

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 898 141 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
24.02.1999 Patentblatt 1999/08

(51) Int. Cl.⁶: **F28F 19/02**, F28F 9/16,
F28D 7/06

(21) Anmeldenummer: 98115140.0

(22) Anmeldetag: 12.08.1998

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

(30) Priorität: 18.08.1997 DE 19735630

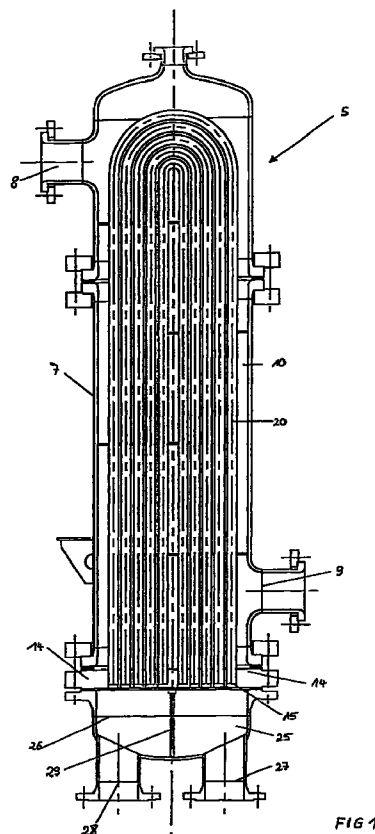
(71) Anmelder: **EHW Thale Email GmbH**
06502 Thale (DE)

(72) Erfinder:
• Kohler, Werner G., Dr.-Ing.
38729 Lutter (DE)
• Twardy, Frank, Dipl.-Ing.
06502 Timmenrodo (DE)
• Scheffter, Bernd
06502 Thale (DE)

(74) Vertreter:
Einsel, Martin, Dipl.-Phys.
Patentanwalt,
Jasperallee 1A
38102 Braunschweig (DE)

(54) Wärmetauscher und Verfahren zu seiner Herstellung

(57) Ein Wärmetauscher besitzt einen Behälterbereich (10) für ein zu kühlendes oder zu erwärmendes insbesondere chemisch aggressives Medium. In diesem ersten Behälterbereich (10) verlaufen eine Anzahl rohrförmiger aus einem emaillierten Metall bestehender Leitungen (20). Die inneren Hohlräume der Leitungen (20) bilden einen zweiten Behälterbereich für ein zweites, kühlendes und/oder erheizendes Medium. Die Leitungen (20) führen durch Öffnungen (15) in einem Rohrboden (14) aus dem ersten Behälterbereich (10) heraus. Sie führen in eine oder mehrere Kammern (25, 26) mit dem zweiten, kühlenden oder erheizenden Medium. Die emaillierten Außenflächen der Leitungen (20) und die Innenflächen der Öffnungen (15) liegen dichtungsfrei und leckfrei im Preßsitz aufeinander.



EP 0 898 141 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Wärmetauscher mit einem ersten Behälterbereich für ein zu kühlendes oder zu erwärmendes insbesondere chemisch aggressives Medium, wobei in diesem ersten Behälterbereich eine Anzahl rohrförmiger aus einem emaillierten Metall bestehender Leitungen verlaufen, deren innere Hohlräume einen zweiten Behälterbereich für ein zweites kühlendes und/oder erheizendes Medium bilden und welche Leitungen durch Öffnungen eines Rohrbodens aus dem ersten Behälterbereich heraus und in einen oder mehrere Kammern mit dem zweiten, kühlenden oder erheizenden Medium führen. Die Erfindung betrifft außerdem ein Verfahren zur Herstellung eines Wärmetauschers.

[0002] Wärmetauscher werden für eine Vielzahl von Anwendungsfällen benötigt; dabei stellen Wärmetauscher für chemisch aggressive Medien, z. B. Säuren oder auch Gase, einen besonders anspruchsvollen Sonderfall dar. Es geht darum, daß ein solches Medium beispielsweise während seiner Reaktion oder Lagerung gekühlt oder aber auch erhitzt werden soll, und zwar möglichst effektiv und schnell. Hierfür bieten sich Wärmetauscher an sich natürlich an. Das üblicherweise kühlende und Reaktionswärme abführende (oder in bestimmten Anwendungsfällen auch erheizende) Medium, insbesondere Wasser, wird dabei durch Leitungen geführt, welche außen von dem aggressiven chemischen Medium umgeben sind. Durch die Leitungswand hindurch findet der Wärmeaustausch statt. Diese Leitungen müssen aus einem hochresistenten Werkstoff bestehen oder auf andere Weise gegen das chemisch aggressive Medium geschützt sein. Ein Kontakt der Medien untereinander muß ebenso vermieden werden wie ein Herausdiffundieren des chemisch aggressiven Mediums aus dem Wärmetauscher an unbeabsichtigten Stellen. Dabei ist eine besondere Problemzone der Austritt der Leitungen aus dem Volumenbereich, also dem oben angegebenen ersten Behälterbereich, in dem sich das chemisch aggressive Medium befindet.

