

⑰



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

⑪

Veröffentlichungsnummer: **0 265 726**
B1

⑫

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

④⑤

Veröffentlichungstag der Patentschrift:
26.09.90

⑤①

Int. Cl.⁵: **F28D 7/06**

②①

Anmeldenummer: **87114629.6**

②②

Anmeldetag: **07.10.87**

⑤④

Wärmetauscher.

③①

Priorität: **20.10.86 DE 3635548**

④③

Veröffentlichungstag der Anmeldung:
04.05.88 Patentblatt 88/18

④⑤

Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
26.09.90 Patentblatt 90/39

⑧④

Benannte Vertragsstaaten:
FR GB IT NL

⑤⑥

Entgegenhaltungen:
BE-A- 685 939
FR-A- 830 829
FR-E- 52 074
GB-A- 2 130 355
US-A- 3 007 679
US-A- 3 360 037

⑦③

Patentinhaber: **MTU MOTOREN- UND TURBINEN-UNION**
MÜNCHEN GMBH, Dachauer
Strasse 665 Postfach 50 06 40, D-8000 München 50(DE)

⑦②

Erfinder: **Hagemelster, Klaus, Manzostrasse 28b,**
D-8000 München 50(DE)
Erfinder: **Hueber, Alfred, Nebelhornstrasse 4,**
D-8901 Merching(DE)

EP 0 265 726 B1

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt 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).

Beschreibung

Bei einem aus der GB-A 2 130 355 bekannten Profilrohr-Wärmetausch der Kreuz-Gegenstrom-Bauweise, bestehend aus einem Kollektiv von Rohrbügeln, die ein geordnetes Matrixfeld bilden, lassen sich im Hinblick auf die Durchströmung zwei Matrix-Bereiche unterscheiden:

Der Bereich der im wesentlichen geradlinigen Schenkel, der den eigentlichen und regulär durchströmten Bereich des Kreuz-Gegenstrom-Wärmetauschers darstellt, und außerdem der bei dieser Bauweise aus konstruktiven Gründen notwendige Bogenbereich, in dem die dem gekrümmten Verlauf der Rohrbögen folgenden Profilrohre von dem außen geradlinig, quer strömenden Fluid (Heißgas) in örtlich unterschiedlicher Richtung umströmt werden.

Die gegenseitige Stellung der Profilrohre im Strömungsfeld der Wärmetauschermatrix wird durch die Erfordernisse der Querströmung im Schenkelbereich der Rohrbügel bestimmt. Diese Zuordnung bleibt auch im Verlaufe der gekrümmten Rohrführung im Bogenbereich erhalten. Da das Außenmedium (Heißgas) jedoch auch hier im wesentlichen der Richtung der Querströmung, wie sie im Schenkelbereich vorherrscht, folgt, trifft es dabei örtlich auf Strömungsquerschnitte, die erheblich von denen des Schenkelbereiches abweichen.

Besonders deutlich wird das beim Vergleich der effektiv offenen Strömungsquerschnitte des regulär durchströmten Schenkelbereiches mit denen im Zenit der Rohrbögen, in dem das Rohrfeld demgegenüber um 90° gedreht zur Außen- bzw. Heißgasströmung verläuft.

Demzufolge ergibt sich der Nachteil, daß das Heißgas bevorzugt durch den Bogenbereich strömt, wodurch eine unerwünschte Verschiebung der Massenstromverteilung zu Gunsten dieses Bereiches erfolgt.

Die Gründe für diesen Nachteil lassen sich im Detail weiter wie folgt beschreiben:

– Zerlegt man die Querströmung des außen strömenden Heißgases gedanklich in Stromröhren gleichen Querschnitts, so treffen Stromröhren des Bogenbereiches auf effektiv offene Querschnitte, die größer sind als diejenigen im regulär durchströmten Bereich, der durch die geradlinig verlaufenden Matrixstränge charakterisiert ist.

– Im äußeren Gebiet des Bogenbereiches der Matrix ist der Weg der Strömung kürzer (ca. der Länge der Sehne des jeweiligen Bogenabschnittes entsprechend) und daher der Strömungswiderstand geringer.

– Im Bogenbereich sind die hydraulischen Durchmesser der Heißgaspassagen größer und deshalb die Strömungswiderstände vergleichsweise geringer.

– Der Charakter der Wandströmung des Heißgases entlang der Profilrohre ist im Bogenbereich – gegenüber dem regulär durchströmten Bereich – anders, da die Lauflänge der Grenzschicht längs der Profilrohre länger ist. Demgegenüber werden im regulär durchströmten Bereich die Grenzschichten beim Wechsel vom einen umströmten Profil zum in Richtung der Querströmung nachgeordneten weiteren

Profil ständig neu aufgebaut.

Ein weiterer wesentlicher Nachteil vorstehend behandelter bekannter Wärmetauscherkonzepte ist es, daß über verhältnismäßig weite Teile des Matrixbogenbereiches kein exakt definierbarer Kreuz-Gegenstrom-Wärmetauschprozeß realisierbar ist.

Bei einem aus der FR-A 52 074 bekannten, für Warm-Wasser-Aufbereitung vorgesehenen Wärmetauscher in Kreuz-Gegenstrom-Bauweise ist eine zeitlich von Sammelrohren U-förmig ins Feuerungsabgas hineinragende Rohrmatrix vorgesehen, deren Rohre in einem im wesentlichen geradschenkeligen Bereich in gleichförmigen verhältnismäßig großen gegenseitigen Abständen und im bogenförmig mittleren Umlenkbereich in verhältnismäßig geringen gleichförmigen gegenseitigen Abständen angeordnet sind. Dieser bekannte Fall sieht ferner als Rohrhalter in räumlich gestaffelt versetzter Anordnung an der Matrix ausgebildete aerodynamische "Schikanen" vor, die in Kombination mit an der Innenseite und an der Außenseite einen Teil des äußeren Matrixbogens umfassenden Abdeckungen eine vorgegebene Zwangsführung von Verbrennungsgas hervorrufen sollen; mithin soll im bekannten Fall eine örtliche Steigerung der Heißgasverweilzeiten erreicht werden, was sich letztlich in einem indifferenten "schlangelinienförmigen" Heißgasströmungsverlauf an der Matrix äußert; es hat dort also eine ausgeprägtere Richtung der Strömung zum Bogenbereich hin die Vernachlässigung einer "regulären" Strömung an den geradschenkeligen Rohrsträngen der Matrix zur Folge. Die Erzielung einer im Sinne einer Hauptströmungsrichtung quer durchströmbarer Matrix mit gleichförmiger Verteilung der Heißgase auf die Gesamtmatrix unter gleichzeitiger Optimierung des Wärmeaustauschprozesses im Hinblick auf den aerodynamisch "kritischen" Bogenbereich ist aus dem bekannten Fall nicht herleitbar.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Wärmetauscher nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 anzugeben, der insbesondere im Hinblick auf die Ausbildung des bogenförmigen Matrixumlenkbereiches einen vergleichsweise hohen Wärmeaustauschgrad ermöglicht.

Die gestellte Aufgabe ist durch die Merkmale des Kennzeichnungsteils des Patentanspruchs 1 erfindungsgemäß gelöst.

Mit der angegebenen Lösung kann also die eingangs zu Bekanntem erwähnte ungleichförmige Heißgas-Massenstromverteilung zwischen den geradschenkeligen Sektionen und dem bogenförmigen Umlenkbereich der Matrix besonders ausgeprägt vergleichmäßig werden.

Das quer durch die Matrix strömende Heißgas findet so, insbesondere im Zenit des Bogenbereiches, an diesen Stellen vergleichsweise geringe Durchströmquerschnitte vor und wird deshalb veranlaßt, mehr in die tiefer liegenden Gebiete des Bogenbereiches – also in Richtung auf die Bügel mit den kleineren Biegeradien – auszuweichen. Damit erfolgt die Durchströmung des Bogenbereiches nicht mehr allein längs der Sehnen der Kreisbögen, sondern es entsteht vorzugsweise an den äußeren Bögen mit größerem Radius – eine starke Querströ-

mungskomponente. Das in diesem Falle besonders stark verdichtete Gebiet im Zenit der betreffenden Rohrbögen, außen, stellt damit den Kern einer nur schwach durchströmten Zone dar.

Diese schwach durchströmte Zone kann – vom äußersten Bogenrand der Profilrohre ausgehend – die natürliche Profilrohrkrümmung etwa pilzförmig entgegengerichtet gekrümmt überschneiden. Bezüglich des bogenförmigen Matrixumlenkbereiches umströmt also die Hauptmasse der heißgase die pilzförmige Zone und fördert somit eine zusätzliche Heißgasquerumströmung der Profilrohre zu Gunsten eines insbesondere auch im äußeren Bogenbereich möglichen Kreuz-Gegenstrom-Wärmetauschprozesses.

