

(19)



(11)

EP 3 111 153 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
24.04.2019 Patentblatt 2019/17

(51) Int Cl.:
F28F 1/42 ^(2006.01) **F28F 13/18** ^(2006.01)
F28F 1/36 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **15704718.4**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2015/000278

(22) Anmeldetag: **10.02.2015**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2015/128061 (03.09.2015 Gazette 2015/35)

(54) **METALLISCHES WÄRMEAUSTAUSCHERROHR**

METAL HEAT EXCHANGER TUBE

TUBE D'ÉCHANGEUR DE CHALEUR MÉTALLIQUE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL 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 RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **27.02.2014 DE 102014002829**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
04.01.2017 Patentblatt 2017/01

(73) Patentinhaber: **Wieland-Werke AG**
89079 Ulm (DE)

(72) Erfinder:
• **GOTTERBARM, Achim**
89160 Dornstadt (DE)
• **LUTZ, Ronald**
89143 Blaubeuren (DE)
• **EL HAJAL, Jean**
89077 Ulm (DE)
• **KNAB, Manfred**
89160 Dornstadt (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 0 495 453 EP-A2- 2 253 922
US-A- 5 697 430 US-A1- 2012 111 551

EP 3 111 153 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

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

[0002] Ein derartiger Wärmeaustauscherrohr ist zum Beispiel aus der EP 0 495 453 A1 bekannt.

[0003] Verdampfung tritt in vielen Bereichen der Kälte- und Klimatechnik sowie in der Prozess- und Energietechnik auf. Häufig werden Rohrbündelwärmeaustauscher verwendet, in denen Flüssigkeiten von Reinstoffen oder Mischungen auf der Rohraußenseite verdampfen und dabei auf der Rohrinneiseite eine Sole oder Wasser abkühlen. Solche Apparate werden als überflutete Verdampfer bezeichnet.

[0004] Durch die Intensivierung des Wärmeübergangs auf der Rohraußen- und der Rohrinneiseite 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 mittlerweile überwiegend verwendeten chlorfreien Sicherheitskältemitteln einen nicht zu vernachlässigenden Kostenanteil an den gesamten Anlagekosten ausmachen kann. Zudem sind die heute üblichen Hochleistungsrohre bereits etwa um den Faktor vier leistungsfähiger als glatte Rohre gleichen Durchmessers.

[0005] Die leistungstärksten, kommerziell erhältlichen Rippenrohre für überflutete Verdampfer besitzen auf der Rohraußenseite eine Rippenstruktur mit einer Rippendichte von 55 bis 60 Rippen pro Zoll (US 5,669,441 A; US 5,697,430 A; DE 197 57 526 C1). Dies entspricht einer Rippenteilung von ca. 0,45 bis 0,40 mm.

[0006] Weiterhin ist bekannt, dass leistungsgesteigerte Verdampfungsstrukturen bei gleichbleibender Rippenteilung auf der Rohraußenseite erzeugt werden können, indem man zusätzliche Strukturelemente im Bereich des Nutengrundes zwischen den Rippen einbringt.

[0007] In EP 1 223 400 B1 wird vorgeschlagen, am Nutengrund zwischen den Rippen hinterschnittene Sekundärnuten zu erzeugen, die sich kontinuierlich entlang der Primärnut erstrecken. Der Querschnitt dieser Sekundärnuten kann konstant bleiben oder in regelmäßigen Abständen variiert werden.

[0008] Zudem sind aus DE 10 2008 013 929 B3 Strukturen am Nutengrund bekannt, die als lokale Kavitäten ausgebildet sind, wodurch zur Erhöhung des Wärmeüberganges bei der Verdampfung der Vorgang des Blasen siedens intensiviert wird. Die Lage der Kavitäten in der Nähe des primären Nutengrundes ist für den Verdampfungsprozess günstig, da am Nutengrund die Über- temperatur am größten ist und deshalb dort die höchste treibende Temperaturdifferenz für die Blasenbildung zur Verfügung steht.

[0009] Weitere Beispiele für Strukturen am Nutengrund sind in EP 0 222 100 B1, US 7,254,964 B2 oder US 5,186,252 A zu finden. Diesen Strukturen ist gemeinsam, dass die Strukturelemente am Nutengrund keine hinterschnittene Form aufweisen. Es handelt sich dabei

entweder um in den Nutengrund eingebrachte Eindrückungen oder um Auskragungen im unteren Bereich des Kanals. Höhere Auskragungen werden im Stand der Technik explizit ausgeschlossen, da zu befürchten wäre, dass der Fluidfluss im Kanal für einen Wärmeaustausch nachteilig behindert wird.

[0010] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein leistungsgesteigertes Wärmeaustauscherrohr zur Verdampfung von Flüssigkeiten auf der Rohraußenseite weiterzubilden.

[0011] Die Erfindung wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 wiedergegeben. Die weiteren rückbezogenen Ansprüche betreffen vorteilhafte Aus- und Weiterbildungen der Erfindung.

[0012] Die Erfindung schließt ein metallisches Wärmeaustauscherrohr ein, mit auf der Rohraußenseite ausgeformten integralen Rippen mit Rippenfuß, Rippenflanken und Rippenspitze, wobei der Rippenfuß im Wesentlichen radial von der Rohrwandung absteht und zwischen den Rippen ein Kanal ausgebildet ist, in dem voneinander beabstandete Zusatzstrukturen angeordnet sind. Die Zusatzstrukturen unterteilen den Kanal zwischen den Rippen in Segmente. Die Zusatzstrukturen reduzieren die durchströmbare Querschnittsfläche im Kanal zwischen zwei Rippen lokal um mindestens 60 % und begrenzen zumindest dadurch im Betrieb einen Fluidfluss im Kanal.

[0013] Diese metallischen Wärmeaustauscherrohre dienen insbesondere zur Verdampfung von Flüssigkeiten aus Reinstoffen oder Gemischen auf der Rohraußenseite.

