



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
16.09.2009 Patentblatt 2009/38

(51) Int Cl.:
F28F 1/40 (2006.01) F28F 13/18 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **09002560.2**

(22) Anmeldetag: **24.02.2009**

(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 TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA RS

(30) Priorität: **12.03.2008 DE 102008013929**

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

(72) Erfinder:
• **Knöpfler, Andreas
89233 Neu-Ulm (DE)**
• **Schwitalla, Andreas
89269 Vöhringen (DE)**
• **Beutler, Andreas, Dr.
89264 Weissenhorn (DE)**
• **El Hajal, Jean, Dr.
89077 Ulm (DE)**
• **Lutz, Ronald
89143 Blaubeuren (DE)**

(54) **Verdampferrohr mit optimierten Hinterschneidungen am Nutengrund**

(57) Die Erfindung betrifft ein metallisches Wärmeaustauscherrohr (1) mit auf der Rohraußenseite helixförmig umlaufenden, integral ausgeformten und durchgehend ausgebildeten Rippen (2), deren Rippenfuß (3) im Wesentlichen radial von der Rohrwandung (5) absteht, sowie mit zwischen jeweils benachbarten Rippen (2) sich befindenden Primärnuten (6). Im Bereich des Nutengrundes (7) der Primärnuten (6) ist mindestens eine hinterschnittene Sekundärnut (8) angeordnet. Diese Sekundärnut (8) ist zur Primärnut (6) hin durch ein Paar einan-

der gegenüberliegender, aus Material jeweils benachbarter Rippenfüße (3) geformter Werkstoffvorsprünge (9) begrenzt. Diese Werkstoffvorsprünge (9) erstrecken sich kontinuierlich entlang der Primärnut (6). Der Querschnitt der Sekundärnut (8) wird in regelmäßigen Intervallen variiert, ohne dabei die Form der Rippen (2) zu beeinflussen. Zwischen den gegenüberliegenden Werkstoffvorsprüngen (9) ist ein Abstand (S), wobei dieser Abstand (S) in regelmäßigen Intervallen variiert wird, wodurch lokale Kavitäten (10) ausgebildet sind.

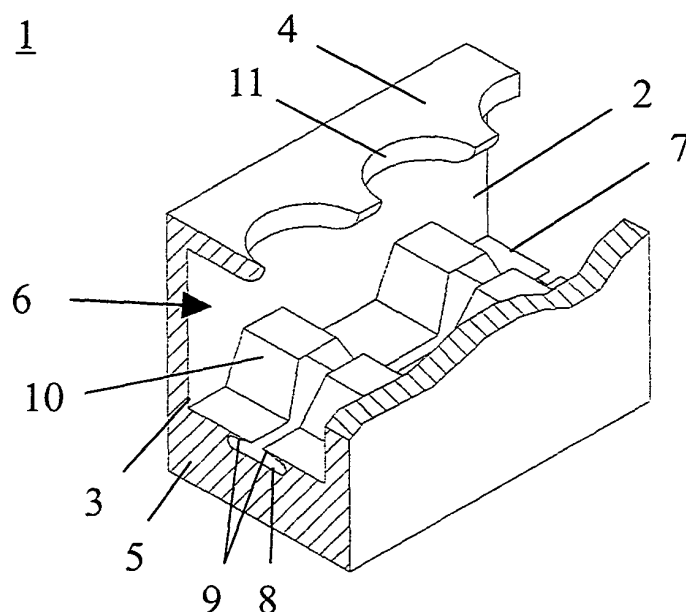


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein metallisches Wärmeaustauscherrohr mit auf der Rohraußenseite helixförmig umlaufenden, integral ausgeformten Rippen gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Derartige metallische Wärmeaustauscherrohre dienen insbesondere zur Verdampfung von Flüssigkeiten aus Reinstoffen oder Gemischen auf der Rohraußenseite.

[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 Kältemitteln, die bei den heute überwiegend verwendeten, chlorfreien Sicherheitskältemitteln einen nicht zu vernachlässigenden Kostenanteil an den gesamten Anlagekosten ausmachen kann. Bei toxischen oder brennbaren Kältemitteln lässt sich durch eine Reduktion der Füllmenge ferner das Gefahrenpotenzial herabsetzen. Die heute üblichen Hochleistungsrohre sind bereits etwa um den Faktor vier leistungsfähiger als glatte Rohre gleichen Durchmessers.

[0005] Es ist Stand der Technik, derartig leistungsfähige Rohre auf der Basis von integral gewalzten Rippenrohren herzustellen. Unter integral gewalzten Rippenrohren werden berippte Rohre verstanden, bei denen die Rippen aus dem Wandmaterial eines Glattrohres geformt wurden. 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 (US 3,696,861; US 5,054,548; US 7,178,361 B2), durch Spalten und Stauchen der Rippen (DE 2 758 526 C2; US 4,577,381) und durch Kerben und Stauchen der Rippen (US 4,660,630; EP 0 713 072 B1; US 4,216,826) erzeugt.