Eine weitere vorteilhafte Folge der angegebenen Anordnung ist es, daß eine gehäuseseitige Abdeckung oder eine Berandungsleitwand auf ein verhältnismäßig schmales Gebiet im Zenit des bogenförmigen Matrixumlenkbereiches, bzw. der betreffenden Matrixrohrbögen, beschränkt werden kann.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung gehen aus den Patentansprüchen 2 bis 8 hervor.

Anhand der Zeichnungen ist die Erfindung beispielsweise weiter erläutert; es zeigen:

Fig. 1 ein dem Stand der Technik entnehmbares und der vorliegenden Erfindung als Ausgangsbasis dienendes Wärmetauscherkonzept in perspektivischer, schematischer sowie teilweise aufgeschnittener Darstellung,

Fig. 2 die zur Hälfte sowie matrixseitig teilweise durchbrochen dargestellte Frontansicht des Wärmetauschers nach Fig. 1,

Fig. 3 einen gemäß III–III der Fig. 2 gesehenen Teilschnitt geradschenkeliger Abschnitte der Rohrbügel, worin deren reguläre Staffelung verdeutlicht ist,

Fig. 4 einen gemäß IV–IV gesehenen Teilschnitt im bogenförmigen Umlenkbereich liegender Abschnitte der Rohrbügel, nach Fig. 2,

Fig. 5 die Frontansicht einer kompletten rechten Wärmetauscherhälfte in Rohrbügeldetaillausbildung und -anordnung für eine erste Ausführungsform der Erfindung mit entlang der Bogenmeridiane des Umlenkbereiches der Matrix – von innen nach außen gesehen – sich zunehmend verringernder Rohrbügelbeabstandung,

Fig. 6 einen gemäß Schnitt VII–VII der Fig. 5 gesehenen Ausschnitt des bogenförmigen Umlenkbereiches der Matrix, in der Bogenmeridianebene verlaufend,

Fig. 7 die Frontansicht einer kompletten rechten Wärmetauscherhälfte in Rohrbügeldetaillausbildung und -anordnung für eine zweite Ausführungsform der Erfindung, unter Einschuß im bogenförmigen Matrixumlenkbereich überwiegend elliptisch gekrümmter Rohrabchnitte und sich dabei – von innen nach außen gesehen – fortlaufend gegenseitig sich verringernden Profilrohrabständen,

Fig. 8 einen gemäß Schnitt IX–IX der Fig. 7 gesehenen Ausschnitt des bogenförmigen Umlenkbereiches der Matrix, in der Bogenmeridianebene der Matrix verlaufend,

Fig. 9 einen der Schnittdarstellung nach Fig. 4

entsprechenden Matrixbogenteilausschnitt, unter Verdeutlichung einer gegenseitigen Rohrbügelabstützung durch gegenseitig profillseitig eingebrachte Ausbauchungen und

Fig. 10 ein für die Ausbauchungsherstellung geeignetes, schematisch dargestelltes Formwerkzeug.

Die Erfindung geht von einem Wärmetauscher nach Fig. 1 aus, der aus zwei im wesentlichen parallel nebeneinander angeordneten Druckluftführungen 1, 2 besteht, die hier z.B. als separate Verteiler- bzw. Sammelrohre ausgebildet sind. Gemäß abgedunkelter Kontur sind die Druckluftführungen 1, 2 am jeweils hinteren Ende verschlossen ausgebildet. Die zeitlich von beiden Druckluftführungen 1, 2 quer gegen die Heißgasströmung H auskragende, aus räumlich ineinander verschachtelten U-förmigen, profilrohrartigen Rohrbügeln zusammengesetzte Matrix 3 besteht aus zunächst geradschenkelig parallel zueinander verlaufenden Matrixsträngen 4, 5, die in einen gemeinsamen bogenförmigen Umlenkbereich 6 übergehen. Im Betrieb wird aufzuheizende Druckluft in die obere Druckluftführung 1 eingespeist (D_1), durchströmt dann die geradschenkeligen Matrixstränge 4 (D_2), worauf sie über den Umlenkbereich 6 umgelenkt wird (D_3) und dann in umgekehrter Strömungsrichtung die geradschenkeligen Matrixsträngen 5 durchströmt (D_4), aus denen sie über die untere Druckluftführung 2 in aufgeheiztem Zustand abströmt (D_5), um einem geeigneten Verbraucher, z.B. der Brennkammer eines Gasturbinenriebwerkes, zugeführt zu werden.

Abweichend von Fig. 1 wäre die Erfindung auch bei einem Wärmetauscher praktikabel, bei dem die zuvor genannten Druckluftführungen in ein gemeinsames Sammelrohr oder Verteilerrohr integriert sind, von dem die Matrix beidseitig U-förmig auskragt.

Unter Hinweis auf Fig. 1, 2, 3 und 4 sind die Rohrbügel im bogenförmigen Umlenkbereich 6 der Matrix 3 in geringerem gegenseitigen Abstand angedordnet (Fig. 4) als in den geradschenkelig verlaufenden Matrixsträngen, z.B. 4, Fig. 2 und 3.

Es ergibt sich dabei gemäß Fig. 2 eine Anordnung, bei der die Rohrbügel bezüglich der geradschenkeligen Rohrabchnitte $4_1, 4_2$ bis 4_{10} bzw. $5_1, 5_2$ bis 5_{10} sowie bezüglich der den bogenförmigen Umlenkbereich 6 definierenden Rohrabchnitte $6_1, 6_2$ bis 6_{10} jeweils in einer gemeinsamen Ebene übereinander gestaffelt angeordnet sind; diese Ebene kann im allgemeinen als eine quer zu den Rohrführungen 1, 2 (bzw. Sammel- und Verteilerrohren) verlaufende, also als "Querebene" definiert werden. In einer gemeinsamen Bogenmeridianebene des Umlenkbereiches 6, also in einer Ebene, die dem Schnitt IV–IV (Fig. 2) folgt, sind die Rohrabchnitte $6_1, 6_2$ bis 6_{10} in geringeren gegenseitigen Abständen übereinander gestaffelt angeordnet als die Rohrabchnitte $4_1, 4_2$ bis 4_{10} bzw. $5_1, 5_2$ bis 5_{10} in den geradschenkelig verlaufenden Matrixsträngen 4, 5. Gemäß Fig. 2 ist ferner erkennbar, daß die Rohrbügel bezüglich der im bogenförmigen Umlenkbereich 6 enthaltenen Rohrabchnitte $6_1, 6_2$ bis 6_{10} über- bzw. nebeneinander angeordnet sind.

Genau genommen, besteht gemäß Fig. 2 der bo-

genförmige Umlenkbereich 6 aus halbkreisförmig gekrümmten, von außen nach innen fortlaufend mit 6₁, 6₂ bis 6₁₀ bezifferten Rohrabschnitten; dabei sind die den letzteren jeweils zugeordneten Kreismittelpunkte K₁, K₂ bis K₁₀ bezeichnet und entsprechend der Rohrbeabstandung im Bogenbereich sowie mit Rücksicht auf eine von außen nach innen abnehmende Bogenradiusverriegelung – jeweils pro Querebene – auf einer gemeinsamen Geraden S fortlaufend nach außen verschoben. Nach Fig. 2 sind also die Kreismittelpunkte K₁, K₂ usw. bis K₁₀ in fortlaufend gleichen Abständen auf der Geraden G angeordnet.

Aus Fig. 2 ist also erkennbar, daß die gekrümmten Rohrabschnitte 6₁, 6₂ usw. bis 6₁₀ geometrisch kontinuierlich fluchtend in die zugehörigen geradschenkeligen Rohrabschnitte 4₁, 4₂ bis 4₁₀ bzw. 5₁, 5₂, bis 5₁₀ übergehen; ferner ist aus Fig. 2 ein bezüglich der geradschenkeligen Profilrohrsektionen (4₁ usw. bzw. 5₁ usw.) – von außen nach innen – zunehmender Profilrohrlängengewinn erkennbar, der sich aus der erwähnten fortlaufenden Kreismittelpunktsverschiebung ergibt; mithin liegen in Fig. 2 gleichförmig schräg verlaufende Rohrbasen R, R' vor, die unter jeweils gleichen Neigungswinkeln γ , β gegenüber einer Senkrechten S angestellt sind, die den auf der Geraden G liegenden Kreismittelpunkt K₁ schneidet und ferner durch die gemeinsamen Schnittpunkte S₁, S₂ der Rohrbasen R, R' mit dem mittleren Kreisbogen M des am weitesten außen liegenden Rohrbogenabschnitts 6₁ hindurchgeht.

