

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets

(11)

Veröffentlichungsnummer:

**0 265 726**  
**A1**

(12)

# EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21)

Anmeldenummer: 87114629.6

(51)

Int. Cl.4: F28D 7/06

(22)

Anmeldetag: 07.10.87

(30)

Priorität: 20.10.86 DE 3635548

(43)

Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
04.05.88 Patentblatt 88/18

(84)

Benannte Vertragsstaaten:  
DE FR GB IT NL

(71)

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

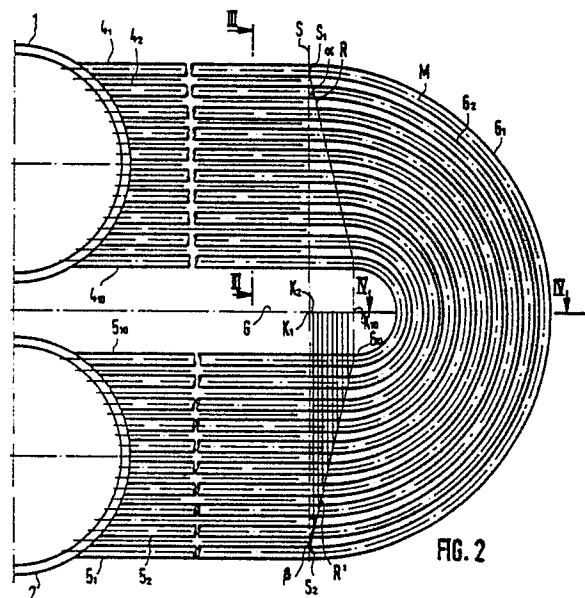
(72)

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

(54)

Wärmetauscher.

(57) Es ist ein Wärmetauscher mit einer quer gegen eine Heißgasströmung U-förmig ausragenden, aus räumlich ineinander verschachtelten Profilrohrbügeln (6) zusammengesetzten Kreuz-Gegenstrom-Matrix vorgesehen, die über zwei geradschenkelige, in einen bogenförmigen Umlenkbereich auslaufende Matrixstränge (3) an zwei im wesentlichen parallel nebeneinander und quer zur Matrix angeordnete Druckluft-Rohrführungen (1, 2) angeschlossen ist; dabei sollen die Profilrohrbügel im bogenförmigen Umlenkbereich (6) der Matrix in geringerem gegenseitigen Abstand angeordnet sein als in den geradschenkelig verlaufenden Matrixsträngen (4, 5). Auf diese Weise soll der Kreuz-Gegenstrom-Wärmetauschprozeß im Bogenbereich der Matrix optimiert und ferner eine homogenere Heißgasmassenstromverteilung über die Gesamtmatrix erreicht werden.



## Wärmetauscher

Die Erfindung bezieht sich auf einen Wärmetauscher nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Ein derartiger Wärmetauscher ist aus der GB-OS 2,130,355 bekannt.

Bei derartigen Profilrohr-Wärmetauschern 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.

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 der Matrix und dem Matrixbereich vergleichmäßig werden.

Indem im Bogenbereich das Feld der Profilrohre enger gestaffelt werden kann, kann also der örtliche Heißgasstrom im Bogenbereich der Matrix den Notwendigkeiten einer örtlich angeglichenen Wärmetauscherleistung angepaßt werden.

Gemäß der Erfindung kann ferner der höchste Grad der Profilrohrfeldverdichtung entlang einer gemeinsamen bogenmeridianen Geraden bzw. auf einem im wesentlichen senkrecht zur Heißgashauptströmungsrichtung liegenden Vektor des Bogenradius erreicht werden; vor und hinter diesem Vektor bzw. der Ebene (Bogenmeridianebene), in der die bogenmeridianen Geraden liegen, kann die betreffende Profilrohrpackungsdichte den Erfordernissen gemäß weniger intensiv ausgebildet sein.

Gemäß der Lehre nach der Erfindung kann also den z. B. durch unterschiedliche Krümmungsradien erzeugten Profilrohrbögen nicht - wie bisher üblich - ein gemeinsamer Kreismittel-

punkt zugeordnet sein; vielmehr können z. B. die den unterschiedlichen Krümmungsradien zugehörigen Kreismittelpunkte fortlaufend von innen nach außen versetzt auf den betreffenden kreismeridianen Geraden bzw. auf der zuvor erwähnten gemeinsamen Bogenmeridianebene angeordnet sein.

Im Rahmen der Erfindung können ferner die den geradschenkeligen Bereich der Matrix ausbildenden Profilrohabschnitte mit den erforderlichen gleichförmigen gegenseitigen Abständen - sei es über-oder nebeneinander - im Heißgasstrom angeordnet werden.

Im Rahmen der Erfindung gelingt es außerdem, zusätzliche geradschenkelige Profilrohlängen zu gewinnen, indem - pro in einer gemeinsamen Ebene übereinander gestaffelt angeordnetem Profilrohrfeld - die betreffenden Ausgangsbasen der die Bögen beispielsweise darstellenden Halbkreise in einer schrägen Ebene liegen, die z. B. durch die Kreismittelpunktsdifferenz zwischen den kleinsten (innen) und dem größten Bogenradius (außen) entsteht.

Der erwähnte Profilrohlängengewinn führt ferner zu einer gleichmäßigen Verteilung des Strömungswiderstandes innerhalb der Profilrohre, da die Länge des Strömungsweges der weiter innen liegenden Rohrbügel der Matrix vergrößert und diejenige der weiter außen liegenden Rohrbügel hingegen nahezu unverändert bleibt.

Vorzugsweise ist es erfindungsgemäß ferner vorgesehen bzw. möglich, daß die weiter außen liegenden Rohrbügel im Bogenbereich der Matrix, also diejenigen Rohrbügel mit vergleichsweise großen Biegeradien, stärker ineinander gestaffelt angeordnet sind, als diejenigen inneren Rohrbügel mit den vergleichsweise kleinen Biegeradien.

