



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 312 885 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
21.05.2003 Patentblatt 2003/21

(51) Int Cl.7: **F28F 1/42, B21D 37/20**

(21) Anmeldenummer: **02024655.9**

(22) Anmeldetag: **05.11.2002**

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

(72) Erfinder:
• **Brand, Karine**
89186 Illerrieden (DE)
• **Knöpfler, Andreas**
89073 Ulm (DE)
• **Beutler, Andreas, Dr.**
89264 Weissenhorn (DE)
• **Ronald, Lutz**
89143 Blaubeuren (DE)

(30) Priorität: **16.11.2001 DE 10156374**

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

(54) **Beidseitig strukturiertes Wärmeaustauscherrohr und Verfahren zu dessen Herstellung**

(57) Die Erfindung betrifft ein beidseitig strukturiertes Wärmeaustauscherrohr (1) mit ausgezeichneten Wärmeübertragungseigenschaften, das sowohl Außen- (3) als auch Innenrippen (20) sowie die Innenrippen (20) kreuzende Sekundärnuten (22) aufweist. In der verwendeten Vorrichtung sind zur Formung der Außenrippen (3) zwei beabstandete Walzwerkzeuge (11, 12) vorge-

sehen, die Innenstruktur wird durch zwei unterschiedlich profilierte Walzdorne (15, 16) geformt. Der erste Walzdorn (15) formt in einem ersten Umformbereich die Innenrippen (20). Der zweite Walzdorn (16) formt in einem zweiten Umformbereich die erfindungsgemäßen Sekundärnuten (22) in die zuvor erhaltenen Innenrippen (20); (Fig.1).

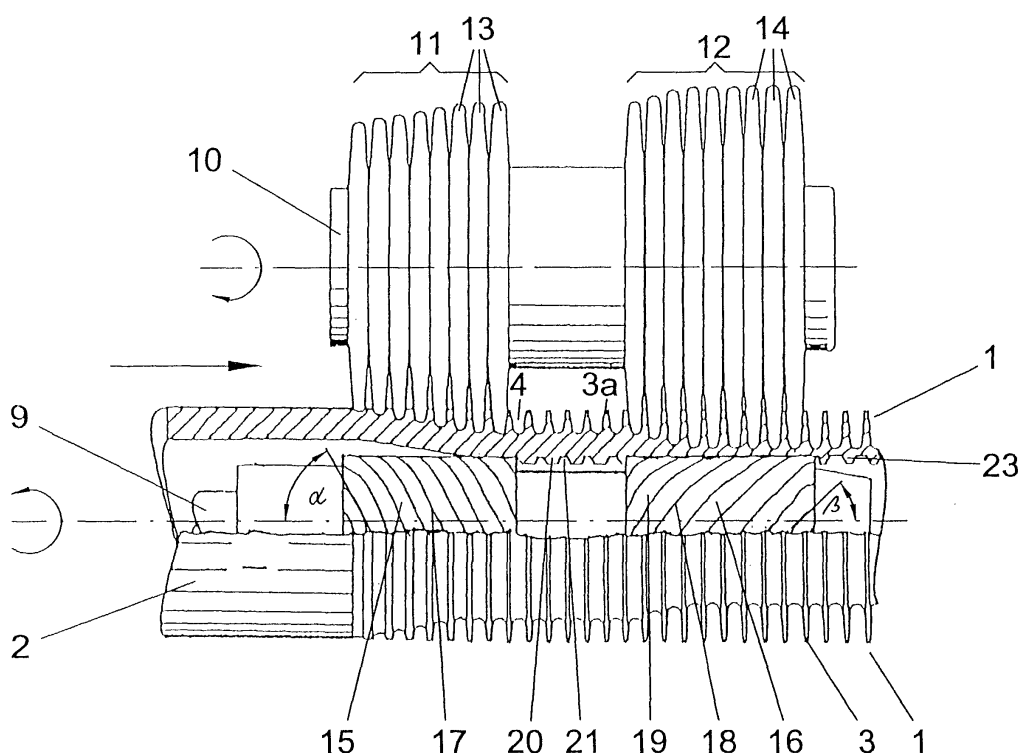


Fig. 1

EP 1 312 885 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft metallische, beidseitig strukturierte Wärmeaustauscherrohre, insbesondere Rippenrohre, nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Stand der Technik

[0002] Wärmeübertragung tritt in vielen Bereichen der Kälte- und Klimatechnik sowie in der Prozess- und Energietechnik auf. Zur Wärmeübertragung werden in diesen Gebieten häufig Rohrbündelwärmeaustauscher eingesetzt. In vielen Anwendungen strömt hierbei auf der Rohrinneiseite eine Flüssigkeit, die abhängig von der Richtung des Wärmestroms abgekühlt oder erwärmt wird. Die Wärme wird an das auf der Rohraußenseite sich befindende Medium abgegeben bzw. diesem entzogen. Es ist Stand der Technik, dass in Rohrbündelwärmeaustauschern anstelle von Glattrohren beidseitig strukturierte Rohre eingesetzt werden. Hierdurch wird der Wärmeübergang auf der Rohrinneiseite und auf der Rohraußenseite intensiviert. Die übertragene Wärmestromdichte wird erhöht, und der Wärmeaustauscher kann kompakter gebaut werden. Alternativ kann die Wärmestromdichte beibehalten und die treibende Temperaturdifferenz erniedrigt werden, wodurch eine energieeffizientere Wärmeübertragung möglich ist.

[0003] Strukturierte 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.

[0004] Als strukturierte Wärmeaustauscherrohre werden häufig integral gewalzte Rippenrohre verwendet. Unter integral gewalzten Rippenrohren werden berippte Rohre verstanden, bei denen die Rippen aus dem Wandungsmaterial eines Glattrohres geformt wurden. Rippenrohre besitzen auf ihrer Außenseite ring- oder schraubenförmig umlaufende Rippen. In vielen Fällen besitzen sie auf der Rohrinneiseite eine Vielzahl von achsparallelen oder schraubenlinienförmig umlaufenden Rippen, die den Wärmeübergangskoeffizient auf der Rohrinneiseite verbessern. Diese Innenrippen verlaufen mit konstantem Querschnitt parallel zur Rohrachse oder in Form von Schraubenlinien unter einem bestimmten Winkel zur Rohrachse. Je höher die Innenrippen sind, desto größer ist die Verbesserung des Wärmeübergangskoeffizienten. Die Herstellung derartiger Rohre wird z.B. in DE 23 03 172 beschrieben. Hierbei ist von Bedeutung, dass durch die dort offengelegte Verwendung eines profilierten Walzdorns zur Erzeugung der Innenrippen die Abmessungen der Innen- und der Außenstruktur des Rippenrohres voneinander unab-

hängig eingestellt werden können. Dadurch können beide Strukturen auf die jeweiligen Anforderungen angepasst und so das Rohr optimal gestaltet werden.

