

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Wärmetauscher für den indirekten Wärmeaustausch von zwei gasförmigen Medien, von denen zumindest eines auf die Wärmeaustauschflächen aggressiv wirkende Bestandteile, z. B. schwefelhaltige Säuren, enthält, mit einer von dem einen Medium durchströmbaren Kammer, durch die von dem jeweils anderen Medium durchströmbare Rohre hindurchgeführt sind, deren Rohrenden in mindestens einem die Medien voneinander trennenden Rohrboden gas- bzw. flüssigkeitsdicht festgelegt sind.

[0002] Derartige Wärmetauscher sind in vielfältigen Ausführungsformen bekannt. Die häufig aus Edelstahl oder einem anderen möglichst korrosionsresistenten Metall bestehenden Rohre sind an ihren Enden durch Rohrböden hindurchgeführt und mit den Rohrböden durch Löten oder Schweißen verbunden. Wenngleich Rohre aus z. B. Edelstahl nach konventionellen Maßstäben korrosionsbeständig sind, gilt dies jedenfalls nicht beim Einsatz als Wärmeübertrager zwischen solchen Gasen oder Flüssigkeiten, die besonders aggressiv wirkenden Bestandteile enthalten, wie z. B. schweflige Säure. Gerade im Bereich der Rauchgasentschwefelung und der Müllverbrennung sind jedoch Wärmeübertrager gefordert, die auch auf Dauer säurehaltigen Gasen widerstehen können, vor allem beim Unterschreiten des Säuretaupunktes.

[0003] Es hat sich herausgestellt, daß auf Dauer, abgesehen von Kunststoffen, allenfalls hochwertige Edelstähle als Werkstoff geeignet sind, aggressiv wirkenden Bestandteilen in Gasen oder Flüssigkeiten zu widerstehen. Solche Wärmetauscher sind z. B. aus der DE 37 22 520 A1 und der DE 25 54 646 A1 bekannt, Kunststoff ist allerdings ein prinzipiell schlechter Wärmeleiter und daher für den Einsatz in den Wärmeübertragungsflächen von Wärmetauschern vom Grundsatz her nicht sehr geeignet. Um überhaupt annehmbare Wärmeübergangszahlen bei Wärmetauscherrohren aus Kunststoff zu erzielen, muß die Rohrwanddicke sehr gering ausfallen. Solchen dünnwandigen Kunststoffrohren sind jedoch aus Gründen der Festigkeit und der Fertigungsmöglichkeiten Grenzen gesetzt. Wandstärken von Kunststoffrohren deutlich unter 1 mm lassen sich, wie Versuche gezeigt haben, nicht praxistauglich verwirklichen. Höhere Festigkeiten der Kunststoffrohre lassen sich durch Einsatz von welligen Rohren erzielen, wie dies bei den oben zitierten Druckschriften DE 37 22 520 A1 und DE 25 54 646 A1 der Fall ist. Nachteil solcher wellenförmigen Rohre ist jedoch deren großer Druckabfall auf der Rohrinneenseite sowie die Neigung zu Verschmutzungen.

[0004] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen aus Rohren zusammengesetzten und für aggressive Medien geeigneten Wärmetauscher zu schaffen, der sich rohrrseitig durch geringe Druckverluste und eine geringe Tendenz zur Verunreinigung auszeichnet.

[0005] Zur Lösung dieser Aufgabe wird bei einem

Wärmetauscher der eingangs genannten Art vorgeschlagen, daß die Rohre Kunststoffrohre mit im Längsschnitt ein Zick-Zack-Muster bildenden Rohrwänden sind, wobei die Zick-Zack-Muster auf der Rohrinneenseite und der Rohraußenseite zueinander korrespondierend verlaufen, und daß die auf der Rohrinneenseite nach schräg unten weisenden Flanken des Zick-Zack-Musters einen geringeren Winkel zur Rohrmittelachse aufweisen, als die nach schräg oben weisenden Flanken.

[0006] Derartig gestaltete Kunststoffrohre zeichnen sich durch eine relativ hohe Festigkeit aus, wobei sie sich wegen des auf der Rohrinneenseite und der Rohraußenseite korrespondierend zueinander verlaufenden Zick-Zack-Musters bei ausreichender Festigkeit mit relativ geringen Wandstärken realisieren lassen. Zur Anwendung in einem Wärmetauscher im Rahmen der Rauchgasentschwefelung eines Kraftwerks können solche Kunststoffrohre mit einer Nennweite von bis zu 120 mm und einer Wandstärke von nur 0,4 mm eingesetzt werden. Infolge der Zick-Zack-förmigen Gestaltung der Rohrwände wird trotz der geringen Wandstärke eine ausreichende Festigkeit gegenüber den in dem Wärmetauscher herrschenden Strömungsrücken und gegebenenfalls Schwingungen erreicht.

[0007] Durch die Gestaltung der Flanken des Zick-Zack-Musters mit einander abwechselnden, unterschiedlich großen Flankensteigungen wird erreicht, daß beim Durchströmen der Rohre die Druckverluste nur gering ausfallen. Auch die Tendenz zur Verunreinigung ist gering, da Strömungsturbulenzen erzeugt werden, die ein unerwünschtes Absetzen von Ablagerungen auf der Rohrinneenseite verhindern.

[0008] Im Bezug auf die angestrebten geringen Druckverluste im Rohrinneeren sowie eine geringe Tendenz zur Verunreinigung ist es von Vorteil, wenn der Winkel der auf der Rohrinneenseite nach schräg oben weisenden Flanken das 1,5 bis 2,5-fache des Winkels der auf der Rohrinneenseite nach schräg unten weisenden Flanken beträgt.

[0009] Das Zick-Zack-Muster kann ringförmig gestaltet sein, also mit über den Umfang des Rohres geschlossenen Flanken. Ebenfalls durchführbar ist eine schraubenartige Gestaltung der Rohrausprägungen.