Das quer durch die Matrix strömende Heißgas findet dann insbesondere im Zenit des Bogenbereiches an diesen Stellen 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 Querströmungskomponente. Das in diesem Falle besonders stark verdichtete Gebiet im Zenit der Bögen 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 Matrixbogenbereiches 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 dieser zuletzt genannten Anordnung ist es, daß eine gehäuseseitige Abdeckung oder eine Berandungsleitwand auf ein verhältnismäßig schmales Gebiet im Zenit des Matrixbogens beschränkt werden kann.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung gehen aus den Patentansprüchen 2 bis 11 hervor.

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

Fig. 1 ein der Erfindung zugrundeliegendes Wärmetauscherkonzept in perspektivischer, - schematischer sowie teilweise aufgeschnittener Darstellung,

Fig. 2 die zur Hälfte sowie matrixseitig teilweise durchbrochen dargestellte Frontansicht eines Wärmetauschers, worin eine erste Ausführungsform der Erfindung verdeutlicht ist,

Fig. 3 einen gemäß III-III der Fig. 2 gesehene Teilschnitt geradschenkeliger Abschnitte der Profilrohrbügel, worin die reguläre Staffellung der Profilrohrbügel verdeutlicht ist,

Fig. 4 einen gemäß IV-IV gesehene Teilschnitt im Bogenbereich liegender Abschnitte der Profilrohrbügel, worin die deutlich engere Staffellung der Rohrbügel in der gemeinsamen Bogenmeridianebene der Matrix verdeutlicht ist,

Fig. 5 die Frontansicht der kompletten linken Wärmetauscherhälfte unter Berücksichtigung der sich im Sinne der ersten Ausführungsform nach Fig. 2, 3 und 4 ausbildenden Heißgasdurchströmung der geradschenkeligen Matrixstränge und des Matrixbogen-bzw. - umlenkbereiches,

Fig. 6 die Frontansicht einer kompletten rechten Wärmetauscherhälfte in Rohrbügeldetaillausbildung und -anordnung für eine zweite Ausführungsform der Erfindung mit entlang der Bogenmeridianebene - von innen nach außen gesehen - sich zunehmend verringernder Profilrohrbeabstandung,

Fig. 7 einen Matrixbogenprofilrohr-Teilschnitt gemäß VII-VII der Fig. 6 sowie in besagter Bogenmeridianebene der Matrix verlaufend,

Fig. 8 die Frontansicht einer kompletten rechten Wärmetauscherhälfte in Rohrbügeldetaillausbildung und -anordnung für eine dritte Ausführungsform der Erfindung unter Ein-schluß im Matrixbogenbereich überwiegend elliptisch gekrümmter Profilrohabschnitte und sich dabei - von innen nach außen gesehen -fortlaufend gegenseitig sich verringernder Profilrohrabstände,

Fig. 9 einen Matrixbogenprofilrohr-Teilschnitt gemäß IX-IX der Fig. 8 sowie in besagter Bogenmeridianebene der Matrix verlaufend,

Fig. 10 einen der Ansicht nach Fig. 4 entsprechenden Matrixbogenprofilrohr-Teilschnitt unter Verdeutlichung einer gegenseitigen Profilrohrabstützung durch gegenseitig profilseitig eingebrachte Ausbauchungen und

Fig. 11 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 seitlich von beiden Druckluftführungen 1, 2 quer gegen die Heißgasströmung H U-förmig auskragende Profilrohrmatrix 3 besteht aus zunächst geraden, parallel zueinander verlaufenden Profilrohrsträngen 4, 5, die in eine gemeinsame bogenförmige Profilrohrumlenksection 6 übergehen. Im Betrieb wird aufzuheizende Druckluft in die obere Druckluftführung 1 eingespeist ( $D_1$ ), durchströmt dann die geraden Profilrohrstränge 4 ( $D_2$ ), worauf sie über die Umlenksection 6 umgelenkt wird ( $D_3$ ), sodann in umgekehrte Strömungsrichtung die geraden Profilrohrstränge 5 durchströmt ( $D_4$ ), aus denen sie über die untere Druckluftführung 2 in aufgeheizten Zustand abströmt ( $D_5$ ), um einen geeigneten Verbraucher, z. B. der Brennkammer eines Gasturbinentriebwerkes, 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.

Im Hinblick beispielsweise auf Fig. 2, 3 und 4 äußert sich der Grundgedanke der Erfindung darin, daß die Profilrohrbügel im bogenförmigen Umienkbereich 6 der Matrix 3 in geringerem gegenseitigen Abstand angeordnet sind (Fig. 4) als in den geradlinig verlaufenden Matrixsträngen, z. B. 4, Fig. 2 und 3.

Ausgestaltungsgemäß ergibt sich insbesondere gemäß Fig. 2 eine Anordnung, bei der die Profilrohrbügel bezüglich der geradschenkeligen Profilrohrsektionen  $4_1, 4_2$  bis  $4_{10}$  bzw.  $5_1, 5_2$  bis  $5_{10}$  sowie bezüglich der den Matrixbogenbereich 6 definierenden Profilrohrsektionen  $6_1, 6_2$  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 Umienkbereiches 6, also in einer Ebene, die dem Schnitt IV-IV (Fig. 2) folgt, sollen dabei also die Profilrohrsektionen  $6_1, 6_2$  bis  $6_{10}$  in geringeren gegenseitigen Abständen übereinander gestaffelt angeordnet sein als die Profilrohrsektionen  $4_1, 4_2$  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 Profilrohrbügel bezüglich der im Umienk- bzw. Bogenbereich 6 enthaltenen Profilrohrsektionen  $6_1, 6_2$  bis  $6_{10}$  in gleichmäßigen, verhältnismäßig geringen Abständen über- bzw. nebeneinander angeordnet sind.

Genau genommen besteht gemäß Fig. 2 der bogenförmige Umienkbereich 6 aus halbkreisförmig gekrümmten, von außen nach innen fortlaufend mit  $6_1, 6_2$  bis  $6_{10}$  bezifferten Profilrohrabschnitten; dabei sind die den letzteren jeweils zugeordneten Kreismittelpunkte  $K_1, K_2$  bis  $K_{10}$  bezeichnet und entsprechend der Rohrbeabstandung im Bogenbereich sowie mit Rücksicht auf eine von außen nach innen abnehmende Bogenradiusverringern - jeweils pro Querebene - auf einer gemeinsamen Geraden G fortlaufend nach außen verschoben. Beim Ausführungsbeispiel nach Fig. 2 sind also die Kreismittelpunkte  $K_1, K_2$  usw. bis  $K_{10}$  in fortlaufend gleichen Abständen auf der Geraden G angeordnet.