[0005] In der jüngsten Zeit wurden viele Möglichkeiten entwickelt, je nach Anwendung den Wärmeübergang auf der Außenseite von integral gewalzten Rippenrohren weiter zu steigern, indem die Rippen auf der Rohraußenseite mit weiteren Strukturmerkmalen versehen werden. Beispielsweise wird bei Kondensation von Kältemitteln auf der

[0006] Rohraußenseite der Wärmeübergangskoeffizient deutlich erhöht, wenn die Rippenflanken mit zusätzlichen konvexen Kanten versehen werden (US 5.775.411). Bei Verdampfung von Kältemitteln auf der Rohraußenseite hat es sich als leistungssteigernd erwiesen, die zwischen den Rippen befindlichen Kanäle teilweise zu verschließen, so dass Hohlräume entstehen, die durch Poren oder Schlitze mit der Umgebung verbunden sind. Insbesondere werden solche im wesentlichen geschlossene Kanäle durch Umbiegen oder Umlegen der Rippe (US 3.696.861, US 5.054.548), durch Spalten und Stauchen der Rippe (DE 2.758.526, US 4.577.381), und durch Kerben und Stauchen der Rippe (US 4.660.630, EP 0.713.072, US 4.216.826) erzeugt.

[0007] Die genannten Leistungsverbesserungen auf der Rohraußenseite haben zur Folge, dass der Hauptanteil des gesamten Wärmedurchgangswiderstands auf die Rohrinneiseite verschoben wird. Dieser Effekt tritt insbesondere bei kleinen Strömungsgeschwindigkeiten auf der Rohrinneiseite - also z.B. beim Teillastbetrieb - auf. Um den gesamten Wärmedurchgangswiderstand signifikant zu reduzieren, ist es also notwendig, den Wärmeübergangskoeffizienten auf der Rohrinneiseite weiter zu erhöhen. Dies wäre durch eine Vergrößerung der Höhe der Innenrippen prinzipiell möglich, was jedoch aufgrund der zunehmenden, starken Verformung des Materials technisch schwierig beherrschbar ist und ferner zu einem hohen Gewicht des strukturierten Rohres führt. Aus Kostengründen ist dies jedoch unerwünscht.

Aufgabenstellung:

[0008] Aufgabe der Erfindung ist es, beidseitig strukturierte Wärmeaustauscherrohre mit leistungsgesteigerter Innenstruktur herzustellen, wobei der Gewichtsanteil der Innenstruktur am Gesamtgewicht des Rohres nicht höher sein darf als bei herkömmlichen, schraubenlinienförmigen Innenrippen konstanten Querschnitts. Die Abmessungen der Innen- und der Außenstruktur des Rippenrohres müssen voneinander unabhängig einstellbar sein.

Kurze Beschreibung der Erfindung:

[0009] Die Aufgabenstellung wird bei einem Wärmeaustauscherrohr der genannten Art, bei dem jeweils be-

nachbarte Innenrippen durch eine parallel zu den Innenrippen verlaufende Primärnut getrennt sind, erfindungsgemäß dadurch gelöst,

dass die Innenrippen von unter einem Steigungswinkel β verlaufenden Sekundärnuten - gemessen gegen die Rohrachse - gekreuzt werden,

dass die Sekundärnuten gegenüber den Innenrippen unter einem Neigungswinkel γ von mindestens 10° verlaufen und

dass die Tiefe T der Sekundärnuten mindestens 20 % der Rippenhöhe H der Innenrippen beträgt.

[0010] Durch das Einbringen der Sekundärnuten besitzen die Innenrippen nun keinen konstanten Querschnitt mehr. Folgt man dem Verlauf der Innenrippen, dann ändert sich die Querschnittsform der Innenrippen an den Stellen der Sekundärnuten. Durch die Sekundärnuten entstehen im rohrrseitig strömenden Medium zusätzliche Wirbel im wandnahen Bereich, wodurch der Wärmeübergangskoeffizient gesteigert wird. Es ist einseitig, dass durch das Hinzufügen von Sekundärnuten der Gewichtsanteil der Innenstruktur am Gesamtgewicht des Rohres nicht erhöht wird.

[0011] Die Tiefe der Sekundärnuten wird von der Spitze der Innenrippe aus in radialer Richtung gemessen. Die Tiefe der Sekundärnuten beträgt mindestens 20% der Höhe der Innenrippen. Wenn die Tiefe der Sekundärnuten gleich der Höhe der Innenrippen ist, dann entstehen auf der Rohrrinnenseite voneinander beabstandete Strukturelemente, die Pyramidenstümpfen ähnlich sind.

[0012] Die Ansprüche 2 bis 13 betreffen bevorzugte Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Wärmeaustauscherrohres.

[0013] Gegenstand der Erfindung ist weiterhin gemäß der Ansprüche 14 bis 19 ein Verfahren zur Herstellung des erfindungsgemäßen Wärmeaustauscherrohres.

[0014] Gemäß der Erfindung wird zur Erzeugung eines beidseitig strukturierten Wärmeaustauscherrohres mit den vorgeschlagenen Sekundärnuten in der Innenstruktur das Werkzeug zur Formung der Außenrippen in mindestens zwei voneinander beabstandeten Walzscheibenpaketen aufgebaut. Die Innenstruktur wird durch zwei unterschiedlich profilierte Walzdorne geformt. Der erste Walzdom unterstützt das Rohr im ersten Umformbereich unter dem ersten Walzscheibenpaket und formt zunächst schraubenlinienförmig umlaufende oder achsparallele Innenrippen, wobei diese Innenrippen zunächst einen konstanten Querschnitt aufweisen. Der zweite Walzdom unterstützt das Rohr im zweiten Umformbereich unter dem zweiten Walzscheibenpaket größeren Durchmessers und formt die erfindungsgemäßen Sekundärnuten in die zuvor geformten schraubenförmig umlaufenden bzw. achsparallelen Rippen. Die Tiefe der Sekundärnuten wird im wesentlichen durch die Wahl der Durchmesser der beiden Walzdorne festgelegt.

Detaillierte Beschreibung:

[0015] Die Erfindung wird anhand der folgenden Ausführungsbeispiele näher erläutert:

[0016] Es zeigt:

Fig.1: schematisch die Herstellung eines erfindungsgemäßen Wärmeaustauscherrohres mittels zweier Dome mit unterschiedlicher Orientierung der Drallwinkel;

Fig.2: eine Teilansicht eines erfindungsgemäßen Wärmeaustauscherrohres, bei dem sich die Sekundärnuten über die gesamte Höhe der Innenrippe ausdehnen, so dass pyramidenstumpfförmige Elemente als Innenstruktur erzeugt werden. Die Ansicht ist teilweise als Schnitt dargestellt;

Fig.3: ein Foto einer Innenstruktur, bei der sich die Sekundärnuten nur über einen Teil der Höhe der Innenrippe erstrecken;

Fig.4: schematisch einen Schnitt durch die Innenstruktur von Fig. 3 entlang der Linie X-X von Fig. 3;

Fig.5: ein Diagramm, das den Leistungsvorteil durch die Sekundärnuten der Innenstruktur dokumentiert;

[0017] Das integral gewalzte Rippenrohr 1 nach Figuren 1 und 2 weist auf der Rohraußenseite schraubenlinienförmig umlaufende Rippen 3 auf. Die Herstellung des erfindungsgemäßen Rippenrohres erfolgt durch einen Walzvorgang (vgl. US-PSen 1.865.575 / 3.327.512 sowie DE 23 03 172) mittels der in Figur 1 dargestellten Vorrichtung.