Gemäß Fig. 3 und 4 greifen die Rohrabschnitte 4₁, 4₂, 4_{1'}, 4_{2'}, der geradschenkeligen Matrixstränge, z.B. 4, und die mit diesem verbundenen zugehörigen Rohrabschnitte 6₁, 6₂, 6_{1'}, 6_{2'}, des Umlenkbereiches 6 jeweils räumlich verschachtelt ineinander: Unter Zugrundelegung einer jeweils gleichen seitlichen Profilrohrbeabstandung ergibt sich gegenüber Fig. 3 (Durchströmfläche F₁) die in Fig. 4 verringerte Heißgasdurchströmfläche F₂. Mit anderen Worten verkörpert Fig. 3 die reguläre und Fig. 4 die sich dabei ergebende engere Profilrohrstaffelung mit entlang der Bogenmeridianebene (Schnitt IV–IV–Fig. 2) gleichförmigem gegenseitigen Rohrabstand im Umlenkbereich 6.

Unter Anwendung der gleichen Bezugszeichen gemäß Fig. 1 und 2 verkörpert Fig. 5 eine erste Ausführungsform der Erfindung mit den daraus resultierenden Auswirkungen auf die Heißgasströmung. Hierzu sei kurz auf die eingangs bereits erwähnten nachteilhaften Kriterien bekannter Wärmetauscherkonzepte im Wege der Nomenklatur nach Fig. 1 eingegangen.

Reguläre optimale Heißgasdurchströmverhältnisse können hierbei lediglich bezüglich der blockartig, geradlinig quer gegen die Heißgasströmung H auskragenden Matrixprofilrohrreihen 4, 5 (Fig. 1) zugrunde gelegt werden. In diesen örtlichen Matrixbereichen sind die einzelnen Profilrohre (U-förmige Rohrbügel) unter Gewährleistung einer vorgegebenen einwandfreien gleichförmigen Heißgasversperung sowie Heißgasdrosselung gleichförmig verschachtelt zueinander angeordnet; die Profilrohrreihen sind also im Rahmen eines einwandfreien

Kreuz-Gegenstrom-Wärmetauschprozesses vom Heißgasstrom H umströmbar.

Infolge der eingangs zu Bekanntem beschriebenen Profilrohranordnung im bogenförmigen Umlenkbereich 6 der Matrix 3 ist dort die Heißgasdrosselung verhältnismäßig gering, es ergibt sich ein Ungleichgewicht hinsichtlich der Heißgas-Massenstromdichte zwischen dem Umlenkbereich 6 und den geradschenkelig verlaufenden Profilrohrreihen 4, 5; der Wärmetauschprozeß Heißgas/Druckluft ist im Umlenkbereich 6 verhältnismäßig ungünstig. Im Bestreben, die Heißgasströmung, zumindest dem Bogenverlauf folgend, an den Profilen entlangströmen zu lassen, wird eine verhältnismäßig lange bogenseitige Berandung erforderlich.

Ferner können die aus dem bogenförmigen Umlenkbereich 6 der Matrix 3 (Fig. 1) mit verhältnismäßig großer Strömungsgeschwindigkeit abfließenden Heißgasanteile die Heißgasabströmung aus der übrigen Matrix mit den überwiegend geradschenkeligem Matrixsträngen beeinträchtigen (Misch-turbulenzen).

Ein konkretes Ausführungsbeispiel der Erfindung hierzu ergibt sich aus den Fig. 5 und 6, wonach die zu den Rohrbügeln gehörenden, den bogenförmigen Umlenkbereich 6 der Matrix definierenden Rohrabschnitte 6₁, 6₂ usw. bis 6₁₀ in der durch den bogenmeridianen Schnitt VII–VII der Fig. 5 in Fig. 6 wiedergegebenen Weise, in Richtung vom innersten Profilrohrbügel mit dem kleinsten Krümmungsbogen (Rohrabschnitt 6₁₀) auf einen äußersten Profilrohrbügel mit dem größten Krümmungsbogen (Profilrohrabschnitt 6₁), in sich fortlaufend verringertem gegenseitigen Abständen in jeweils parallel zueinander verlaufenden Ebenen übereinander liegen. Dabei sind die jeweils einem Profilrohrfeld gemäß Fig. 6 zugehörigen Kreismittelpunkte – in Zuordnung zu den bogenförmigen Rohrabschnitten 6₁, 6₂ und 6₁₀ mit K₁, K₂ bis K₁₀ auf der Geraden G aufgetragen. Im Gegensatz zu Fig. 2 sind in Fig. 5 die Rohrbasen R, R' entsprechend der zunehmenden Mittelpunktsverdichtung (K₁ nach K₁₀) leicht kontinuierlich bogenförmig verlaufend sowie etwa im Sinne von Fig. 2 schräg zur Senkrechten S angestellt.

Es ist Fig. 5 und 6 eine Ausgestaltung des Grundgedankens der Erfindung (Anspruch 1), wonach im bogenförmigen Umlenkbereich 6 der Matrix 3 die weiter außen liegenden, mit vergleichsweise großen Biegeradien ausgestatteten Rohrabschnitte 6₁, 6₂ bzw. 6_{1'}, 6_{2'}, der Rohrbügel stärker ineinander verschachtelt, und damit in geringerem gegenseitigen Abstand angeordnet sind als die mit den vergleichsweise kleinen Biegeradien ausgestatteten inneren Rohrabschnitt 6₉, 6₁₀ bzw. 6_{9'}, 6_{10'} (Fig. 6).

Gemäß der bogenmeridianen Schnittdarstellung des verschachtelt ineinandergreifenden Profilrohrfeldes nach Fig. 6 verkörpern z.B. die schwarz aufscheinenden Heißgasdurchströmflächen H₁ (innerer Teil des Umlenkbereichs 6) sowie H₂ (äußerer Teil des Umlenkbereichs 6) die von innen nach außen sich kontinuierlich fortsetzende Heißgasdurchströmflächenverringering.

Im Rahmen des durch die Fig. 5 und 6 verkörper-

ten Erfindungsgegenstandes kann eine im wesentlichen zentrisch die Profilrohrkrümmung im Bogenbereich entgegengerichtet gekrümmt überschneidende, hier durch Überkreuz-Schraffur verdeutlichte schwach vom Heißgas durchströmte Zone 7 ausgebildet werden. Im Gegensatz zum beschriebenen Stand der Technik kann also gemäß Fig. 5 auch der wesentlichste Teil des bogenförmigen Matrixumlenkbereiches 6 gemäß Pfeilfolge H_1 , H_2 , H_3 vom Heißgas 30 durchströmt werden, daß ein Kreuz-Gegenstrom-Wärmetauschprozeß möglich ist, und zwar dies als Folge der örtlichen gegenseitigen Heißgasdurchström-Querschnittsverringerung (Fig. 6), die wiederum die schwach durchströmte Zone 7 und damit den bogenseitig nach innen ausgebeulten Heißgasströmungsverlauf H_1 , H_2 , H_3 nach sich zieht. Zugleich kann das eingangs zu Bekanntem erwähnte Ungleichgewicht der Massenstromdichte zwischen dem bogenförmigen Umlenkbereich 6 der Matrix 3 und geradschenkeligen Matrixsträngen 4, 5 (Profilrohrabschnitte 4_1 , 4_2 bis 4_{10} bzw. 5_1 , 5_2 bis 5_{10}) im wesentlichen beseitigt und eine ungestörte, homogene Durchströmung der gesamten Matrix 3 bei gleichzeitig ferner im wesentlichen gleichen Abströmgeschwindigkeiten sämtlicher Heißgasanteile aus der Matrix 3 erzielt werden (Heißgasflußfolge H_1 , H_2 , H_3 , H_4 , H_5).

Gemäß Fig. 5 kann eine z.B. als mittelbarer oder unmittelbarer Bestandteil eines die Heißgase führenden Gehäuses ausgebildete Berandung 8 entlang der äußeren Rohrbögen 6_1 der Matrix 3 verhältnismäßig kurz, d.h. im Bogensinne verlaufend kurz, ausgeführt werden, während z.B. das Gehäuse 10 parallel zur Heißgashauptströmungsrichtung H verlaufen kann.

Wie beispielsweise in Fig. 5 durch schematische Zuordnung gestrichelt repräsentiert, kann die im Bogensinne verhältnismäßig kurz ausführbare bzw. von geringer lichter Breite ausgeführte Berandung 8 über eine stützkraftübertragende Bauteilhalterung 9 beweglich am benachbarten Wärmetauschergehäuse 10 aufgehängt ist; dabei können besondere Heißgasabsperrrichtungen zwischen Berandung 8 und Gehäuse 10 vorgesehen sein, die mittelbar oder unmittelbar bewegungskompensatorisch mit der Bauteilhalterung 9 zusammenwirken können. Im übrigen kann die Bauteilhalterung 9 selbst die notwendige Heißgasabspernung zwischen Berandung 8 und Gehäuse 10 bewirken.