[0003] Bei bekannten Wärmetauschern zu diesem Zweck bestehen beispielsweise sowohl die Leitungen als auch der entsprechende Rohrboden, durch die die Leitung herausgeführt wird, aus Tantal. Dies ist natürlich insbesondere kostenmäßig sehr aufwendig.

[0004] Alternativ werden emaillierte Stahlrohre verwendet, die durch einen Rohrboden geführt werden, wobei die Durchführungen mit entsprechenden Dichtungen, beispielsweise Dichtungsringen, abgesichert werden. Dies ist einerseits aufwendig und andererseits auch ein nur unvollständiger Schutz, denn diese Dichtungen sind ihrerseits anfällig und müssen aus einem anderen Material als Stahl gefertigt werden, meist aus Kunststoff.

[0005] Es wäre höchst gefährlich, wenn die chemisch aggressiven Medien durch diese Durchführungen in

irgendeiner Form hindurchdiffundieren könnten, da sie dann in das andere kühlende oder erheizende Medium hineingelangen könnten, somit auf die ungeschützten Innenseiten der Leitungen gelangen würden und dort erhebliche Schäden anrichten könnten. Außerdem kann auch schon innerhalb des Bereiches der Durchführungen oder in den danach anschließenden Bereichen der Kammer Korrosion eintreten. Dies führt jeweils zu deutlich verkürzten Standzeiten des Wärmetauschers.

[0006] Es ist nicht möglich, wie in anderen Gebieten der Technik vielleicht naheliegend, die Stahlrohre in dem Durchführungsbereich mit dem Rohrhoden zu verschweißen. Diese Schweißnähte wären nämlich ihrerseits dem aggressiven Medium ausgesetzt und könnten in diesem Bereich nicht erneut emailliert oder anderweitig geschützt werden, da hierfür die geometrische Zugänglichkeit fehlt.

[0007] Eine Aufgabe der Erfindung ist es demgegenüber, einen Wärmetauscher mit einer verbesserten Konzeption vorzuschlagen. Eine weitere besteht darin, ein Verfahren zu seiner Herstellung vorzuschlagen.

[0008] Diese erstgenannte Aufgabe wird bei einem gattungsgemäßen Wärmetauscher dadurch gelöst, daß die emaillierte Außenfläche der Leitungen und die Innenflächen der Öffnungen dichtungsfrei und leckfrei im Preßsitz aufeinanderliegen.

[0009] Bei einem Verfahren zu seiner Herstellung werden

- Leitungen hergestellt, indem kurze, gerade Abschnitte vorbereitet und emailliert werden, diese kurzen, geraden Abschnitte werden über ein oder mehrere Verbindungsabschnitte verbunden und verschweißt und die Verbindungsstellen lokal nach-emailliert,
- oder Leitungen hergestellt werden, indem komplette emaillierte U-Rohre an den geraden Enden bearbeitet und durch Preßsitz mit den Öffnungen verbunden werden,
- die Leitungen oder zumindest ihre kurzen geraden Abschnitte kryogen unterkühlt und mit ihren kurzen, geraden Abschnitten in die Öffnungen in der Behälterwandung eingesetzt,
- anschließend durch Erwärmung eine Ausdehnung und dadurch ein Preßsitz der kurzen geraden Abschnitte in den Öffnungen entstehen.

[0010] Mit einer derartigen Konstruktion oder solchen Verfahren wird das Problem überraschend gelöst: Eine Durchführung, bei der die emaillierten Beschichtungen direkt aufeinandersitzen, lecksicher sind und im Preßsitz aufeinandergefügt sind und die außerdem dichtungsfreie Öffnung erfüllt alle Forderungen. Es gibt keine Bestandteile mehr, die dem korrosiven Medium ausgesetzt sind und dieses kann auch nicht hindurchdringen.

[0011] Eine solche Konzeption wäre bisher von allen

Fachleuten für unmöglich gehalten worden; sie haben es auch nie in Betracht gezogen. Dies liegt insbesondere an den komplizierten Formen der Leitungsführungen in diesen Wärmetauschern, die gebogen sind und nicht separat emailliert werden können und auch praktisch aufgrund der geometrischen Gegebenheiten keine Möglichkeit geben, im Preßsitz überhaupt eingefügt zu werden. Außerdem besteht für die Fachwelt das Problem, daß Email mechanisch nicht mit so großer Fertigungsgenauigkeit bearbeitet werden kann, daß eine flüssigkeits- und gasdichte Verbindung entsteht.