[0018] Es wird eine Vorrichtung verwendet, die aus $n = 3$ oder 4 Werkzeughaltern 10 besteht, in die jeweils mindestens zwei von einander beabstandete Walzwerkzeuge 11 und 12 integriert sind. (In Fig. 1 ist aus Gründen der Übersicht nur ein Werkzeughalter 10 dargestellt.) Die Achse des Werkzeughalters 10 ist gleichzeitig die Achse der beiden zugehörigen Walzwerkzeuge 11 und 12 und sie verläuft schräg zur Rohrachse. Die Werkzeughalter 10 sind jeweils um $360^\circ/n$ versetzt am Umfang des Rippenrohres angeordnet. Die Werkzeughalter 10 sind radial zustellbar. Sie sind ihrerseits in einem ortsfesten (nicht dargestellten) Walzkopf angeordnet. Der Walzkopf ist im Grundgerüst der Walzvorrichtung fixiert. Die Walzwerkzeuge 11 und 12 bestehen jeweils aus mehreren nebeneinander angeordneten Walzscheiben 13 bzw. 14, deren Durchmesser in Pfeilrichtung ansteigt. Die Walzscheiben 14 des zweiten Walzwerkzeugs 12 haben folglich einen größeren Durchmesser als die Walzscheiben 13 des ersten Walzwerkzeugs 11.

[0019] Ebenfalls Bestandteil der Vorrichtung sind zwei profilierte Walzdorne 15 und 16, mit deren Hilfe die Innenstruktur des Rohres erzeugt wird. Die Walzdorne 15 und 16 sind am freien Ende einer Stange 9 angebracht und zueinander drehbar gelagert. Die Stange 9 ist an ihrem anderen Ende am Grundgerüst der Walzvorrichtung befestigt. Die Walzdorne 15 und 16 sind im Arbeitsbereich der Walzwerkzeuge 11 und 12 zu positionieren. Die Stange 9 muss mindestens so lang sein wie das herzustellende Rippenrohr 1. Vor der Bearbeitung wird das Glatтроhr 2 bei nicht zugestellten Walzwerkzeugen 11 und 12 nahezu vollständig über die Walzdorne 15 und 16 auf die Stange 9 geschoben. Lediglich der Teil des Glatтроhrs 2, der beim fertigen Rippenrohr 1 das erste glatte Endstück bilden soll, wird nicht über die Walzdorne 15 und 16 geschoben.

[0020] Zur Bearbeitung des Rohres werden die am Umfang angeordneten, rotierenden Walzwerkzeuge 11 und 12 auf das Glatтроhr 2 radial zugestellt und mit dem Glatтроhr 2 in Eingriff gebracht. Das Glatтроhr 2 wird dadurch in Drehung versetzt. Da die Achse der Walzwerkzeuge 11 und 12 zur Rohrachse schräg gestellt ist, formen die Walzwerkzeuge 11 und 12 schraubenlinienförmig umlaufenden Rippen 3 aus der Rohrwandung des Glatтроhrs 2 und schieben gleichzeitig das entstehende Rippenrohr 1 entsprechend der Steigung der schraubenlinienförmig umlaufenden Rippen 3 in Pfeilrichtung vor. Die Rippen 3 laufen vorzugsweise wie ein mehrgängiges Gewinde um. Der längs zur Rohrachse gemessene Abstand der Mitten zweier benachbarter Rippen wird als Rippenteilung p bezeichnet. Der Abstand zwischen den beiden Walzwerkzeugen 11 und 12 muß so angepasst sein, dass die Walzscheiben 14 des zweiten Walzwerkzeugs 12 in die Nuten 4 greifen, die zwischen den vom ersten Walzwerkzeug 11 geformten Rippen 3a sind. Idealerweise ist dieser Abstand ein ganzzahliges Vielfaches der Rippenteilung p . Das zweite Walzwerkzeug 12 führt dann die weitere Formung der Außenrippen 3 fort.

[0021] In der Umformzone des ersten Walzwerkzeugs 11 (= erster Umformbereich) wird die Rohrwandung durch einen ersten profilierten Walzdorn 15 unterstützt, und in der Umformzone des zweiten Walzwerkzeugs 12 (= zweiter Umformbereich) wird die Rohrwandung durch einen zweiten profilierten Walzdorn 16 unterstützt. Die Achsen der beiden Walzdorne 15 und 16 sind identisch mit der Achse des Rohres. Die Walzdorne 15 und 16 sind unterschiedlich profiliert und der Außendurchmesser des zweiten Walzdorns 16 ist höchstens so groß wie der Außendurchmesser des ersten Walzdorns 15. Typischerweise ist der Außendurchmesser des zweiten Walzdorns 16 um bis zu 0,8 mm kleiner als der Außendurchmesser des ersten Walzdorns 15. Das Profil der Walzdorne besteht üblicherweise aus einer Vielzahl von trapezförmigen oder nahezu trapezförmigen Nuten, die parallel zueinander auf der Außenfläche des Walzdorns angeordnet sind. Das zwischen zwei benachbarten Nuten befindliche Material des Walzdorns

wird als Steg 19 bezeichnet. Die Stege 19 besitzen einen im wesentlichen trapezförmigen Querschnitt. Die Nuten verlaufen üblicherweise unter einem Drallwinkel von 0° bis 70° zur Achse des Dorns geneigt. Beim ersten Walzdorn 15 wird dieser Drallwinkel mit α , beim zweiten Walzdorn 16 mit β bezeichnet.

[0022] Drallwinkel 0° entspricht dem Fall, dass die Nuten parallel zur Achse des Dorns verlaufen. Ist der Drallwinkel von 0° verschieden, verlaufen die Nuten schraubenlinienförmig. Schraubenlinienförmig verlaufende Nuten können linksgängig oder rechtsgängig orientiert sein. In den Fig.1 und 2 ist der Fall dargestellt, dass der erste Walzdorn 15 rechtsgängige Nuten 17 und der zweite Walzdorn 16 linksgängige Nuten 18 aufweist. Man spricht in diesem Fall von gegensinnig orientierten Nuten 17 und 18 bzw. von unterschiedlicher Orientierung der beiden Drallwinkel α und β . In diesem Fall können die Drallwinkel α und β gleiche Beträge haben. (Gleiches gilt für den Fall, dass der erste Walzdorn 15 linksgängige Nuten 17 und der zweite Walzdorn 16 rechtsgängige Nuten 18 aufweist.) Es ist jedoch auch möglich, dass beide Walzdorne 15 und 16 Nuten 17 und 18 mit gleichsinniger Orientierung aufweisen. In diesem Fall müssen sich jedoch die Drallwinkel α und β hinsichtlich ihres Betrags unterscheiden. Die beiden Walzdorne 15 und 16 müssen zueinander drehbar gelagert sein.

[0023] Durch die radialen Kräfte des ersten Walzwerkzeugs 11 wird das Material der Rohrwandung in die Nuten 17 des ersten Walzdorns 15 gepresst. Dadurch werden schraubenlinienförmig umlaufenden Innenrippen 20 auf der Innenfläche des Rippenrohres 1 geformt. Zwischen zwei benachbarten Innenrippen 20 verlaufen Primärnuten 21. Entsprechend der Form der Nuten 17 des ersten Walzdorns 15 haben diese Innenrippen 20 einen im wesentlichen trapezförmigen Querschnitt, der zunächst entlang der Innenrippe konstant bleibt. Die Innenrippen 20 sind gegenüber der Rohrachse um den gleichen Winkel α (Steigungswinkel) geneigt wie die Nuten 17 zur Achse des ersten Walzdorns 15. Der Steigungswinkel der Innenrippen 20 ist also gleich dem Drallwinkel α des ersten Walzdorns 15. Die Höhe der Innenrippen 20 wird mit H bezeichnet und beträgt üblicherweise 0,15 - 0,40 mm.

