



(10) **DE 10 2014 002 829 A1** 2015.08.27

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2014 002 829.1**  
(22) Anmeldetag: **27.02.2014**  
(43) Offenlegungstag: **27.08.2015**

(51) Int Cl.: **F28F 1/14** (2006.01)  
**F28F 13/08** (2006.01)  
**F25B 39/02** (2006.01)

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

(72) Erfinder:  
**Gotterbarm, Achim, Dr., 89160 Dornstadt, DE;**  
**Lutz, Ronald, 89143 Blaubeuren, DE; El Hajal,**  
**Jean, Dr., 89077 Ulm, DE; Knab, Manfred, 89160**  
**Dornstadt, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

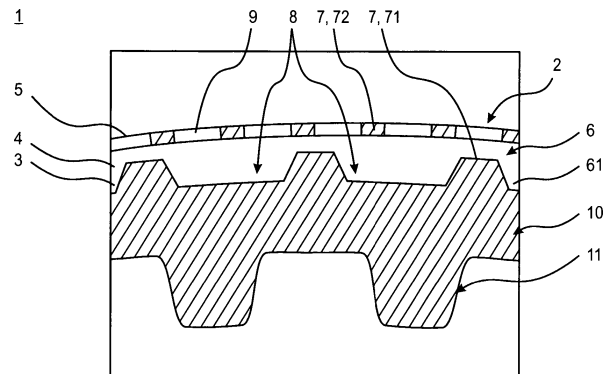
DE	197 57 526	C1
DE	10 2008 013 929	B3
US	7 254 964	B2
US	5 697 430	A
US	5 669 441	A
US	5 186 252	A
EP	0 222 100	B1
EP	1 223 400	B1
JP	S59-093190	A
JP	S59- 93 190	A

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Metallisches Wärmeaustauscherrohr**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein metallisches Wärmeaustauscherrohr, 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 durchströmbarbare Querschnittsfläche im Kanal zwischen zwei Rippen lokal um mindestens 60% und begrenzen zumindest dadurch im Betrieb einen Fluidfluss im Kanal.



## Beschreibung

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

**[0002]** 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 Rohrrinnenseite eine Sole oder Wasser abkühlen. Solche Apparate werden als überflutete Verdampfer bezeichnet.

**[0003]** Durch die Intensivierung des Wärmeübergangs auf der Rohraußen- und der Rohrrinnenseite 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.

**[0004]** Die leistungsstärksten, 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.

**[0005]** 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.

**[0006]** 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.

**[0007]** 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 Blasensiedens intensiviert wird. Die Lage der Kavitäten in der Nähe des primären Nutengrundes ist für den Verdampfungsprozess günstig, da am Nutengrund die Übertemperatur am größten ist und deshalb dort die höchste treibende Temperaturdifferenz für die Blasenbildung zur Verfügung steht.

**[0008]** 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.

**[0009]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein leistungsgesteigertes Wärmeaustauscherrohr zur Verdampfung von Flüssigkeiten auf der Rohraußenseite weiterzubilden.

**[0010]** Die Erfindung wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 wiedergegeben. Die weiteren rückbezogenen Ansprüche betreffen vorteilhafte Aus- und Weiterbildungen der Erfindung.

**[0011]** 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.

**[0012]** Diese metallischen Wärmeaustauscherrohre dienen insbesondere zur Verdampfung von Flüssigkeiten aus Reinstoffen oder Gemischen auf der Rohraußenseite.

**[0013]** 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 spiralg 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.

**[0014]** 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 Schlitzten 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.

**[0015]** Die Erfindung geht dabei von der Überlegung aus, dass zur Erhöhung des Wärmeüberganges bei der Verdampfung der Rippenzwischenraum durch Zusatzstrukturen segmentiert wird. Hierdurch werden lokale Überhitzungen in den Zwischenräumen erzeugt und der Vorgang des Blasensiedens 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.

