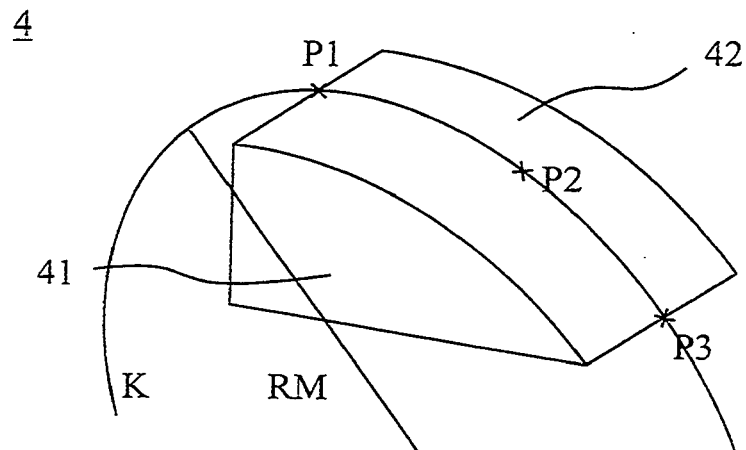


Fig. 2

4

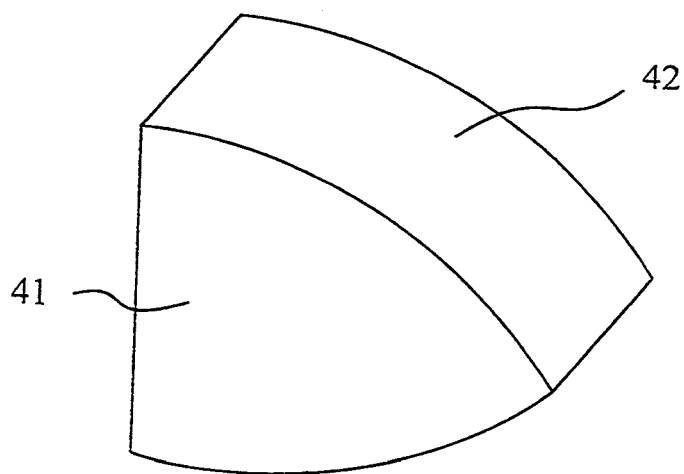


Fig. 3

4

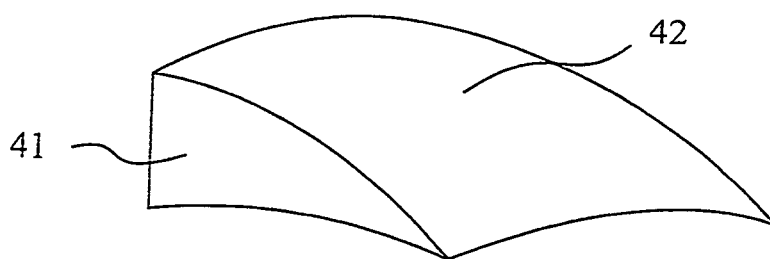


Fig. 4

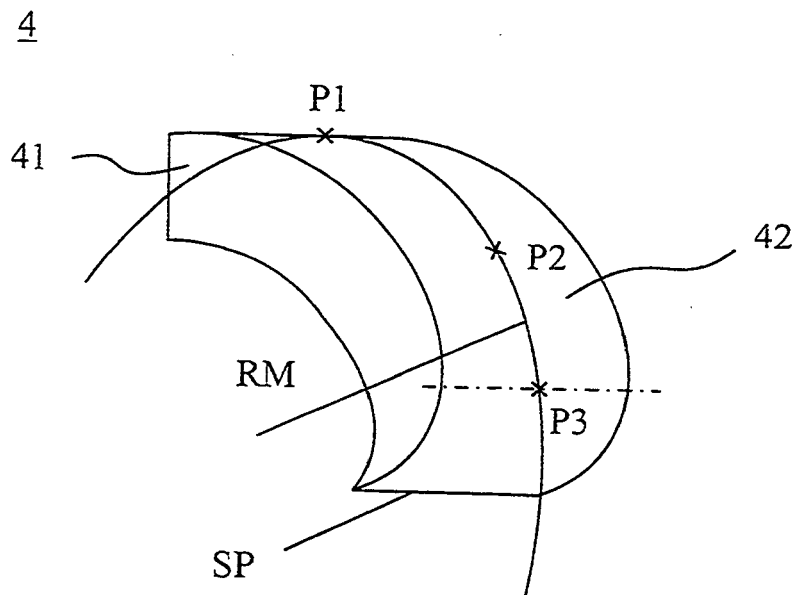