[0012] Im Gegensatz zum Vorurteil der Fachwelt ist dies jedoch erfindungsgemäß möglich.

[0013] Dazu wird bevorzugt eine Erzeugung des Preßsitzes durch kryogene Schrumpfung eingesetzt. Dies hat den besonderen Vorzug, daß eine präzise Fügung der Teile möglich ist. Wie sich gezeigt hat, ist es mit einer solchen Konzeption ohne weiteres möglich, den standardisierten Heliumlecktest zu bestehen.

[0014] Besonders bevorzugt ist es, wenn außerdem auch der Rohrboden aus emailliertem Metall besteht, dies gilt insbesondere für die Innenflächen der Öffnungen, durch die die Leitungen hindurchführen.

[0015] Weiter ist es von besonderem Vorteil, wenn eine Emailleschicht von nur 500 bis 600 µm Dicke verwendet wird, die lediglich im Bereich der Durchführung, also im Bereich des Preßsitzes, etwas dicker ausgebildet ist. Durch eine sehr dünne Emailleschicht kann der Wärmedurchgangskoeffizient k (W/m^2K) an den Leitungsrohren reduziert werden, was die Funktionstüchtigkeit eines Wärmetauschers naturgemäß sehr fördert.

[0016] Ferner ist es besonders bevorzugt, wenn die Leitungen jeweils aus einem Rohrabschnitt bestehen, der den Bereich innerhalb und benachbart zur Durchführung durch die Öffnung bildet sowie auch durch weitere, davon separat gefertigte Rohrabschnitte. Dadurch kann es ermöglicht werden, den einen relativ kurzen Rohrabschnitt für die eigentliche Durchführung hochpräzise und mit äußerster Präzision auch hinsichtlich zu vermeidender Winkelabweichungen zu fertigen, was für einen genauen Preßsitz von großem Vorteil ist.

[0017] Dabei ist insbesondere auch zu berücksichtigen, daß Leitungen in Wärmetauschern des hier bevorzugten interessierenden Typs zwei gerade, parallele Abschnitte aufweisen, die durch zwei Öffnungen in einem gemeinsamen Rohrboden hindurchführen sollen und die im Behälterinneren in dem Bereich genau entgegengesetzt zum Rohrboden mit den Öffnungen mittels eines um 180° gebogenen Abschnittes verbunden sind. Es ist für die Durchführung durch den Rohrboden daher erforderlich, dieses Gesamtelement der Leitung genau parallel so durch den Boden hindurchzuführen, daß beide Leitungsaußenseiten in den Öffnungen im Preßsitz bei der kryogenen Schrumpfung genauestens parallel verlaufen, da schon kleine Verkantungen zu Problemen führen könnten.

[0018] An die kurzen geraden Abschnitte kann dann erfindungsgemäß der restliche längere Teil der Leitung

angeschweißt und die Verbindungsbereiche jeweils lokal erneut emailliert werden. Diese längeren Teile sind weniger kritisch und müssen nur mit normaler Genauigkeit gefertigt werden.

[0019] Auch wird es möglich, die Fertigung der Wärmetauscher zu standardisieren. Für jeden Wärmetauscher werden nämlich Leitungen verschiedener Länge eingesetzt, die geometrisch jeweils einander nicht störend übereinander verlaufen; die gebogenen Verbindungsabschnitte haben dabei verschiedene Längen, die längeren, geraden Abschnitte können in Endlosverfahren, wie beispielsweise in der DE 195 03 999 A1 beschrieben, angefertigt und in den benötigten Längen abgeschnitten und zusammengesetzt werden.

[0020] Im folgenden wird anhand der Zeichnung ein Ausführungsbeispiel der Erfindung im einzelnen beschrieben. Es zeigen:

Figur 1 einen Schnitt durch einen Wärmetauscher senkrecht zu einer Wandung, durch die die Leitungen hindurchführen;

Figur 2 eine Ansicht, teilweise weggebrochen, von der Kammer auf den Rohrboden und

Figur 3 eine schematische Darstellung einer Ausführungsform einer Leitung.

[0021] Ein in **Figur 1** schematisch dargestellter Wärmetauscher weist einen zylinderförmigen Behälter 5 mit einer äußeren Wandung 7 und einem inneren ersten Behälterbereich 10 auf. In dem Behälterbereich 10 befindet sich ein aggressives Medium, das dort reagiert oder gelagert wird und definiert gekühlt oder gegebenenfalls auch erhitzt werden soll. Das Medium kann ein Gas oder eine Flüssigkeit sein; die eigentliche Reaktion kann auch außerhalb des Behälters stattfinden, so daß das Medium nur zum Zwecke des Wärmetausches in den Behälter 5 geführt wird. Das aggressive Medium wird durch einen Stutzen 8 in den Behälterbereich 10 hinein - und durch einen zweiten Stutzen 9 wieder herausgeführt.