[0010] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung wird vorgeschlagen, daß die Rohre aus einem schmelzschweißbaren Fluorkunststoff bestehen, vorzugsweise aus PFA (Perfluor-Alkoxyalkan) oder MFA (Trifluor-Methoxy-Perfluoro-Alcoxypolymer).

[0011] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung wird vorgeschlagen, daß sich die Rohre in vertikaler Längsrichtung der Kammer erstrecken, daß mit vertikalem Abstand zu dem Rohrboden horizontale Stützelemente in der Kammer befestigt sind, mit denen die Rohraußenseiten der Rohre formschlüssig verbunden sind, und daß die Stützelemente mit Ausnehmungen für jedes Rohr versehen sind, welche die Rohraußenseite des jeweiligen Rohres nur auf einem Teil von dessen Umfang

in formschlüssiger Art und Weise umschließen. Auf diese Weise wird dem Umstand Rechnung getragen, daß Kunststoffrohre mit korrespondierenden, wellenartigen Strukturen auf der Innen- und Außenseite zwar eine hohe Festigkeit in radialer Richtung, d. h. gegen Druckeinwirkung aufweisen, sich jedoch in Längsrichtung eher flexibel verhalten. Um ein "Zusammensacken" der einzelnen Rohre bei vertikaler Anordnung zu vermeiden, werden daher in der Kammer des Wärmetauschers horizontale Stützelemente befestigt, mit denen die Rohraußenseiten der Rohre formschlüssig verbunden sind. Des weiteren wird mit der Ausgestaltung die Montage des Wärmetauschers und insbesondere die formschlüssige Einbindung der Rohre in die Stützelemente deutlich vereinfacht. Hierzu trägt ferner bei, wenn die Stützelemente Horizontalleisten sind, die zu beiden Seiten mit Ausnehmungen für Rohre versehen sind.

[0012] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung wird vorgeschlagen, daß die Rohrenden formschlüssig in dem Rohrboden festgelegt sind, wobei der Formschluß durch die Zick-Zack-Gestalt der Rohre erreicht wird. Dies ermöglicht eine einfache und kostengünstige Verbindungstechnik, wobei in besonders bevorzugter Ausgestaltung in der das jeweilige Rohrende aufnehmenden Öffnung des Rohrbodens ein das Rohrende umschließender Haltering befestigt ist, und der Haltering an seinem Innenrand mit einer umlaufenden Struktur versehen ist, in die die Zick-Zack-Struktur der Rohraußenseite formschlüssig eingreift.

[0013] Ferner wird vorgeschlagen, daß der Rohrboden zumindest an seiner der Kammer zugewandten Seite kunststoffummantelt oder kunststoffbeschichtet ist. Vorzugsweise ist das Rohr mit der Kunststoffschicht kunststoffverschweißt.

[0014] Des weiteren wird vorgeschlagen, daß der Rohrboden in Segmente teilbar gestaltet ist, und daß die Segmente mit Ausnehmungen versehen sind, die die Rohraußenseite des jeweiligen Rohres auf der Hälfte von dessen Umfang formschlüssig umschließen. Dies ermöglicht eine besonders einfache Befestigung der Rohrenden in dem jeweiligen Rohrboden.

[0015] Weitere Einzelheiten und Vorteile werden nachfolgend anhand eines auf der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels erläutert. Auf der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 eine Ansicht eines Wärmetauschers für schwefelhaltige Rauchgase einer Rauchgas-Entschwefelungsanlage;

Fig. 2 einen Schnitt durch den Wärmetauscher nach Fig. 1;

Fig. 3 in einer Detaildarstellung die Befestigung eines der Rohre des Wärmetauschers in einem Rohrboden;

Fig. 4 einen Teilschnitt durch mehrere der Rohre in

einer gegenüber Fig. 3 anderen Horizontalebene, wobei die Rohre in Stützelementen gehalten sind;

5 Fig. 5 eine Draufsicht auf Rohre und Stützelemente der Fig. 4;

Fig. 6 eine im Vergleich zu Fig. 3 und Fig. 4 abgewandelte Befestigung der Rohrenden in einem Rohrboden;

10 Fig. 7 eine im Vergleich zu den vorangehenden Figuren nochmals abgewandelte Befestigung der Rohrenden in einem Rohrboden;

15 Fig. 8 eine im Vergleich zu den vorangehenden Figuren nochmals abgewandelte Befestigung der Rohrenden in einem Rohrboden und

20 Figur 9 eine Draufsicht auf den Rohrboden des Wärmetauschers.

[0016] Der in Fig. 1 in Ansicht und in Fig. 2 im Querschnitt dargestellte Wärmetauscher ist nach Art eines Rohrbündel-Wärmetauschers gestaltet mit einer von den einzelnen Rohren 1 durchsetzten Kammer 2 und Ein- und Auslässen für die beiden am Wärmeaustausch beteiligten Medien. Das erste Medium gelangt über den Einlaß m_{1e} in den Wärmetauscher und verläßt diesen über den Auslaß m_{1a} . Die Verteilung dieses ersten Mediums erfolgt über oben und unten angesetzte Hauben 3 und unter Durchströmung der einzelnen, vertikal angeordneten Rohre 1 des Wärmetauschers. Das zweite am Wärmeaustausch beteiligte Medium gelangt über den Einlaß m_{2e} in den Wärmetauscher, durchströmt unter Umlenkung zweimal den Innenraum der Kammer 2 und verläßt den Wärmetauscher wieder über den Auslaß m_{2a} . Die Führung des zweiten Mediums erfolgt, wie die Strömungspfeile erkennen lassen, im Kreuz-Gegenstrom, jedoch ist ebenso eine Kreuzstrom- oder eine Gegenstromführung möglich.