Fig. 5

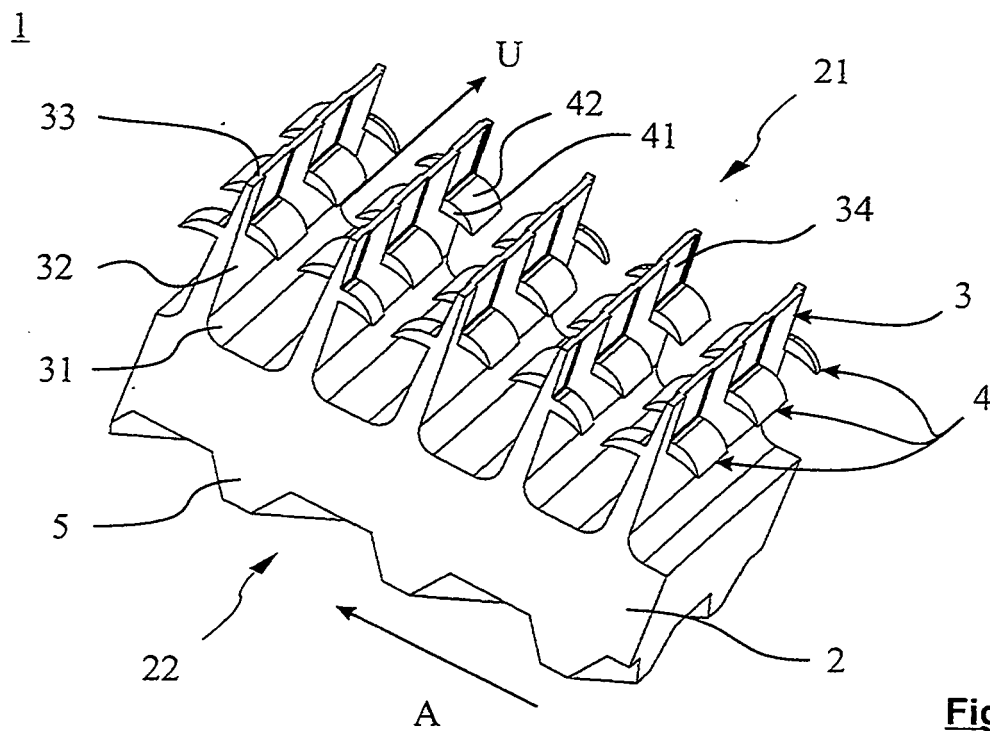


Fig. 6

1

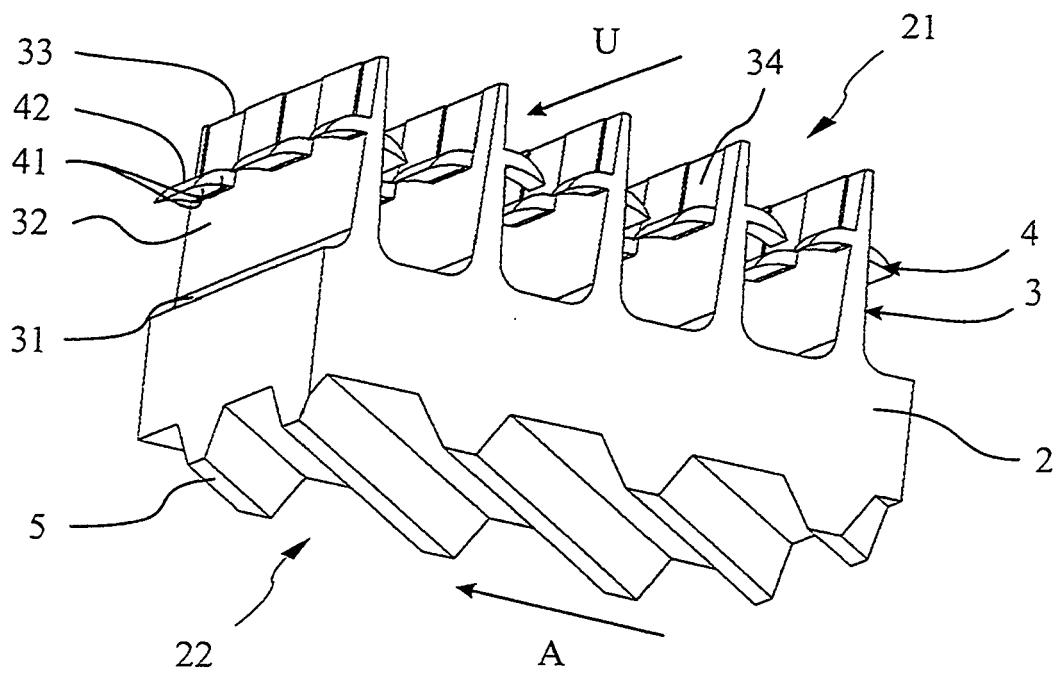


Fig. 7

1

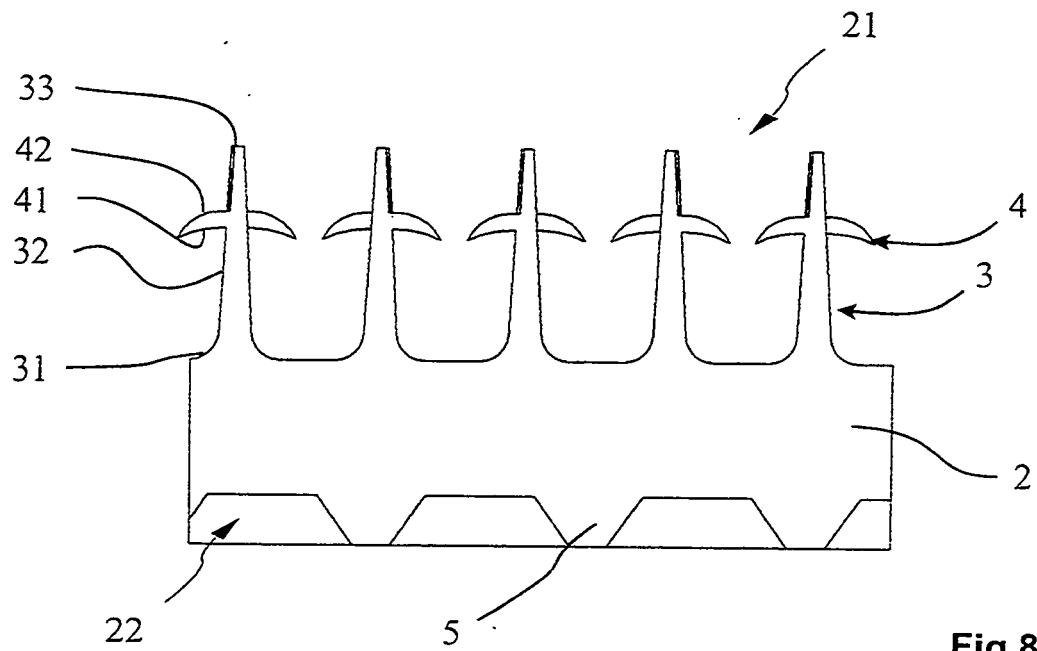


Fig. 8

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 3326283 A [0005]
- US 4660630 A [0005]
- DE 4404357 C2 [0006]
- US 20080196776 A1 [0006]
- US 20070131396 A1 [0006] [0007] [0016]
- CN 101004337 A [0006] [0007]
- US 20080196876 A1 [0007] [0016]