[0014] Derartig leistungsfähige Rohre können auf der Basis von integral gewalzten Rippenrohren hergestellt werden. Unter integral gewalzten Rippenrohren werden berippte Rohre verstanden, bei denen die Rippen aus dem Wandmaterial eines Glattrohres geformt wurden. Typische auf der Rohraußenseite ausgeformten integralen Rippen sind beispielsweise spiralig umlaufend und weisen einen Rippenfuß, Rippenflanken und Rippenspitze auf, wobei der Rippenfuß im Wesentlichen radial von der Rohrwandung absteht. Die Anzahl der Rippen wird durch Zählung aufeinanderfolgender Ausbuchtungen in axialer Richtung eines Rohres festgelegt.

[0015] Es sind hierbei 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 Schlitzen bleiben. Insbesondere werden solche im Wesentlichen geschlossene Kanäle durch Umbiegen oder Umlegen der Rippen, durch Spalten und Stauchen der Rippen oder durch Kerben und Stauchen der Rippen erzeugt.

[0016] Die Erfindung geht dabei von der Überlegung aus, dass zur Erhöhung des Wärmeüberganges bei der Verdampfung der Rippenzwischenraum durch Zusatzstrukturen segmentiert wird. Die Zusatzstrukturen können dabei zumindest zum Teil aus Material der Rohrwandung massiv aus dem Kanalgrund geformt sein. Hierbei werden die Zusatzstrukturen bevorzugt in regelmäßigen

Abständen ausgehend vom Kanalgrund angeordnet und erstrecken sich quer zum Kanalverlauf, ausgehend von einem Rippenfuß einer Rippe zum benachbart liegenden nächsten Rippenfuß. Die Zusatzstrukturen können sich ausgehend vom Rippenfuß radial auch bis zur Rippenflanke und darüber hinaus erstrecken. Mit anderen Worten: Die Zusatzstrukturen verlaufen, ausgehend vom Kanalgrund, beispielsweise als massive Materialauskragungen quer zur Primärnut und trennen diese, wie ein Wehr als nur bedingt überströmbare Querbarriere, in einzelne Segmente ab. Auf diese Weise wird die Primärnut als Kanal zumindest teilweise in regelmäßigen Abständen bereits vom Kanalgrund ausgehend unterteilt.

[0017] Hierdurch werden lokale Überhitzungen in den Zwischenräumen erzeugt und der Vorgang des Blasen-siedens intensiviert. Die Bildung von Blasen findet dann in erster Linie innerhalb der Segmente statt und beginnt an Keimstellen. An diesen Keimstellen bilden sich zunächst kleine Gas- oder Dampfblasen. Wenn die anwachsende Blase eine bestimmte Größe erreicht hat, löst sie sich von der Oberfläche ab. Im Zuge der Blasenablösung wird der verbleibende Hohlraum im Segment wieder mit Flüssigkeit geflutet und der Zyklus beginnt erneut. Die Oberfläche kann dabei derart gestaltet werden, dass beim Ablösen der Blase eine kleine Blase zurück bleibt, die dann als Keimstelle für einen neuen Zyklus der Blasenbildung dient.

[0018] Bei der vorliegenden Erfindung wird durch die Segmentierung des Kanals zwischen zwei Rippen dieser in umlaufender Richtung immer wieder unterbrochen und so das Wandern der entstehenden Blasen im Kanal zumindest reduziert oder ganz verhindert. Ein Austausch von Flüssigkeit und Dampf entlang des Kanals ist durch die jeweilige Zusatzstruktur zunehmend weniger bis gar nicht mehr unterstützt.

[0019] Der besondere Vorteil der Erfindung besteht darin, dass der Austausch von Flüssigkeit und Dampf lokal gezielt gesteuert und die Flutung der Blasenkeimstelle im Segment lokal erfolgt. Insgesamt können durch eine gezielte Wahl der Kanalsegmentierung die Verdampferrohrstrukturen in Abhängigkeit der Einsatzparameter zielführend optimiert werden, wodurch eine Steigerung des Wärmeübergangs erzielt wird. Da im Bereich des Nutengrundes die Temperatur des Rippenfußes höher ist als an der Rippenspitze, sind zudem Strukturelemente zur Intensivierung der Blasenbildung im Nutengrund besonders wirkungsvoll.

[0020] Zudem ist es auch möglich, dass die Zusatzstrukturen die durchströmbare Querschnittsfläche im Kanal zwischen zwei Rippen lokal um mindestens 80 % reduzieren. Insgesamt können durch eine zunehmende Abtrennung einzelner Kanalabschnitte bei der Kanalsegmentierung die Verdampferrohrstrukturen in Abhängigkeit der Einsatzparameter weiter zur Steigerung des Wärmeübergangs optimiert werden.

[0021] Bei einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung können die Zusatzstrukturen die durchströmbare Querschnittsfläche im Kanal zwischen zwei Rippen lokal

vollständig abschließen. Auf diese Weise werden die Segmente lokal für einen Fluiddurchtritt vollständig verschlossen. Der zwischen zwei Segmenten liegende Kanalabschnitt ist somit gegenüber benachbart liegenden Kanalabschnitten fluidseitig getrennt.

[0022] In bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung kann der Kanal radial nach außen bis auf einzelne lokale Öffnungen abgeschlossen sein. Dabei können die Rippen einen im Wesentlichen T-förmigen oder Γ -förmigen Querschnitt aufweisen, wodurch der Kanal zwischen den Rippen bis auf Poren als lokale Öffnungen verschlossen wird. Durch diese Öffnungen können die im Verdampfungsprozess entstehenden Dampfblasen entweichen. Das Verformen der Rippenspitzen geschieht mit Methoden, die dem Stand der Technik zu entnehmen sind.