[0022] Neben den Stutzen 8 und 9 ist insbesondere auf einem Rohrboden 14 hinzuweisen. Dieser schließt eine Seitenfläche des langgestreckten zylindrischen ersten Behälterbereichs 10 ab und ist mit den übrigen Behälterwandungen lösbar verbunden. Diese Verbindung ist allerdings hochdicht und geschlossen.

[0023] Durch den Boden 14 verläuft eine Vielzahl von Öffnungen 15. Der Boden 14 besteht aus einem emaillierten Metall, unter Umständen auch aus einem relativ korrosionsfesten Material wie Hastelloy.

[0024] Im Inneren des Behälterbereichs 10 befindet sich eine Vielzahl von rohrförmigen Leitungen 20. Diese Leitungen 20 erstrecken sich durch den Rohrboden 14 bzw. die darin befindlichen Öffnungen 15 und führen zu einer Kammer 25 bzw. 26. Diese Verbindung bildet den zweiten Behälterbereich für ein zweites Medium, das im

Regelfall nicht aggressiv ist und häufig Wasser ist oder zu einem hohen Prozentsatz aus Wasser besteht. Dieses zweite Medium dient der Abfuhr oder Zufuhr von Wärme. Zwischen den beiden Behälterbereichen besteht also möglichst intensiver Wärmeaustausch, aber kein physischer Kontakt oder gar Austausch.

[0025] Das zweite Medium wird über eine Zufuhr 27 der Kammer 25 zugeführt. Von der Kammer 25 aus strömt es in die Leitungen 20 und durch die Öffnungen 15 im Rohrboden 14. Durch die Leitungen 20 gelangt es über den langen geraden Abschnitt (in der Figur 1 aufwärts dargestellt) oben in den Bogen und wiederum in einem weiteren langen geraden Abschnitt nach unten, erneut durch Öffnungen 15 im Rohrboden 14 zurück in die zweite Kammer 26. Aus der Kammer 26 strömt das zweite Medium dann über einen Auslauf 28 hinaus.

[0026] Die Kammern 25 und 26 sind dabei durch eine Trennwand 29 getrennt; insgesamt stellen diese beiden Bereiche gemeinsam ein 2-Kammersystem dar. Der Inhalt der beiden Bereiche 25 bzw. 26 der Kammern unterscheidet sich durch die ihm innewohnende Temperatur. Da es sich um einen Wärmetauscher insgesamt handelt, wird ja von dem zweiten Medium während des Durchströmens durch die Leitung 20 Temperatur vom ersten Medium im Behälter 5 aufgenommen (bzw. abgegeben), so daß es in der Kammer 26 mit einer höheren (bzw. tieferen) Temperatur ankommt, als es sie in dem Ausgangsbereich der Kammer 25 noch besessen hatte.

[0027] Das zweite Medium kann üblicherweise ständig wieder verwendet werden, nachdem es abgekühlt bzw. erneut auf entsprechende gewünschte Temperaturen gebracht ist. Da es sich im Regelfall um gewöhnliches Wasser oder eine jedenfalls stark wasserhaltige Substanz handelt, ist die Beschäftigung mit diesem Medium verhältnismäßig unkritisch.

[0028] **Figur 2** zeigt eine Ansicht gesehen von der Kammer 25, 26 aus in Richtung auf die Behälterwandung 14. Gut im Schnitt zu erkennen sind daher die Zufuhr 27 zur Kammer 25 und der Ablauf 28 aus der Kammer 26 sowie geschnitten die Trennwand 29 zwischen den beiden Bereichen der Kammer. In dem in **Figur 2** rechts befindlichen, teilweise weggebrochenen Abschnitt sind die Öffnungen 15 gut zu erkennen, durch die die Leitungen 20 hindurchführen. Von den Leitungen 20 ist im Grunde nur der Innenbereich der Krümmung am oberen Ende aus **Figur 1** zu erkennen.

[0029] Dargestellt sind auch die Stützen 8 und 9, die den ersten Behälterbereich 10 mit dem ersten Medium versorgen bzw. dieses daraus abführen.

[0030] Die Leitungen 20 sind - wie die Figuren 1 und 2 in Zusammenschau ergeben - jeweils bogenförmig übereinander angeordnet, damit der erste Behälterbereich 10 von einer möglichst großen Zahl derartiger Leitungen 20 durchzogen werden kann und die Funktion des Wärmetauschers besonders effektiv und mit vielen Wandkontaktbereichen vollzogen werden kann und somit bei minimalem Masseneinsatz eine große Wär-

meaustauschfläche erreicht wird, was einen hohen Wirkungsgrad zur Folge hat.

