



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 05 089 T2 2004.07.08**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 061 318 B1**

(51) Int Cl.⁷: **F28F 1/40**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 05 089.0**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 420 129.9**

(96) Europäischer Anmeldetag: **15.06.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **20.12.2000**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **10.09.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **08.07.2004**

(30) Unionspriorität:

9907865 16.06.1999 FR

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(73) Patentinhaber:

**Compagnie Industrielle d'Applications
Thermiques C.I.A.T., Culoz, FR**

(72) Erfinder:

**Bailly, Andre, 01260 Vieu en Valromey, FR;
Jurkowski, Romuald, 01350 Culoz, FR; Altazin,
Marc, 73100 Brison Saint-Innocent, FR; Meziani,
Slimane, 01300 Belley, FR; Michaud, Jean-Marie,
01350 Culoz, FR; Navarro, Jean-Michel, 73310
Ruffieux, FR**

(74) Vertreter:

**Patentanwälte Meldau - Strauß - Flötotto, 33330
Gütersloh**

(54) Bezeichnung: **Geripptes Wärmetauscherrohr und dessen Herstellung**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Wärmetauscherrohr und dessen Herstellungsverfahren sowie einen Wärmetauscher, in den ein solches Rohr integriert ist.

[0002] Im Bereich der Wärmetauscher ist vor allem aus FR-A-2 706 197 die Ausführung eines Rohrs bekannt, dessen innere Oberfläche mit Rippen versehen ist, die es ermöglichen, die Austauschoberfläche zwischen dem Rohr und dem darin enthaltenen Fluid zu vergrößern und damit den Wärmeaustauschkoeffizienten mit dem Fluid zu verbessern, ohne Berücksichtigung dessen, ob dieses einphasig oder zweiphasig ist. In der Praxis schwankt der Wärmeaustauschkoeffizient bei zweiphasiger Phase zwischen einem glatten Metallrohr, wie beispielsweise einem Kupferrohr, und einem wärmeübertragenden Fluid, wie beispielsweise Difluorchlormethan, zwischen 1500 und 3000 W/m²/°C in Abhängigkeit von dem übertragenen Wärmefluß, d.h. von der Natur des Fluids, bei dem es sich um eine Flüssigkeit oder ein Gas handeln kann, in dem das Rohr umspült wird. Durch den Einsatz der innenliegenden Rippen im Rohr kann dieser Koeffizient auf Werte gesteigert werden, die je nach Fall zwischen etwa 3800 W/m²/°C und etwa 6000 W/m²/°C liegen, was eine wesentliche Steigerung darstellt.

[0003] Aus JP-A-02 097 896 ist übrigens bekannt, vorzusehen, daß ein Teil der innenliegenden Rippen eines Rohrs geneigt ist, wobei die anderen Rippen in bezug auf einen Radius, der sie in ihrem Mittelpunkt durchquert, symmetrisch sind. Diese ungleichförmige Geometrie der Rippen begünstigt die Fließturbulenzen. Außerdem werden die geneigten Rippen unter Berücksichtigung ihrer Geometrie im wesentlichen durch Niederdrücken verformt, was keine präzise Formgebung der inneren Oberfläche des Rohrs garantiert und bedeutende Kräfte erfordert. Der erhaltene Wert des Wärmeaustauschkoeffizienten ist nicht mit Genauigkeit garantiert und bleibt relativ niedrig.

[0004] Hingegen wäre es zumindest bei gewissen Anwendungen angemessen, den Wert dieses Koeffizienten noch zu erhöhen, um die Leistung eines Wärmetauschers, in den solche Rohre integriert sind, zu verbessern. Der Wärmeaustauschkoeffizient bei zweiphasiger Phase kann in folgender Form zerlegt werden:

$$h = (h_{\text{conv}}^n + h_{\text{nh}}^n)^{2/n} \quad (1)$$

wobei

- h_{conv} der Wärmeaustauschkoeffizient durch Wärmeleitung ist;
- h_{nh} der Wärmeaustauschkoeffizient durch Sieden ist und
- n eine Zahl zwischen 1 und 3 ist.