[0023] Durch die Kombination der erfindungsgemäßen Segmente mit einem bis auf Poren oder Schlitze verschlossenen Kanal erhält man eine Struktur, die über einen sehr weiten Bereich von Betriebsbedingungen eine sehr hohe Leistungsfähigkeit bei Verdampfung von Flüssigkeiten aufweist. Insbesondere erreicht bei Variation der Wärmestromdichte oder der treibenden Temperaturdifferenz der Wärmeübergangskoeffizient der Struktur ein gleichbleibend hohes Niveau.

[0024] In vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung kann zumindest eine lokale Öffnung pro Segment vorhanden sein. Diese Mindestanforderung gewährleistet noch, dass beim Verdampfungsprozess in einem Kanalsegment entstehende Gasblasen nach außen entweichen können. Die lokalen Öffnungen sind in Größe und Gestalt so ausgeführt, dass auch flüssiges Medium hindurchtreten und in den Kanalabschnitt nachströmen kann. Damit der Verdampfungsvorgang bei einer lokalen Öffnung aufrechterhalten werden kann, müssen die gleichen Mengen Flüssigkeit und Dampf folglich in zueinander entgegengesetzten Richtungen durch die Öffnung transportiert werden. Üblicherweise werden Flüssigkeiten verwendet, die den Rohrwerkstoff gut benetzen. Eine derartige Flüssigkeit kann aufgrund des Kapillareffekts durch jede Öffnung in der äußeren Rohroberfläche auch gegen einen Überdruck in die Kanäle eindringen.

[0025] In besonders bevorzugter Ausgestaltung kann der Quotient der Anzahl der lokalen Öffnungen zur Anzahl der Segmente 1:1 bis 6:1 betragen. Weiter bevorzugt kann dieser Quotient 1:1 bis 3:1 betragen. Die zwischen den Rippen befindlichen Kanäle sind durch Material der oberen Rippenbereiche im Wesentlichen verschlossen, wobei die so entstehenden Hohlräume der Kanalsegmente durch Öffnungen mit dem umgebenden Raum verbunden sind. Diese Öffnungen können auch als Poren ausgestaltet sein, welche in gleicher Größe oder auch in zwei oder mehr Größenklassen ausgeführt sein können. Bei einem Verhältnis, bei dem mehrere lokale Öffnungen auf ein Segment ausgebildet sind, können sich besonders Poren mit zwei Größenklassen eignen. Nach einem regelmäßigen, sich wiederholenden Schema folgen entlang der Kanäle beispielsweise auf jede kleine eine große Öffnung. Durch diese Struktur wird

eine gerichtete Strömung in den Kanälen erzeugt. Flüssigkeit wird bevorzugt 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. Gleichzeitig müssen die großen Poren so dimensioniert werden, dass der Dampf ausreichend schnell entweichen kann und die Kanäle dabei nicht austrocknen. Die Größe und Häufigkeit der Dampfporen im Verhältnis zu den kleineren Flüssigkeitsporen sind dann aufeinander abzustimmen.

[0026] Vorteilhafterweise können erste Zusatzstrukturen vom Kanalgrund ausgehende radial nach außen gerichtete Auskragungen sein. Hierdurch wird auch der Austausch von Flüssigkeit und Dampf lokal festgelegt. Die Segmentierung des Kanals über den Nutengrund ist dabei für den Verdampfungsprozess besonders günstig, da am Nutengrund die Übertemperatur am größten ist und deshalb dort die höchste treibende Temperaturdifferenz für die Blasenbildung zur Verfügung steht.

[0027] In bevorzugter Ausführungsform der Erfindung können die ersten Zusatzstrukturen zumindest aus Material des Kanalgrunds zwischen zwei integral umlaufenden Rippen ausgeformt sein. Hierdurch verbleibt eine stoffschlüssige Verbindung für einen guten Wärmeaustausch von der Rohrwandung in die jeweiligen Strukturelemente erhalten. Die Segmentierung des Kanals aus einem einheitlichen Material des Kanalgrunds ist für den Verdampfungsprozess besonders günstig.

[0028] In besonders bevorzugter Ausführungsform können die aus dem Kanalgrund geformten ersten Zusatzstrukturen eine Höhe zwischen 0,15 und 1 mm aufweisen. Diese Bemaßung der Zusatzstrukturen ist auf die Hochleistungsrippenrohre besonders gut abgestimmt und bringen zum Ausdruck, dass die Strukturgrößen der Außenstrukturen bevorzugt im Submillimeter- bis Millimeterbereich liegen.

[0029] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung können zweite Zusatzstrukturen zumindest aus den Rippenflanken der integral umlaufenden Rippen über seitliche Auskragungen ausgeformt sein. Dies kann alternativ oder zusätzlich zu weiteren Auskragungen aus dem Kanalgrundmaterial ausgeführt sein.

[0030] In bevorzugter Ausführungsform der Erfindung können die zweiten Zusatzstrukturen zumindest aus einer Rippe von der Rippenspitze ausgehend in Richtung Kanalgrund hin ausgeformt sein. Der Kanal kann folglich auch aus einer Kombination mehrerer sich ergänzender Strukturelemente von unten und/oder der Seite und/oder von oben um das gewünschte Maß verjüngt bis ganz geschlossen werden. Jedenfalls so, dass der Kanal zwischen den Rippen in diskrete Segmente unterteilt wird.

[0031] In weiterer ergänzender Ausführungsform können Zusatzstrukturen zumindest teilweise über zusätzliches Material eingebracht sein. Zusätzliches Material kann dabei in Beschaffenheit und in Bezug auf die Wechselwirkung mit dem zum Betrieb ausgewählten Fluids

vom Material des übrigen Wärmeaustauscherrohres abweichen. Beispielsweise ist es dabei auch angedacht, Materialien mit unterschiedlichen Oberflächeneigenschaften gegenüber dem verwendeten Fluid einzusetzen.