[0024] Durch die radialen Kräfte des zweiten Walzwerkzeugs 12 werden die Innenrippen 20 auf den zweiten Walzdorn 16 gepresst. Da die Nuten 18 des zweiten Walzdorns 16 unter einem anderen Winkel zur Rohrachse und damit unter einem anderen Winkel zur Rohrachse verlaufen als die Nuten 17 des ersten Walzdorns 15, treffen die Innenrippen 20 abschnittsweise auf eine Nut 18 oder einen Steg 19 des zweiten Walzdorns 16. In den Abschnitten, in denen eine Innenrippe 20 auf eine Nut 18 trifft, wird das Material der Innenrippe 20 in die Nut gepresst. In den Abschnitten, in denen eine Innenrippe 20 auf einen Steg 19 trifft, wird das Rippenmaterial verformt und es werden parallel zueinander verlaufende Sekundärnuten 22 in die Innenrippen 20 eingepreßt. Entsprechend der Form der Stege 19 des zweiten Walz-

dorns 16 haben die Sekundärnuten 22 einen trapezförmigen Querschnitt. Sekundärnuten 22, die vom selben Steg 19 in unterschiedliche Innenrippen 20 eingeprägt werden, sind zueinander fluchtend angeordnet. Der Steigungswinkel, den die Sekundärnuten 22 mit der Rohrachse bilden, ist gleich dem Drallwinkel β , den die Nuten 18 des zweiten Walzdorns 16 mit der Achse des zweiten Walzdorns 16 einschließen. Der Neigungswinkel γ , den die Sekundärnuten 22 mit den Innenrippen 20 einschließen, ergibt sich bei Walzdornen 15 und 16 mit gleichsinniger Orientierung der Nuten 17 und 18 aus der Differenz der Drallwinkel α und β , bei Walzdornen 15 und 16 mit gegensinniger Orientierung der Nuten 17 und 18 aus der Summe der Drallwinkel α und β . Der Winkel γ beträgt mindestens 10° , typischerweise liegt er im Bereich zwischen 30° und 100° , vorzugsweise zwischen 60° und 85° . Winkel γ kleiner 90° sind fertigungstechnisch leichter zu beherrschen als Winkel γ größer 90° und bewirken üblicherweise einen kleineren Druckabfall als Winkel γ größer 90° .

[0025] Die Tiefe T der Sekundärnuten 22 wird von der Spitze der Innenrippe 20 aus in radialer Richtung gemessen. Durch geeignete Wahl der Außendurchmesser der beiden Walzdorne 15 und 16, sowie durch geeignete Wahl der Außendurchmesser der jeweils größten Walzscheiben der beiden Walzwerkzeuge 11 und 12 kann die Tiefe T der Sekundärnuten 22 variiert werden: Je kleiner der Unterschied im Außendurchmesser zwischen dem ersten Walzdorn 15 und dem zweiten Walzdorn 16 ist, desto größer ist die Tiefe T der Sekundärnuten 22. Eine Änderung des Außendurchmessers von einem der beiden Walzdorne 15 oder 16 hat jedoch nicht nur eine Veränderung der Tiefe T der Sekundärnuten 22 zur Folge, sondern bewirkt üblicherweise auch eine Veränderung der Höhe der Außenrippen 3. Dieser Effekt kann jedoch kompensiert werden, indem man den Aufbau der Walzwerkzeuge 11 und 12 modifiziert. Insbesondere können hierzu die größten Walzscheiben 13 des ersten Walzwerkzeugs 11 als kleinste Walzscheiben 14 des zweiten Walzwerkzeugs 12 bzw. die kleinsten Walzscheiben 14 des zweiten Walzwerkzeugs 12 als größte Walzscheiben 13 des ersten Walzwerkzeugs 11 verwendet werden.

[0026] Um die Strömung der im Rohr fließenden Flüssigkeit deutlich zu beeinflussen, sollte die Tiefe T der Sekundärnuten 22 mindestens 20% der Höhe H der Innenrippen 20 betragen. Vorzugsweise beträgt T mindestens 40% der Höhe H der Innenrippen 20. Ist die Tiefe T der Sekundärnuten 22 kleiner als die Höhe H der Innenrippen 20, dann ist am fertig geformten Rippenrohr 1 der Verlauf der Innenrippen 20 noch zu erkennen. Dies ist in Fig. 3 dargestellt. Entlang des Verlaufs der Innenrippen 20 verändert sich nun aber die Querschnittsform der Innenrippen 20: Die Höhe der Innenrippen 20 ist an den Stellen der Sekundärnuten 22 um deren Tiefe T reduziert. Die Primärnuten 21 verlaufen ohne Unterbrechung zwischen den Innenrippen 20. Zueinanderfluchtende Sekundärnuten 22 sind durch die Primärnuten 21

beabstandet.

[0027] Fig. 4 zeigt schematisch einen Schnitt durch die Innenstruktur von Fig. 3 entlang der Linie X-X von Fig. 3. Die Höhenverhältnisse zwischen Innenrippen 20, Primärnuten 21 und Sekundärnuten 22 sind hier deutlich zu erkennen.

[0028] Ist die Tiefe T der Sekundärnuten 22 gleich der Höhe H der Innenrippen 20, dann ist am fertig geformten Rippenrohr 1 der Verlauf der Innenrippen 20 nicht mehr zu erkennen. Die Innenrippen 21 werden in diesem Fall durch die Sekundärnuten 22 in einzelne, von einander beabstandete Elemente 23 zerteilt. Dies ist in Fig. 2 dargestellt. Aufgrund des trapezförmigen Querschnitts der zunächst geformten Innenrippen 20 und der Sekundärnuten 22, haben die beabstandeten Elemente 23 die Form von Pyramidenstümpfen.

[0029] Durch die Profilierung der beiden Walzdorne 15 und 16 wird die Dichte der Schnittpunkte von Innenrippen 20 und Sekundärnuten 22 bestimmt. Die Dichte der Schnittpunkte liegt vorzugsweise zwischen 90 und 250 Schnittpunkte pro cm^2 . Als Bezugsfläche dient hierbei die innere Rohroberfläche, die sich ergibt, wenn man die Innenstruktur vollständig aus dem Rohr entfernen würde.

[0030] Durch die Sekundärnuten 22 wird die Innenstruktur des Rippenrohres 1 mit zusätzlichen Kanten versehen. Strömt Flüssigkeit auf der Innenseite des Rohres, dann entstehen an diesen Kanten zusätzliche Wirbel in der Flüssigkeit, die die Wärmeübertragung auf die Rohrwand verbessern. Üblicherweise steigt der Druckabfall der im Rohr strömenden Flüssigkeit im gleichen Maße an wie der Wärmeübergangskoeffizient. Durch geeignete Wahl der Abmessungen der Innenstruktur, insbesondere des Neigungswinkels γ und der Tiefe T der Sekundärnuten 22, kann dieser Anstieg des Druckabfalls jedoch günstig beeinflusst werden.

[0031] Die Beschreibung des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens zeigt, dass durch die Vielzahl der bei diesem Verfahren wählbaren Werkzeugparameter die Abmessungen der Außen- und Innenstruktur in weiten Bereichen voneinander unabhängig eingestellt werden können. Insbesondere ermöglicht die Aufteilung des Walzwerkzeugs in zwei beabstandete Walzwerkzeuge 11 und 12 die Tiefe T der Sekundärnuten 22 zu variieren ohne gleichzeitig die Höhe der Außenrippen 3 zu verändern.