[0031] In **Figur 3** ist eine der Leitungen 20 im einzelnen dargestellt. Zu erkennen ist zunächst unten wiederum der Rohrboden 14, durch den die Leitung 20 insgesamt an zwei Punkten hindurchtritt, nämlich durch die Öffnungen 15.

[0032] Die Leitung selbst besteht hier in dem dargestellten Ausführungsbeispiel aus fünf Abschnitten, was die Herstellung besonders zweckmäßig gestaltet. So sind zunächst zwei kurze, gerade Abschnitte 31 und 32 vorgesehen, die genau durch die Öffnungen 15 in dem Rohrboden 14 hindurchgehen und präzise parallel zueinander stehen. An diese kurzen, geraden Abschnitte 31, 32 schließen sich jeweils ein langer, gerader Abschnitt 33 bzw. 34 an. Diese langen, geraden Abschnitte stehen im wesentlichen auch parallel zueinander, wobei diese Parallelität weniger kritisch ist. Diese langen Abschnitte können mit einem geeigneten Verfahren, insbesondere mit einem Endlosverfahren gemäß der DE 195 03 999 A1 hergestellt und emailliert sein. Die oberen Enden der langen, geraden Abschnitte 33, 34 sind miteinander durch einen verbindenden Bogenabschnitt 35 verbunden.

[0033] Bei der Herstellung der Leitung 20 insgesamt können zunächst die beiden langen, geraden Abschnitte 33, 34 hergestellt und emailliert und dann mit dem Bogenabschnitt 35 über zwei Schweißnähte 38 verbunden werden. Es entsteht dadurch schon der größte Teil der gesamten Leitung 20. Jetzt wird in einer präzisen Ausrichtmaschine dafür gesorgt, daß an die dann freien beiden Enden der langen, geraden Abschnitte 33, 34 die beiden kurzen, geraden, ebenfalls schon emaillierten Abschnitte 31 und 32 so angeschweißt werden, daß diese zueinander exakt parallel sind und je einen exakten Abstand zueinander aufweisen. Es entstehen so wiederum zwei Schweißnähte 38.

[0034] In einer anderen Alternative wird die Leitung 20 aus einem komplett emaillierten U-Rohr hergestellt. Bei Einsatz kompletter U-Rohre entfallen die Schweißnähte gänzlich.

[0035] An diesen Verbindungsstellen der jeweiligen geraden Abschnitte 31 und 33 bzw. 32 und 34 kann also ein relativ geringfügiger Knick vorliegen, da die Fertigungstoleranzen der langen Abschnitte relativ groß sein können und es nur auf die präzise Parallelität der beiden kurzen Endstücke ankommt.

[0036] Jetzt in dieser Phase werden alle vier entstandenen Schweißnähte 38 zwischen den fünf einzelnen Abschnitten der Leitung 20 nachemailliert. Nun wird die fertige Leitung 20 in die Öffnungen 15 des Rohrbodens 14 eingesetzt. Hierzu wird die Leitung kryogen unterkühlt und paßt so problemlos in die vorbereiteten, ihrerseits beispielsweise emaillierten Öffnungen 15 des Rohrbodens 14. Nach Erwärmung der Leitung 20 entsteht ein exakter Paßsitz.

[0037] Bei Verwendung kompletter U-Rohre erfolgt die Bearbeitung der Enden direkt.

[0038] Zum Verständnis der Problematik sei darauf hingewiesen, daß in Figur 3 ja nur eine Leitung dargestellt ist. In der Praxis entstehen, wie in den Figuren 1 und 2 zu ersehen ist, hier eine enorme Vielzahl von dicht benachbarten Öffnungen in den Rohrboden 14, in die jeweils Leitungen sich gegenseitig abdeckend eingesetzt werden müssen. Eine Emaillierung an genau dieser Stelle während oder nach dem Einsetzen der Leitungen 20 ist nicht möglich.

Patentansprüche

1. Wärmetauscher mit einem ersten Behälterbereich (10) für ein zu kühlendes oder zu erwärmendes insbesondere chemisch aggressives Medium, wobei in diesem ersten Behälterbereich (10) eine Anzahl rohrförmiger aus einem emaillierten Metall bestehender Leitungen (20) verlaufen, deren innere Hohlräume einen zweiten Behälterbereich für ein zweites, kühlendes und/oder erheizendes Medium bilden und welche Leitungen (20) durch Öffnungen (15) in einem Rohrboden (14) aus dem ersten Behälterbereich (10) heraus und in eine oder mehrere Kammern (25, 26) mit dem zweiten, kühlenden oder erheizenden Medium führen,
dadurch gekennzeichnet,

daß die emaillierten Außenflächen der Leitungen (20) und die Innenflächen der Öffnungen (15) dichtungsfrei und leckfrei im Preßsitz aufeinanderliegen.