[0006] 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; US 5,697,430; DE 197 57 526 C1). Dies entspricht einer Rippenteilung von ca. 0,45 bis 0,40 mm. Prinzipiell ist es möglich, die Leistungsfähigkeit derartiger Rohre durch eine noch höhere Rippendichte bzw. kleinere Rippenteilung zu verbessern, da hierdurch die Blasenkeimstellendichte erhöht wird. Eine kleinere Rip-

penteilung erfordert zwangsläufig gleichermaßen feinere Werkzeuge. Feinere Werkzeuge sind jedoch einer höheren Bruchgefahr und schnellerem Verschleiß unterworfen. Die derzeit verfügbaren Werkzeuge ermöglichen eine sichere Fertigung von Rippenrohren mit Rippendichten von maximal 60 Rippen pro Zoll. Ferner wird mit abnehmender Rippenteilung die Produktionsgeschwindigkeit der Rohre kleiner und folglich werden die Herstellungskosten höher.

[0007] Weiterhin ist bekannt, dass leistungsgesteigerte Verdampfungsstrukturen bei gleichbleibender Rippendichte auf der Rohraußenseite erzeugt werden können, indem man zusätzliche Strukturelemente im Bereich des Nutengrundes zwischen den Rippen einbringt. Da im Bereich des Nutengrundes die Temperatur der Rippe höher ist als im Bereich der Rippenspitze, sind Strukturelemente zur Intensivierung der Blasenbildung in diesem Bereich besonders wirkungsvoll.

[0008] Beispiele hierfür sind in EP 0 222 100 B1; US 5,186,252; JP 04039596A und US 2007/0151715 A1 zu finden. Diesen Erfindungen ist gemeinsam, dass die Strukturelemente am Nutengrund keine hinterschnittene Form aufweisen, weshalb sie die Blasenbildung nicht ausreichend intensivieren. 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.

[0009] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein leistungsgesteigertes Wärmeaustauscherrohr zur Verdampfung von Flüssigkeiten auf der Rohraußenseite bei gleichem rohrseitigen Wärmeübergang und Druckabfall anzugeben.

[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 helixförmig umlaufenden, integral ausgeformten und durchgehend ausgebildeten Rippen, deren Rippenfuß im Wesentlichen radial von der Rohrwandung absteht, sowie mit zwischen jeweils benachbarten Rippen sich befindenden Primärnuten. Im Bereich des Nutengrundes der Primärnuten ist mindestens eine hinterschnittene Sekundärnut angeordnet. Diese Sekundärnut ist zur Primärnut hin durch ein Paar einander gegenüberliegender, aus Material jeweils benachbarter Rippenfüße geformter Werkstoffvorsprünge begrenzt. Diese Werkstoffvorsprünge erstrecken sich kontinuierlich entlang der Primärnut. Der Querschnitt der Sekundärnut wird in regelmäßigen Intervallen variiert, ohne dabei die Form der Rippen zu beeinflussen. Zwischen den gegenüberliegenden Werkstoffvorsprüngen ist ein Abstand, wobei dieser Abstand in regelmäßigen Intervallen variiert wird, wodurch lokale Kavitäten ausgebildet sind.

[0012] Die Erfindung geht dabei von der Überlegung

aus, dass zur Erhöhung des Wärmeüberganges bei der Verdampfung der Vorgang des Blasensiedens intensiviert wird. Die Bildung von Blasen beginnt an Keimstellen. Diese Keimstellen sind meist kleine Gas- oder Dampfeinschlüsse. Wenn die anwachsende Blase eine bestimmte Größe erreicht hat, löst sie sich von der Oberfläche ab. Wird im Zuge der Blasenablösung die Keimstelle mit Flüssigkeit geflutet, dann wird die Keimstelle deaktiviert. Die Oberfläche muss also derart gestaltet werden, dass beim Ablösen der Blase eine kleine Blase zurück bleibt, die dann als Keimstelle für einen neuen Zyklus der Blasenbildung dient. Dies wird erreicht, indem man auf der Oberfläche Kavitäten mit Öffnungen aufbringt. Die Öffnung der Kavität verjüngt sich gegenüber dem unter der Öffnung liegenden Hohlraum. Durch die Öffnung erfolgt der Austausch von Flüssigkeit und Dampf.