Aus Fig. 2 ist also erkennbar, daß die gekrümmten Profilrohrsektionen  $6_1, 6_2$  usw. bis  $6_{10}$  geometrisch kontinuierlich fluchtend in die zugehörigen geradschenkeligen Profilrohrsektionen  $4_1, 4_2$  bis  $4_{10}$  bzw.  $5_1, 5_2$  bis  $5_{10}$  übergehen; ferner ist aus Fig. 2 ein bezüglich der geradschenkeligen Profilrohrsektionen ( $4_1$  usw. bzw.  $5_1$  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  $\alpha, \beta$  gegenüber einer Senkrechten S angestellt sind, die sowohl den auf der Geraden G liegenden Kreismittelpunkt  $K_1$  schneidet und ferner auch die gemeinsamen Schnittpunkte  $S_1, S_2$  der Rohrbasen R, R' mit dem Profilrohrmittenkreis M des am weitesten außen liegenden Profilrohrbogenabschnitts  $6_1$  hindurchgeht.

Gemäß Fig. 3 und 4 greifen die Matrixprofilrohrabschnitte  $4_1, 4_2, 4_1', 4_1'', 4_2'$  der geradschenkeligen Matrixstränge, z. B. 4, und die mit diesem verbundenen zugehörigen Profilrohrabschnitte  $6_1, 6_2, 6_1', 6_1'', 6_2'$  jeweils räumlich verschachtelt ineinander. Unter Zugrundelegung einer jeweils gleichen seitlichen Profilrohrbeabstandung ergibt sich gegenüber Fig. 3 (Durchströmfläche

F1) die in Fig. 4 verringerte Heißgasdurchströmfläche  $F_2$ . Mit anderen Worten verkörpert Fig. 3 die reguläre und Fig. 4 die angestrebte engere Profilorhrstaffelung.

Unter Anwendung der gleichen Bezugszeichen gemäß Fig. 1 und 2 verkörpert Fig. 5 die aus den Maßnahmen nach Fig. 1 bis 4 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  $H$  ausragenden Matrixprofilrohrreihen 4, 5 (Fig. 1) zugrunde gelegt werden. In diesen örtlichen Matrixbereichen sind die einzelnen Profilorhre unter Gewährleistung einer vorgegebenen einwandfreien gleichförmigen Heißgasversperrung sowie Heißgasdrosselung gleichförmig verschachtelt zueinander angeordnet; die Profilorhrreihen sind also im Rahmen eines einwandfreien Kreuz-Gegenstrom-Wärmetauschprozesses vom Heißgasstrom  $H$  umströmbar.

Infolge der eingangs zu Bekanntem beschriebenen Profilorhranordnung 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 Profilorhrreihen 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 geradschenkeligen Matrixsträngen beeinträchtigen (Michturbulenzen).

Im Rahmen des u.a. durch die Fig. 2 bis 4 verkörperten Erfindungsgegenstandes kann gemäß Fig. 5 eine im wesentlichen zentrisch die Profilorhrkrümmung 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 so durchströmt werden, daß ein Kreuz-Gegenstrom-

Wärmetauschprozeß möglich ist, und zwar dies als Folge der örtlichen gegenseitigen Heißgasdurchström-Querschnittsverringering (Flächen  $F_2$  -Fig. 4), 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 Profilorhrreihen 4, 5 (Profilorhrabschnitte  $4_1, 4_2$  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  $H_1, H_2, H_3, H_4, H_5, H_6$ ).

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 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 Heißgasabsperrendichtungen 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 Schalenelementen bestehenden Bogenberandung vorgesehen sein, die sich mittels bewegungskompensatorischer Bauteilhalterungsmittel am Wärmetauschergehäuse abstützen kann.

Im Gegensatz zur Erfindungsvariante nach Fig. 2 bis 4, bei der die bogenförmigen Profilorhrabschnitte, z. B.  $6_1, 6_2$  bis  $6_{10}$ , auf der bogenmeridianen Geraden  $G$  mit gleichmäßig engen Abständen übereinander liegen, können die betreffenden Profilorhrabschnitte im bogenförmigen Umlenkbereich auch - gemäß einer weiteren Erfindungsvariante - in ungleichförmigen verhältnismäßig engen Abständen übereinander liegen.

Eine konkrete Ausgestaltungsalternative hierzu ergibt sich aus den Fig. 6 und 7, wonach die zu den Profilorhrbügel gehörenden, den bogenförmigen Umlenkbereich 6 der Matrix definierenden Profilorhrabschnitte  $6_1$ ,  $6_2$  usw. bis  $6_{10}$  in der durch den bogenmeridianen Schnitt VII-VII der Fig. 6 in Fig. 7 wiedergegebenen Weise, in Richtung vom innersten Profilorhrbügel mit dem kleinsten Krümmungsbogen (Profilorhrabschnitt  $6_{10}$ ) auf einen äußersten Profilorhrbügel mit dem größten Krümmungsbogen (Profilorhrabschnitt  $6_1$ ), in sich fortlaufend verringernden Abständen übereinander liegen. Dabei sind die jeweils einem Profilorhrfeld gemäß Fig. 6 zugehörigen Kreismittelpunkte - in Zuordnung zu den bogenförmigen Profilorhrabschnitten  $6_1$ ,  $6_2$  und  $6_{10}$  mit  $K_1$ ,  $K_2$  und  $K_3$  auf der Geraden G aufgetragen. Im Gegensatz zu Fig. 2 sind in Fig. 6 die Rohrbasen R, R' entsprechend der zunehmenden Mittelpunktsverdichtung ( $K_1$  nach  $K_{10}$ ) leicht kontinuierlich bogenförmig verlaufend sowie etwa im Sinne von Fig. 2 schräg zur Senkrechten S angestellt.