2. Wärmetauscher nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,

daß es sich um einen durch kryogene Schrumpfung erzeugten Preßsitz handelt.

3. Wärmetauscher nach Anspruch 1 bder 2,
dadurch gekennzeichnet,

daß jede der Leitungen (20) durch eine der Öffnungen (15) in den ersten Behälterbereich (10) hinein und eine der anderen Öffnungen (15) in den gleichen Rohrboden (14) wieder aus dem Behälterbereich (10) herausführt.

4. Wärmetauscher nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet,

daß jede der Leitungen (20) aus mindestens zwei parallelen, nicht gebogenen Rohrab-schnitten (31, 32, 33, 34) und einem dritten eine Biegung von 180° durchführenden und die nicht gebogenen Rohrab-schnitte verbindenden Bogenabschnitt (35) besteht.

5. Wärmetauscher nach einem der vorstehenden

Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

daß die Leitungen (20) mindestens einen relativ kurzen, geraden Rohrab-schnitt (31) im Bereich der Durchführung durch die Öffnungen (15) des Rohrbodens (14) und einem an diesen relativ kurzen Rohrab-schnitt (31) anschließenden, mit diesem Rohrab-schnitt durch Schweißung verbundenen weiteren Rohrab-schnitt (33) aufweist, wobei der Verbindungsbereich anschließend lokal erneut emailliert ist.

6. Wärmetauscher nach Anspruch 4 und 5,
dadurch gekennzeichnet,

daß die Leitungen (20) jeweils zwei relativ kurze, gerade Rohrab-schnitte (31, 32) im Bereich der Durchführung durch zwei Öffnungen (15) des Rohrbodens (14) und jeweils daran anschließende, mit den kurzen, geraden Rohrab-schnitten (31,32) durch Schweißung verbundene lange, gerade Rohrab-schnitte (33,34) aufweist, sowie einen fünften, eine Biegung von 180° durchführenden und die langen geraden Rohrab-schnitte (33,34) verbindenden Bogenabschnitt (35) aufweist, wobei die vier Verbindungsbereiche anschließend lokal erneut emailliert werden.

7. Wärmetauscher nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

daß die Emailleschicht auf den Leitungen (20) nur eine Dicke von 500 bis 600 µm außerhalb des Bereiches in oder benachbart zu den Öffnungen (15) besitzt.

8. Wärmetauscher nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,

daß auch der Rohrboden (14) aus emaillierten Metall besteht, insbesondere in den Innenflächen der Öffnungen (15).

9. Verfahren zur Herstellung eines Wärmetauschers nach einem der vorstehenden Ansprüche,
bei dem

Leitungen (20) hergestellt werden, indem kurze, gerade Abschnitte (31, 32) vorbereitet und emailliert werden, diese kurzen, geraden Abschnitte (31, 32) über ein oder mehrere Verbindungsabschnitte (33, 34, 35) verbunden und verschweißt und die Verbindungsstellen lokal nachemailliert werden,

die Leitungen (20) oder zumindest ihre kurzen geraden Abschnitte (31, 32) kryogen unterkühlt und mit ihren kurzen, geraden Abschnitten (31, 32) in die Öffnungen (15) des Rohrbodens (14) eingesetzt werden,

5

anschließend durch Erwärmung eine Ausdehnung und dadurch ein Preßsitz der kurzen geraden Abschnitte (31, 32) in den Öffnungen (15) entsteht.

10

10. Verfahren zur Herstellung eines Wärmetauschers nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem

Leitungen (20) hergestellt werden, indem vollständig emaillierte U-Rohre verwendet werden, zumindest die Enden der aus den U-Rohren gebildeten Leitungen (20) kryogen unterkühlt und in die Öffnungen (15) des Rohrbodens (14) eingesetzt werden,

15

20

anschließend durch Erwärmung eine Ausdehnung und dadurch ein Preßsitz der Enden in den Öffnungen (15) entsteht.