[0013] Bei der vorliegenden Erfindung wird durch den Abstand zwischen den gegenüberliegenden Werkstoffvorsprüngen eine Verbindung zwischen Primär- und Sekundärnut realisiert, so dass der Austausch von Flüssigkeit und Dampf zwischen Primärnut und Sekundärnut ermöglicht ist. Der besondere Vorteil der Erfindung besteht darin, dass die Wirkung der hinterschnittenen Sekundärnut auf die Bildung von Blasen dann besonders groß ist, wenn der Abstand zwischen gegenüberliegenden Werkstoffvorsprüngen erfindungsgemäß in regelmäßigen Intervallen variiert wird. Dadurch wird der Austausch von Flüssigkeit und Dampf gezielt gesteuert und die Flutung der Blasenkeimstelle in der Kavität verhindert. Die Lage der Kavitäten in der Nähe des primären Nutgrundes ist für den Verdampfungsprozess besonders günstig, da am Nutgrund die Wärmeüber Temperatur am größten ist und deshalb dort die höchste treibende Temperaturdifferenz für die Blasenbildung zur Verfügung steht.

[0014] In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung kann der Abstand zwischen den gegenüberliegenden Werkstoffvorsprüngen in regelmäßigen Intervallen den Wert Null annehmen. Dadurch wird die Sekundärnut in bestimmten Bereichen gegenüber der Primärnut abgeschlossen. In diesen Bereichen berühren sich die gegenüberliegenden Werkstoffvorsprünge, ohne dass es zu einem Stoffschluss kommt. Die Blasen entweichen in diesem Falle wiederum durch die ins Zentrum der Primärnut hin geöffneten Kavitäten, die Flüssigkeit strömt bevorzugt von der Seite her nahe der verschlossenen Bereiche der Sekundärnut in die Kavität nach. Hierbei wird die entweichende Blase durch das einströmende flüssige Arbeitsmedium nicht behindert und kann sich ungestört in der Primärnut ausdehnen. Die jeweiligen Strömungszonen für die Flüssigkeit und den Dampf sind dabei räumlich voneinander getrennt. Zudem verbleibt auch im verschlossenen Bereich der Sekundärnut ein kleiner Kanal zwischen den Kavitäten erhalten, der jedoch keine Verbindung zur Primärnut aufweist. Dennoch können über diese Kanäle beispielsweise Druckunterschiede zwischen den zueinander benach-

barten Kavitäten ausgeglichen werden.

[0015] Bevorzugt kann in den Bereichen, in denen der Abstand zwischen den gegenüberliegenden Werkstoffvorsprüngen den Wert Null annimmt, die Sekundärnut im Wesentlichen zugedrückt sein. Bei dieser Ausgestaltung besteht über die Teilabschnitte der Sekundärnut keine Verbindung der Kavitäten untereinander mehr.

[0016] In bevorzugter Ausführungsform der Erfindung kann der maximale Abstand zwischen den gegenüberliegenden Werkstoffvorsprüngen 0,03 mm bis 0,1 mm betragen. Zudem kann vorteilhafterweise der maximale Abstand zwischen den gegenüberliegenden Werkstoffvorsprüngen 0,06 mm bis 0,09 mm sein.

[0017] In bevorzugter Ausgestaltung kann die Länge der Bereiche in Umlaufrichtung, in denen der Abstand der gegenüberliegenden Werkstoffvorsprünge nicht den Wert Null annimmt, zwischen 0,2 mm und 0,5 mm betragen. Hierdurch wird eine optimale Abstimmung der aufeinanderfolgenden Kavitäten und dazwischen liegenden Bereiche erzielt.

[0018] In weiterer vorteilhafter Ausgestaltung der Erfindung können die Rippenspitzen derart verformt sein, dass sie die Primärnuten in Radialrichtung überdecken und teilweise verschließen und so einen helixförmig umlaufenden, teilweise abgeschlossenen Hohlraum bilden. Die Rippenspitzen können dabei beispielsweise einen im Wesentlichen T-förmigen Querschnitt mit porenartigen Ausnehmungen aufweisen, durch welche die Dampfblasen entweichen können.

[0019] Die Druckschrift EP 1 223 400 B1 wird zur Ausgestaltung weiterer bevorzugter und vorteilhafter Kombinationen mit der erfindungsgemäßen Lösung vollumfänglich in diese Beschreibung einbezogen.

[0020] Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand der schematischen Zeichnungen näher erläutert.

Darin zeigen:

[0021]

Fig. 1 eine Teilansicht der Außenseite eines erfindungsgemäßen Rohrabchnittes,
Fig. 2 eine Vorderansicht des Rohrabchnitts gemäß Fig. 1,
Fig. 3 eine Teilansicht der Außenseite eines erfindungsgemäßen Rohrabchnittes mit abschnittsweise verschlossener Sekundärnut,
Fig. 4 eine Vorderansicht des Rohrabchnitts gemäß Fig. 3,
Fig. 5 eine Teilansicht der Außenseite eines erfindungsgemäßen Rohrabchnittes mit abschnittsweise zugedrückter Sekundärnut zwischen den Kavitäten, und
Fig. 6 eine Vorderansicht des Rohrabchnitts gemäß Fig. 5.

[0022] Einander entsprechende Teile sind in allen Figuren mit denselben Bezugszeichen versehen.