Gemäß der bogenmeridianen Schnittdarstellung des verschachtelt ineinandergreifenden Profilorhrfeldes nach Fig. 7 verkörpern z. B. die schwarz aufscheinenden Heißgasdurchströmflächen  $H_{11}$  (innerer Teil des Umlenkbereichs 6) sowie  $H_{12}$  - (äußerer Teil des Umlenkbereichs 6) die von innen nach außen sich kontinuierlich fortsetzende Heißgasdurchströmflächenverringering.

Beim Ausführungsbeispiel nach Fig. 6 und 7 ist ein mit Fig. 5 vergleichbarer bzw. ähnlicher vorteilhafter Strömungsverlauf  $H_1$  bis  $H_6$  im Hinblick auf eine sich außenrandständig ausbildende nur verhältnismäßig schwach durchströmte Zone 7 zu erwarten, wobei berandende Strukturen der Matrix sowie der randständigen Abdichtung in Bezug auf die Heißgehäusestruktur in sinngemäßer Weise gemäß Fig. 5 auch in Fig. 6 und 7 zugrunde gelegt werden können.

In nicht weiter dargestellter Weise wäre die Erfindung auch dann realisierbar, wenn die Profilorhrbügel in der gemeinsamen Bogenmeridianebene des Matrixumlenkbereichs in Richtung vom jeweils innersten Profilorhrbügel mit dem kleinsten Krümmungsbogen auf den äußersten Rohrbügel mit den jeweils größten Krümmungsbogen zunächst in fortlaufend verhältnismäßig großen und dann in verhältnismäßig kleinen gleichmäßigen Abständen übereinanderliegen.

Im Gegensatz zu den vorangehenden Ausführungsbeispielen nach Fig. 2 bis 5 sowie Fig. 6 und 7, die jeweils kreisförmige Rohrschnitte im Matrixumlenkbereich 6 aufweisen, ist es erfindungsgemäß ferner möglich, den Matrixumlenkbereich aus kreisförmigen und elliptischen bzw. nur aus elliptisch gekrümmten Profilorhrabschnitten zu bilden.

Beim Ausführungsbeispiel nach Fig. 8 und 9 wird also z. B. der jeweils am weitesten innen liegende gekrümmte Profilorhrabschnitt  $6_{10}$  kreisförmig ausgebildet, während die hierauf folgenden Profilorhrabschnitte  $6_9$ ,  $6_8$  bis  $6_{10}$  elliptisch gekrümmt sind, wobei sämtlichen Profilorhrabschnitten  $6_{10}$  bis  $6_1$  auf den betreffend zugehörigen Geraden G ein gleicher Mittelpunkt M zugeordnet ist. In Fig. 8 und 9 wird also die jeweils große Achse (A) der elliptisch gekrümmten Profilorhrabschnitte durch die gleichmäßige Profilbeabstandung in den geradschenkeligen Matrixsträngen 4, 5 (Profilorhrabschnitte  $4_1$ ,  $4_2$  bis  $4_{10}$  bzw.  $5_1$ ,  $5_2$  bis  $5_{10}$ ) vorgegeben und deren jeweils kleine Achse (B) durch die gewählte Profilabschnittsbeabstandung in der Bogenmeridianebene (Schnitt IX-IX); dabei ist in Fig. 8 und 9 also eine im Matrixbogenbereich von innen nach außen hin sich fortlaufend verringernde Profilabschnittsbeabstandung vorgesehen, was gemäß Fig. 9 - ähnlich Fig. 7 - zu der örtlichen - von außen nach innen gesehen - sich stetig fortsetzenden Heißdurchströmflächenverringering führt und auch hier wiederum symbolisch durch eine innere, verhältnismäßig große ( $H_{11}$ ) und eine äußere, verhältnismäßig kleine Heißgasdurchströmfläche  $H_{12}$  verdeutlicht ist.

Aufgrund der in Fig. 8 und 9 angegebenen Bauweise kann gegenüber den Ausführungsformen nach Fig. 2 bis 7 - bei äquivalenter Matrixbaulänge und Breite - das den Umlenkbereich 6 der Matrix 3 ausbildende Matrixvolumen (Profilorhrabschnitte  $6_1$  bis  $6_{10}$ ) verringert werden bei zugleich insgesamt vergrößerter Baulänge der geradschenkeligen Profilorhrreihen 4, 5 mit den Profilorhrabschnitten  $4_1$  bis  $4_{10}$  bzw.  $5_1$  bis  $5_{10}$ .

Für Fig. 4 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 Profilorhrkrümmung nach innen sich auskrümmende schwach durchströmten Zone.

Gemäß Fig. 2, 5, 6 und 8 kann die Bogenmeridianebene in einer Ebene liegen, die sich mittig sowie parallel zwischen den beiden geradschenkeligen Matrixsträngen erstreckt, wobei die die Kreismittelpunkte  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_6$  enthaltenden Geraden G (Fig. 2 und 6) oder die einen oder kleinen Achsen B (Fig. 8), welche den elliptisch gekrümmten bzw. halbelliptischen Profilorhrabschnitten  $6_1$  bis  $6_{10}$  zugehörig sind, in dieser Ebene liegen.

Wie ferner aus den Fig. 3, 4, 7 und 9 entnehmbar, weisen die Profilorhrbügel einen jeweils gleichförmigen, länglich ovalen Profilquerschnitt auf.

Die erfindungsgemäße engere Staffelung 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, diesen bogenförmigen Umlenkbereich ausbildenden Profilrohrabschnitte z. B. örtlich im Zenit des Bogens über ihre Spitzen in Richtung ihrer größeren Achse zu stauchen und zwar in dem Maße, daß die Flanken in kontrollierter Weise seitlich nach außen ausbeulen (Ausbeulungen 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 erfindungsgemäßen Bogenkonfiguration entsteht in diesem Bereich eine Packung, wie in Fig. 10 dargestellt. Damit werden die genannten Bedingungen für die gegenseitige Abstützung der Profilrohre erfüllt. Bei Bedarf können die Berührungsstellen der Profiloberflächen mit einer Verschleißschuttschicht versehen werden.