[0032] Vorteilhafterweise können die Zusatzstrukturen asymmetrische Formen aufweisen. Die Asymmetrie der Strukturen erscheint hierbei in einer senkrecht zur Rohrachse verlaufenden Schnittebene. Asymmetrische Formen können, insbesondere wenn eine größere Oberfläche ausgebildet wird, einen zusätzlichen Beitrag zum Verdampfungsprozess leisten. Die Asymmetrie kann sowohl bei Zusatzstrukturen am Kanalgrund wie auch an der Rippenspitze ausgeprägt sein.

[0033] In bevorzugter Ausführungsform der Erfindung können die Zusatzstrukturen in einer senkrecht zur Rohrachse verlaufenden Schnittebene einen trapezförmigen Querschnitt aufweisen. Trapezförmige Querschnitte sind im Zusammenhang mit integral gewalzten Rippenrohrstrukturen technologisch gut beherrschbare Strukturelemente. Geringfügige fertigungsbedingte Asymmetrien der sonst parallelen Grundseiten eines Trapezes können hierbei auftreten.

[0034] Vorteilhafterweise kann die jeweilige durch Zusatzstrukturen reduzierte, durchströmbare Querschnittsfläche im Kanal zwischen zwei Rippen variieren. Auf diese Weise können im Kanal lokal mehr oder weniger durchgängige Bereiche geschaffen werden. Hierzu können beispielsweise Zusatzstrukturen am Kanalgrund eine unterschiedliche Höhe aufweisen.

[0035] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand der schematischen Zeichnungen näher erläutert.

[0036] Darin zeigen:

Fig. 1 schematisch eine Teilansicht eines Querschnitts eines Wärmeaustauscherrohrs mit durch Zusatzstrukturen unterteilten Segmenten,

Fig. 2 schematisch eine Teilansicht eines Querschnitts eines weiteren Wärmeaustauscherrohrs mit variierten Zusatzstrukturen im Bereich der Rippenspitze, und

Fig. 3 schematisch eine Teilansicht eines Querschnitts eines Wärmeaustauscherrohrs mit nahezu abgeschlossenen Segmenten.

[0037] Einander entsprechende Teile sind in allen Figuren mit denselben Bezugszeichen versehen.

[0038] Fig. 1 zeigt schematisch eine Teilansicht eines Querschnitts eines erfindungsgemäßen Wärmeaustauscherrohrs 1 mit durch Zusatzstrukturen 7 unterteilten Segmenten 8. Das integral gewalzte Wärmeaustauscherrohr 1 weist auf der Rohraußenseite schraubenlinienförmig umlaufende Rippen 2 auf, zwischen denen eine Primärnut als Kanal 6 ausgebildet ist. Die Rippen 2 erstrecken sich ohne Unterbrechung kontinuierlich entlang einer Helixlinie auf der Rohraußenseite. Der Rippenfuß 3 steht im Wesentlichen radial von der Rohrwand

dung 10 ab. Die Rippenhöhe H wird am fertigen Wärmeaustauscherrohr 1 von der tiefsten Stelle des Kanalgrundes 61 ausgehend vom Rippenfuß 3 über die Rippenflanke 4 hinweg bis zur Rippenspitze 5 des vollständig geformten Rippenrohres gemessen. Es wird ein Wärmeaustauscherrohr 1 vorgeschlagen, bei dem im Bereich des Kanalgrundes 61, eine Zusatzstruktur 7 in Gestalt von massiven Auskragungen 71 angeordnet ist. Diese Auskragungen 71 sind als erste Zusatzstruktur bezeichnet und aus Material der Rohrwandung 10 aus dem Kanalgrund 61 geformt. Die massiven Auskragungen 71 sind in bevorzugt regelmäßigen Abständen im Kanalgrund 61 angeordnet und erstrecken sich quer zum Kanalverlauf von einem Rippenfuß 3 einer Rippe 2 zum in der Figurenebene nicht dargestellten darüber liegenden nächsten Rippenfuß. Auf diese Weise wird die Primärnut als Kanal 6 in regelmäßigen Abständen zumindest teilweise verjüngt. Das dadurch entstehende Segment 8 begünstigt eine Blasenkeimbildung in besonderer Weise. Der Austausch von Flüssigkeit und Dampf zwischen den einzelnen Segmenten 8 wird dadurch verringert.

[0039] Zusätzlich zur Bildung der Auskragungen 71 am Kanalgrund 61 sind zweckmäßigerweise die Rippenspitzen 5 als distaler Bereich der Rippen 2 derart verformt, dass sie den Kanal 6 in Radialrichtung teilweise als weitere zweite Zusatzstruktur 72 verschließen. Die Verbindung zwischen dem Kanal 6 und der Umgebung ist in Form von Poren 9 als lokale Öffnungen ausgestaltet, damit Dampfblasen aus der Kanal 6 entweichen können. Das Verformen der Rippenspitzen 5 geschieht mit Methoden, die dem Stand der Technik zu entnehmen sind. Die Primärnuten 6 stellen auf diese Weise hinterschnittene Nuten dar. Durch die Kombination der erfindungsgemäßen ersten und zweiten Zusatzstrukturen 71 und 72 erhält man ein Segment 8 in Form einer Kavität, die sich ferner dadurch auszeichnet, dass sie über einen sehr weiten Bereich von Betriebsbedingungen eine sehr hohe Leistungsfähigkeit bei Verdampfung von Flüssigkeiten aufweist. Die Flüssigkeit verdampft innerhalb des Segments 8. Der entstehende Dampf tritt an den lokalen Öffnungen 9 aus dem Kanal 6 aus, durch die auch flüssiges Fluid nachströmt. Zum Nachströmen des Fluid können auch gut benetzbare Rohroberflächen eine Hilfe sein.