[0023] Fig. 1 zeigt eine Ansicht der Außenseite eines erfindungsgemäßen Rohrabschnittes. Das integral gewalzte Rippenrohr 1 weist auf der Rohraußenseite schraubenlinienförmig umlaufende Rippen 2 auf, zwischen denen eine Primärnut 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 5 ab. Es wird ein Rippenrohr 1 vorgeschlagen, bei dem im Bereich des Nutengrundes 7, der sich zwischen jeweils zwei benachbarten Rippen 2 befindenden Primärnuten 6 erstreckt, eine hinterschnittene Sekundärnut 8 angeordnet ist. Diese Sekundärnut 8 ist zur Primärnut 6 hin durch ein Paar einander gegenüberliegender, aus Material jeweils benachbarter Rippenfüße 3 geformter Werkstoffvorsprünge 9 begrenzt. Diese Werkstoffvorsprünge 9 erstrecken sich kontinuierlich entlang der Primärnut 6, wobei zwischen gegenüberliegenden Werkstoffvorsprüngen 9 ein Abstand S ausgebildet ist, der in regelmäßigen Intervallen variiert wird. Bei Variation des Querschnitts der Sekundärnut 8 wird die Form der Rippen 2 nicht beeinflusst. Durch die Querschnittsänderung in Verbindung mit der Variation des Abstands S bilden sich lokal Kavitäten 10, die eine Blasenkeimbildung besonders begünstigen.

[0024] Durch den Abstand S zwischen den gegenüberliegenden Werkstoffvorsprüngen 9 wird eine Verbindung zwischen Primärnut 6 und Sekundärnut 8 ausgebildet, so dass der Austausch von Flüssigkeit und Dampf zwischen Primärnut 6 und Sekundärnut 8 ermöglicht ist. In Bereichen, die einen kleinen Abstand S zwischen den Werkstoffvorsprüngen 9 aufweisen, gelangt bevorzugt Flüssigkeit von der Primärnut 6 in die Sekundärnut 8. Die Flüssigkeit verdampft innerhalb der Sekundärnut 8. Der entstehende Dampf tritt bevorzugt an den Stellen aus der Sekundärnut 8 aus, die einen großen Abstand zwischen den Werkstoffvorsprüngen 9 aufweisen, also im Bereich der Kavitäten 10. Diese dort austretenden Dampfblasen bilden Keimstellen für die weitere Verdampfung von Flüssigkeit in der Primärnut 6. Für die weitere Verdampfung von Flüssigkeit in der Primärnut 6, ist es vorteilhaft, dass sich die Rippen 2 kontinuierlich auf der Rohraußenseite entlang der Primärnut 6 erstrecken. Durch die gezielte Variation der Öffnungsweite der Sekundärnut 8 wird der Austausch von Flüssigkeit und Dampf zwischen Primärnut 6 und Sekundärnut 8 gesteuert, indem Flüssigkeitszufuhr und Dampfaustritt in von einander getrennten Bereichen stattfinden. Diese vorteilhafte Eigenschaft weisen Rohre des Standes der Technik, beispielsweise die nach EP 1 223 400 B1 gefertigt sind, nicht auf, da hier zwar die Querschnittsform der Sekundärnut 8 variiert wird, nicht jedoch deren Öffnungsweite und somit keine bevorzugten Bereiche jeweils für Flüssigkeitszufuhr und Dampfaustritt existieren. Die Erstreckung der Sekundärnut 8 in Radialrichtung beträgt vom Nutengrund 7 aus gemessen in den Bereichen mit großem Abstand zwischen den Werkstoffvorsprüngen 9 maximalen 15 % der Höhe H der Rippen 2. Die Rippen-

höhe H wird am fertigen Rippenrohr 1 von der tiefsten Stelle des Nutengrundes 7 bis zur Rippenspitze 4 des vollständig geformten Rippenrohres gemessen.

[0025] Fig. 2 zeigt eine Vorderansicht des Rohrabschnitts gemäß Fig. 1. Bei dieser Teilansicht verlaufen die auf der Rohraußenseite schraubenlinienförmig umlaufenden Rippen 2 in die Zeichenebene hinein. Zwischen den Rippen 2 ist die Primärnut 6 ausgebildet. Der Rippenfuß 3 steht im Wesentlichen radial von der Rohrwandung 5 ab. Im Bereich des Nutengrundes 7, der sich zwischen jeweils zwei benachbarten Rippen 2 befindenden Primärnuten 6 erstreckt, ist die hinterschnittene Sekundärnut 8 ausgebildet. Diese Sekundärnut 8 grenzt sich gegenüber der Primärnut 6 durch die gegenüberliegenden Werkstoffvorsprünge 9 ab.