## Ansprüche

1. Wärmetauscher mit einer quer gegen eine Heißgasströmung U-förmig auskragenden, aus räumlich ineinander verschachtelten Profilrohrbügeln zusammengesetzten Kreuz-Gegenstrom-Matrix, die über zwei geradschenkelige, in einen bogenförmigen Umlenkbereich auslaufende Matrixstränge an zwei im wesentlichen parallel nebeneinander und quer zur

Matrix angeordnete Druckluft-Rohrführungen angeschlossen ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Profilrohrbügel im bogenförmigen Umlenkbereich (6) der Matrix (3) in geringerem gegenseitigen Abstand angeordnet sind als in den geradschenkelig verlaufenden Matrixsträngen (4, 5).

2. Wärmetauscher nach Anspruch 1, bei dem die Profilrohrbügel, jeweils übereinander gestaffelt, in parallel zueinander verlaufenden, die Rohrführungen in Querrichtung schneidenden Ebenen angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, daß die einer Ebene zugehörigen Profilrohrbügel im Matrixumlenkbereich (6) in einer gemeinsamen Bogenmeridianebene in geringeren Abständen übereinander angeordnet sind als in den geradschenkelig verlaufenden Matrixsträngen (4, 5), in denen die Profilrohrabschnitte (4<sub>1</sub>, 4<sub>10</sub>; 5<sub>1</sub>, 5<sub>10</sub>) mit gleichmäßigen Abständen parallel übereinanderliegen.

3. Wärmetauscher nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Profilrohrbügel in der gemeinsamen Bogenmeridianebene in gleichmäßigen Abständen übereinander angeordnet sind.

4. Wärmetauscher nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Profilrohrbügel in der gemeinsamen Bogenmeridianebene in ungleichmäßigen Abständen übereinanderliegen.

5. Wärmetauscher nach einem oder mehreren der Ansprüche 1, 2 und 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Profilrohrbügel in der gemeinsamen Bogenmeridianebene, in Richtung vom innersten Profilrohrabschnitt (6<sub>10</sub>) mit dem kleinsten Krümmungsbogen auf den äußersten Rohrabschnitt (6<sub>1</sub>) mit dem größten Krümmungsbogen, in sich fortlaufend verringernden Abständen übereinanderliegen.

6. Wärmetauscher nach einem oder mehreren der Ansprüche 1, 2 und 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Profilrohrbügel in der gemeinsamen Bogenmeridianebene, in Richtung von innersten Profilrohrabschnitt mit dem kleinsten Krümmungsbogen auf den äußersten Profilrohrabschnitt mit dem größten Krümmungsbogen, zunächst in fortlaufend verhältnismäßig großen und dann in verhältnismäßig kleinen gleichmäßigen Abständen übereinanderliegen.

7. Wärmetauscher nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der bogenförmige Matrixumlenkbereich (6) aus halbkreisförmig gekrümmten Profilrohrabschnitten (6<sub>1</sub>, 6<sub>2</sub>, 6<sub>10</sub>) besteht, deren Kreismittelpunkte (K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, K<sub>10</sub>) entsprechend der gewählten Rohrbeabstandung im Bogenbereich sowie mit Rücksicht auf eine von außen nach innen abnehmende Bogenradiusverringerung jeweils auf einer gemeinsamen Geraden (G) fortlaufend nach außen verschoben sind.

8. Wärmetauscher nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der bogenförmige Matrixumlenkbereich aus kreisförmig und/oder elliptisch gekrümmten Profilrohrabschnitten ( $6_1$ ,  $6_8$ ,  $6_9$ ,  $6_{10}$ ) mit jeweils gleichem Mittelpunkt (M) besteht, deren jeweils eine oder große Achse (A) durch die gleichmäßige Profilabschnittsbeabstandung in den geradschenkeligen Matrixsträngen (4, 5) vorgegeben ist und deren jeweils andere oder kleine Achse (B) durch eine gewählte Profilabschnittsbeabstandung in der Bogenmeridianebene vorgegeben ist.

9. Wärmetauscher nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Bogenmeridianebene bzw. deren Verlängerung sich mittig sowie parallel zwischen den beiden geradschenkeligen Matrixsträngen (4, 5) erstreckt, wobei die die Kreismittelpunkte ( $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_{10}$ ) enthaltenden Geraden (G) oder die einen oder kleinen Achsen (B), welche den elliptisch gekrümmten bzw. halbelliptischen Profilrohrabschnitten ( $6_1$ ,  $6_8$ ,  $6_9$ ,  $6_{10}$ ) zugehörig sind, auf der verlängerten Bogenmeridianebene liegen.

10. Wärmetauscher nach einer oder mehreren der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Profilrohrbügel einen jeweils gleichförmigen, länglich ovalen Profilquerschnitt aufweisen.

11. Wärmetauscher nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die den bogenförmigen Umlenkbereich der Matrix ausbildenden Profilrohrabschnitte ( $6_1$ ,  $6_2$ ,  $6_1''$ ,  $6_2''$ ) im Bereich bzw. in der Bogenmeridianebene mittels profilendseitig eingebrachter Ausbauchungen (10) gegeneinander abgestützt sind.