[0017] Die Befestigung der Rohre 1 im Bereich des oben angeordneten Einlasses m_{1e} sowie des unten angeordneten Auslasses m_{1a} erfolgt an dortigen, horizontal sich erstreckenden Rohrböden 4, die daher, ebenso wie die Rohre 1, die beiden beteiligten Medien voneinander trennen.

[0018] In Fig. 3 ist die Befestigung eines der Rohre 1 in dem in diesem Fall oberen Rohrboden 4 dargestellt. Bei dem Rohr 1 handelt es sich um ein Kunststoffrohr aus einem schmelzschweißbaren Fluorkunststoff, z.B. aus PFA (Perfluor-Alkoxyalkan) oder MFA (Trifluor-Methoxy-Perfluoro-Alcoxypolymer). Das Kunststoffrohr ist nach Art eines Wellrohres geformt, wobei die zick-zackförmig gestalteten Wellen 5, wie Fig. 3 in Gestalt eines zeichnerischen Ausbruchs erkennen läßt, auf der Rohrinnenseite und der Rohraußenseite zueinander korrespondierend mit gleichbleibender Wanddicke d verlau-

fen. Diese Wanddicke d beträgt zwischen 0,25 und 0,75 mm, z.B. ca. 0,4 mm bei einem Rohr mit Nenndurchmesser bis zu 120 mm. Das Verhältnis zwischen maximalem Rohraußendurchmesser d_a und minimalem Rohrrinnendurchmesser d_i beträgt zwischen 1,2 : 1 und 1,5 : 1.

[0019] Die zick-zack-förmig gestalteten Wellen 5 setzen sich jeweils aus einer längeren Flanke 6 sowie einer kürzeren Flanke 7 zusammen, die zueinander in einem Winkel stehen, der ca. 90° beträgt. Der in Bezug auf die Rohrmittelachse 1a gemessene Winkel β der auf der Rohrrinnenseite schräg nach oben weisenden, kürzeren Flanke 7 beträgt das 1,3 bis 2-fache des Winkels α der auf der Rohrrinnenseite nach schräg unten weisenden längeren Flanke 6. Insbesondere beträgt das Verhältnis der Höhe H der längeren Flanke 6 zu der Höhe h der kürzeren Flanke 7 zwischen 2 : 1 und 4 : 1, vorzugsweise 3 : 1.

[0020] Der geringere Winkel α hat den Vorteil, daß sich die die Rohre 1 von oben nach unten durchlaufende Strömung gut an die Flanken 6 anschmiegen kann. Die kürzeren Flanken 7 wiederum führen zu einer Turbulenzbildung in diesem Bereich und bewirken, daß sich im Bereich der Flanken 7 keine Ablagerungen an der Rohrrinnenseite festsetzen können.

[0021] In Fig. 3 ist die Festlegung eines glattflächigen Rohrendes 8 im oberen Rohrboden 4 dargestellt. Eine entsprechende Festlegung kann auch im unteren Rohrboden vorgesehen sein. Der Rohrboden 4 ist sowohl auf seiner Oberseite, wie auch auf seiner Unterseite jeweils mit einer Kunststoffschicht 9a, 9b versehen. Im Bereich jeder Durchgangsbohrung zu den Durchführungen des Rohres sind die beiden Kunststoffschichten 9a, 9b überlappend ausgebildet. An der oberen umlaufenden Kante der Durchgangsbohrung ist eine Schweißnaht 10 zur gas- bzw. flüssigkeitsdichten Verbindung des Rohrendes 8 mit der Kunststoffschicht 9a gezogen.

[0022] Eine andere Ausführungsform der Verbindung zwischen Rohr 1 und Rohrboden 4 ist in Fig. 6 dargestellt. Die Durchgangsöffnung 11 ist hierbei im Durchmesser etwas größer gestaltet und bietet Platz für einen Haltering 12, welcher sowohl mit der oberen Kunststoffschicht 9a, wie auch mit der unteren Kunststoffschicht 9b verschweißt ist. Der Haltering 21, der vorzugsweise ebenfalls aus Fluorkunststoffen wie PFA oder MFA besteht, ist an seinem Innenrand mit einer umlaufenden Struktur 13 versehen, in die die wellenförmige Rohraußenseite formschlüssig eingreift. Hierzu weist auch die Struktur 13 des Halterings 12 zick-zack-förmige Wellentäler und Wellenberge entsprechend der korrespondierenden Kontur des Rohres 1 auf.

[0023] Bei der Ausführungsform nach Fig. 7 ist die oben auf dem Rohrboden 4 angeordnete Kunststoffschicht zu einer Kunststoffplatte 14 vergrößert. Diese ist mit einem Innenrand 15 versehen, der formschlüssig in die Struktur der Außenfläche des Rohrs 1 eingreift.

[0024] Fig. 2 läßt erkennen, daß das Rohrbündel in bestimmten vertikalen Abständen mit sich horizontal er-

streckenden Stützelementen 17 gesichert ist. Die Stützelemente 17 sind in geeigneter Weise in der Kammer 2 befestigt. Einzelheiten der Stützelemente 17 lassen sich anhand der Fign. 4 und 5 erläutern. Danach besteht jedes Stützelement aus einer sich horizontal erstreckenden Leiste, die zu beiden Seiten hin mit Ausnehmungen 18 für die Rohre versehen ist. Die Ausnehmungen haben, da die Rohre beim Ausführungsbeispiel einen kreisrunden Querschnitt aufweisen, ebenfalls die Kontur eines Kreisabschnittes. Auf diese Weise umschließt jede Ausnehmung 18 die Außenseite des betreffenden Rohres 1 auf einem Teil von dessen Umfang.