Abweichend von Fig. 5 kann auch eine längs geteilte, aus zwei Schalenelemente bestehenden Bogenberandung vorgesehen sein, die sich mittels bewegungskompensatorischer Bauteilhalterungsmittel am Wärmetauschergehäuse abstützen kann.

In nicht weiter dargestellter Weise wäre die Erfindung auch dann realisierbar, wenn die Rohrbügel in der gemeinsamen Bogenmeridianebene des Matrixumlenkbereichs, in Richtung vom jeweils innersten Profilrohrbügel mit dem kleinsten Krümmungsbogen, zunächst in einem fortlaufend verhältnismäßig großen und dann in einem verhältnismäßig kleinen gleichmäßigen gegenseitigen Abstand in jeweils parallel zueinander verlaufenden Ebenen übereinanderliegen.

Beim Ausführungsbeispiel nach Fig. 7 und 8 wird

z.B. der jeweils am weitesten innen liegende gekrümmte Rohrabschnitt 6_{10} kreisförmig ausgebildet, während die hierauf folgenden Rohrabschnitte 6_9 , 6_8 bis 6_1 elliptisch gekrümmt sind, wobei sämtlichen Rohrabschnitten 6_{10} bis 6_1 auf den betreffend zugehörigen Geraden G ein gleicher Mittelpunkt M zugeordnet ist. In Fig. 7 und 8 wird also die jeweils große Achse (A) der elliptisch gekrümmten Rohrabschnitte durch die gleichmäßige Profilbeabstandung in den geradschenkeligen Matrixsträngen 4, 5 (Rohrabschnitte 4_1 , 4_2 bis 4_{10} bzw. 5_1 , 5_2 bis 5_{10}) vorgegeben und deren jeweils kleine Achse (B) durch die gewählte (Profil-) Rohrbügelbeabstandung in der Bogenmeridianebene (Schnitt IX-IX); dabei ist in Fig. 7 und 8 also eine im bogenförmigen Matrixumlenkbereich 6 von innen nach außen hin sich fortlaufend verringernde gegenseitige Rohrbügelbeabstandung vorgesehen, was gemäß Fig. 8 – ähnlich Fig. 6 zu der örtlichen, von außen nach innen gesehen, sich stetig fortsetzenden Heißdurchströmflächenverringerung führt und auch hier wiederum symbolisch durch innere, verhältnismäßig große (H_{11}) und eine äußere, verhältnismäßig kleine Heißgasdurchströmfläche H_{12} verdeutlicht ist.

Aufgrund der in Fig. 7 und 8 angegebenen Bauweise kann gegenüber den Ausführungsformen nach Fig. 2 bis 6 – bei äquivalenter Matrixbaulänge und -breite – das den Umlenkbereich 6 der Matrix 3 ausbildende Matrixvolumen (Rohrabschnitte 6_1 bis 6_{10}) verringert werden bei zugleich insgesamt vergrößerter Baulänge der geradschenkeligen Matrixstränge 4, 5 mit den Rohrabschnitten 4_1 bis 4_{10} bzw. 5_1 bis 5_{10} .

Für Fig. 7 und 8 kann eine mit Fig. 5 etwa vergleichbare Heißgasdurchströmung zugrunde gelegt werden in Verbindung mit einer vom äußeren Bogenrand aus etwa pilzförmig gegen die vorhandene Profilrohrkrümmung nach innen sich auskrümmenden schwach durchströmten Zone.

Gemäß Fig. 2, 5 und 7 kann die Bogenmeridianebene bzw. deren Verlängerung in sich mittig sowie parallel zwischen den beiden geradschenkeligen Matrixsträngen 4, 5 (Fig. 1) erstrecken, wobei die die Kreismittelpunkte K_1 , K_2 , K_8 enthaltenden Geraden G (Fig. 2 und 5) oder die einen oder kleinen Achsen B (Fig. 7), welche den elliptisch gekrümmten bzw. halbelliptischen Profilrohrabschnitten 6_1 bis 6_{10} zugehörig sind, in dieser Ebene liegen.

Wie ferner aus den Fig. 3, 4, 6 und 8 entnehmbar, weisen die Rohrbügel einen jeweils gleichförmigen, länglich ovalen Profilrohrquerschnitt auf.

Die erfindungsgemäße engere Staffellung des Profilrohrfeldes im Zenit des Bogenbereiches erlaubt in vorteilhafter Weise auch die Lösung des mechanischen Problems, im Betrieb des Wärmetauschers die vorgegebenen Abstände zwischen den Profilrohren einzuhalten. Ohne besondere diesbezügliche Maßnahmen können die Bogenbereiche der Rohrbügel in Querrichtung leicht aus ihrer Normallage ausgelenkt werden, denn eine solche elastische Bewegung bewirkt Biegung des Profilrohres um die Achse seines geringsten Biege widerstandsmomentes. Die aus dieser Bewegung heraus möglichen Querschwingungen der Rohrbügel können die

Außenströmung und deren Wärmeaustausch empfindlich stören und sollen daher vermieden werden. Dazu ist es erforderlich, die Profilrohre auch im Bogenbereich aneinander abzustützen. Diese Abstützung darf das Grundprinzip dieser Wärmetauscherbauart nicht verletzen, nach dem sich jeder individuelle Rohrbügel ohne Zwang frei in der Länge ausdehnen können soll. Andererseits sollte eine Abstützung in diesem Bereich die Querschnitte für die längsgerichtete Durchströmung nicht versperren.

Zur Erfüllung dieser Forderungen wird in weiterer Ausgestaltung der Erfindung vorgeschlagen, daß die den bogenförmigen Umlenkbereich 6 der Matrix 3 ausbildenden Rohrabchnitte 6₁, 6₂; 6_{1'}, 6_{2'} (Fig. 10) im Bereich bzw. in der Bogenmeridianebene mittels profilendseitig eingebrachter Ausbauchungen 10 gegeneinander abgestützt sind; dazu können die den bogenförmigen Umlenkbereich ausbildenden Rohrabchnitte, z.B. örtlich, im Zenit des Bogens, über ihre Spitzen in Richtung ihrer größeren Achse gestaucht werden, und zwar in dem Maße, daß die Flanken in kontrollierter Weise zeitlich nach außen ausbeulen (Ausbauchungen 10). Dieser Vorgang wird mit Hilfe von Spezialwerkzeugen ausgeführt, so daß die Form des gestauchten Profilabschnittes präzise und wiederholbar erzeugt wird. Die Werkzeuge 11, 12 können wie in Fig. 11 gezeigt gestaltet sein.

Beim Zusammenfügen der solcherart behandelten Profilrohrbügel zu der jeweiligen Bogenkonfiguration entsteht in diesem Bereich eine Packung, wie in Fig. 10 dargestellt. Damit werden die genannten Bedingungen für die gegenseitige Abstützung der Profilrohrbügel erfüllt. Bei Bedarf können die Berührungsstellen der Profilloberflächen mit einer Verschleißschuttschicht versehen werden.

Patentansprüche

1. Wärmetauscher, der aus einer quer gegen eine Heißgasströmung (H) ausragenden, aus räumlich ineinander verschachtelten U-förmigen Rohrbügeln (4₁, 6₁; 4₂, 6₂; 4₁₀, 6₁₀) zusammengesetzten Matrix (3) besteht, die über zwei geradschenkelige, in einen bogenförmigen Umlenkbereich (6) auslaufende Matrixstränge (4, 5') an zwei im wesentlichen parallel nebeneinander und quer zur Matrix angeordnete Druckluft-Rohrführungen (1, 2) angeschlossen ist, wobei eine Kreuz-Gegenstrom-Führung der Medien entsteht und bei dem die Rohrbügel im bogenförmigen Umlenkbereich der Matrix in geringerem gegenseitigen Abstand angeordnet sind als in den geradschenkelig verlaufenden Matrixsträngen (4, 5), in denen die zugehörigen Rohrabchnitte (4₁, 4₁₀; 5₁, 5₁₀) in gleichförmigem gegenseitigen Abstand angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, daß im bogenförmigen Umlenkbereich (6) der Matrix (3) die weiter außen liegenden, mit vergleichsweise großen Biegeradien ausgestatteten Rohrabchnitte (6₁, 6₂, 6₃) der Rohrbügel stärker in einander verschachtelt, und damit in geringerem gegenseitigen Abstand angeordnet sind als die mit den vergleichsweise kleinen Biegeradien ausgestatteten inneren Rohrab-

schnitte (6₈, 6₉, 6₁₀).