40

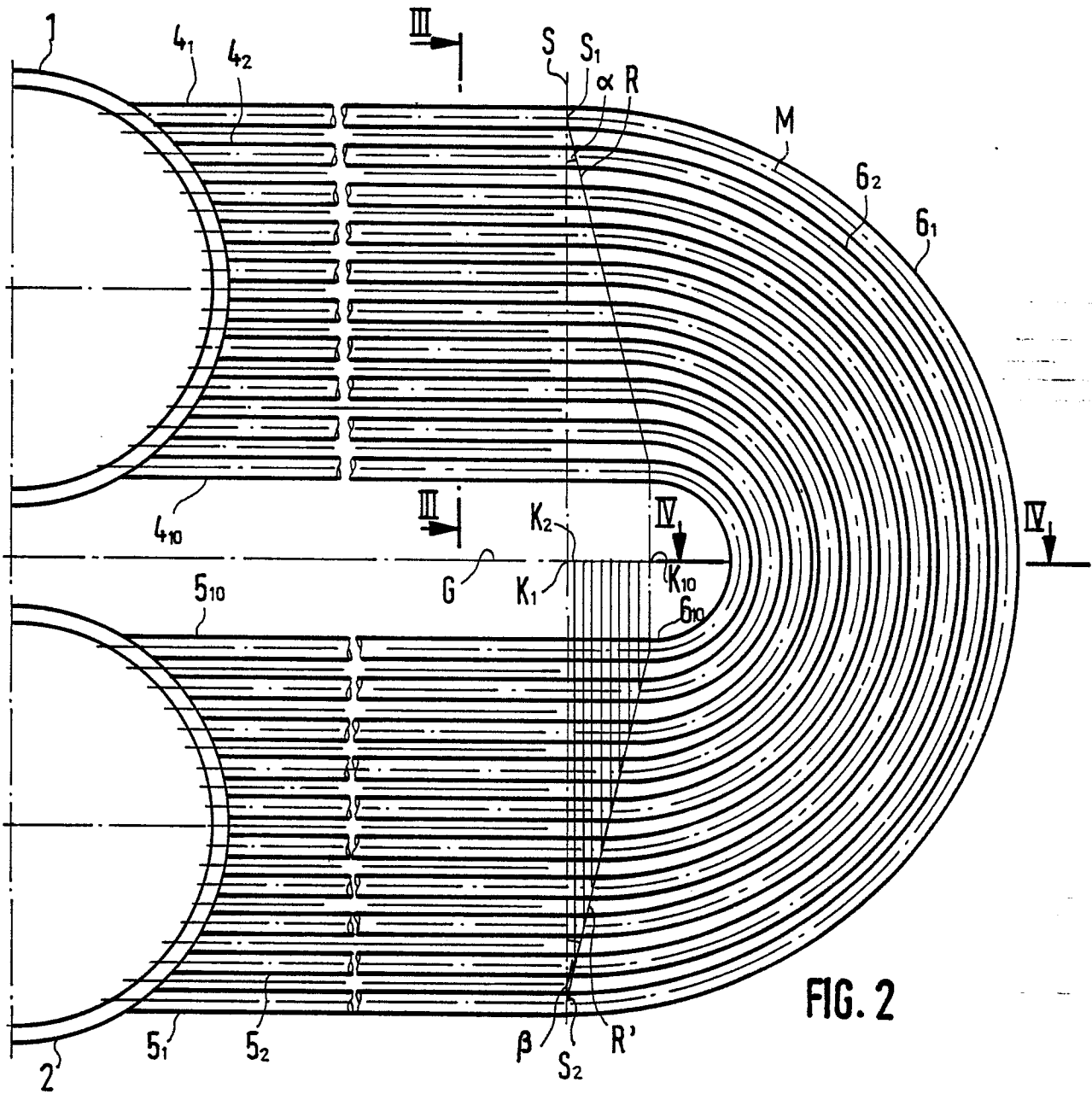
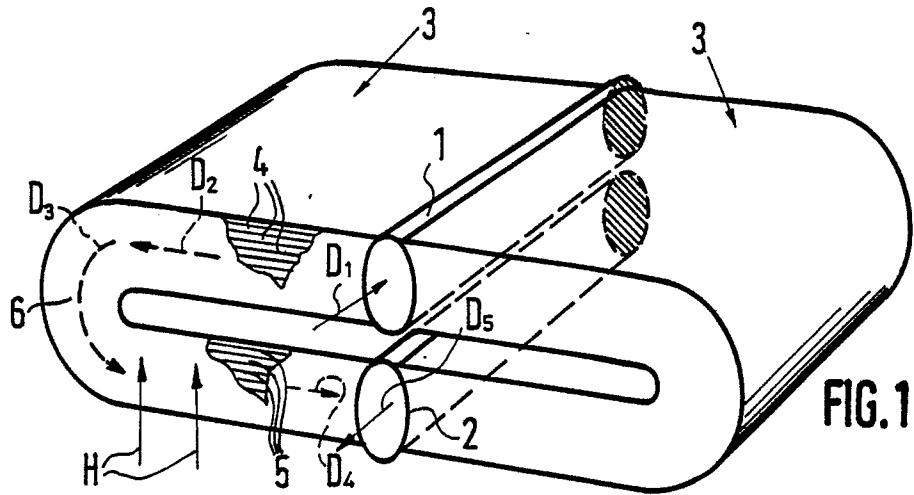
45