[0025] Insbesondere Fig. 4 läßt erkennen, daß die leistenförmigen Stützelemente 17 im Bereich der Ausnehmungen 18 eine Querschnittskontur aufweisen, die wiederum der aus Wellentälern und Wellenbergen bestehenden Außenkontur der Rohre 1 entspricht. Auf diese Weise ist jedes Rohr 1 in vertikaler Richtung formschlüssig mit insgesamt zwei Stützelementen 17 gekoppelt, so daß die Rohre im Bereich der Stützelemente weder Horizontalbewegungen noch Vertikalbewegungen ausführen können.

[0026] Die beschriebenen Kunststoffrohre ermöglichen im Vergleich zu herkömmlichen, glatten Rohren eine Materialersparnis in der geringen Wandstärke und wegen des besseren Wärmeübergangswertes, welcher u. a. aus den verstärkten Verwirbelungen der Gase an den Flanken 7 der Kunststoffrohre resultiert. Desweiteren erhöht sich infolge der Welligkeit der Kunststoffrohre deren Oberfläche erheblich, abhängig vom Verhältnis d_a/d_i . Bei gleicher Leistung kann daher der Wärmetauscher kleiner und kompakter gestaltet werden.

[0027] Desweiteren treten weniger Probleme bei der Wärmeausdehnung auf, als bei einem herkömmlichen, mit Glattrohren versehenen Wärmetauscher. Grundsätzlich kommt es wegen der stark unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten des aus Stahl bestehenden Gehäuses der Kammer einerseits und der Kunststoffrohre andererseits zu starken Spannungen zwischen den Rohren und dem Gehäuse. Diese Spannung können z. B. über eine schwimmende Lagerung der Rohrböden kompensiert werden, jedoch ist diese Lösung aufwendig, führt zu erheblichen Herstellungskosten und bereitet überdies Dichtungsprobleme. Bei Verwendung eines zick-zack-förmig gestalteten Kunststoffrohres treten diese Probleme nicht auf, da sich das Rohr aufgrund seiner Formgebung den Ausdehnungen des Stahlgehäuses der Kammer anpassen kann.

[0028] In der Figur 9 ist eine Variante des Rohrbodens 4 dargestellt. Dieser besteht aus einzelnen, parallel zueinander in derselben Ebene angeordneten Segmenten 19. Ähnlich wie die voranstehend bereits erläuterten Stützelemente handelt es sich auch bei den Segmenten 19 um horizontale Leisten, die zu beiden Seiten hin mit Ausnehmungen 20 für die Rohre versehen sind. Benachbarte Segmente stoßen aneinander, so daß die Ausnehmungen 20 bei Rohren mit kreisrundem Querschnitt die Kontur eines Halbkreises aufweisen. Auf die-

se Weise umschließt jede Ausnehmung 20 die Außen-
seite des betreffenden Rohres 1 auf der Hälfte von des-
sen Umfang. An den Stoßkanten 21 sind die einzelnen
Segmente 19 in geeigneter Weise zueinander abge-
dichtet. Verspannt werden die Segmente 19 miteinander
durch lange Bolzen 22, die sämtliche Segmente 19
horizontal durchdringen.

Bezugszeichenliste

[0029]

1	Rohr
1a	Rohrmittelachse
2	Kammer
3	Haube
4	Rohrboden
5	Welle
6	längere Flanke
7	kürzere Flanke
8	Rohrende
9a	Kunststoffschicht
9b	Kunststoffschicht
10	Schweißnaht
11	Durchgangsöffnung
12	Haltering
13	Struktur
14	Kunststoffplatte
15	Sicherungsring
17	Stützelement
18	Ausnehmung
19	Segment
20	Ausnehmung
21	Stoßkante
22	Bolzen
d	Wanddicke des Rohres
d _a	Rohraußendurchmesser
d _i	Rohrinnendurchmesser
H	Höhe
h	Höhe
m _{1e}	Einlaß
m _{1a}	Auslaß
m _{2e}	Einlaß
m _{2a}	Auslaß

Patentansprüche

1. Wärmetauscher für den indirekten Wärmeaus-
tausch von zwei gasförmigen Medien, von denen
zumindest eines auf die Wärmeaustauschflächen
aggressiv wirkende Bestandteile, z. B. schwefelhal-
tige Säuren, enthält, mit einer von dem einen Me-
dium durchströmbaren Kammer (2), durch die von
dem jeweils anderen Medium durchströmbare Roh-
re (1) hindurchgeführt sind, deren Rohrenden (7) in
mindestens einem die Medien voneinander tren-

nenden Rohrboden (4) gas- bzw. flüssigkeitsdicht
festgelegt sind,

dadurch gekennzeichnet,

daß die Rohre (1) Kunststoffrohre mit im Längs-
schnitt ein Zick-Zack-Muster bildenden Rohrwän-
den sind, wobei die Zick-Zack-Muster (5) auf der
Rohrinnenseite und der Rohraußenseite zueinan-
der korrespondierend verlaufen, und daß die auf
der Rohrinnenseite nach schräg unten weisenden
Flanken (6) des Zick-Zack-Musters einen geringe-
ren Winkel (α) zur Rohrmittelachse (1a) aufweisen,
als die nach schräg oben weisenden Flanken (7).

2. Wärmetauscher nach Anspruch 1, **dadurch ge-
kennzeichnet, daß** der Winkel (β) der auf der Roh-
rinnenseite nach schräg oben weisenden Flanken
(7) das 1,3 bis 2-fache des Winkels (α) der auf der
Rohrinnenseite nach schräg unten weisenden Flan-
ken (6) beträgt.

3. Wärmetauscher nach Anspruch 1 oder Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet, daß sich das Zick-
Zack-Muster (5) spiralförmig bzw. schraubenförmig
über den Umfang des Rohres (1) erstreckt.

4. Wärmetauscher nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, daß die Rohre aus ei-
nem schmelzschweißbaren Fluorkunststoff besteh-
en, vorzugsweise aus PFA (Perfluor-Alkoxyalkan)
oder MFA (Trifluor-Metoxy-Perfluoro-Alcoxypoly-
mer).