[0026] Diese Werkstoffvorsprünge 9 erstrecken sich kontinuierlich entlang der Primärnut 6 senkrecht zur Zeichenebene, wobei zwischen gegenüberliegenden Werkstoffvorsprüngen 9 ein Abstand S ausgebildet ist, der in regelmäßigen Intervallen variiert wird. In unterschiedlichen Ebenen nimmt S im Bereich zwischen den Kavitäten 10 den minimalen Wert $S_{\min}$ und an der höchsten Stelle einer Kavität 10 den Wert $S_{\max}$ an. Durch diese Querschnittsänderung sind lokal Kavitäten 10 mit einer Öffnungsweite ausgebildet, die eine Blasenkeimbildung besonders begünstigen.

[0027] Fig. 3 zeigt eine Ansicht der Außenseite eines erfindungsgemäßen Rohrabschnittes 1 mit teilweise verschlossener Sekundärnut 8. Hierbei wird die Sekundärnut 8 in regelmäßigen Intervallen zur Primärnut 6 hin ganz verschlossen. Dies entspricht dem Fall, dass in bestimmten Bereichen der Abstand zwischen den Werkstoffvorsprüngen 9 auf Null reduziert wird. Die Sekundärnut 8 weist dann nur noch in den jeweils dazwischen liegenden Bereichen Öffnungen zur Primärnut 6 hin auf, wobei sich die Weite dieser Öffnungen an deren jeweiligen Rändern reduziert.

[0028] Fig. 4 zeigt eine Vorderansicht des Rohrabschnitts gemäß Fig. 3. Die Werkstoffvorsprünge 9 erstrecken sich wiederum kontinuierlich entlang der Primärnut 6 senkrecht zur Zeichenebene mit einem Abstand S zwischen den gegenüberliegenden Werkstoffvorsprüngen 9, der in regelmäßigen Intervallen variiert ist. Während im Bereich einer Kavität an der höchsten Stelle der Wert $S_{\max}$ zu Fig. 2 unverändert bleibt, nimmt S zwischen den Kavitäten 10 den minimalen Wert $S_{\min} = 0$ an. In diesen Bereichen berühren sich die gegenüberliegenden Werkstoffvorsprünge 9, ohne dass es zu einem Stoffschluss kommt. Die Blasen entweichen wiederum durch die ins Zentrum der Primärnut 6 geöffneten Kavitäten 10. Flüssigkeit strömt an den Rändern der Öffnungen in die Kavität nach. Im verschlossenen Bereich der Sekundärnut 8 bleibt ein kleiner Kanal zwischen den Kavitäten 10 erhalten, der keine Verbindung zur Primärnut 6 aufweist. Jedoch können über diese Kanäle beispielsweise Druckunterschiede zwischen den zueinander benachbarten Kavitäten 10 ausgeglichen werden. Die Länge L der Bereiche, in denen die Sekundärnut nicht verschlossen ist,

beträgt vorteilhafterweise zwischen 0,2 mm und 0,5 mm.

[0029] Fig. 5 zeigt eine Teilansicht der Außenseite eines erfindungsgemäßen Rohrabschnittes mit vollständig verschlossener Sekundärnut zwischen den Kavitäten. Wie dargestellt, erweist es sich ferner als vorteilhaft, in den Bereichen, in denen der Abstand zwischen den Werkstoffvorsprüngen 9 auf den Wert Null reduziert ist, die Werkstoffvorsprünge 9 soweit zu verformen, dass sie bis zum Boden der Sekundärnut 8 hin verlagert werden und somit die Sekundärnut 8 in diesen Bereich zuge-
drückt ist. Dadurch erzeugt man in den dazwischen liegenden Bereichen lokalisierte, in Rohrumfangsrichtung vollständig begrenzt ausgedehnte Kavitäten 10 als hinterschnittene Hohlräume am Grund der Primärnut 6. Diese Kavitäten 10 wirken als äußerst effektive Blasenkeimstellen, da in diesen Strukturen das Nachströmen von Flüssigkeit sehr kontrolliert erfolgen kann und selbst besonders kleine Blasen nicht verdrängt werden. Die Blasen entweichen wiederum durch die ins Zentrum der Primärnut 6 geöffneten Kavitäten 10. Flüssigkeit strömt an den Rändern der Öffnungen in die Kavität nach. Die Länge L der Bereiche, in denen die Sekundärnut nicht verschlossen ist, beträgt vorteilhafterweise zwischen 0,2 mm und 0,5 mm.

[0030] Fig. 6 zeigt eine Vorderansicht des Rohrabschnitts gemäß Fig. 5. Wie dargestellt wird nochmals verdeutlicht, wie in den Bereichen, in denen der Abstand zwischen den Werkstoffvorsprüngen 9 auf den Wert Null reduziert ist, die Werkstoffvorsprünge 9 verformt sind. Diese sind bis zum Boden der Sekundärnut 8 hin verlagert, wodurch die Sekundärnut 8 in diesen Bereich zuge-
gedrückt ist.