50

55

8





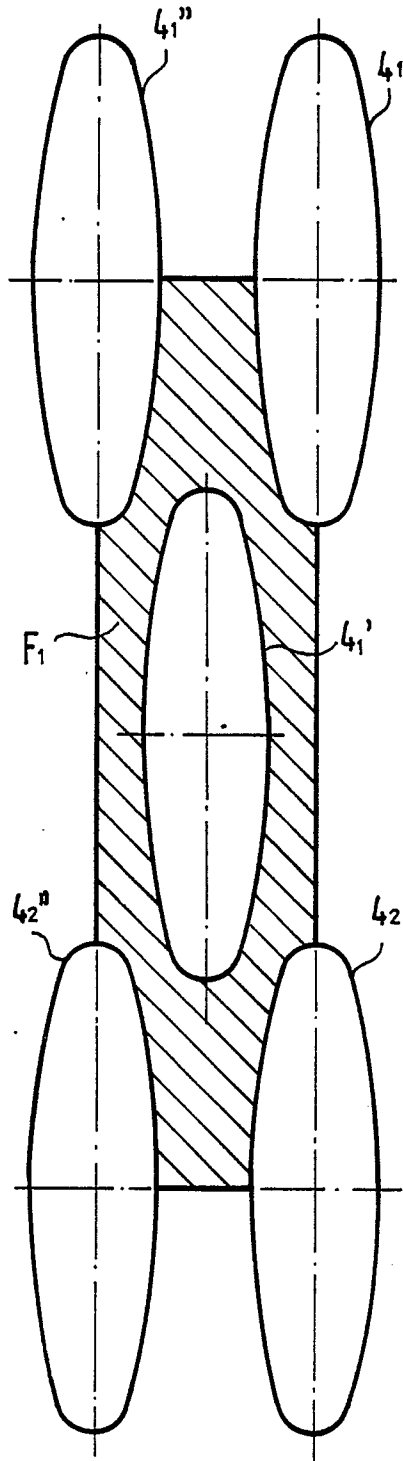


FIG. 3

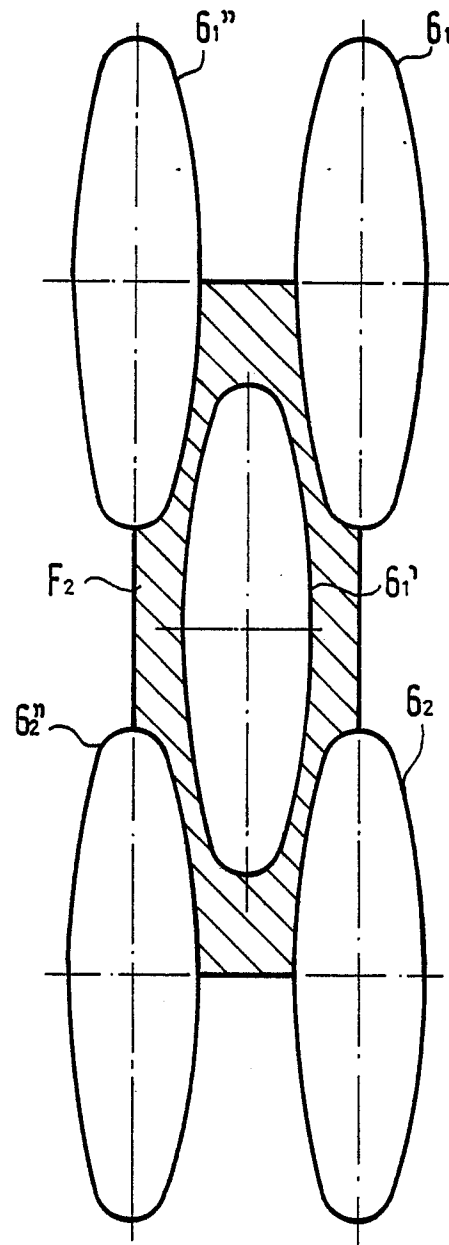
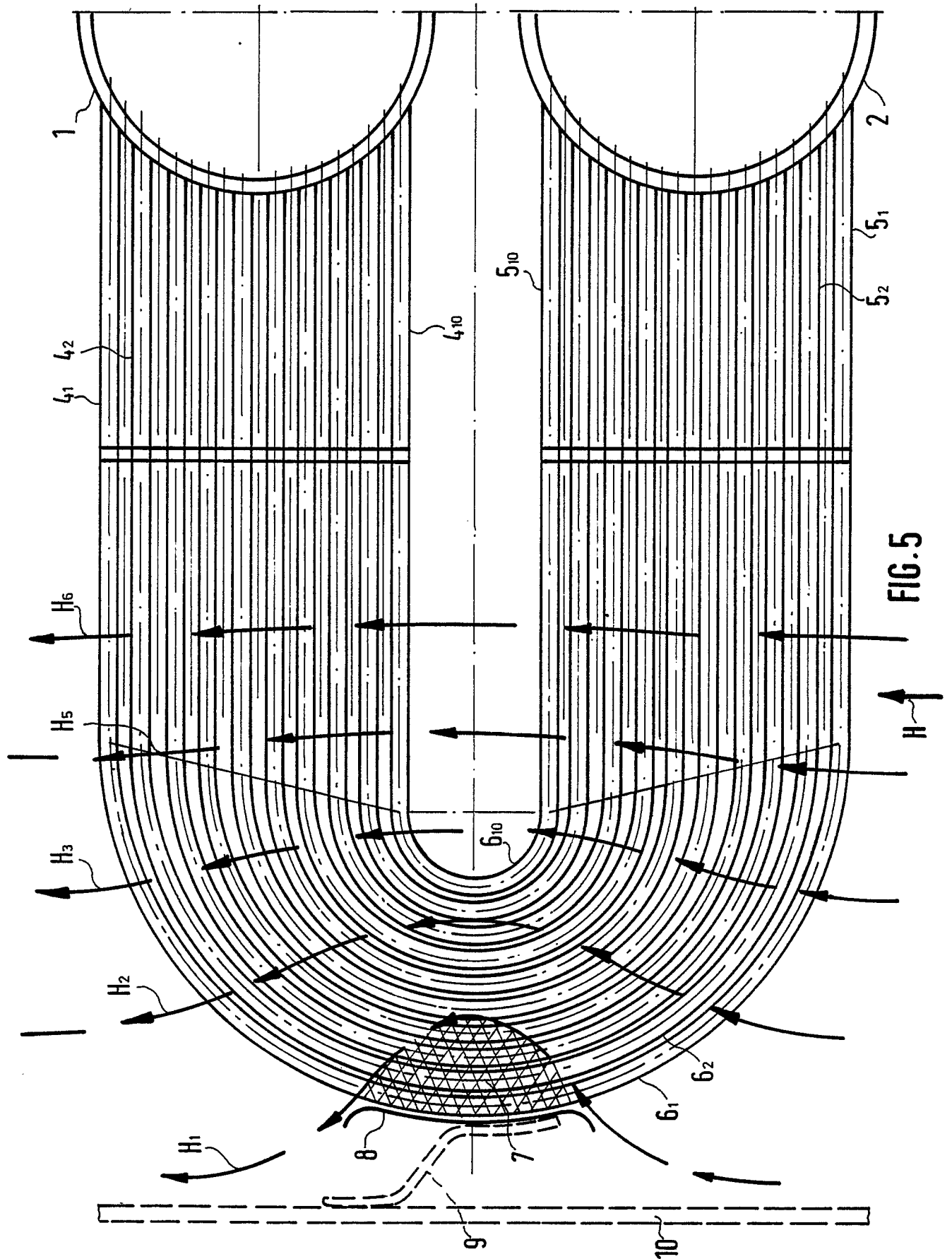