**[0016]** 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.

**[0017]** 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 Rippen spitze, sind zudem Strukturelemente zur Intensivierung der Blasenbildung im Nutengrund besonders wirkungsvoll.

**[0018]** 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.

**[0019]** 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.

**[0020]** 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  $\Gamma$ -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 Rippen spitzen geschieht mit Methoden, die dem Stand der Technik zu entnehmen sind.

**[0021]** Durch die Kombination der erfindungsgemäßen Segmente mit einem bis auf Poren oder Schlitz 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.

**[0022]** 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.

**[0023]** 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.

**[0024]** 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.

**[0025]** 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.

**[0026]** 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.

**[0027]** 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.

**[0028]** 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.

**[0029]** 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.

**[0030]** 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.

**[0031]** 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.

**[0032]** 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.

**[0033]** Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand der schematischen Zeichnungen näher erläutert.

**[0034]** Darin zeigen:

**[0035]** Fig. 1 schematisch eine Teilansicht eines Querschnitts eines Wärmeaustauscherrohrs mit durch Zusatzstrukturen unterteilten Segmenten,

**[0036]** Fig. 2 schematisch eine Teilansicht eines Querschnitts eines weiteren Wärmeaustauscherrohrs mit variierten Zusatzstrukturen im Bereich der Rippenspitze, und

**[0037]** Fig. 3 schematisch eine Teilansicht eines Querschnitts eines Wärmeaustauscherrohrs mit nahezu abgeschlossenen Segmenten.

**[0038]** Einander entsprechende Teile sind in allen Figuren mit denselben Bezugszeichen versehen.

**[0039]** 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 Rohrwandung **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 Auskragungen **71** angeordnet ist. Diese Auskragungen **71** sind als erste Zusatzstruktur bezeichnet und aus Material der Rohrwandung **10** aus dem Kanalgrund **61** geformt. Die 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.

**[0040]** 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.

**[0041]** 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 Einströmen von flüssigem Fluid in den Kanal **6** ausgestaltet. Die Primärnuten **6** stellen auf diese Weise wiederum hinterschnittene Nuten dar. Die zweite Zusatzstruktur **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.

**[0042]** 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.

**[0043]** 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

- |           |   |
|-----------|---|
| <b>1</b>  | Wärmeaustauscherrohr                                |
| <b>2</b>  | Rippen  |
| <b>3</b>  | Rippenfuß   |
| <b>4</b>  | Rippenflanke  |
| <b>5</b>  | Rippenspitze, distale Bereiche der Rippen           |
| <b>6</b>  | Kanal, Primärnut                                    |
| <b>61</b> | Kanalgrund  |
| <b>7</b>  | Zusatzstrukturen                                    |
| <b>71</b> | erste Zusatzstruktur als Auskragungen am Kanalgrund |
| <b>72</b> | zweite Zusatzstruktur im Bereich der Rippenspitze   |
| <b>8</b>  | Segment   |
| <b>9</b>  | lokale Öffnung, Poren, Röhren                       |
| <b>10</b> | Rohrwandung   |
| <b>11</b> | Innenstruktur                                       |

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- US 5669441 A [0004]
- US 5697430 A [0004]
- DE 19757526 C1 [0004]
- EP 1223400 B1 [0006]
- DE 102008013929 B3 [0007]
- EP 0222100 B1 [0008]
- US 7254964 B2 [0008]
- US 5186252 A [0008]

### Patentansprüche

1. Metallisches Wärmeaustauscherröhr (1), mit auf der Rohraußenseite ausgeformten integralen Rippen (2) mit Rippenfuß (3), Rippenflanken (4) und Rippen spitze (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,  
**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.

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.

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 Rippen spitzen (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 Rippen spitze (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.