[0031] Der Abstand S zwischen den gegenüberliegenden Werkstoffvorsprüngen 9 variiert zwischen 0 mm und 0,1 mm. In den Bereichen, in denen dieser Abstand seinen maximalen Wert $S_{\max}$ annimmt, liegt dieser Wert typischerweise zwischen 0,03 mm und 0,1 mm, bevorzugt zwischen 0,06 mm und 0,09 mm.

[0032] Zusätzlich zur Bildung der hinterschnittenen Sekundärnuten 8 am Nutengrund 7 der Primärnuten 6 werden zweckmäßigerweise die Rippenspitzen als distaler Bereich 4 der Rippen 2 derart verformt, dass sie die Primärnuten 6 in Radialrichtung teilweise verschließen und so einen teilweise abgeschlossenen Hohlraum bilden. Die Verbindung zwischen Primärnut 6 und Umgebung ist in Form von Poren 11 oder Schlitzfenstern ausgestaltet, damit Dampfblasen aus der Primärnut 6 entweichen können. Das Verformen der Rippenspitzen 4 geschieht mit Methoden, die dem Stand der Technik zu entnehmen sind. Die Primärnuten 6 stellen dann selbst hinterschnittene Nuten dar.

[0033] Durch die Kombination der erfindungsgemäßen Kavitäten 10 mit einer bis auf Poren 11 oder Schlitzfenster verschlossenen Primärnut 6 erhält man eine Struktur, 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.

[0034] 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 ebenfalls intensiviert werden.

[0035] 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.

Bezugszeichenliste

[0036]

1	metallisches Wärmeaustauscherrohr, Rippenrohr
2	Rippen
3	Rippenfuß
4	Rippenspitzen, distale Bereiche der Rippen
5	Rohrwandung
6	Primärnut
7	Nutengrund
8	Sekundärnut
9	Werkstoffvorsprung
10	Kavität
11	Poren
S	Abstand zwischen gegenüberliegenden Werkstoffvorsprüngen
$S_{\max}$	maximale Abstand zwischen gegenüberliegenden Werkstoffvorsprüngen
$S_{\min}$	minimale Abstand zwischen gegenüberliegenden Werkstoffvorsprüngen
L	Länge der Bereiche in Umlaufrichtung, in denen der Abstand S ungleich Null ist

Patentansprüche

1. Metallisches Wärmeaustauscherrohr (1) mit auf der Rohraußenseite helixförmig umlaufenden, integral ausgeformten und durchgehend ausgebildeten Rippen (2), deren Rippenfuß (3) im Wesentlichen radial von der Rohrwandung (5) absteht, sowie mit zwischen jeweils benachbarten Rippen (2) sich befindenden Primärnuten (6), wobei im Bereich des Nutengrundes (7) der Primärnuten (6) mindestens eine

hinterschnittene Sekundärnut (8) angeordnet ist, diese Sekundärnut (8) zur Primärnut (6) hin durch ein Paar einander gegenüberliegender, aus Material jeweils benachbarter Rippenfüße (3) geformter Werkstoffvorsprünge (9) begrenzt ist, diese Werkstoffvorsprünge (9) sich kontinuierlich entlang der Primärnut (6) erstrecken, der Querschnitt der Sekundärnut (8) in regelmäßigen Intervallen variiert wird, ohne dabei die Form der Rippen (2) zu beeinflussen, und zwischen gegenüberliegenden Werkstoffvorsprüngen (9) ein Abstand (S) ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** dieser Abstand (S) in regelmäßigen Intervallen variiert wird, wodurch lokale Kavitäten (10) ausgebildet sind.

2. Metallisches Wärmeaustauscherrohr nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Abstand (S) zwischen den gegenüberliegenden Werkstoffvorsprüngen (9) in regelmäßigen Intervallen den Wert Null annimmt.
3. Metallisches Wärmeaustauscherrohr nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** in den Bereichen, in denen der Abstand zwischen den gegenüberliegenden Werkstoffvorsprüngen (9) den Wert Null annimmt, die Sekundärnut (8) im Wesentlichen zugedrückt ist.
4. Metallisches Wärmeaustauscherrohr nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der maximale Abstand ($S_{\max}$) zwischen den gegenüberliegenden Werkstoffvorsprüngen (9) 0,03 mm bis 0,1 mm beträgt.
5. Metallisches Wärmeaustauscherrohr nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der maximale Abstand ($S_{\max}$) zwischen den gegenüberliegenden Werkstoffvorsprüngen (9) 0,06 mm bis 0,09 mm beträgt.
6. Metallisches Wärmeaustauscherrohr nach einem der Ansprüche 2 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die in Umlaufrichtung gemessene Länge (L) der Bereiche, in denen der Abstand (S) der gegenüberliegenden Werkstoffvorsprünge (9) nicht den Wert Null annimmt, zwischen 0,2 mm und 0,5 mm beträgt.
7. Metallisches Wärmeaustauscherrohr nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rippenspitzen (4) derart verformt sind, dass sie die Primärnuten (6) in Radialrichtung überdecken und teilweise verschließen und so einen helixförmig umlaufenden, teilweise abgeschlossenen Hohlraum bilden.