5. Wärmetauscher nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, daß die Dicke (d) der
Rohrwände 0,25 bis 0,75 mm beträgt, vorzugswei-
se 0,4 mm.

6. Wärmetauscher nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet, daß sich die Rohre (1)
in vertikaler Längsrichtung der Kammer (2) erstrek-
ken, daß mit vertikalem Abstand zu dem Rohrboden
(4) horizontale Stützelemente (17) in der Kammer
(2) befestigt sind, mit denen die Rohraußenseiten
der Rohre (1) formschlüssig verbunden sind, und
daß die Stützelemente (17) mit Ausnehmungen
(18) für jedes Rohr (1) versehen sind, welche die
Rohraußenseite des jeweiligen Rohres (1) nur auf
einem Teil von dessen Umfang formschlüssig um-
schließen.

7. Wärmetauscher nach Anspruch 6, **dadurch ge-
kennzeichnet, daß** die Stützelemente (17) Hori-
zontalleisten sind, die zu beiden Seiten mit Ausneh-
mungen (18) für Rohre (1) versehen sind.

8. Wärmetauscher nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet, daß die Rohrenden (7)
formschlüssig in dem Rohrboden (4) festgelegt

sind, wobei der Formschluß durch die Zick-Zack-Gestalt der Rohre (1) erreicht wird.

9. Wärmetauscher nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, daß** in der das jeweilige Rohrende (7) aufnehmenden Öffnung (11) des Rohrbodens (4) ein das Rohrende (7) umschließender Haltering (12) befestigt ist, und daß der Haltering (12) an seinem Innenrand mit einer umlaufenden Struktur (13) versehen ist, in die die zick-zack-förmige Rohraußen-
seite formschlüssig eingreift. 5
10
10. Wärmetauscher nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Rohrboden (4) zumindest an seiner der Kammer (2) zugewandten Seite mit einer Kunststoffschicht (9b, 9a) versehen ist. 15
11. Wärmetauscher nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Rohr (1) mit der Kunststoffschicht (9b, 9a) kunststoffverschweißt ist. 20
12. Wärmetauscher nach einem der Ansprüche 1 bis 8 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Rohrboden (4) in Segmente (19) teilbar gestaltet ist, und daß die Segmente (19) mit Ausnehmungen (20) versehen sind, die die Rohraußen-
seite des jeweiligen Rohres (1) auf der Hälfte von dessen Umfang formschlüssig umschließen. 25
30
13. Wärmetauscher nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Verhältnis zwischen maximalem Rohraußendurchmesser (d_a) und minimalem Rohrinne-
durchmesser (d_i) zwischen 1,2 : 1 und 1,5 : 1 beträgt. 35

40

45

50

55

Fig.1

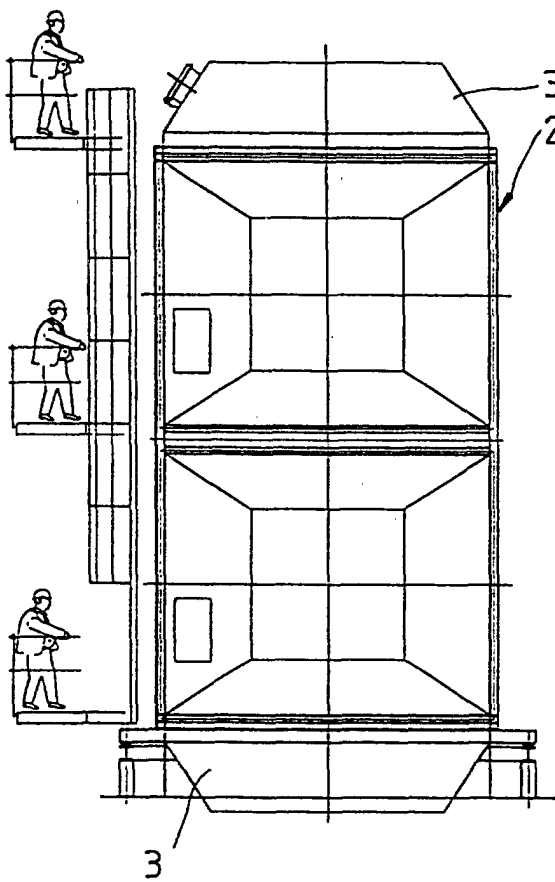
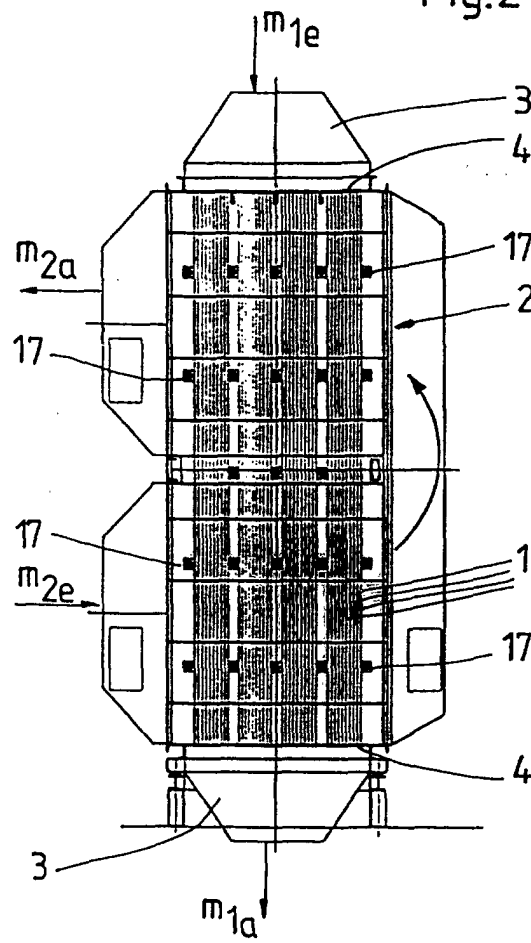