2. Wärmetauscher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Rohrbügel in der gemeinsamen Bogenmeridianebene des Umlenkbereichs (6), in Richtung vom innersten Profilrohrrabschnitt (6₁₀) mit dem kleinsten Krümmungsbogen auf den äußersten Rohrabchnitt (6₁) mit dem größtem Krümmungsbogen, in sich fortlaufend verringerndem gegenseitigen Abstand in jeweils parallel zueinander verlaufenden Ebenen übereinanderliegen.

3. Wärmetauscher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Rohrbügel in der gemeinsamen Bogenmeridianebene des Umlenkbereichs, in Richtung vom innersten Profilrohrrabschnitt mit dem kleinsten Krümmungsbogen auf den äußersten Profilrohrrabschnitt mit dem größten Krümmungsbogen, zunächst in einem fortlaufend verhältnismäßig großen und dann in einem verhältnismäßig kleinen gleichmäßigen gegenseitigen Abstand in jeweils parallel zueinander verlaufenden Ebenen übereinanderliegen.

4. Wärmetauscher nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der bogenförmige Matrixumlenkbereich (6) aus halbkreisförmig gekrümmten Rohrabchnitten (6₁, 6₂, 6₁₀) besteht, deren Kreismittelpunkte (K₁, K₂, K₁₀) entsprechend der unterschiedlichen gegenseitigen Rohrbeabstandung sowie, mit Rücksicht auf die dabei von außen nach innen abnehmende Bogenradiusverringerung, jeweils auf einer gemeinsamen Geraden (G) fortlaufend nach außen verschoben sind.

5. Wärmetauscher nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der bogenförmige Matrixumlenkbereich aus kreisförmig und/oder elliptisch gekrümmten Rohrabchnitten (6₁, 6₈, 6₉, 6₁₀) mit jeweils gleichem Mittelpunkt (M) besteht, deren jeweils eine oder große Achse (A) durch die gleichförmige gegenseitige Rohrbügelbeabstandung in der geradschenkeligen Matrixsträngen (4, 5) vorgegeben ist und deren jeweils andere oder kleine Achse (B) durch die unterschiedliche gegenseitige Rohrbügelbeabstandung in der Bogenmeridianebene vorgegeben ist.

6. Wärmetauscher nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Bogenmeridianebene bzw. deren Verlängerung sich mittig sowie parallel zwischen den beiden geradschenkeligen Matrixsträngen (4, 5) erstreckt, wobei die die Kreismittelpunkte (K₁, K₂, K₁₀) enthaltenen Geraden (G) oder die einen oder kleinen Achsen (B), welche den elliptisch gekrümmten bzw. halbelliptischen Profilrohrrabschnitten (6₁, 6₈, 6₉, 6₁₀) zugehörig sind, auf der verlängerten Bogenmeridianebene liegen.

7. Wärmetauscher nach einer oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Rohrbügel einen jeweils gleichförmigen, länglich ovalen Profilrohrquerschnitt aufweisen.

8. Wärmetauscher nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die den bogenförmigen Umlenkbereich (6) der Matrix (3) ausbildenden Rohrabchnitte (6₁, 6₂, 6_{1'}, 6_{2'}) im Bereich bzw. in der Bogenmeridianebene mit-

tels profilendseitig eingebrachter Ausbauchungen (10) gegeneinander abgestützt sind.

Claims

1. Heat exchanger which comprises a matrix (3) jutting out transversely to a hot gas flow (H) and assembled from U-shaped tubular elements (4₁, 6₁; 4₂, 6₂; 4₁₀, 6₁₀) nested spatially one inside the other, which matrix is connected via two straight-legged matrix arrays (4, 5') extending into an arcuate deflection region (6) to two tubular compressed-air guideways (1, 2) arranged substantially parallel next to each other and transversely to the matrix, there being a crosscounterflow guidance of the media and the tubular elements being arranged in the arcuate deflection region of the matrix at a slightly smaller mutual spacing than in the straight-legged matrix arrays (4, 5), in which the associated tubular sections (4₁, 4₁₀; 5₁, 5₁₀) are arranged at a uniform mutual spacing, characterised in that in the arcuate deflection region (6) of the matrix (3) the more outer lying tubular sections (6₁, 6₂, 6₃) of the tubular elements equipped with comparatively large bend radii are nested more into each other and hence are arranged at a smaller mutual spacing than the inner tubular sections (6₈, 6₉, 6₁₀) equipped with the comparatively small bend radii.

2. Heat exchanger according to claim 1, characterised in that the tubular elements in the common arc meridian plane of the deflection region (6) lie one above the other in the direction from the innermost profiled tubular section (6₁₀) with the smallest arc of curvature to the outermost tubular section (6₁) with the largest arc of curvature, at a continuously decreasing mutual spacing, in planes extending respectively parallel to each other.

3. Heat exchanger according to claim 1, characterised in that the tubular elements in the common arc meridian plane of the deflection region lie one above the other in the direction from the innermost profiled tubular section with smallest arc of curvature to the outermost tubular section with the largest arc of curvature, first of all at a constantly comparatively large mutual spacing and then at a comparatively small uniform mutual spacing in planes extending respectively parallel to each other.

4. Heat exchanger according to one or more of claims 1 to 3, characterised in that the arcuate matrix deflection region (6) comprises semi-circular curved tubular sections (6₁, 6₂, 6₁₀), the circle centres of which (K₁, K₂, K₁₀) are shifted progressively outwards in accordance with the varying mutual tubular spacing and, with regard to the arc radius reduction decreasing from the outside to the inside, respectively along a common straight line (G).

5. Heat exchanger according to one or more of claims 1 to 3, characterised in that the arcuate matrix deflection region comprises circularly and/or elliptically curved tubular sections (6₁, 6₈, 6₉, 6₁₀) each with the same centre point (M), the one or major axis (A) of which is predetermined by the uniform mutual tubular element spacing in the straight-legged matrix arrays (4, 5), and the other or minor axis (B) of which is predetermined by the varying mutual

tubular element spacing in the arc meridian plane.

6. Heat exchanger according to one or more of claims 1 to 5, characterised in that the arc meridian plane or its extension extends centrally and parallel between the two straight-legged matrix arrays (4, 5), the straight lines (G) containing the circle centres (K₁, K₂, K₁₀) or the first or minor axes (B) which are associated with the elliptically curved or semi-elliptical profiled tubular sections (6₁, 6₈, 6₉, 6₁₀) lying on the extended arc meridian plane.

7. Heat exchanger according to one or more of claims 1 to 6, characterised in that the tubular elements have a respectively uniform elongated oval profiled tubular cross-section.

8. Heat exchanger according to one or more of claims 1 to 7, characterised in that the tubular sections (6₁, 6₂, 6_{1''}, 6_{2''}) forming the arcuate deflection region of the matrix (3) are supported against each other in the region or in the arc meridian plane by means of bulges (10) fitted on the profile end side.

Revendications

1. Echangeur thermique, qui est constitué par une matrice (3) composée d'étriers tubulaires en forme de U (4₁, 6₁; 4₂, 6₂; 4₁₀, 6₁₀) intercalés les uns dans les autres, cette matrice étant raccordée à deux conduites tubulaires d'air comprimé (1, 2), disposées essentiellement parallèlement l'une à côté de l'autre et transversalement par rapport à la matrice, par l'intermédiaire de deux branches rectilignes (4, 5) de matrice, se terminant en une zone de renvoi (6) en forme d'arc, grâce à quoi une circulation croisée à contre-courant des fluides s'établit, les étriers tubulaires étant disposés dans la zone de renvoi en forme d'arc de la matrice à des intervalles réciproques plus réduits que dans les branches rectilignes (4, 5) de la matrice, dans lesquelles les tronçons de tubes correspondants (4₁, 4₁₀; 5₁, 5₁₀) sont disposés à un intervalle réciproque uniforme, échangeur thermique caractérisé en ce que, dans la zone de renvoi en forme d'arc (6) de la matrice (3), les tronçons de tubes (6₁, 6₂, 6₃), placés le plus loin à l'extérieur des étriers tubulaires et qui sont pourvus de rayons de courbure relativement grands, sont intercalés plus étroitement les uns dans les autres et donc disposés à des intervalles réciproques plus réduits que les tronçons de tubes (6₈, 6₉, 6₁₀) placés à l'intérieur et pourvus de rayons de courbure relativement petits.

2. Echangeur thermique selon la revendication 1, caractérisé en ce que les étriers tubulaires, dans le plan méridien commun de l'arc de zone de renvoi (6), sont placés les uns sur les autres dans des plans respectivement parallèles entre eux, à un intervalle réciproque se réduisant progressivement en allant du tronçon de tube profilé (6₁₀) le plus intérieur et comportant le rayon de courbure le plus petit, vers le tronçon de tube (6₁) le plus extérieur et comportant le rayon de courbure le plus grand.