[0005] Es konnte experimentell aufgezeigt werden, daß unter den gleichen Bedingungen der Wärmeaustauschkoeffizient durch Sieden etwa das Doppelte

des Wärmeaustauschkoeffizienten durch Wärmeleitung beträgt. Um daher den Wert des globalen Wärmeaustauschkoeffizienten eines Rohrs mit einem Fluid zu erhöhen, muß im wesentlichen der Wert des Wärmeaustauschkoeffizienten durch Sieden erhöht werden.

[0006] Die Erfindung beabsichtigt, den Wert des Wärmeaustauschkoeffizienten eines Rohrs für seinen inneren Teil zu erhöhen, ohne jedoch damit in störender Weise den Reibungskoeffizienten des Fluids an der Innenseite des Rohrs oder der Platte zu erhöhen, um die induzierten Ladungsverluste zu begrenzen.

[0007] In diesem Sinne betrifft die Erfindung ein Wärmetauscherrohr, das an seiner inneren Oberfläche mit Rippen versehen ist, die geformt werden können, dadurch gekennzeichnet, daß diese Rippen vor ihrem Formen ein asymmetrisches Profil aufweisen, wobei der Scheitelpunkt des Profils dieser Rippen in bezug auf die Basis dieses Profils versetzt ist.

[0008] Dank der Erfindung erscheinen die zwischen zwei benachbarten Rippen des Rohrs oder der Platte definierten Räume auf der einen Seite wie eine einspringende Vertiefung, d.h. mit einer nach innen geneigten Trennwand, wodurch eine wesentliche Erhöhung des Wärmeaustauschkoeffizienten ermöglicht wird.

[0009] Tatsächlich sind die zahlenmäßigen Werte für ein Kupferrohr, das von Luft umspült wird und mit Stegen versehen ist oder von Wasser umspült wird und keine Stege aufweist, und einem wärmeübertragenden Fluid des Typs Difluorchlormethan wie folgt: Bei einem schwachen Fluß, insbesondere unter 10 kW/m²

$$- h_{\text{conv}} = \pm 2500 \text{ W/m}^2/\text{°C}$$

$$- h_{\text{nh}} = \pm 10000 \text{ W/m}^2/\text{°C}$$

[0010] Wenn die vorhergehende Gleichung (1) verwendet wird mit n gleich 2, erhält man:

$$h = \pm (2500^2 + 10000^2)^{2/2} = \pm 103000 \text{ W/m}^2/\text{°C}$$

[0011] Bei einem starken Fluß, insbesondere über 20 kW/m²

$$- h_{\text{conv}} = 6000 \text{ W/m}^2/\text{°C}$$

$$- h_{\text{nh}} = 14000 \text{ W/m}^2/\text{°C}$$

[0012] Wenn die vorhergehende Gleichung (1) verwendet wird mit n gleich 2, erhält man:

$$h = \pm (6000^2 + 14000^2)^{2/2} = 15000 \text{ W/m}^2/\text{°C}$$

[0013] Diese Werte sind fast doppelt so hoch wie die vorher genannten Werte.

[0014] Die Formgebung der Rippen, die während der Bördelverbindung der äußeren Stege des Rohrs erhalten wird, wird durch die Tatsache vereinfacht, daß der Scheitelpunkt ihres Profils vor dieser Formgebung in bezug auf seine Basis versetzt ist, da die ausübende Kraft eine Biegekräft oder Kraft zur

Verstärkung ihrer Neigung ist, wobei diese Kraft wesentlich geringer ist als eine reine niederdrückende Kraft, die ausgeübt werden müßte, wenn der Scheitelpunkt auf der Ebene der Basis des Profils läge.

[0015] Die Erfindung ermöglicht es, während der Formgebung der Rippen die Geometrie der inneren Oberfläche des Rohrs und damit des Wärmeaustauschkoeffizienten an die Art des oder der Fluide anzupassen, mit denen es verwendet wird. Die Tatsache, daß der Scheitelpunkt des Profils in bezug auf seine Basis vor dieser Formgebung versetzt ist, ermöglicht eine effiziente Kontrolle der endgültigen erzielten Geometrie durch Modulieren der ausgeübten Kraft, beispielsweise dank der Verwendung von Oliven mit einer vorab festgelegten Größe während der Bördelverbindung der äußeren Stege am Rohr.