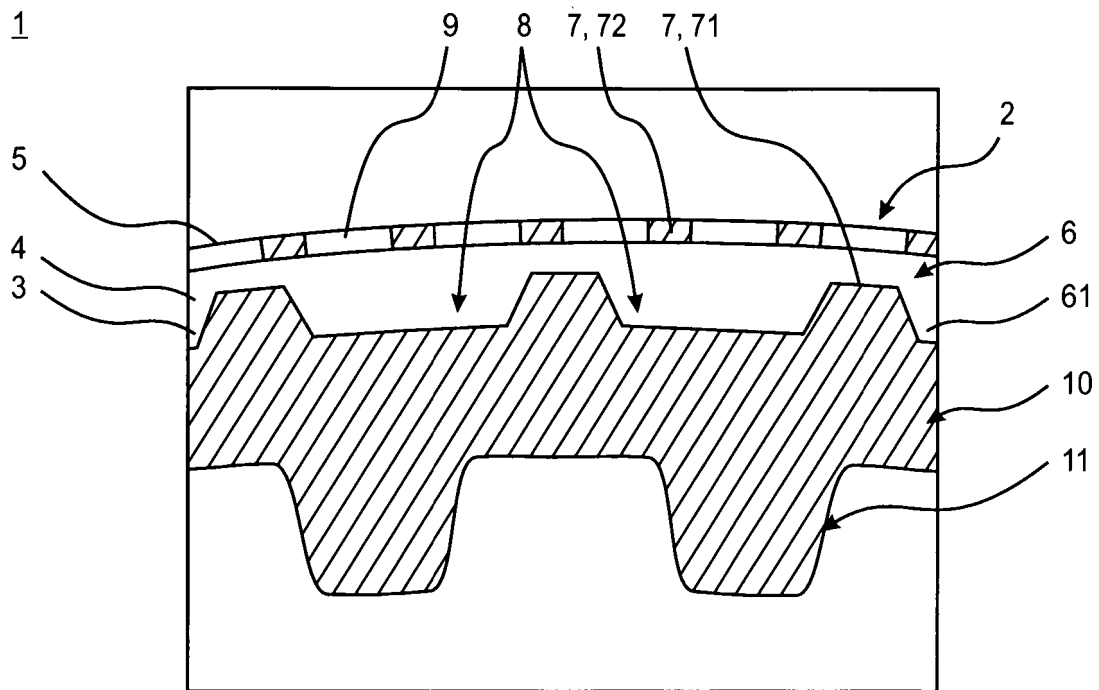
13. Wärmeaustauscherröhr (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet,** dass die Zusatzstrukturen (7, 72) asymmetrische Formen aufweisen.

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.

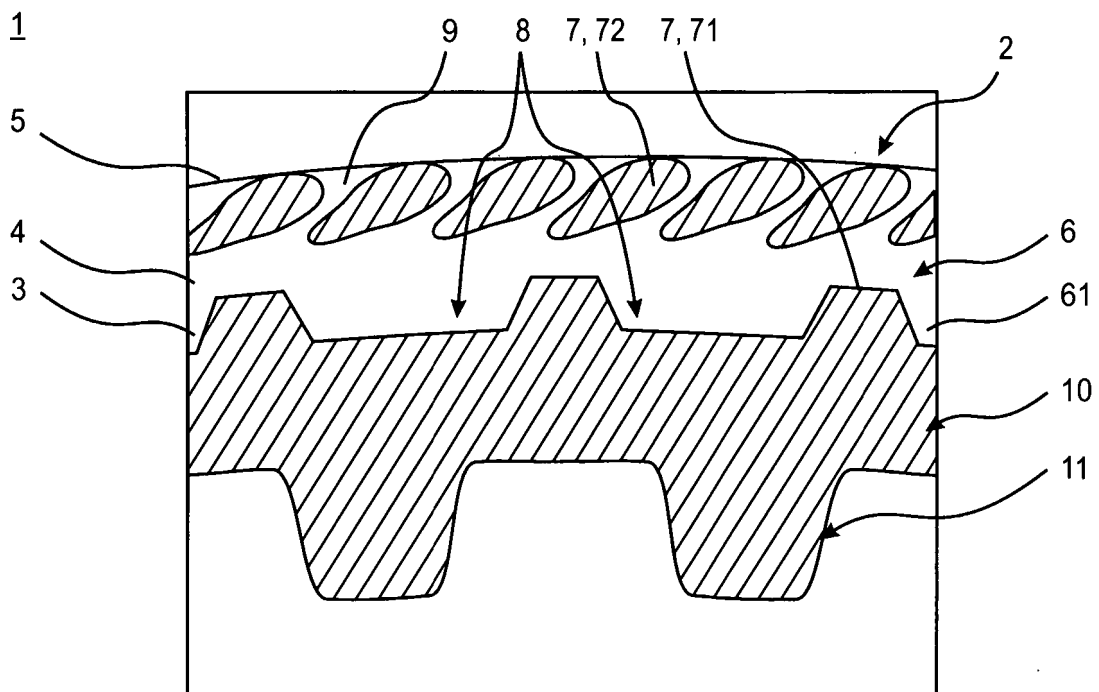
15. Wärmeaustauscherröhr (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet,** dass die jeweilige durch Zusatzstrukturen (7, 71) reduzierte, durchströmbare Querschnittsfläche im Kanal (6) zwischen zwei Rippen (2) variiert.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