[0032] Beidseitig strukturierte Rippenrohre für die Kälte- und Klimatechnik werden häufig aus Kupfer oder Kupferlegierungen hergestellt. Da bei diesen Metallen der reine Materialpreis einen nicht unerheblichen Anteil an den Gesamtkosten des Rippenrohres bedingt, erfordert es der Wettbewerb, dass bei gegebenem Rohrdurchmesser das Gewicht des Rohres möglichst gering ist. Der Gewichtsanteil der Innenstruktur am Gesamtgewicht beträgt bei heutzutage kommerziell erhältlichen Rippenrohren je nach Höhe der Innenstruktur und damit je nach Leistungsfähigkeit 10% bis 20%. Durch die erfindungsgemäßen Sekundärnuten 22 in den Innenrip-

pen 20 von beidseitig strukturierten Rippenrohren kann die Leistungsfähigkeit derartiger Rohre beträchtlich erhöht werden, ohne dass der Gewichtsanteil der Innenstruktur erhöht wird. Bei Rippenrohren, die aus Werkstoffen mit einer Dichte von 7,5 bis 9,5 g/cm³ bestehen (also z.B. Kupfer, Kupferlegierungen oder Stahl), liegt der auf die äußere Hüllfläche des Rippenrohres bezogene Gewichtsanteil einer derartigen Innenstruktur üblicherweise zwischen 500 g/m² und 1000 g/m², vorzugsweise zwischen 600 g/m² und 900 g/m². Bei Rippenrohren, die aus Werkstoffen mit einer Dichte von 2,5 bis 3,0 g/cm³ bestehen (also z.B. Aluminium), liegt der auf die äußere Hüllfläche des Rippenrohres bezogene Gewichtsanteil einer derartigen Innenstruktur üblicherweise zwischen 150 g/m² und 300 g/m², vorzugsweise zwischen 180 g/m² und 270 g/m². Wenn man die Breite der Primärnuten 21 und der Sekundärnuten 22 groß wählt, dann läßt sich ein geringes Gewicht der Innenstruktur realisieren.

[0033] Fig. 5 zeigt ein Diagramm, das den Leistungsvorteil der erfindungsgemäßen Innenstruktur dokumentiert. Aufgetragen ist der Wärmedurchgangskoeffizient gegen die Wärmestromdichte bei Kondensation von Kältemittel R-134a auf der Rohraußenseite und Kühlwasserströmung auf der Rohrinneenseite. Die Kondensationstemperatur beträgt 36,7 °C, die Wassergeschwindigkeit 2,4 m/s. Die beiden verglichenen Rippenrohre besitzen die gleiche Struktur auf ihrer Außenseite, unterscheiden sich jedoch in der Innenstruktur, wie im Diagramm bezeichnet. Der Stand der Technik wird hierbei durch das Rohr repräsentiert, das mit einer Standard-Innenstruktur der Höhe 0,35 mm versehen ist. Bei dem erfindungsgemäßen Rippenrohr mit Innenstruktur mit Pyramidenstümpfen ähnlich Fig. 2 beträgt die Höhe der Pyramidenstümpfe ungefähr 0,30 mm, die Dichte der Schnittpunkte von Innenrippen 20 und Sekundärnuten 22 beträgt 143 pro cm² und der Winkel γ beträgt 96°. Das Rippenrohr mit Innenstruktur mit Pyramidenstümpfen weist einen Vorteil im Wärmedurchgangskoeffizienten von 13% bis 22% auf. Dieser Vorteil ist alleine durch die Innenstruktur bedingt, da der Wärmeübergangskoeffizient auf der Rohraußenseite bei beiden Rohren gleich ist.

[0034] Die Verwendung von Innenrippen mit Sekundärnuten zur Verbesserung des Wärmeübergangs auf der Innenseite von Wärmeaustauscherrohren ist von Rohren bekannt, die lediglich eine Innenstruktur besitzen. Bei nahtlosen Rohren werden derartige Innenstrukturen mittels zweier unterschiedlich profilierter Dorne hergestellt (z.B. JP-OS 1-317637). Diese Technik wird bislang nur bei auf der Rohraußenseite glatten Rohren eingesetzt. Die Übertragung dieser Technik auf beidseitig strukturierte, integral gewalzte Rippenrohre ist jedoch aufgrund der deutlich unterschiedlichen Herstellungsverfahren nicht naheliegend: Bei auf der Rohraußenseite glatten Rohren wird die zur Erzeugung der Innenstruktur erforderliche, radiale Krafteinwirkung durch relativ breite, auf der Rohraußenseite angeordnete

te Walzen, Rollen oder Kugeln aufgebracht. Der Vortrieb des Rohres in Rohrlängsrichtung wird hierbei durch eine separate Ziehvorrichtung bewerkstelligt. Im Gegensatz hierzu wird bei beidseitig strukturierten, integral gewalzten Rippenrohren sowohl die radiale Kraft zur gleichzeitigen Formung der Außen- und Innenstruktur als auch die axiale Kraft zum Vortrieb des Rohres durch das Walzwerkzeug, das aus relativ dünnen Walzscheiben aufgebaut ist, alleine erbracht. Die leistungsfähigsten, kommerziell erhältlichen Rippenrohre werden mit Walzscheiben hergestellt, deren Dicke zwischen 0,40 mm und 0,65 mm beträgt.

15 Patentansprüche

1. Wärmeaustauscherrohr (1) mit wahlweise glatten Enden, mindestens einem strukturierten Bereich auf der Rohraußen- und Rohrinneenseite und wahlweise glatten Zwischenbereichen, das folgende Merkmale aufweist:

a) auf der Rohraußenseite laufen integrale Außenrippen (3) schraubenlinienförmig um,

b) auf der Rohrinneenseite verlaufen integrale Innenrippen (20) achsparallel oder schraubenlinienförmig unter einem Steigungswinkel $\alpha = 0$ bis 70° (gemessen gegen die Rohrachse) unter Bildung von Primärnuten (21), **dadurch gekennzeichnet,**

c) dass die Innenrippen (20) von unter einem Steigungswinkel β verlaufenden Sekundärnuten (22) - gemessen gegen die Rohrachse - gekreuzt werden,

d) dass die Sekundärnuten (22) gegenüber den Innenrippen (20) unter einem Neigungswinkel γ von mindestens 10° verlaufen und

e) dass die Tiefe T der Sekundärnuten (22) mindestens 20 % der Rippenhöhe H der Innenrippen (20) beträgt.

2. Wärmeaustauscherrohr nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Neigungswinkel $\gamma = 30$ bis 100° beträgt.

3. Wärmeaustauscherrohr nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Neigungswinkel $\gamma = 60$ bis 85° beträgt.