3. Echangeur thermique selon la revendication 1, caractérisé en ce que les étriers tubulaires, dans le plan méridien commun de l'arc de la zone de renvoi, sont placés les uns sur les autres dans des plans

respectivement parallèles entre eux, tout d'abord à un intervalle réciproque progressif relativement grand et ensuite à un intervalle réciproque uniforme relativement petit en allant du tronçon de tube profilé le plus intérieur comportant le rayon de courbure le plus petit vers le tronçon de tube profilé le plus extérieur comportant le rayon de courbure le plus grand.

5

4. Echangeur thermique selon une ou plusieurs des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la zone de renvoi en forme d'arc (6) de la matrice est constituée par des tronçons de tubes (6_1 , 6_2 , 6_{10}) courbés en forme de demi-cercle, dont les centres (K_1 , K_2 , K_{10}) sont respectivement décalés progressivement vers l'extérieur sur une droite commune (G) de façon correspondante aux différents intervalles réciproques des tubes ainsi que compte tenu de la réduction de leurs rayons de courbure de l'extérieur vers l'intérieur.

10

15

5. Echangeur thermique selon une ou plusieurs des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que la zone de renvoi en forme d'arc de la matrice est constituée par des tronçons de tubes (6_1 , 6_8 , 6_9 , 6_{10}), courbés en forme de cercle et/ou d'ellipse et ayant respectivement le même centre (M), et dont un axe ou le grand axe (A) est prédéfini par les intervalles réciproques uniformes des étriers dans les branches rectilignes (4, 5) de la matrice, et dont l'autre axe ou le petit axe (B) est prédéfini par les intervalles réciproques différents des étriers dans le plan méridien de l'axe.

20

25

30

6. Echangeur thermique selon une ou plusieurs des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que le plan méridien de l'arc ou bien son prolongement s'étend médianement ainsi que parallèlement entre les deux branches rectilignes (4, 5) de la matrice, la droite (G) sur laquelle sont placés les centres des cercles (K_1 , K_2 , K_{10}) ou bien l'un des axes ou le petit axe (B) appartenant aux tronçons de tubes courbés en forme d'ellipse (6_1 , 6_8 , 6_9 , 6_{10}) sont situés sur le plan méridien prolongé de l'arc.

35

40

7. Echangeur thermique selon une ou plusieurs des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que les étriers tubulaires ont respectivement une section transversale tubulaire de forme identique, profilée selon un ovale allongé.

45

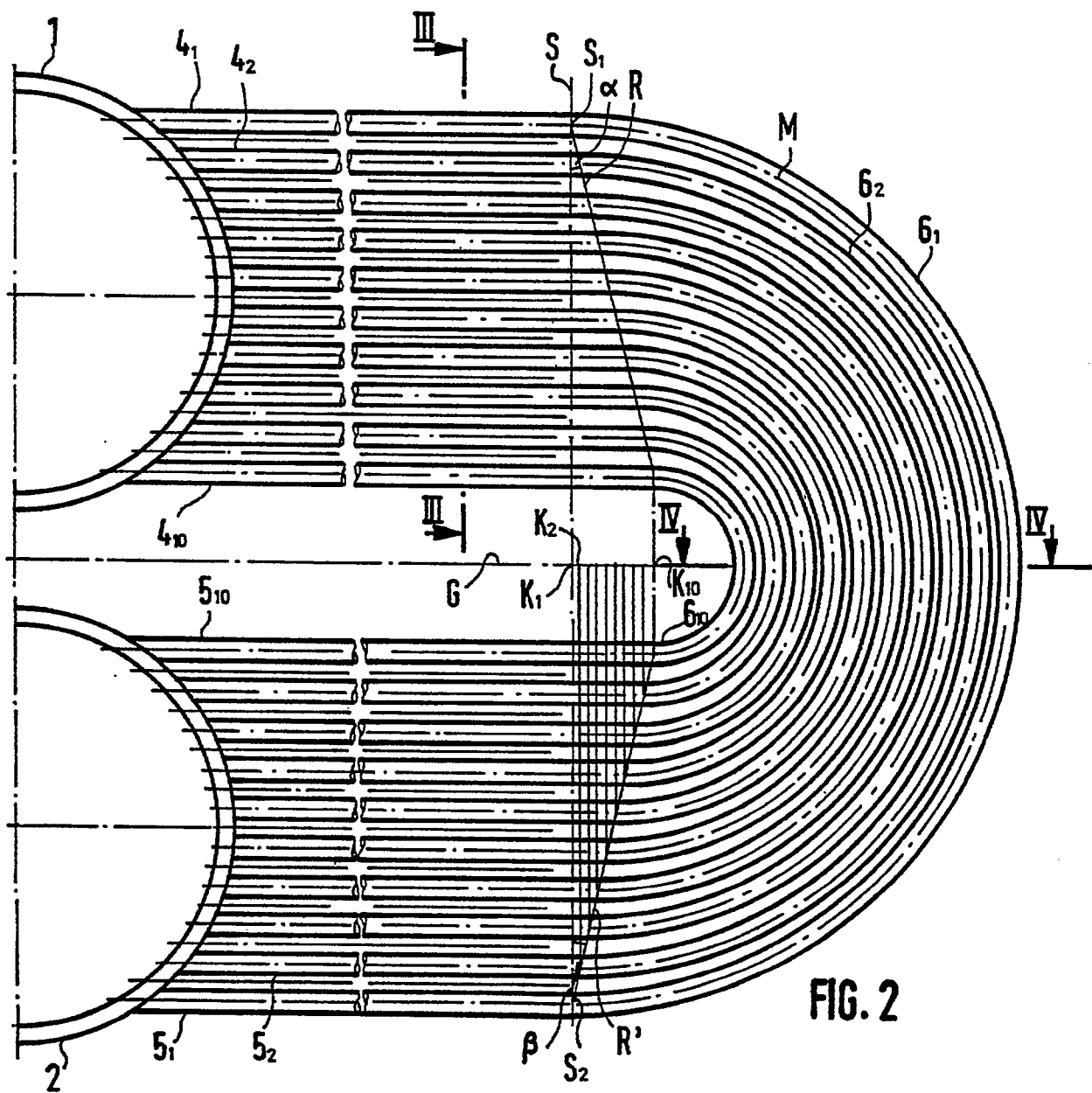
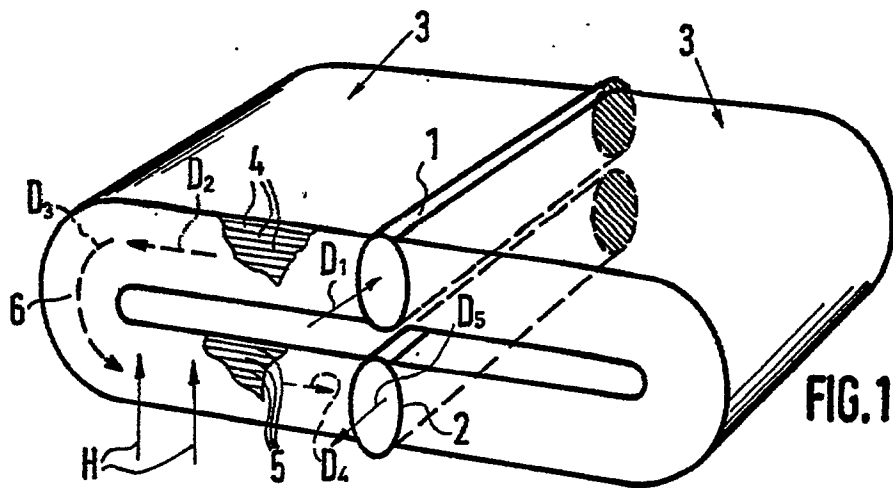
8. Echangeur thermique selon une ou plusieurs des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que les tronçons de tubes (6_1 , 6_2 , $6_1''$, $6_2''$) constituant la zone de renvoi en forme d'arc (6) de la matrice (3) prennent appui les uns contre les autres, au voisinage du plan méridien de l'axe ou bien dans ce plan, par des évasements (10) ménagés aux extrémités de leurs profils.