[0040] Fig. 2 zeigt schematisch eine Teilansicht eines Querschnitts eines weiteren Wärmeaustauscherrohrs 1 mit variierten zweiten Zusatzstrukturen 72 im Bereich der Rippenspitze 5. Zusätzlich zur Bildung der Auskragungen 71 am Kanalgrund 61 sind wiederum die Rippenspitzen 5 als distaler Bereich der Rippen 2 derart verformt, dass sie den Kanal 6 in Radialrichtung teilweise als weitere zweite Zusatzstruktur 72 verschließen. Die Verbindung zwischen dem Kanal 6 und der Umgebung ist in Form von schräg verlaufenden Röhren als lokale Öffnungen 9 zum Entweichen von Dampfblasen aus der Kanal 6 sowie Einstromen von flüssigem Fluid in den Kanal 6 ausgestaltet. Die Primärnuten 6 stellen auf diese Weise wiederum hinterschnittene Nuten dar. Die zweite Zusatz-

struktur 72 ist aus einer Rippe von der Rippenspitze 5 ausgehend in Richtung Kanalgrund 61 hin ausgeformt und ragt so in radialer Richtung in den Kanal 6 hinein. Sobald eine erste und eine zweite Zusatzstruktur radial betrachtet übereinanderliegen, reduziert sich die durchströmbare Querschnittsfläche im Kanal 6 zwischen zwei Rippen 2 lokal besonders effektiv, um dadurch im Betrieb den Fluidfluss im Kanal 6 zu begrenzen.

[0041] Fig. 3 zeigt schematisch eine Teilansicht eines Querschnitts eines Wärmeaustauscherrohrs 1 mit den Zusatzstrukturen 7 aus Fig. 2. Die zweiten Zusatzstrukturen 72 ragen bis fast zu den Auskragungen der ersten Zusatzstrukturen 71 in den Kanal 6 hinein, so dass sich nahezu abgeschlossene Segmente 8 ausbilden. In diesem Fall liegt der Quotient der Anzahl der lokalen Öffnungen 9 zur Anzahl der Segmente 8 im bevorzugten Intervall 1:1 bis 3:1 und beträgt im Schnitt ungefähr 1,7:1 bis 2,3:1. Hierbei sind alle als Röhren ausgebildeten lokalen Öffnungen 9 noch durchgängig, auch wenn eine Öffnung 9 über einer Auskragung 71 zu liegen kommt. Der entstehende Dampf kann noch an den lokalen Öffnungen 9 aus dem Kanal 6 austreten. Das flüssige Fluid kann aufgrund seiner Oberflächenspannung mittels Kapillarwirkung in den Röhren 9 besonders effizient nachströmen.

[0042] Durch die Kombination der erfindungsgemäßen ersten und zweiten Zusatzstrukturen 71 und 72 erhält man ein Segment 8 in Form einer Kavität, die sich ferner dadurch auszeichnet, dass sie über einen sehr weiten Bereich von Betriebsbedingungen eine sehr hohe Leistungsfähigkeit bei Verdampfung von Flüssigkeiten aufweist. Insbesondere bleibt bei Variation der Wärmestromdichte oder der treibenden Temperaturdifferenz der Wärmeübergangskoeffizient der Struktur auf einem hohen Niveau nahezu konstant. Die erfindungsgemäße Lösung bezieht sich auf strukturierte Rohre, bei denen der Wärmeübergangskoeffizient auf der Rohraußenseite gesteigert wird. Um nicht den Hauptanteil des Wärmedurchgangswiderstandes auf die Innenseite zu verlagern, kann der Wärmeübergangskoeffizient auf der Innenseite durch eine geeignete Innenstrukturierung 11 zudem intensiviert werden. Die Wärmeaustauscherrohre 1 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 Wärmeaustauscherrohr 1 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.

Bezugszeichenliste

[0043]

1 Wärmeaustauscherrohr

- 2 Rippen
- 3 Rippenfuß
- 4 Rippenflanke
- 5 Rippenspitze, distale Bereiche der Rippen
- 6 Kanal, Primärnut
- 61 Kanalgrund
- 7 Zusatzstrukturen
- 71 erste Zusatzstruktur als Auskragungen am Kanalgrund
- 72 zweite Zusatzstruktur im Bereich der Rippenspitze
- 8 Segment
- 9 lokale Öffnung, Poren, Röhren
- 10 Rohrwandung
- 11 Innenstruktur

5

10

15

Patentansprüche

1. Metallisches Wärmeaustauscherröhr (1), mit auf der Rohraußenseite ausgeformten integralen Rippen (2) mit Rippenfuß (3), Rippenflanken (4) und Rippenspitze (5), wobei der Rippenfuß (3) im Wesentlichen radial von der Rohrwandung absteht und zwischen den Rippen (2) ein Kanal (6) ausgebildet ist, in dem voneinander beabstandete Zusatzstrukturen (7, 71, 72) angeordnet sind, welche zumindest zum Teil ausgehend vom Kanalgrund (61) angeordnet sind und sich quer zum Verlauf des Kanals (6) erstrecken,

20

25

30

dadurch gekennzeichnet,

- **dass** die Zusatzstrukturen (7, 71, 72) den Kanal (6) zwischen den Rippen (2) in Segmente (8) unterteilen, und
- **dass** die Zusatzstrukturen (7, 71, 72) die durchströmbare Querschnittsfläche im Kanal (6) zwischen zwei Rippen (2) lokal um mindestens 60 % reduzieren und dadurch im Betrieb einen Fluidfluss im Kanal (6) zumindest begrenzen.

35

40

2. Wärmeaustauscherröhr (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zusatzstrukturen (7, 71, 72) die durchströmbare Querschnittsfläche im Kanal (6) zwischen zwei Rippen (2) lokal um mindestens 80 % reduzieren.
3. Wärmeaustauscherröhr (1) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zusatzstrukturen (7, 71, 72) die durchströmbare Querschnittsfläche im Kanal (6) zwischen zwei Rippen (2) lokal vollständig abschließen.
4. Wärmeaustauscherröhr (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kanal (6) radial nach außen bis auf einzelne lokale Öffnungen (9) abgeschlossen ist.

45

50

55

5. Wärmeaustauscherröhr (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest eine lokale Öffnung (9) pro Segment (8) vorhanden ist.