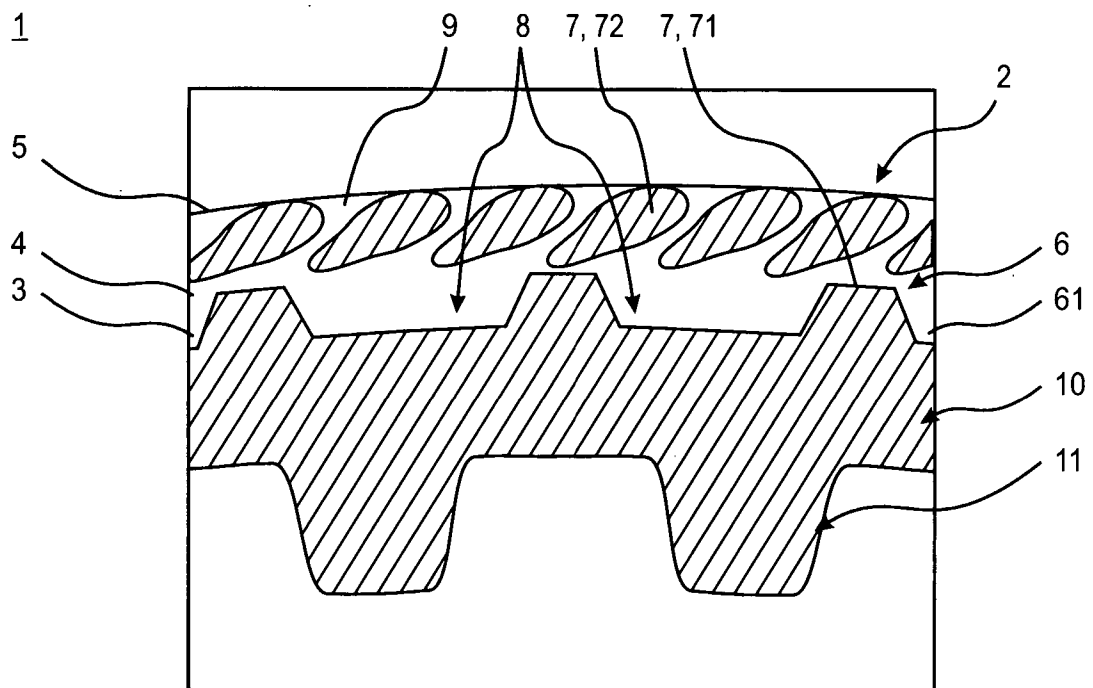
Anhängende Zeichnungen



**Fig. 1**



**Fig. 2**



**Fig. 3**