Fig.2



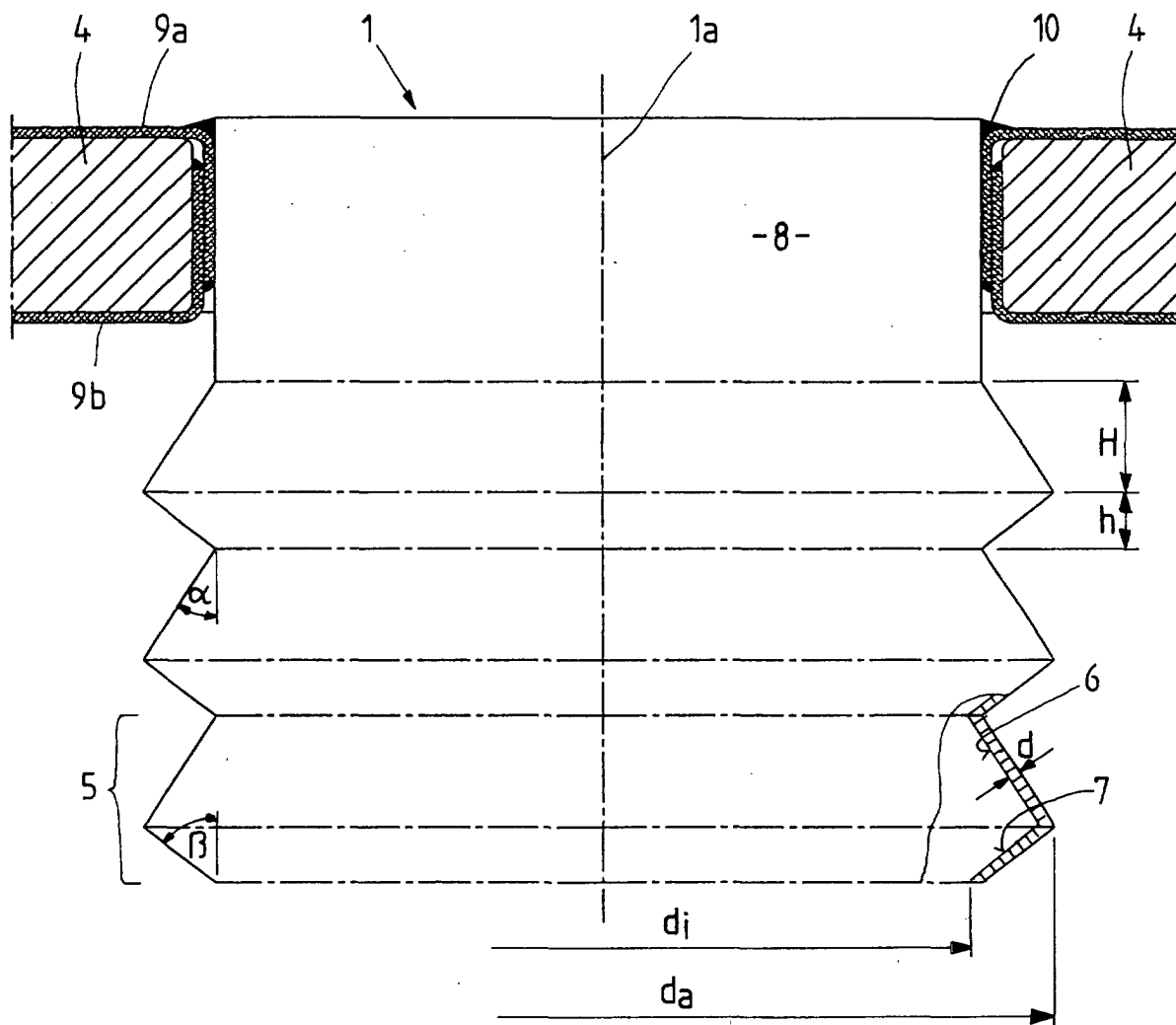


Fig. 3

Fig. 4.