25

30

35

40

45

50

55

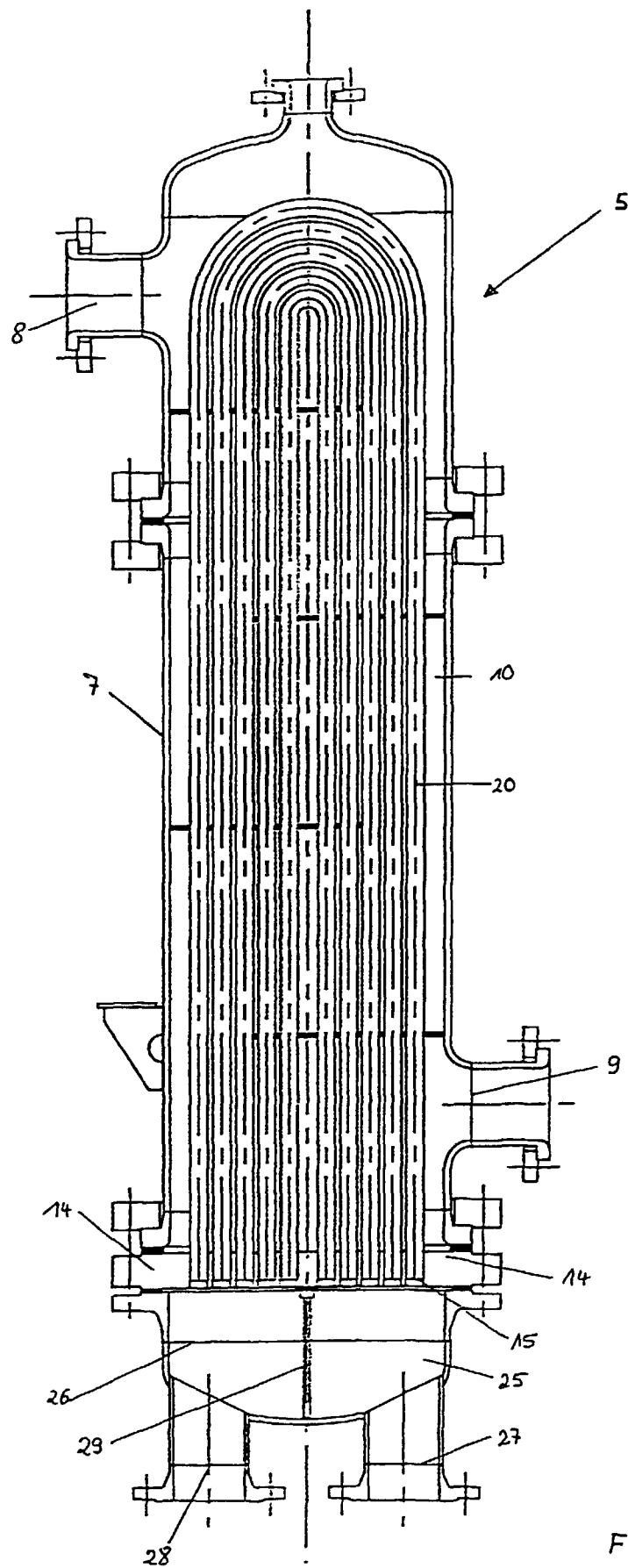


FIG 1