6. Wärmeaustauscherröhr (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Quotient der Anzahl der lokalen Öffnungen (9) zur Anzahl der Segmente (8) 1:1 bis 6:1 beträgt.

7. Wärmeaustauscherröhr (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** erste Zusatzstrukturen (7, 71) vom Kanalgrund (61) ausgehende radial nach außen gerichtete Auskragungen sind.

8. Wärmeaustauscherröhr (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die ersten Zusatzstrukturen (7, 71) zumindest aus Material des Kanalgrunds (61) zwischen zwei integral umlaufenden Rippen (2) ausgeformt sind.

9. Wärmeaustauscherröhr (1) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die aus dem Kanalgrund (61) geformten ersten Zusatzstrukturen (7, 71) eine Höhe zwischen 0,15 und 1 mm aufweisen.

10. Wärmeaustauscherröhr (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** zweite Zusatzstrukturen (7, 72) zumindest aus den Rippenflanken (4) oder Rippenspitzen (5) der integral umlaufenden Rippen (2) über seitliche Auskragungen ausgeformt sind.

11. Wärmeaustauscherröhr (1) nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die zweiten Zusatzstrukturen (7, 72) zumindest aus einer Rippe von der Rippenspitze (5) ausgehend in Richtung Kanalgrund (61) hin ausgeformt sind.

12. Wärmeaustauscherröhr (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** Zusatzstrukturen (7) zumindest teilweise über zusätzliches Material eingebracht sind.

13. Wärmeaustauscherröhr (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zusatzstrukturen (7, 72) asymmetrische Formen aufweisen.

14. Wärmeaustauscherröhr (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** Zusatzstrukturen (7, 71) in einer senkrecht zur Rohrachse verlaufenden Schnittebene einen trapezförmigen Querschnitt aufweisen.

15. Wärmeaustauscherröhr (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die

jeweilige durch Zusatzstrukturen (7, 71) reduzierte, durchströmbare Querschnittsfläche im Kanal (6) zwischen zwei Rippen (2) variiert.

Claims

1. Metal heat exchanger pipe (1), having integral ribs (2) which are formed on the outer side of the pipe and which have a rib base (3), rib flanks (4) and a rib tip (5), wherein the rib base (3) protrudes substantially radially from the pipe wall and there is formed between the ribs (2) a channel (6) in which there are arranged additional structures (7, 71, 72) which are spaced apart from each other and which are arranged so as to extend least partially from the channel base (61) and which extend transversely relative to the path of the channel (6), **characterised in that**

- the additional structures (7, 71, 72) divide the channel (6) between the ribs (2) into segments (8), and

- **in that** the additional structures (7, 71, 72) reduce the cross-sectional surface-area through which it is possible to flow in the channel (6) between two ribs (2) locally by at least 60% and thereby during operation at least to limit a fluid flow in the channel (6).

2. Heat exchanger pipe (1) according to claim 1, **characterised in that** the additional structures (7, 71, 72) reduce the cross-sectional surface-area through which it is possible to flow in the channel (6) between two ribs (2) locally by at least 80%.

3. Heat exchanger pipe (1) according to claim 2, **characterised in that** the additional structures (7, 71, 72) locally completely close the cross-sectional surface-area through which it is possible to flow in the channel (6) between two ribs (2).

4. Heat exchanger pipe (1) according to any one of claims 1 to 3, **characterised in that** the channel (6) is closed at the radially outer side with the exception of individual local openings (9).

5. Heat exchanger pipe (1) according to any one of claims 1 to 4, **characterised in that** at least one local opening (9) is provided per segment (8).

6. Heat exchanger pipe (1) according to any one of claims 1 to 5, **characterised in that** the quotient of the number of local openings (9) to the number of segments (8) is from 1:1 to 6:1.

7. Heat exchanger pipe (1) according to any one of claims 1 to 6, **characterised in that** first additional

structures (7, 71) are radially outwardly directed protrusions extending from the channel base (61).

8. Heat exchanger pipe (1) according to any one of claims 1 to 7, **characterised in that** the first additional structures (7, 71) are formed at least from the material of the channel base (61) between two integrally circumferential ribs (2).

9. Heat exchanger pipe (1) according to claim 8, **characterised in that** the first additional structures (7, 71) which are formed from the channel base (61) have a height between 0.15 and 1 mm.

10. Heat exchanger pipe (1) according to any one of claims 1 to 7, **characterised in that** second additional structures (7, 72) are formed at least from the rib flanks (4) or rib tips (5) of the integrally circumferential ribs (2) by means of lateral protrusions.

11. Heat exchanger pipe (1) according to claim 10, **characterised in that** the second additional structures (7, 72) are formed at least from a rib extending from the rib tip (6) in the direction towards the channel base (61).

12. Heat exchanger pipe (1) according to any one of claims 1 to 11, **characterised in that** additional structures (7) are introduced at least partially by means of additional material.

13. Heat exchanger pipe (1) according to any one of claims 1 to 12, **characterised in that** the additional structures (7, 72) have asymmetrical shapes.

14. Heat exchanger pipe (1) according to any one of claims 1 to 12, **characterised in that** additional structures (7, 71) have a trapezoidal cross-section in a plane of section which extends perpendicularly to the pipe axis.

15. Heat exchanger pipe (1) according to any one of claims 1 to 14, **characterised in that** the respective cross-sectional surface-area through which it is possible to flow in the channel (6) and which is reduced by additional structures (7, 71) varies between two ribs (2).