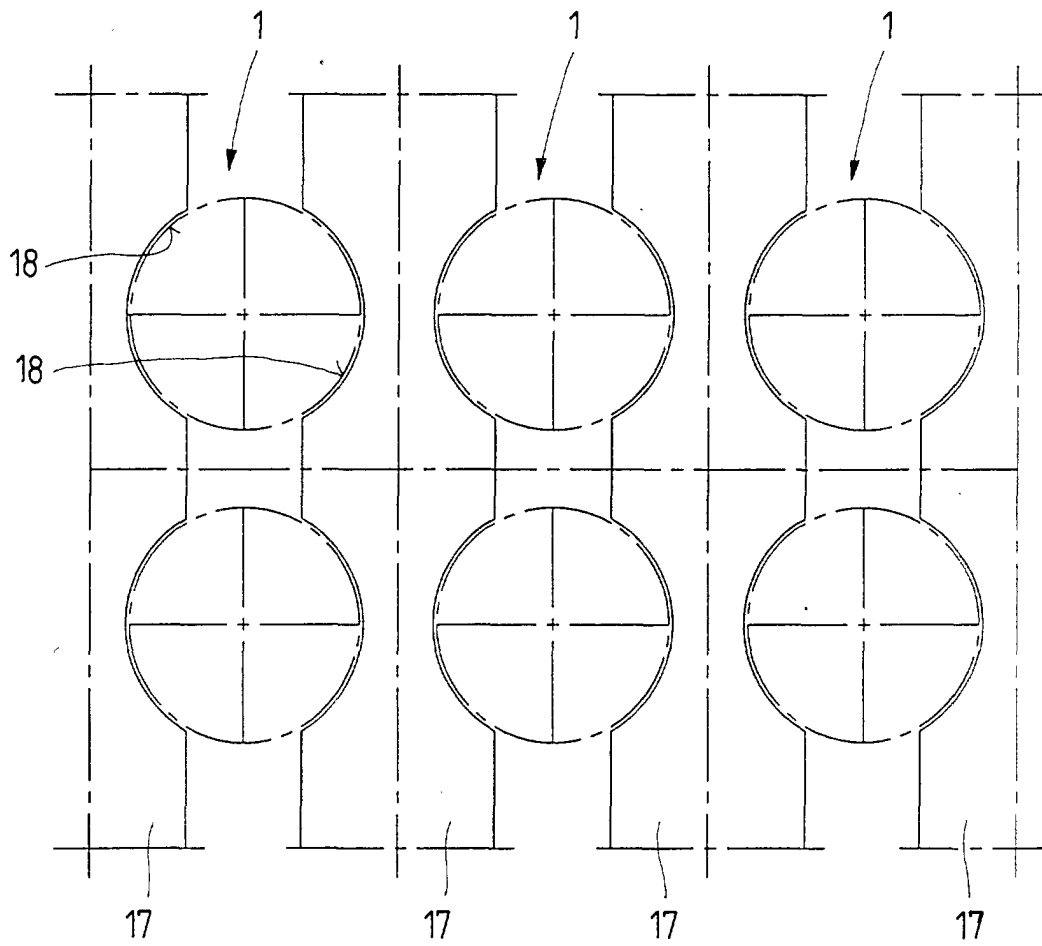
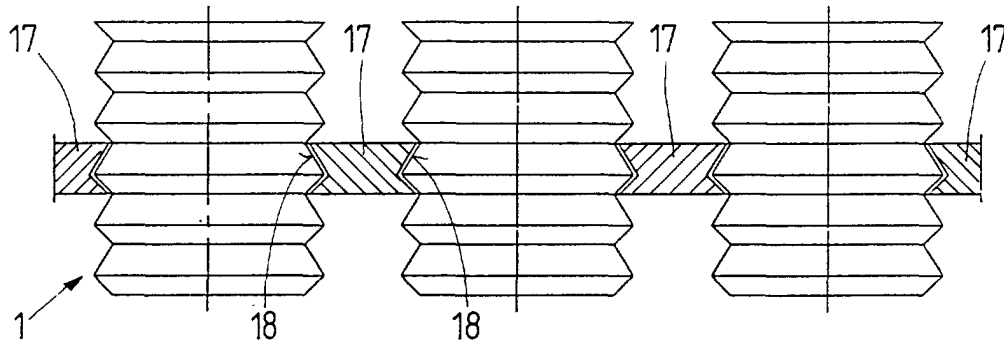


Fig. 5

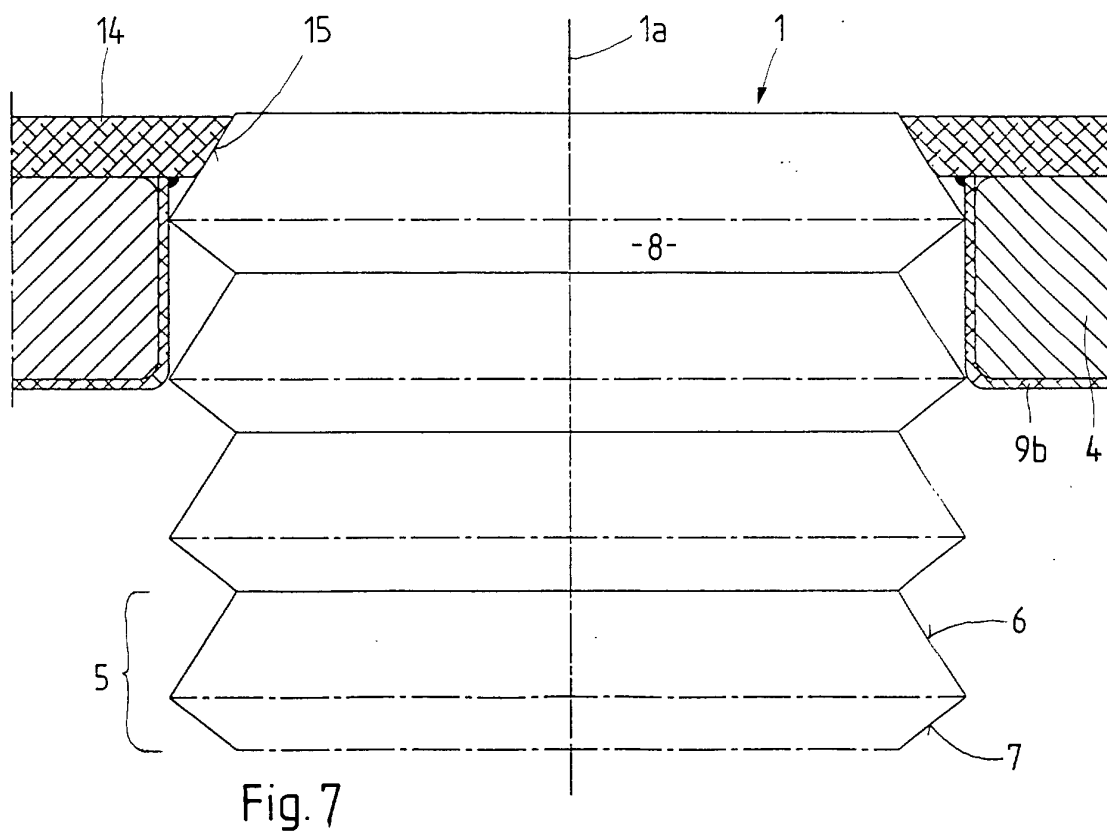
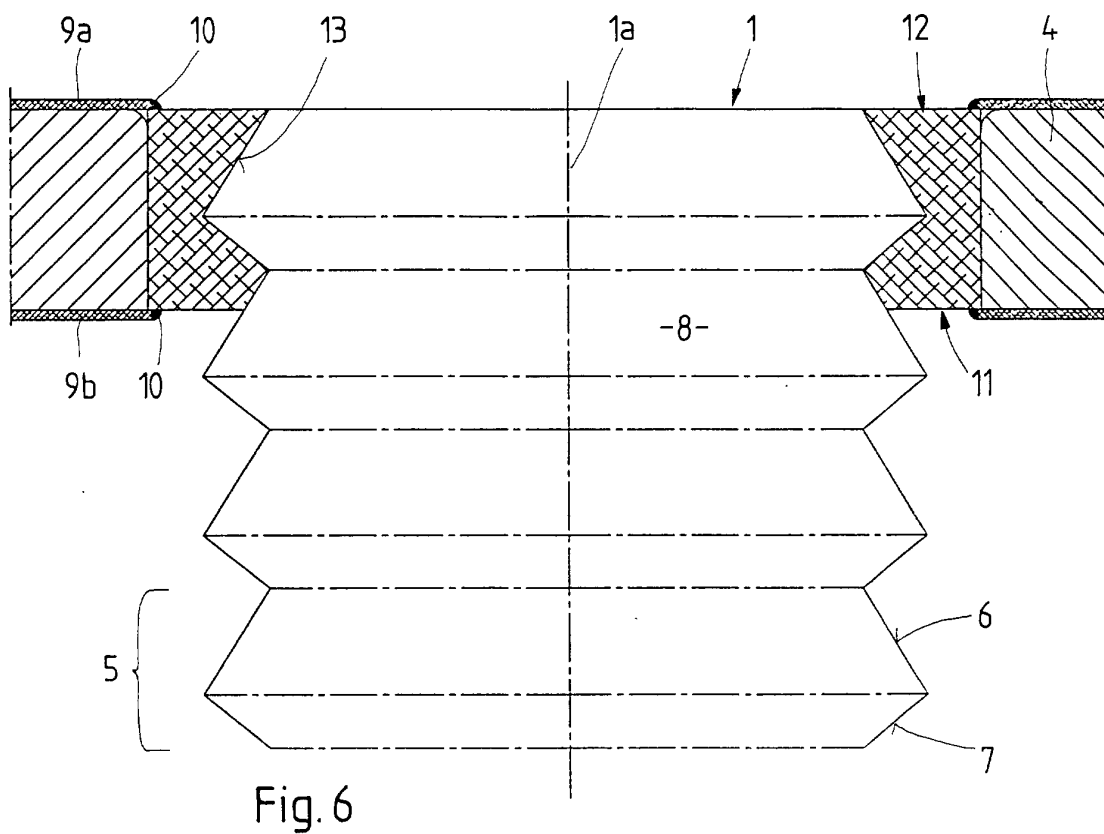