[0016] Unter "einspringender Vertiefung" ist eine Vertiefung zu verstehen, deren Ränder in Höhe ihrer Öffnung in bezug auf ihren Boden hin geschlossen sind. Eine solche Vertiefung neigt dazu, das in ihr enthaltene Fluid "einzuschließen", wodurch die Erzeugung von Dampfblasen und eine Steigerung des Wärmeaustauschs begünstigt wird.

[0017] Gemäß vorteilhafter Ausführungsvarianten der Erfindung kann folgendes vorgesehen werden:

- die seitlichen Oberflächen des Profils sind vor dem Formen im wesentlichen geradlinig;
- die seitlichen Oberflächen des Profils sind vor dem Formen global gekrümmt, wobei die Krümmungsradien der zwei Seiten einer Rippe unterschiedlich sind;
- die seitlichen Oberflächen des Profils sind vor dem Formen global gekrümmt, wobei die Krümmungsmittelpunkte der zwei Seiten einer Rippe einen Absatz bilden.

[0018] Ohne jede Berücksichtigung der betrachteten Ausführungsart kann vorgesehen werden, daß der Versatz des Scheitelpunkts durch Niederdrücken der Rippen modifizierbar ist.

[0019] Gemäß einem weiteren vorteilhaften Gesichtspunkt weisen die Rippen vor dem Formen ein solches Profil auf, daß alle zwischen den Rippen definierten Räume eine Öffnung in Richtung auf die Mitte des Rohrs aufweisen, die in bezug auf den Boden dieser Räume winklig versetzt ist.

[0020] Dank der Erfindung sind die Räume zwischen den Rippen ebenfalls einspringende Vertiefungen, zumindest auf einer Seite, was ebenfalls den Wärmeaustausch begünstigt und es ermöglicht, die vorher erwähnten Werte für den Wärmeaustauschkoeffizienten zu erzielen.

[0021] Gemäß einem erfindungsgemäßen vorteilhaften Aspekt ist die Breite der Öffnungen der Räume zwischen den Rippen kleiner als die ihres Bodens. Dadurch wird der Effekt der erzielten "einspringenden Vertiefung" erhöht.

[0022] Die Erfindung betrifft ebenfalls einen Wärmetauscher, umfassend ein Rohr wie vorher beschrieben, dessen Wärmeausbeute wesentlich besser ist

als die des Stands der Technik.

[0023] Die Erfindung betrifft schließlich ein Herstellungsverfahren für ein Rohr des vorgenannten Typs, und insbesondere ein Verfahren, das daraus besteht, die Rippen zu formen, indem durch einen radialen Druck der Scheitelpunkt des Profils jeder Rippe, der in bezug auf seine Basis versetzt ist, in Richtung auf eine innere Oberfläche des Rohrs umgebogen wird. Dieses Verfahren ermöglicht es, zwischen den Rippen Räume zu schaffen, deren eine Seite sich der Geometrie einer einspringenden Vertiefung nähert, während die Intensität der ausgeübten Kraft mit Präzision kontrolliert werden kann.

[0024] Vorteilhafterweise wird dieses Niederdrücken während der Bördelverbindung von Stegen auf der äußeren Seite des Rohrs ausgeführt. Die Kombination der zwei Arbeitsvorgänge ermöglicht es, die erwünschte zusätzliche Funktion zu erhalten, ohne die Gesteungskosten des Rohrs wesentlich zu erhöhen.

[0025] Die Erfindung und weitere ihrer Vorteile sind besser verständlich und gehen deutlicher aus der folgenden Beschreibung von zwei Ausführungsarten eines Wärmetauscherrohrs gemäß ihres Prinzips hervor, die nur als Beispiel und unter Bezugnahme auf die folgenden Zeichnungen angegeben wird:

[0026] **Fig. 1** ist ein teilweiser Querschnitt durch ein erfindungsgemäßes Wärmetauscherrohr während einer ersten Herstellungsstufe vor dem endgültigen Formen der internen Rippen;

[0027] **Fig. 2** ist ein zu **Fig. 1** analoger Schnitt während einer zweiten Herstellungsstufe nach dem endgültigen Formen der internen Rippen;

[0028] **Fig. 3** ist ein Längsschnitt durch das Rohr der **Fig. 1** und **2** während der Herstellungsstufe von **Fig. 2**, wobei mit I-I und II-II jeweils die Schnittebenen der **Fig. 1** und **2** angegeben sind;

[0029] **Fig. 4** ist eine zu **Fig. 1** analoge Ansicht eines Rohrs gemäß einer zweiten Ausführungsart der Erfindung;

[0030] **Fig. 5** ist eine Ansicht in vergrößertem Maßstab eines Rippenprofils, das in **Fig. 4** zu sehen ist, und

[0031] **Fig. 6** ist eine zu **Fig. 2** analoge Ansicht des Rohrs der zweiten Ausführungsart, die in **Fig. 4** dargestellt ist.