4. Wärmeaustauscherrohr nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich bei gegensinnig verlaufenden Innenrippen (20) und Sekundärnuten (22) der Neigungswinkel γ als Summe der Steigungswinkel α und β er-

gibt:

$$\gamma = \alpha + \beta.$$

5. Wärmeaustauscherrohr nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich bei gleichsinnig verlaufenden Innenrippen (20) und Sekundärnuten (22) der Neigungswinkel γ als Differenz der Steigungswinkel α und β ergibt:

$$\gamma = \alpha - \beta.$$

6. Wärmeaustauscherrohr nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Tiefe T der Sekundärnuten (22) mindestens 40 % der Rippenhöhe H beträgt.
7. Wärmeaustauscherrohr nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rippenhöhe H = 0,15 bis 0,40 mm beträgt.
8. Wärmeaustauscherrohr nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dichte der Schnittpunkte von Innenrippen (20) und Sekundärnuten (22) 90 bis 250 Schnittpunkte/cm² beträgt.
9. Wärmeaustauscherrohr nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Tiefe T der Sekundärnuten (22) der Rippenhöhe H entspricht.
10. Wärmeaustauscherrohr nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Rohrrinnenseite eine Struktur von Pyramidenstümpfen (23) aufweist.
11. Wärmeaustauscherrohr nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der auf die äußere Hüllfläche des Wärmeaustauscherrohres (1) bezogene Gewichtsanteil der Innenstruktur 500 bis 1000 g/m², vorzugsweise 600 bis 900 g/m², beträgt und dass die Dichte des verwendeten Werkstoffs 7,5 bis 9,5 g/cm³ beträgt.
12. Wärmeaustauscherrohr nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der auf die äußere Hüllfläche des Wärmeaustauscherrohres (1) bezogene Gewichtsanteil der Innenstruktur 150 bis 300 g/m², vorzugsweise 180 bis 270 g/m², beträgt und dass die Dichte des verwendeten Werkstoffs 2,5 bis 3,0 g/cm³ beträgt.
13. Wärmeaustauscherrohr nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** es als nahtloses Rohr ausgebildet ist.

14. Verfahren zur Herstellung eines Wärmeaustauscherrohres (1), nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 13, mit auf der Rohraußenseite schraubenlinienförmig umlaufenden und auf der Rohrrinnenseite achsparallel oder schraubenlinienförmig verlaufenden, integralen, d.h. aus der Rohrwandung herausgearbeiteten Außenrippen (3) und Innenrippen (20), die von Sekundärnuten (22) gekreuzt werden, bei dem folgende Verfahrensschritte durchgeführt werden:

a) auf der Außenseite eines Glattrohres (2) werden in einem ersten Umformbereich schraubenlinienförmig verlaufende Außenrippen (3) geformt, indem das Rippenmaterial durch Verdrängen von Material aus der Rohrwandung mittels eines ersten Walzschriffs gewonnen wird und das entstehende Rippenrohr (1) durch die Walzkkräfte in Drehung versetzt und entsprechend den entstehenden schraubenlinienförmigen Rippen (3) vorgeschoben wird, wobei die Außenrippen (3) mit ansteigender Höhe aus dem sonst unverformten Glattrohr (2) ausgeformt werden,

b) die Rohrwandung wird im ersten Umformbereich durch einen im Rohr liegenden ersten Walzdorn (15) abgestützt, der drehbar und profiliert ist,

c) in einem zweiten Walzschrift werden die Außenrippen (3) in einem vom ersten Umformbereich beabstandeten zweiten Umformbereich mit weiter ansteigender Höhe ausgebildet und die Innenrippen (20) mit Sekundärnuten (22) versehen, wobei

d) die Rohrwandung im zweiten Umformbereich durch einen im Rohr liegenden zweiten Walzdorn (16) abgestützt wird, der ebenfalls drehbar und profiliert ausgebildet ist, dessen Profilierung sich aber von der Profilierung des ersten Walzdorns (15) hinsichtlich des Betrages oder der Orientierung des Drallwinkels unterscheidet.

15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Abstand der Umformbereiche im wesentlichen als ganzzahliges Vielfaches der Rippenteilung p gewählt wird.

16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Außendurchmesser des zweiten Walzdorns (16) kleiner als der Außendurchmesser des ersten Walzdorns (15) gewählt wird.

17. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 16 zur Herstellung eines Wärmeaustauscherrohres (1) nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet,**
dass Walzdorne (15, 16) mit gegensinnig orientierten Nuten (17, 18) eingesetzt werden. 5
18. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 16 zur Herstellung eines Wärmeaustauscherrohres (1) nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet,**
dass Walzdorne (15, 16) mit gleichsinnig orientierten Nuten (17, 18) eingesetzt werden. 10
19. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 14 bis 18, **dadurch gekennzeichnet,**
dass die Tiefe T der Sekundärnuten (22) durch Wahl der Durchmesser der Walzdorne (15, 16) und durch Wahl der Durchmesser der jeweils größten Walzscheiben der beiden Walzwerkzeuge (11,12) eingestellt wird. 15 20