Revendications

1. Tube d'échangeur de chaleur métallique (1), comprenant des nervures (2) intégrales faisant saillie sur la face extérieure du tube et pourvues d'une base de nervure (3), de flancs de nervure (4) et d'une pointe de nervure (5), dans lequel la base de nervure (3) fait saillie sensiblement radialement de la paroi du tube et un canal (6), dans lequel des structures ad-

ditionnelles (7, 71, 72) espacées les unes des autres sont agencées, lesquelles sont agencées au moins en partie de manière à partir de la base (61) du canal et s'étendent transversalement à l'étendue du canal (6), est formé entre les nervures (2),

caractérisé

- **en ce que** les structures additionnelles (7, 71, 72) divisent le canal (6) entre les nervures (2) en segments (8), et
 - **en ce que** les structures additionnelles (7, 71, 72) réduisent la superficie de section pouvant être traversée dans le canal (6) entre deux nervures (2) localement d'au moins 60 % et délimitent au moins de ce fait, durant l'utilisation, un écoulement de fluide dans le canal (6).
2. Tube d'échangeur de chaleur métallique (1) selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** les structures additionnelles (7, 71, 72) réduisent la superficie de section pouvant être traversée dans le canal (6) entre deux nervures (2) localement d'au moins 80 %.
 3. Tube d'échangeur de chaleur métallique (1) selon la revendication 2, **caractérisé en ce que** les structures additionnelles (7, 71, 72) isolent complètement localement la superficie de section pouvant être traversée dans le canal (6) entre deux nervures (2).
 4. Tube d'échangeur de chaleur métallique (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** le canal (6) est fermé radialement vers l'extérieur jusqu'à différents orifices locaux (9).
 5. Tube d'échangeur de chaleur métallique (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce qu'**au moins un orifice local (9) est présent par segment (8).
 6. Tube d'échangeur de chaleur métallique (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** le quotient du nombre des orifices locaux (9) sur le nombre des segments (8) atteint 1/1 à 6/1.
 7. Tube d'échangeur de chaleur métallique (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** les premières structures additionnelles (7, 71) sont des parties saillantes partant de la base (61) du canal et dirigées radialement vers l'extérieur.
 8. Tube d'échangeur de chaleur métallique (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** les premières structures additionnelles (7, 71) font saillie au moins du matériau de la base (61) du canal entre deux nervures (2) intégralement périphériques.

9. Tube d'échangeur de chaleur métallique (1) selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** les premières structures additionnelles (7, 71) faisant saillie de la base (61) du canal présentent une hauteur comprise entre 0,15 et 1 mm.
10. Tube d'échangeur de chaleur métallique (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce que** des deuxième structures additionnelles (7, 72) font saillie au moins des flancs de nervure (4) ou des pointes de nervure (5) des nervures (2) intégralement périphériques par l'intermédiaire de parties saillantes latérales.
11. Tube d'échangeur de chaleur métallique (1) selon la revendication 10, **caractérisé en ce que** les deuxième structures additionnelles (7, 72) font saillie au moins d'une nervure en allant de la pointe de nervure (5) en direction de la base (61) du canal.
12. Tube d'échangeur de chaleur métallique (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, **caractérisé en ce que** les structures additionnelles (7) sont introduites au moins en partie par l'intermédiaire d'un matériau additionnel.
13. Tube d'échangeur de chaleur métallique (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, **caractérisé en ce que** les structures additionnelles (7, 72) présentent des formes asymétriques.
14. Tube d'échangeur de chaleur métallique (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, **caractérisé en ce que** les structures additionnelles (7, 71) présentent une section transversale trapézoïdale dans un plan de coupe s'étendant perpendiculairement à l'axe du tube.
15. Tube d'échangeur de chaleur métallique (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, **caractérisé en ce que** la superficie de section respective dans le canal (6), pouvant être traversée et réduite par des structures additionnelles (7, 71), varie entre deux nervures (2).