[0032] Das in **Fig. 1** dargestellte Rohr **1** weist ein global zylindrisches Profil auf, das auf einer Achse XX' zentriert ist. Die innere Oberfläche des Rohrs ist mit **1a** und die äußere Oberfläche mit **1b** bezeichnet. Auf seiner inneren Oberfläche **1a** ist das Rohr **1** mit Rippen **2** versehen, deren Profil P, d.h. der zur Achse XX' senkrechte Abschnitt, im wesentlichen dreieckig ist, wobei die seitlichen Flächen P₁ und P₂ vor dem Bördeln geradlinig sind.

[0033] Der Scheitelpunkt des Profils P ist mit S bezeichnet, wobei dieser Scheitelpunkt die Linie eines inneren Grats der Rippen **2** ist, die in Abhängigkeit von der für die Rippen gewählten Geometrie geradlinig oder schraubenförmig sein kann.

[0034] Der Radius, der die Achse XX' mit der seitlichen Kante L der Basis B jeder Rippe **2** verbindet, die dem Scheitelpunkt S am nächsten liegt, ist mit R bezeichnet. In der Konfiguration von **Fig. 1**, d.h. vor dem endgültigen Formen der Rippen **2**, ist der Scheitelpunkt S jeder Rippe in bezug auf die Basis B des Profils P versetzt, d.h. er befindet sich gegenüber der Basis B dieses Profils in bezug auf den entsprechenden Radius R.

[0035] Wenn daher eine Olive **3** im Inneren des Rohrs angeordnet wird, um dieses so zu dehnen, daß die Stege **4** gebördelt werden können, wie in **Fig. 2** und **3** dargestellt, werden die Rippen **2** so verformt oder "niedergedrückt", daß der Scheitelpunkt S jeder Rippe in Richtung auf die Fläche **1a** des Rohrs **1** auf der Seite der Kante L jeder Rippe umgebogen wird, wobei er über die entsprechende Basis B hinausragt.

[0036] Der zwischen zwei aneinandergrenzenden Rippen definierte Raum ist mit E bezeichnet. Links von jedem Raum E in den **Fig. 1** und **2** ist die Form der Rippe **2**, die daran angrenzt, dargestellt, daß der Raum **1** einer einspringenden Vertiefung ähnelt, in welcher der Thermokontakt zwischen dem in dem Rohr zirkulierenden Fluid und der Wand **1** der inneren Oberfläche **1a** des Rohrs optimiert wird, insbesondere während des Siedens in dem Fall, in dem ein zweiphasiges Fluid verwendet wird.

[0037] Die Breite des Bodens F jedes Raums E ist mit d_1 bezeichnet. Die Breite der Öffnung **0** jedes Raums E in Richtung der Achse XX' ist mit d_2 bezeichnet. Die Öffnung **0** jedes Raums E ist um die Achse XX' aufgrund der geneigten und niedergedrückten Rippen **2** in bezug auf den Boden F winklig versetzt.

[0038] Unter Berücksichtigung der Geometrie der Rippen **2** ist die Breite d_2 kleiner als die Breite d_1 , wodurch die Tatsache hervorgehoben wird, daß die Räume E wie einspringende Vertiefungen für das Fluid erscheinen, das sie während des Einsatzes des Rohrs **1** enthalten.

[0039] Die Tatsache, daß alle Räume E einspringende Vertiefungen sind, ermöglicht eine Erhöhung des Wärmeaustauschkoeffizienten des Rohrs mit dem Fluid, das es durchquert, ohne eine deutliche Erhöhung der Fließturbulenz zu erzeugen, was der Fall wäre, wenn gewisse Räume E andere Geometrien aufwiesen, beispielsweise offene.