25

30

35

40

45

50

55

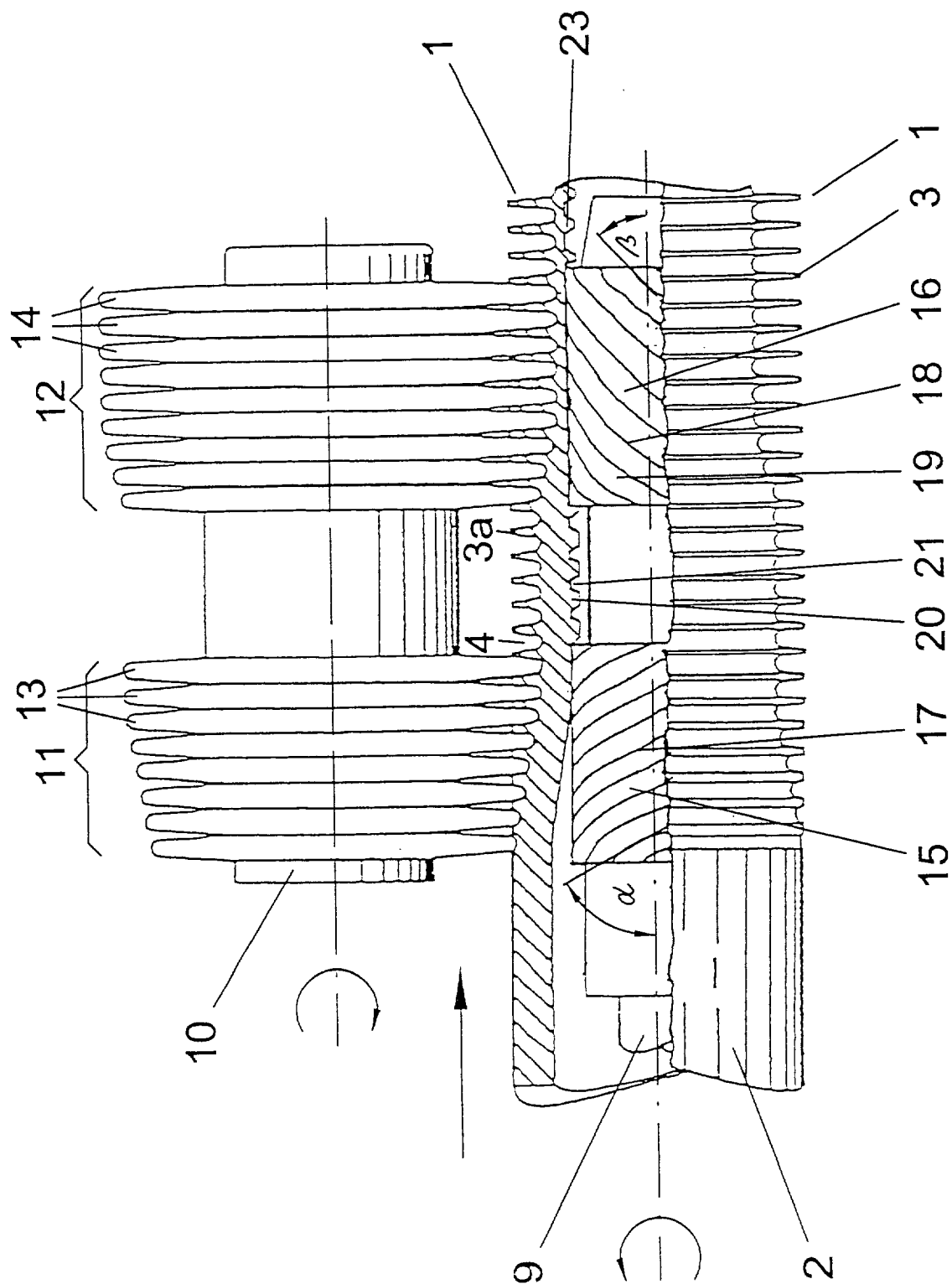


Fig. 1

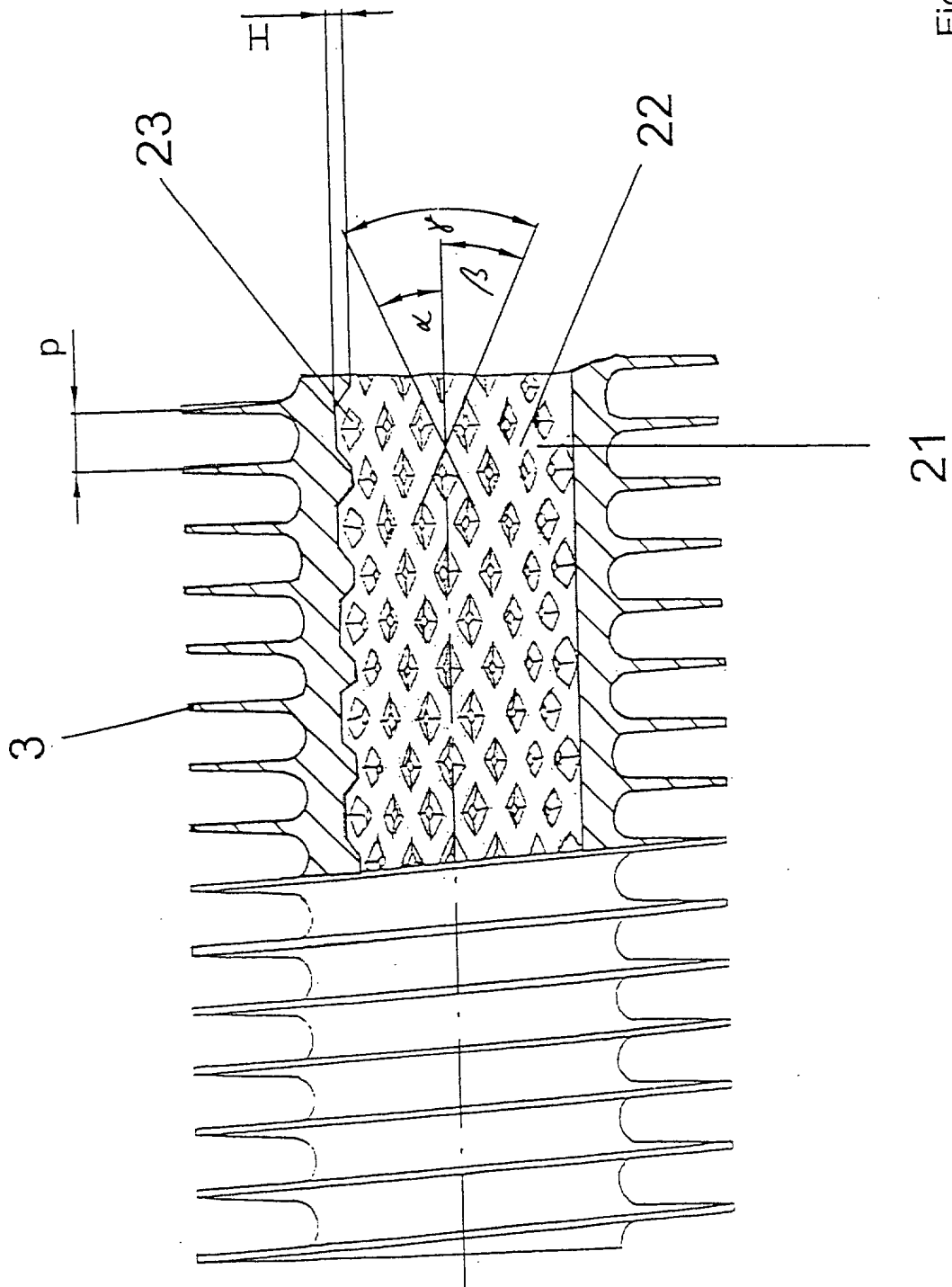


Fig. 2