50

55

60

65



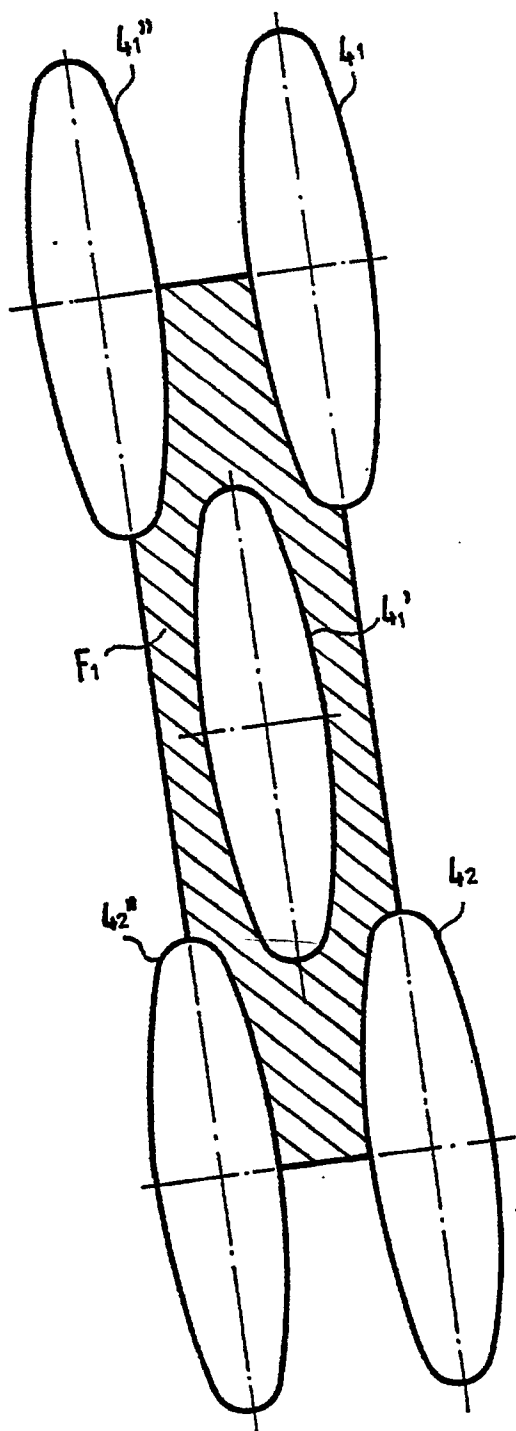


FIG. 3

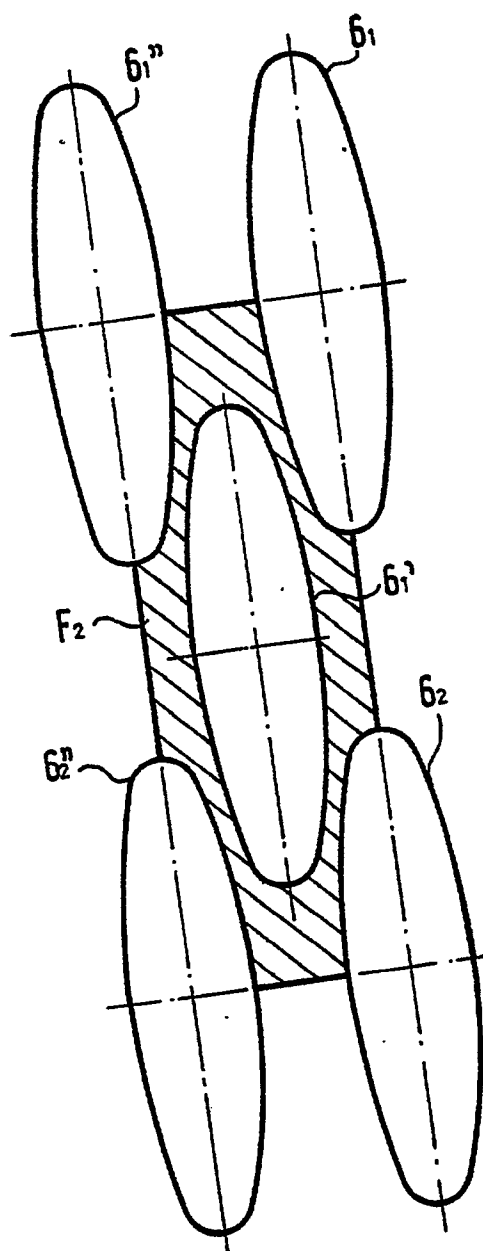
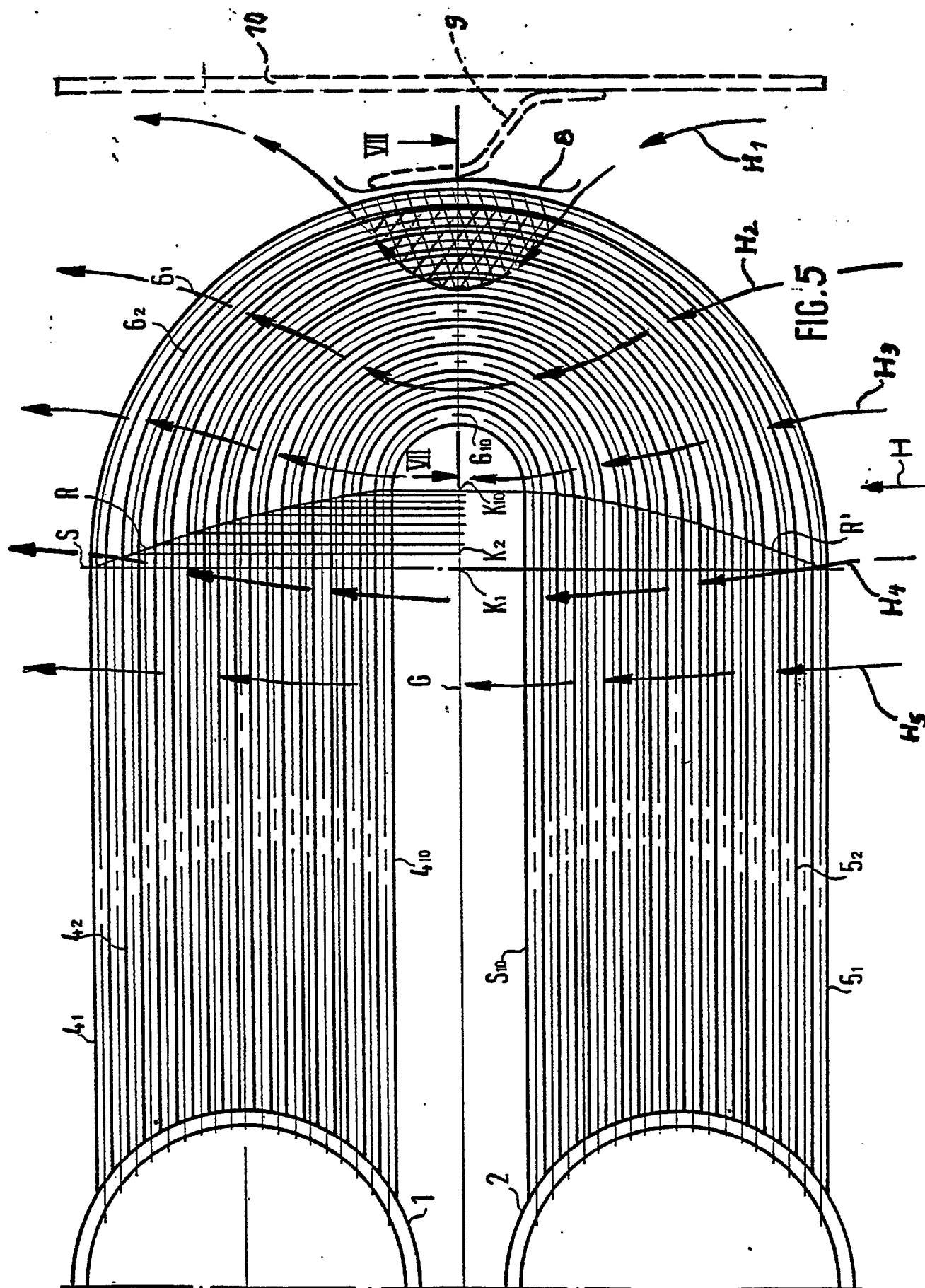