[0040] In der Praxis konnte ermittelt werden, daß die Fließturbulenz in einem erfindungsgemäßen Rohr hauptsächlich auf das intensive Herauslösen von Dampfblasen aus den Räumen E zurückzuführen ist. Das mechanische Umrühren aufgrund der Unebenheit der Oberfläche **1a** spielt beim Erzeugen dieser Turbulenz keine oder nur eine sehr geringe Rolle. Dieses Umrühren kann daher begrenzt werden, wodurch folglich die Ladungsverluste begrenzt werden.

[0041] In der zweiten Ausführungsart der Erfindung, die in den **Fig. 4** bis **6** dargestellt ist, sind die zur Ausführungsart in den **Fig. 1** bis **3** analogen Elemente

mit identischen Bezugszeichen versehen. Diese Ausführungsart unterscheidet sich von der vorherigen im wesentlichen dadurch, daß die seitlichen Oberflächen P_1 und P_2 des Profils P vor dem Bördelvorgang global gekrümmt sind, wobei die Krümmungsradien R_1 und R_2 dieser zwei Oberflächen verschieden sind und die Krümmungsmittelpunkte C_1 und C_2 einen Absatz bilden, wie aus **Fig. 5** deutlicher hervorgeht. Wie vorher ermöglicht es die Bördelung der Stege **4** mittels der Olive **3**, den Scheitelpunkt S des Profils P der Rippen **2** in Richtung auf die innere Oberfläche des Rohrs **2** so umzubiegen, daß die Räume E zwischen den Rippen, in denen ein intensiver Wärmeaustausch zwischen dem Fluid und dem Rohr während des Einsatzes stattfindet, wie einspringende Vertiefungen erscheinen.

[0042] Die Erfindung ist auf alle Arten von Rohren anwendbar, gleichgültig, ob sie "glatt" geformt sind, d.h. geformt, gewalzt und anschließend verschweißt wurden, oder in herkömmlicher Weise im Inneren gerillt wurden. Ein dank der Erfindung ausgeführtes Rohr kann äußere Kühlstege umfassen oder nicht, und kann mit einem zweiphasigen oder einphasigen Fluid verwendet werden.

Beispiele

[0043] Besonders interessante Ergebnisse können mit einem Rohr erzielt werden, dessen äußerer Durchmesser zwischen etwa 5 mm und etwa 20 mm schwankt, und das zahlreiche Rippen mit einer Höhe umfaßt, die zwischen 0,15 und 1,5 mm liegt, und die etwa 1 mm voneinander beabstandet sind, d.h. deren Entfernung d_1 etwa gleich 1 mm ist. Wenn ein solches Rohr mit Wasser verwendet wird, umfaßt es eine relative kleine Anzahl von Rippen, zwischen 10 und 20, deren Höhe vorzugsweise gleich 1 mm ist. In diesem Fall kann der erhaltene Wärmeaustauschkoeffizient eine Größenordnung von $10000 \text{ W/m}^2/^\circ\text{C}$ aufweisen. Das Profil P ist dreieckig, wie in den **Fig. 1** und **2** dargestellt.

[0044] Bei der Verwendung mit einem wärmeübertragenden Fluid, beispielsweise einem Kühlmittel wie Difluormethan, wird ein Rohr verwendet, bei dem die Höhe der Rippen unter 0,5 mm bleibt, während ihre Anzahl sehr hoch ist, da die Oberflächenspannung des Difluormethans geringer als die des Wassers ist. Wie zuvor kann der erhaltene Wärmeaustauschkoeffizient eine Größenordnung von $10000 \text{ W/m}^2/^\circ\text{C}$ aufweisen. In diesem Fall ist das Profil P gekrümmt, wie in den **Fig. 4** bis **6** dargestellt.

[0045] Ein Wärmetauscher, der Rohre wie die vorher beschriebenen umfaßt, ist wirksamer als diejenigen des Stands der Technik, da sein globaler Wärmeaustauschkoeffizient höher ist.

Patentansprüche

1. Wärmetauscherrohr (**1**), das an seiner inneren Oberfläche (**1a**) mit Rippen ausgestattet ist, die ge-

formt werden können, dadurch gekennzeichnet, daß alle Rippen (2) vor dem Formen ein symmetrisches Profil (P) besitzen, wobei der Scheitelpunkt (S) des Profils der Rippen in bezug auf die Basis (B) des Profils versetzt ist.