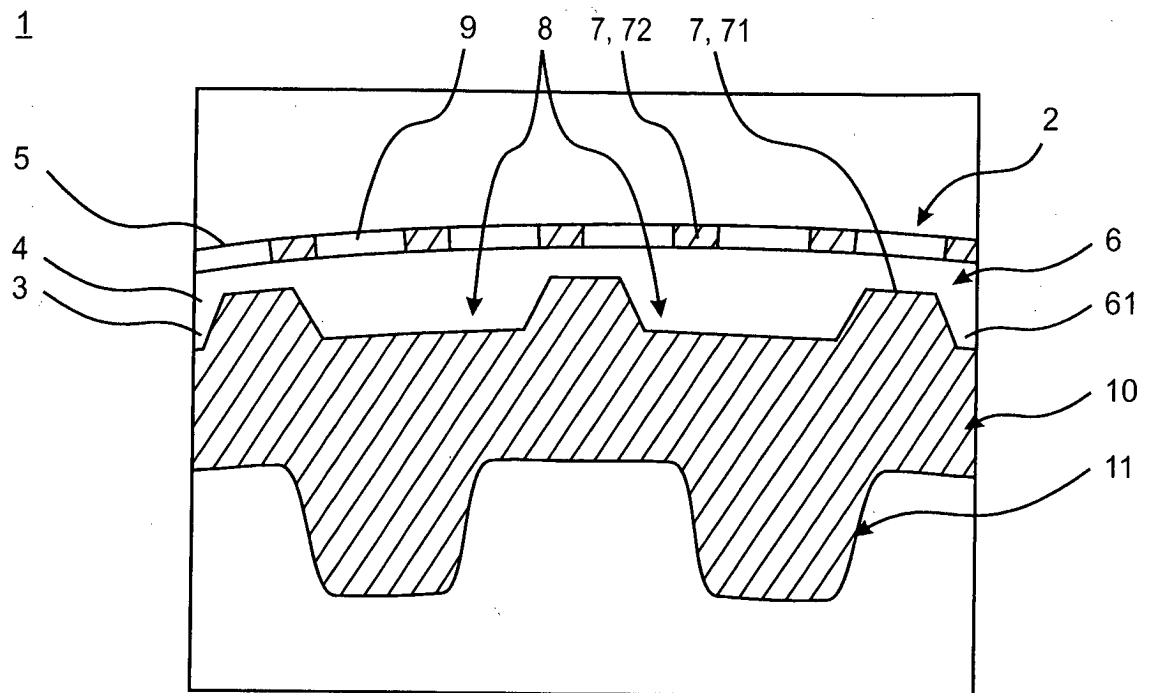


Fig. 1

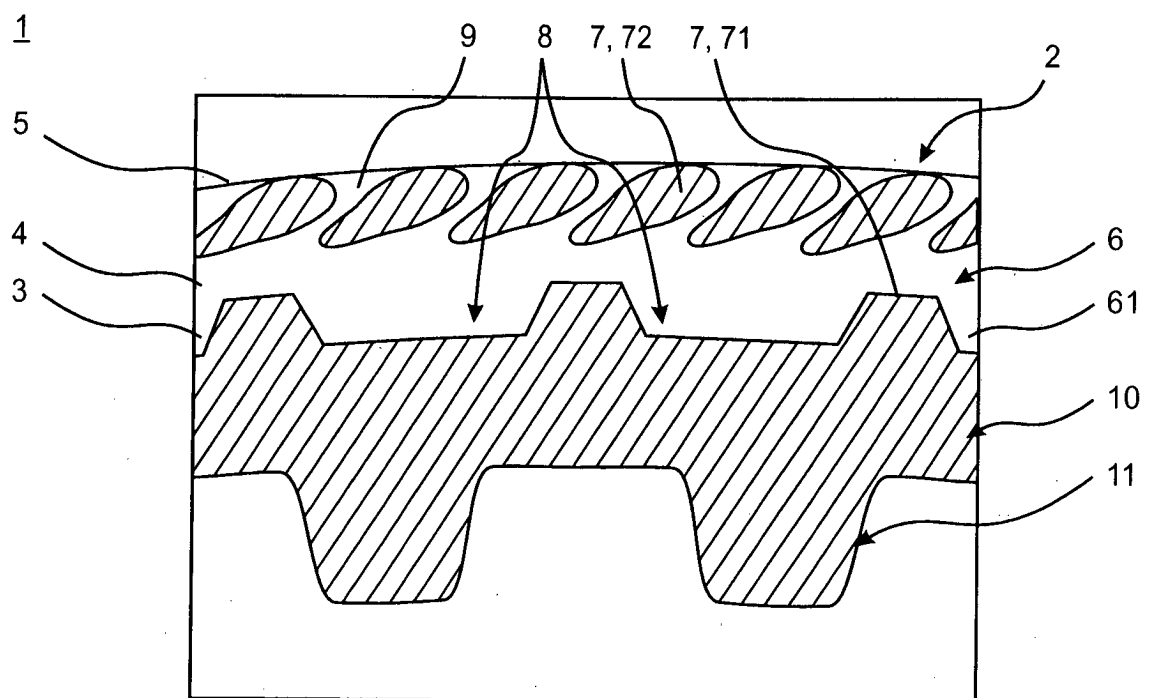


Fig. 2

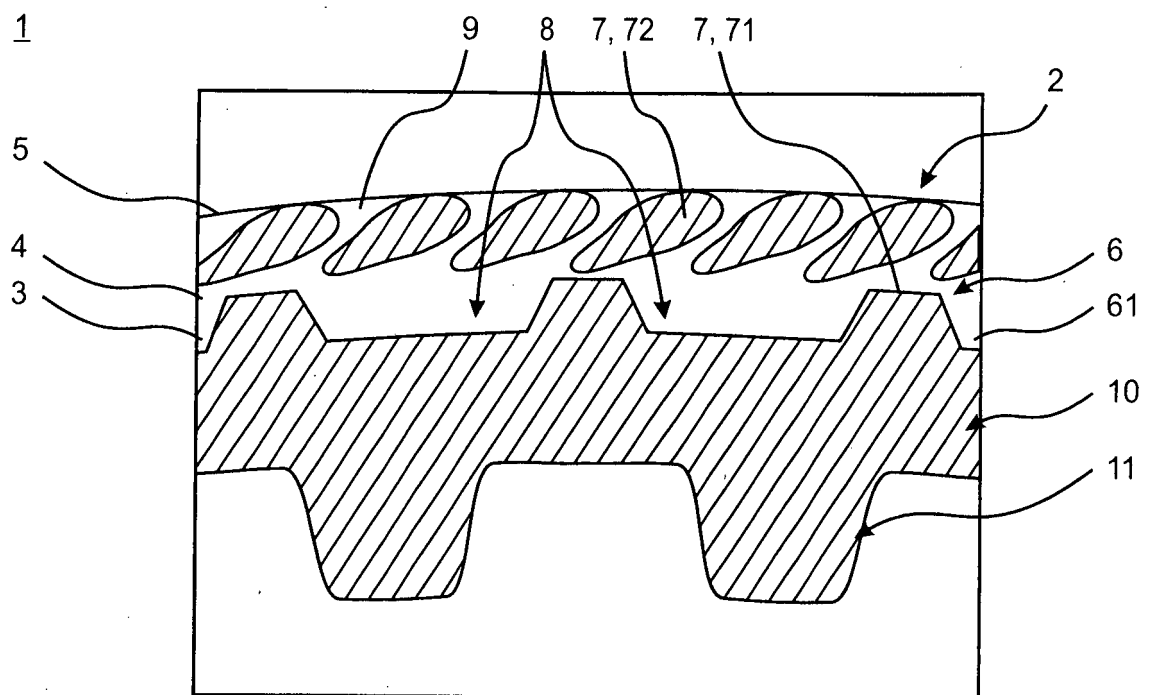


Fig. 3

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

- EP 0495453 A1 **[0002]**
- US 5669441 A **[0005]**
- US 5697430 A **[0005]**
- DE 19757526 C1 **[0005]**
- EP 1223400 B1 **[0007]**
- DE 102008013929 B3 **[0008]**
- EP 0222100 B1 **[0009]**
- US 7254964 B2 **[0009]**
- US 5186252 A **[0009]**