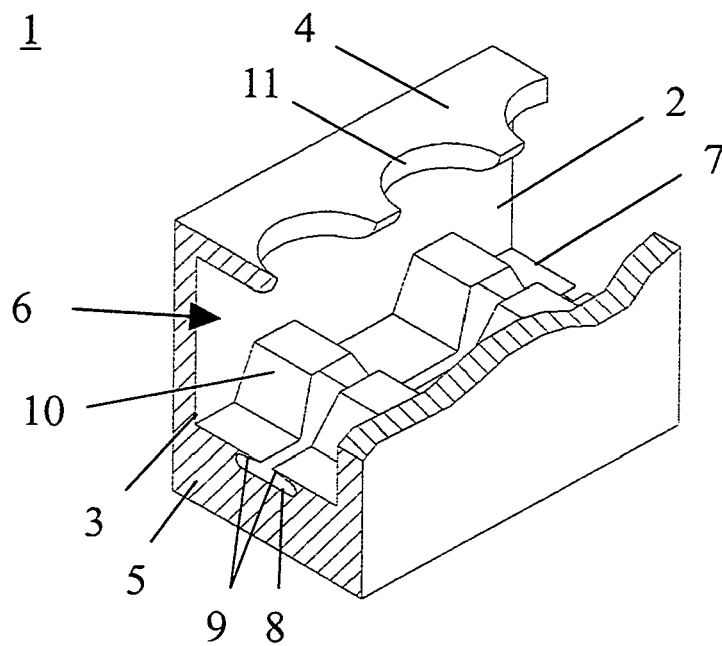


Fig. 1

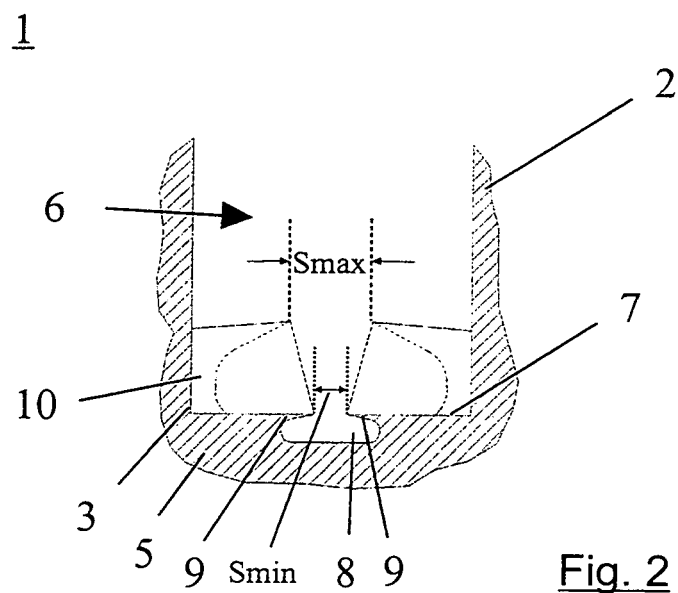


Fig. 2

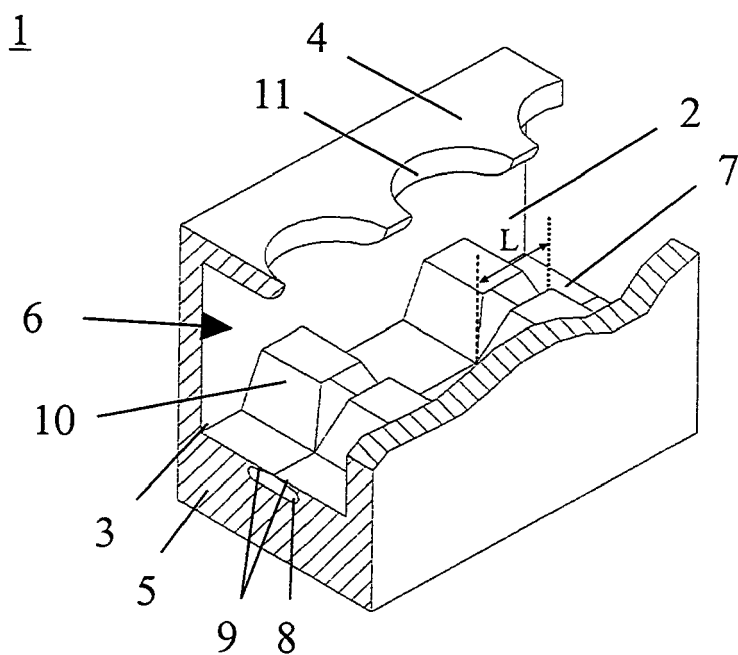


Fig. 3

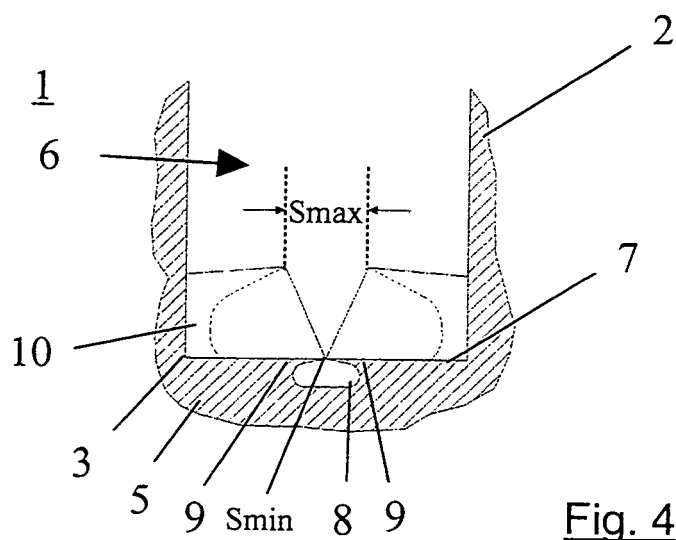


Fig. 4

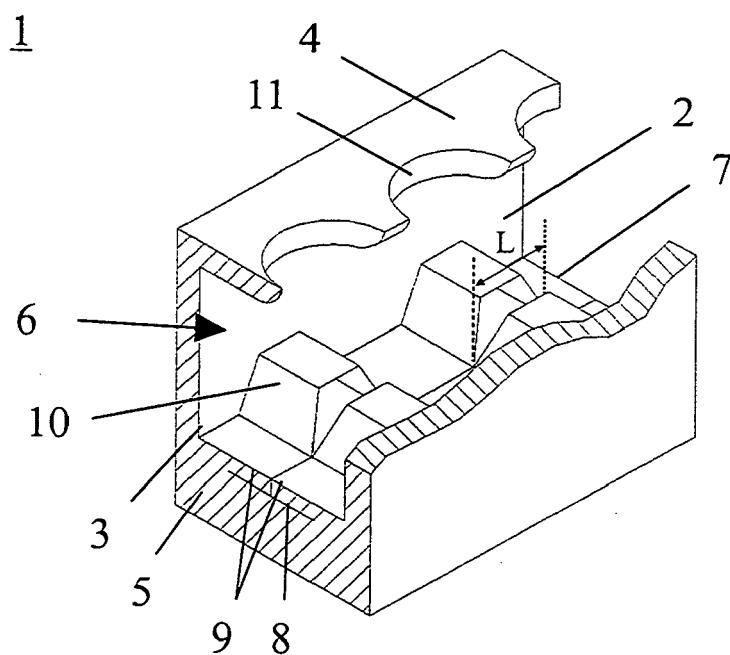


Fig. 5

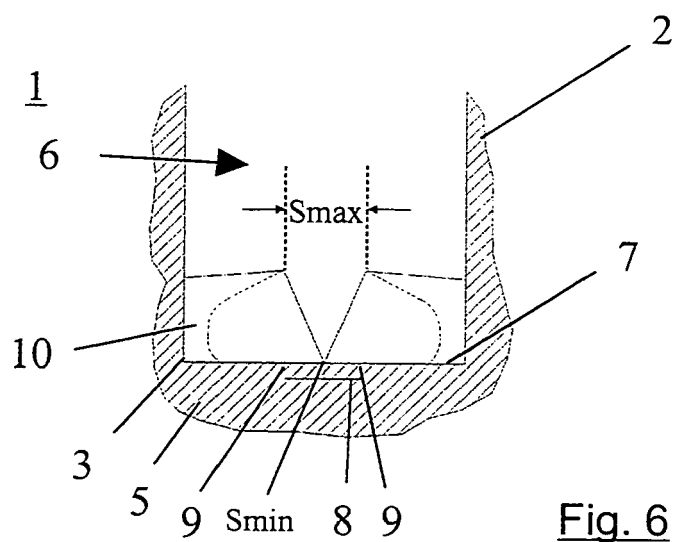


Fig. 6

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 3696861 A [0005]
- US 5054548 A [0005]
- US 7178361 B2 [0005]
- DE 2758526 C2 [0005]
- US 4577381 A [0005]
- US 4660630 A [0005]
- EP 0713072 B1 [0005]
- US 4216826 A [0005]
- US 5669441 A [0006]
- US 5697430 A [0006]
- DE 19757526 C1 [0006]
- EP 0222100 B1 [0008]
- US 5186252 A [0008]
- JP 04039596 A [0008]
- US 20070151715 A1 [0008]
- EP 1223400 B1 [0008] [0019] [0024]