2. Rohr nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die seitlichen Oberflächen (P_1 , P_2) des Profils (P) vor dem Formen im wesentlichen geradlinig sind.

3. Rohr nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die seitlichen Oberflächen (P_1 , P_2) des Profils (P) vor dem Formen global gekrümmt sind, wobei die Krümmungsradien (R_1 , R_2) der zwei Seiten (2) einer Rippe unterschiedlich sind.

4. Rohr nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die seitlichen Oberflächen (P_1 , P_2) des Profils (P) vor dem Formen global gekrümmt sind, wobei die Krümmungsmittelpunkte (C_1 , C_2) der zwei Seiten einer Rippe (2) einen Absatz bilden.

5. Rohr nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Versatz des Scheitelpunkts (S) durch eine Druckverformung der Rippen (2) geändert werden kann.

6. Rohr (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Rippen (2) vor dem Formen ein derartiges Profil (P) aufweisen, daß alle zwischen den Rippen definierten Räume (E) eine Öffnung (O) zum Zentrum (XX') des Rohrs aufweisen, die in bezug auf den Boden (F) der Räume winklig versetzt ist.

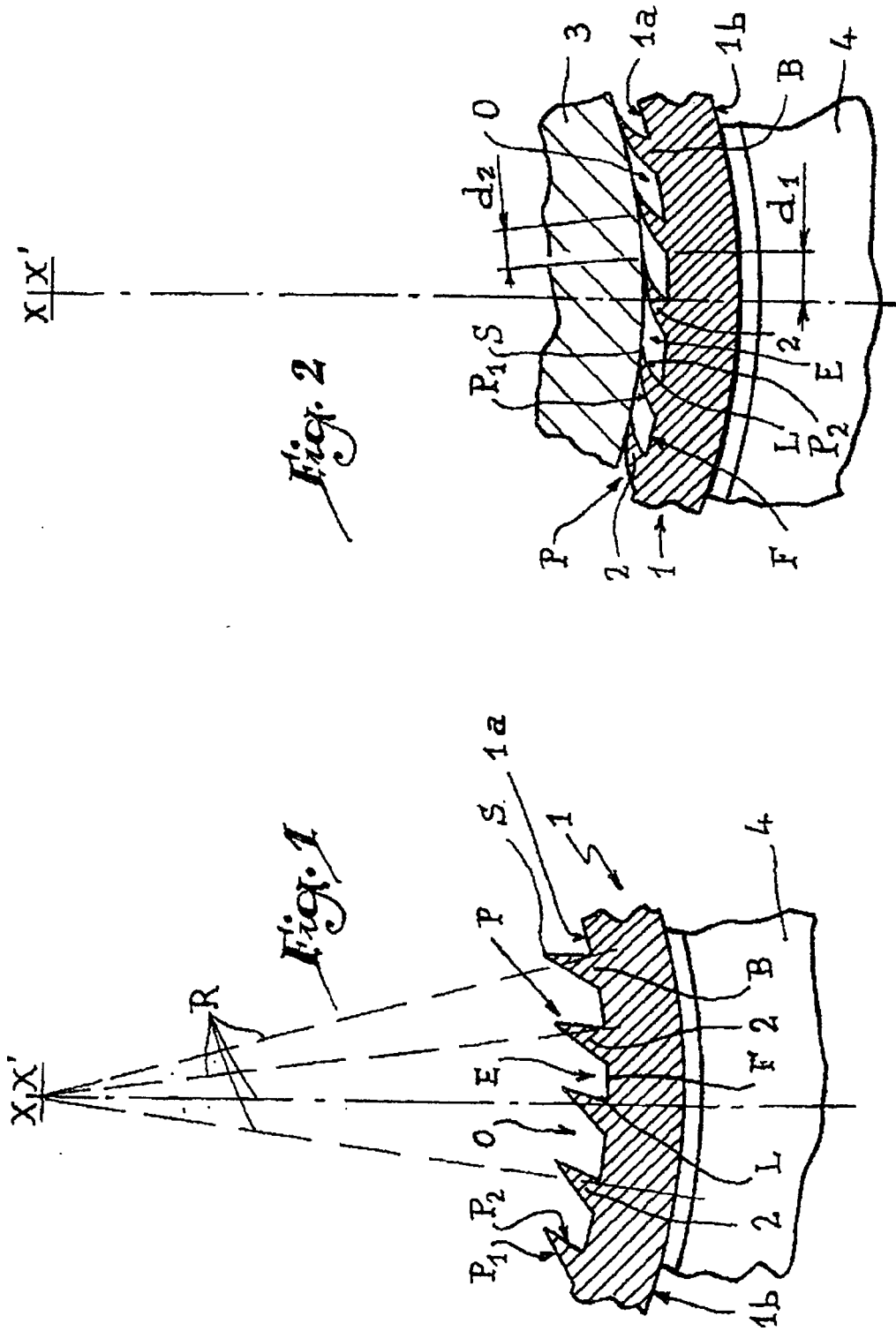
7. Rohr nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Breite (d_2) der Öffnung (O) kleiner ist als die Breite (d_1) des Bodens (F) der Räume (E).