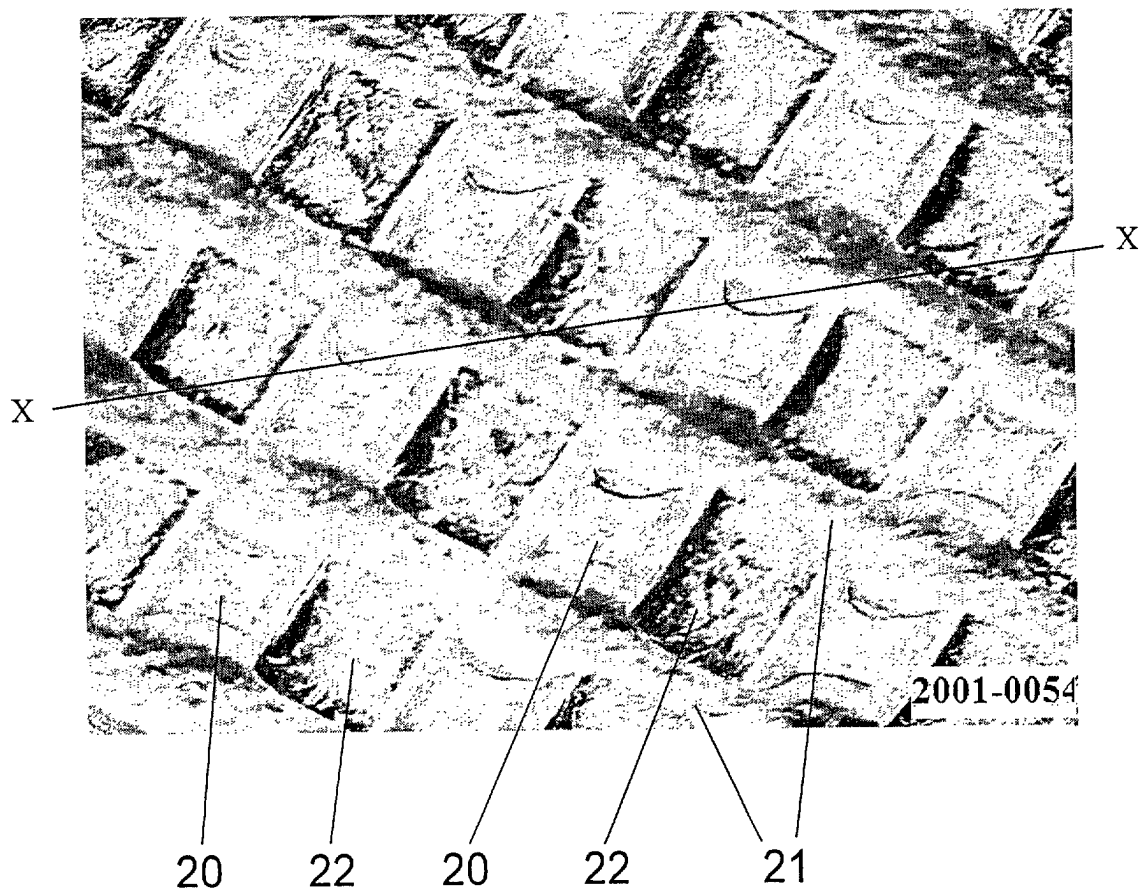


Fig. 3

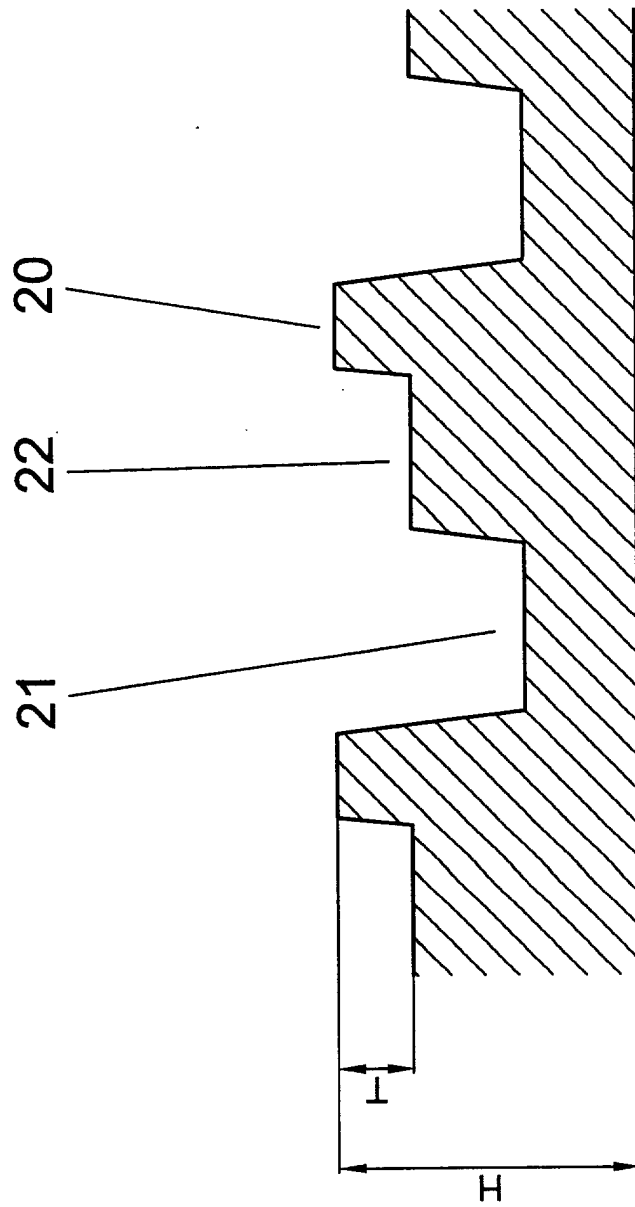


Fig. 4

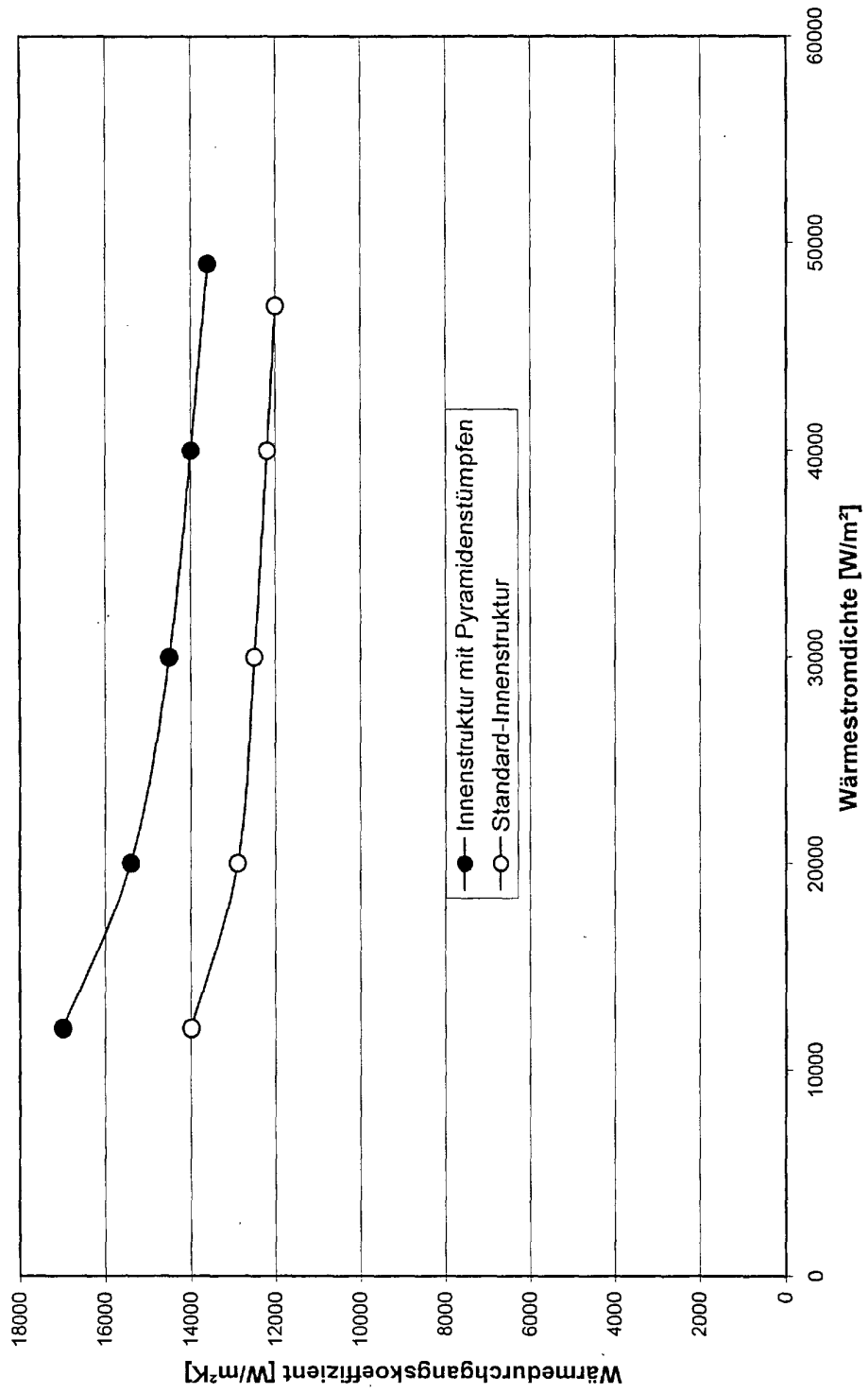


Fig. 5