FIG. 4



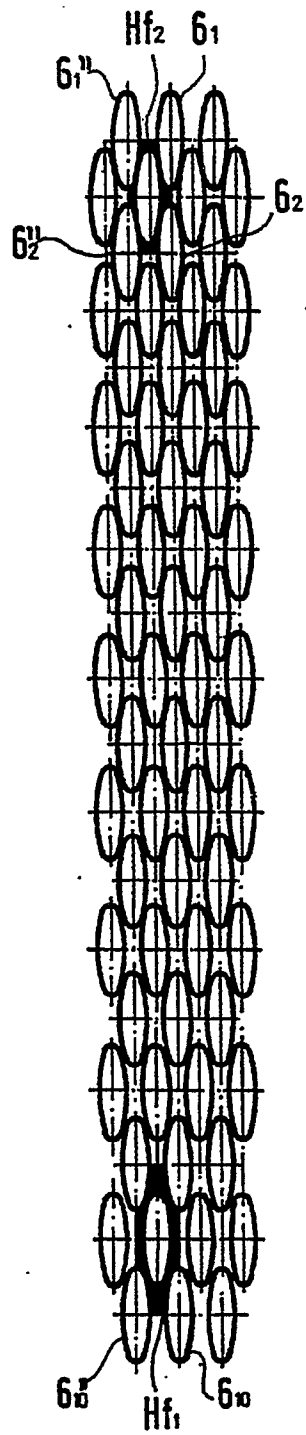


FIG. 6

6

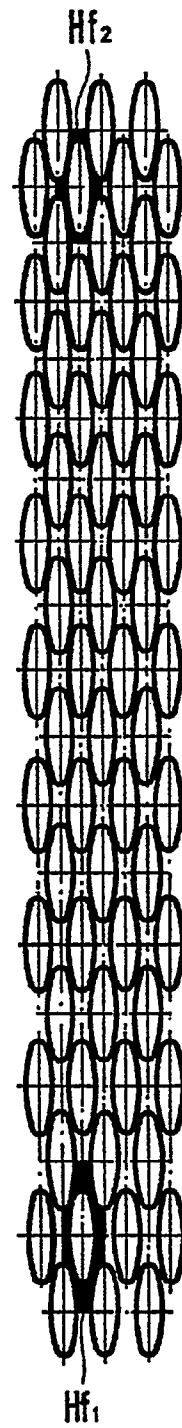
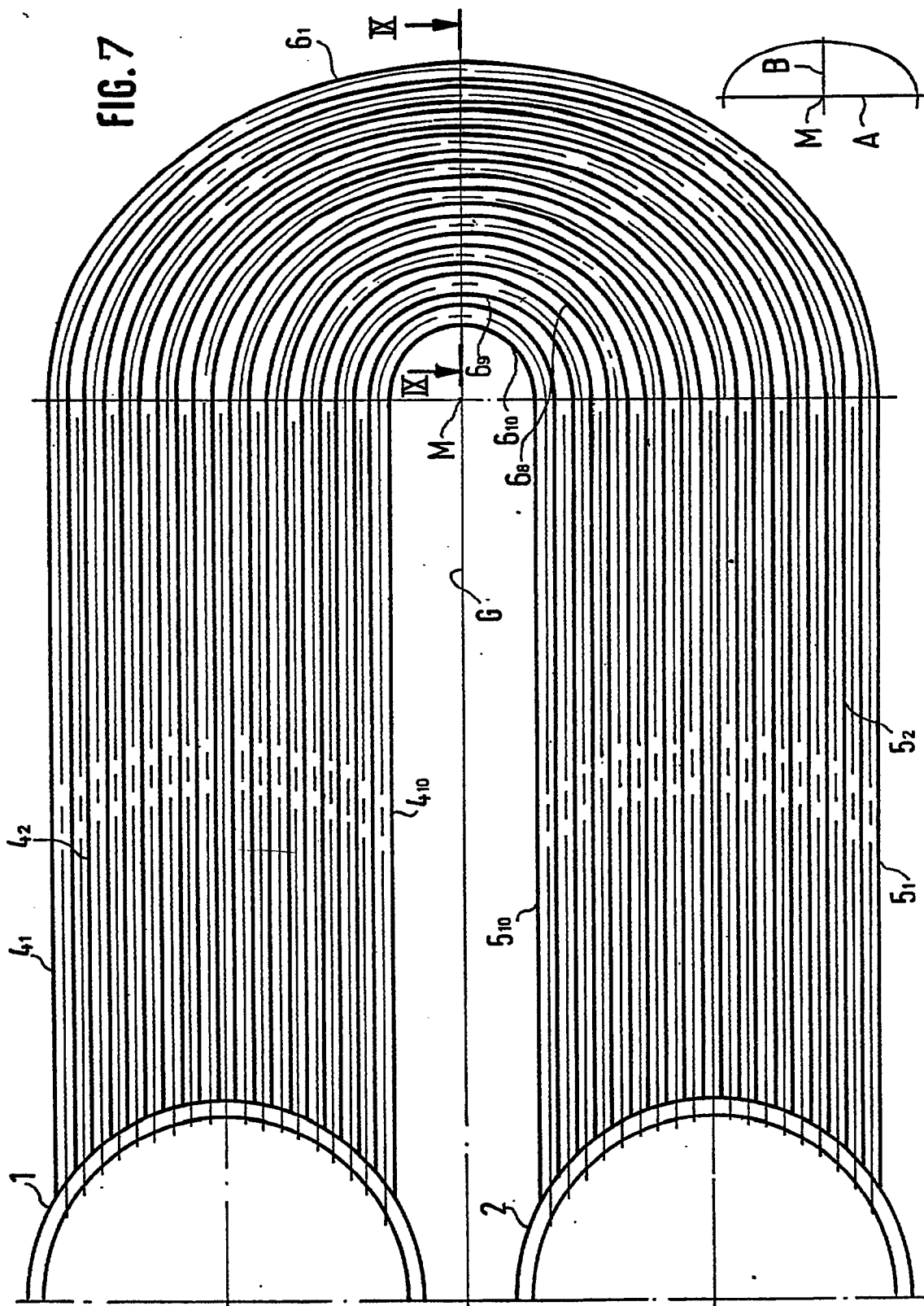


FIG. 8



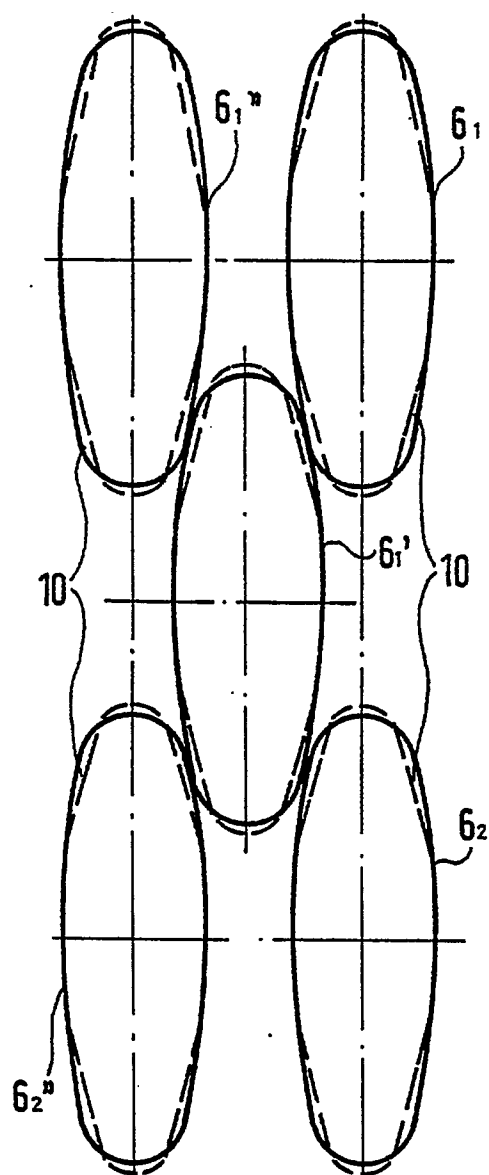


FIG. 9

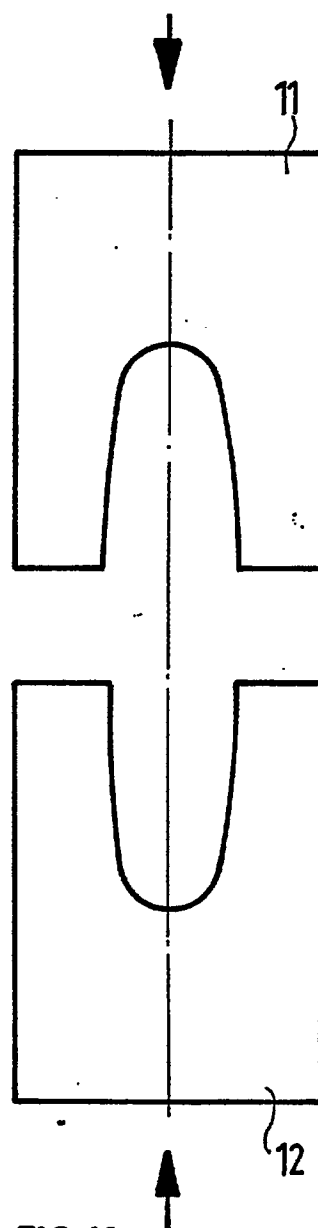


FIG. 10