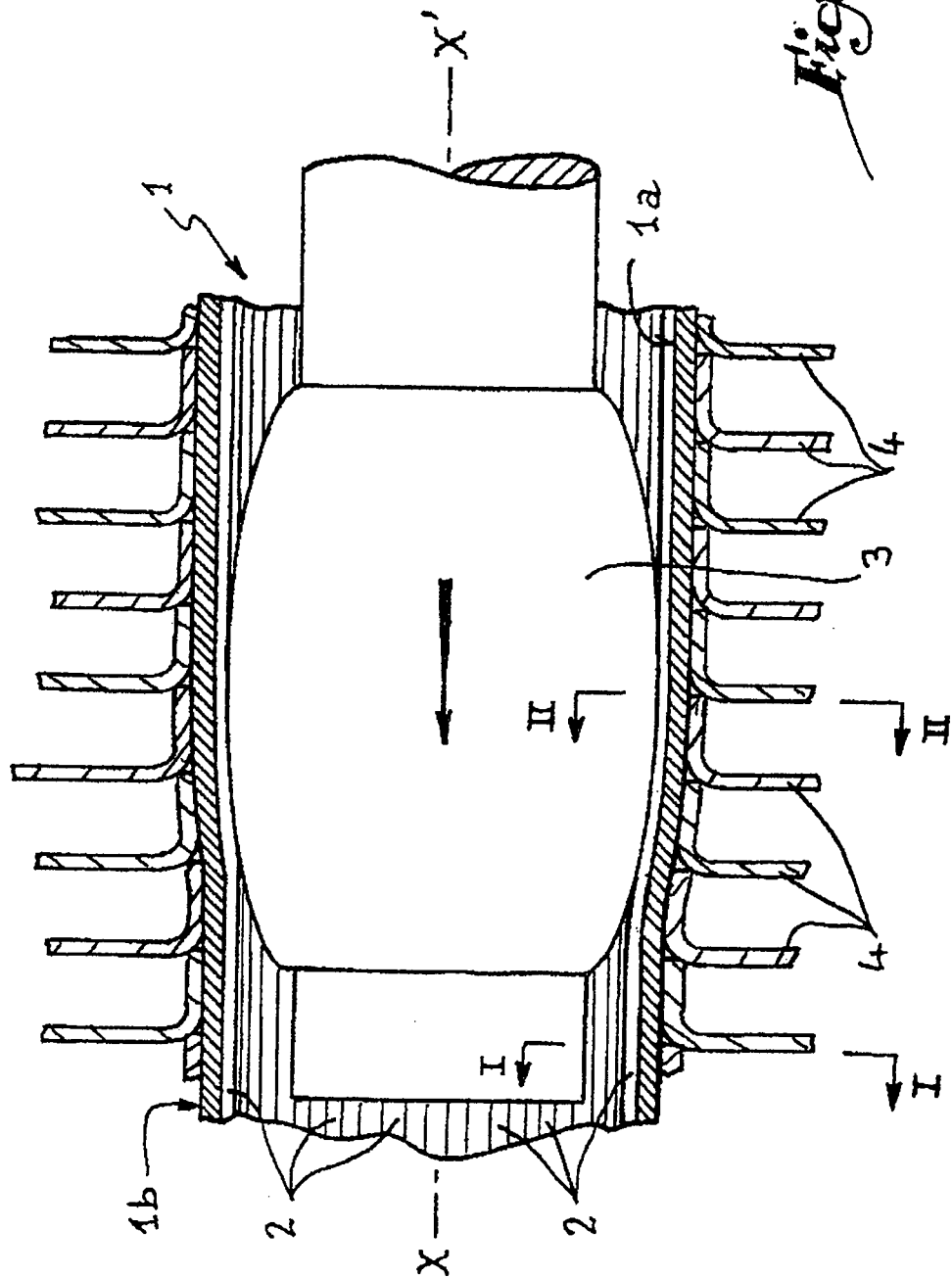
8. Wärmetauscher, dadurch gekennzeichnet, daß er wenigstens ein Rohr (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche umfaßt.