Fig. 8

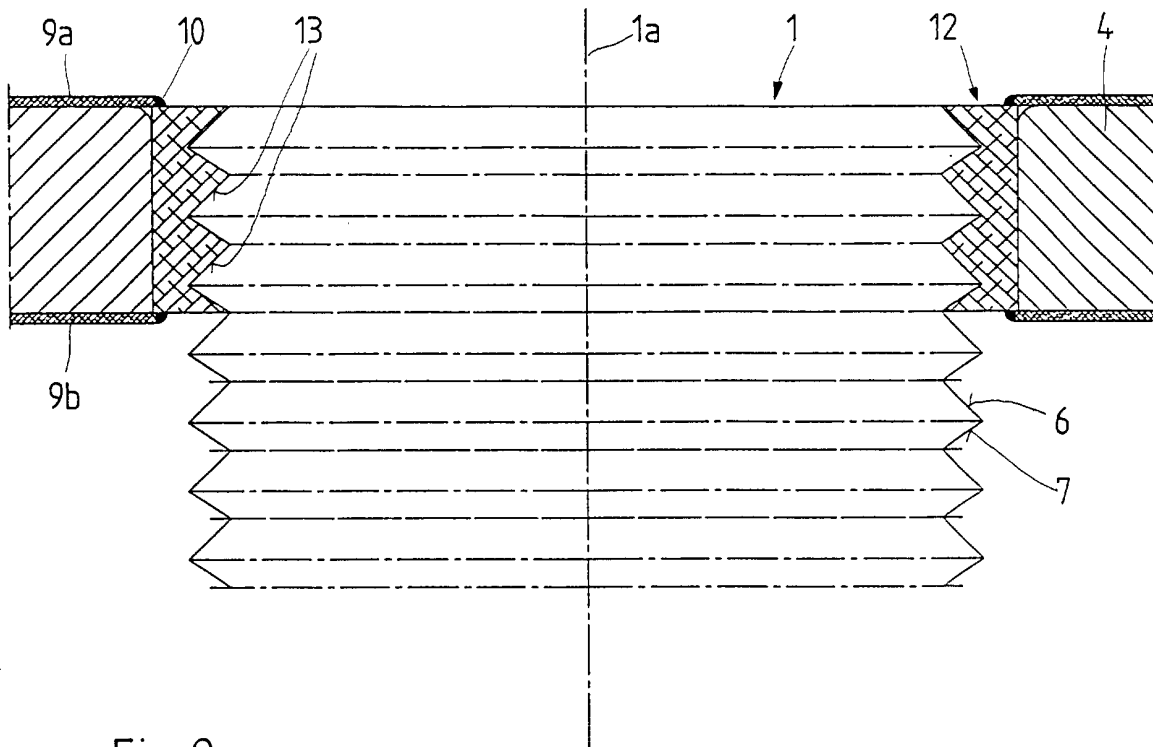


Fig. 9