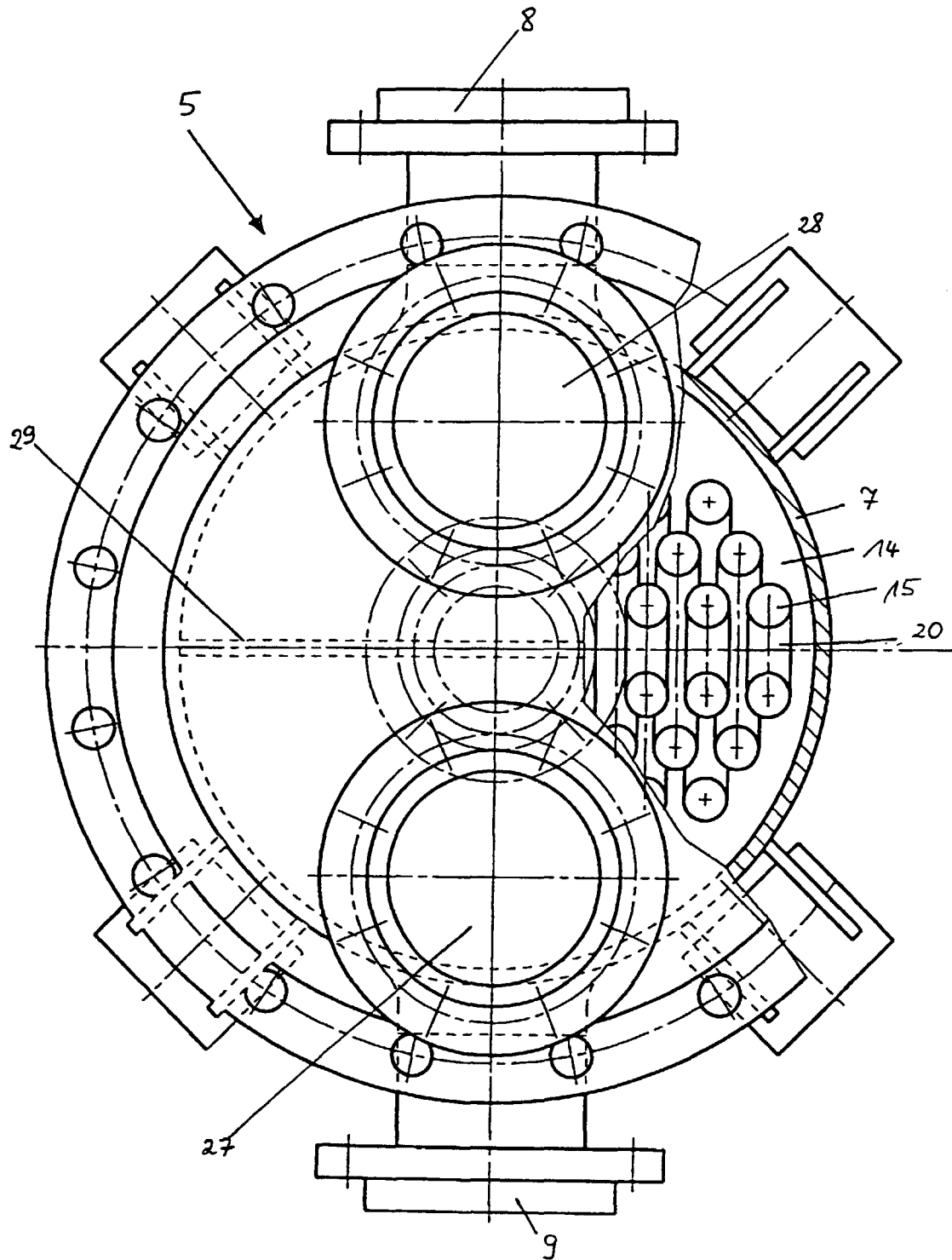


FIG 2

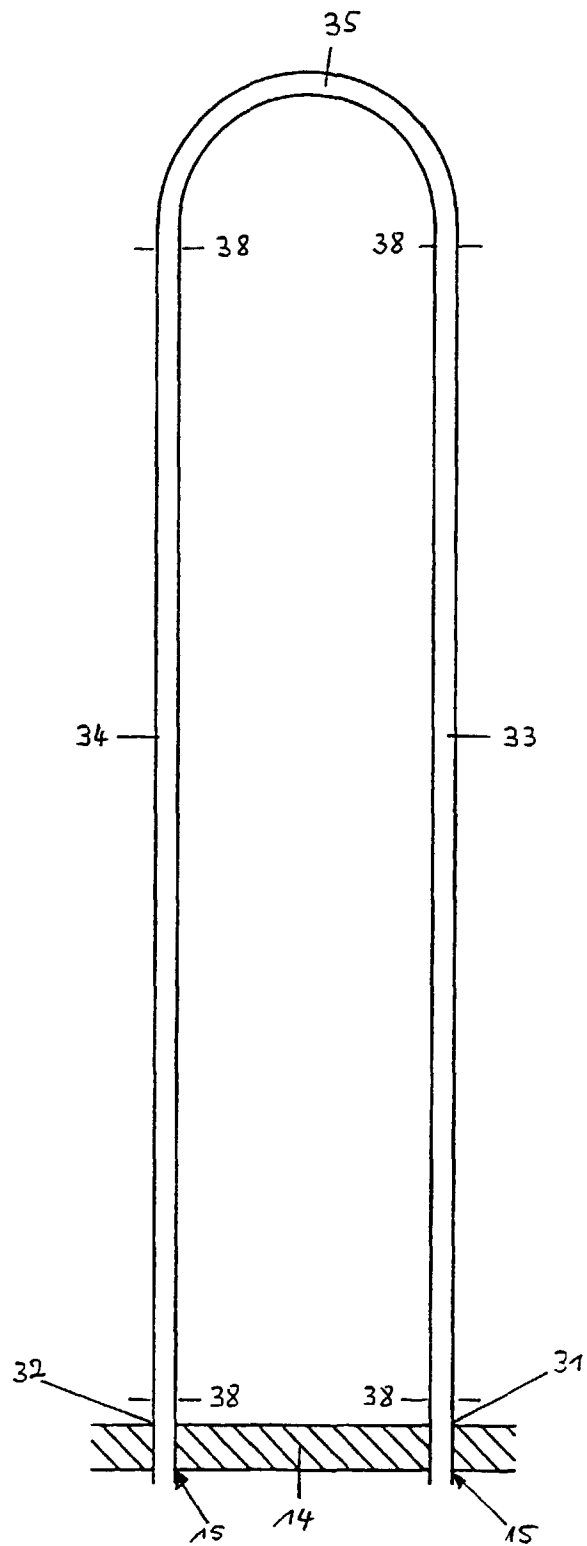


FIG 3