9. Verfahren zur Herstellung eines Wärmetauscherrohrs (1), das mit formbaren Rippen ausgestattet ist, dadurch gekennzeichnet, daß es daraus besteht, die Rippen (2) zu formen, indem mittels eines radialen Drucks der Scheitelpunkt (S) des Profils (P) jeder Rippe, der in bezug auf seine Basis (B) versetzt ist, in Richtung auf eine innere Oberfläche (1a) des Rohrs verschoben wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Druckverformung während der Bördelverbindung von Stegen (4) auf der äußeren Oberfläche (1b) des Rohrs (1) ausgeführt wird.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen





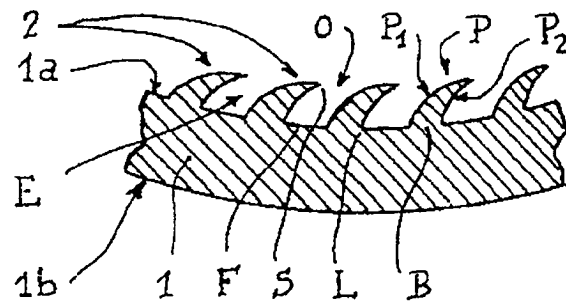


Fig. 4

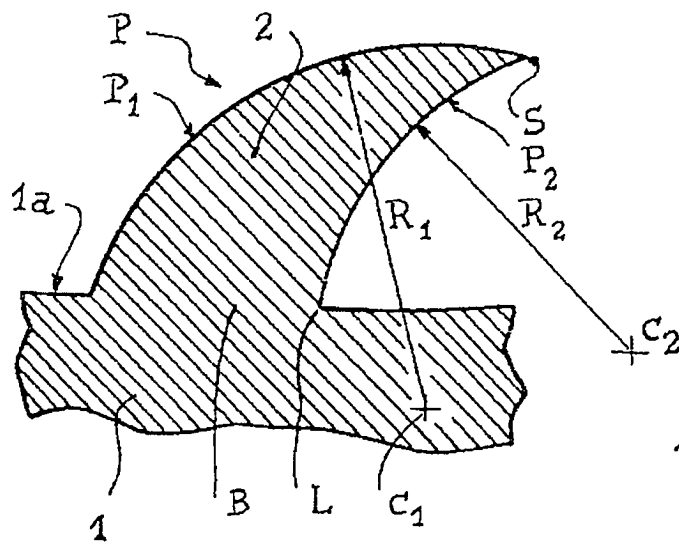


Fig. 5

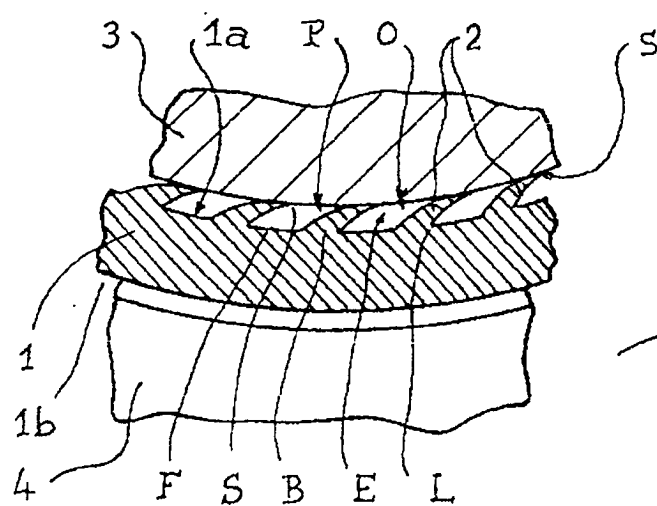


Fig. 6