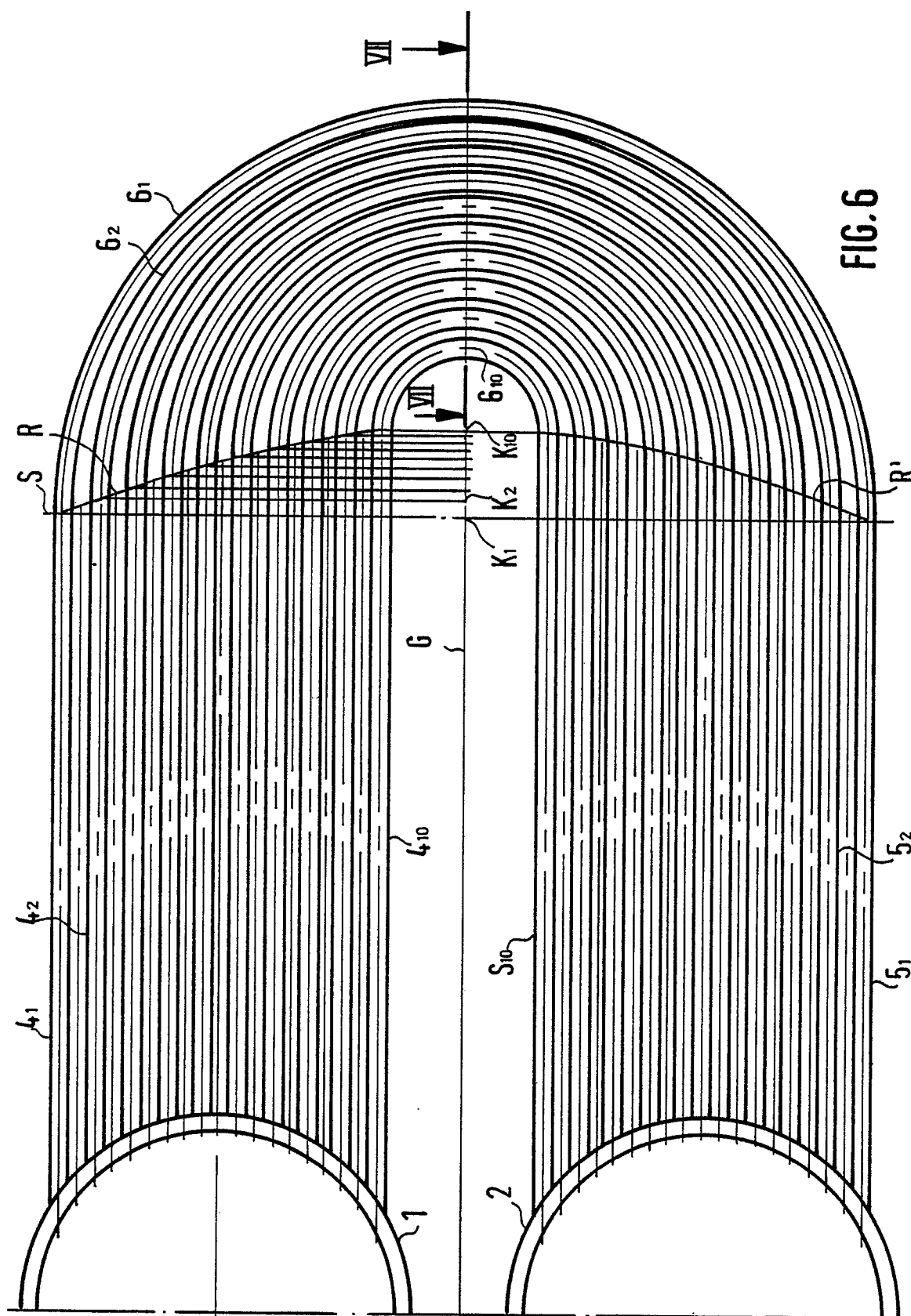
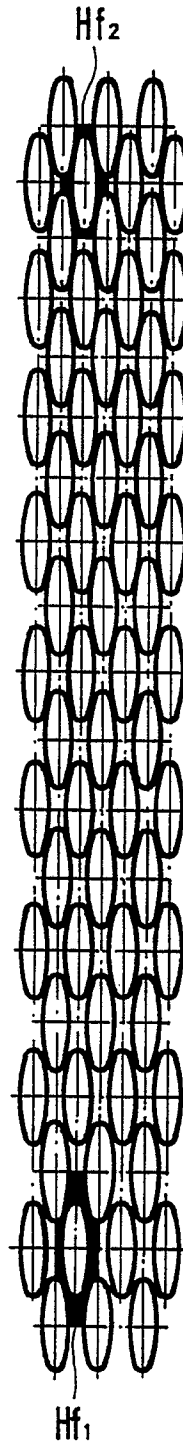
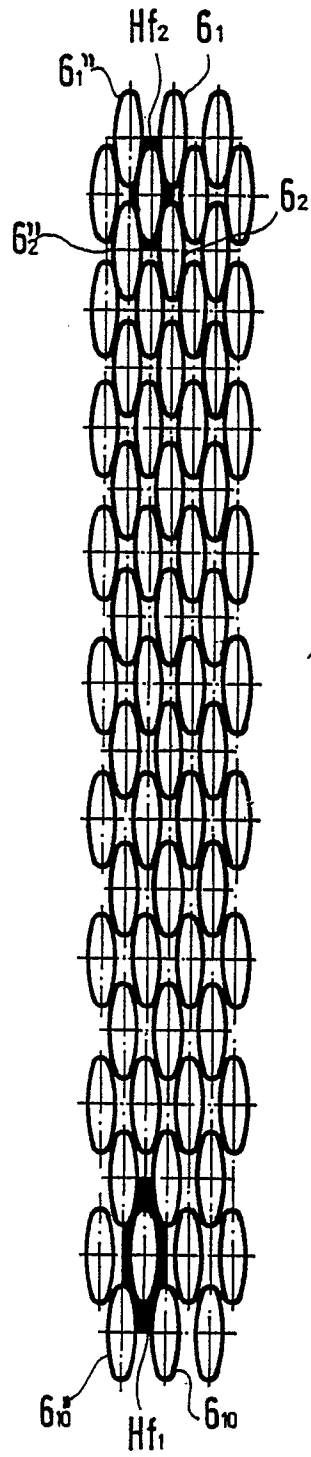


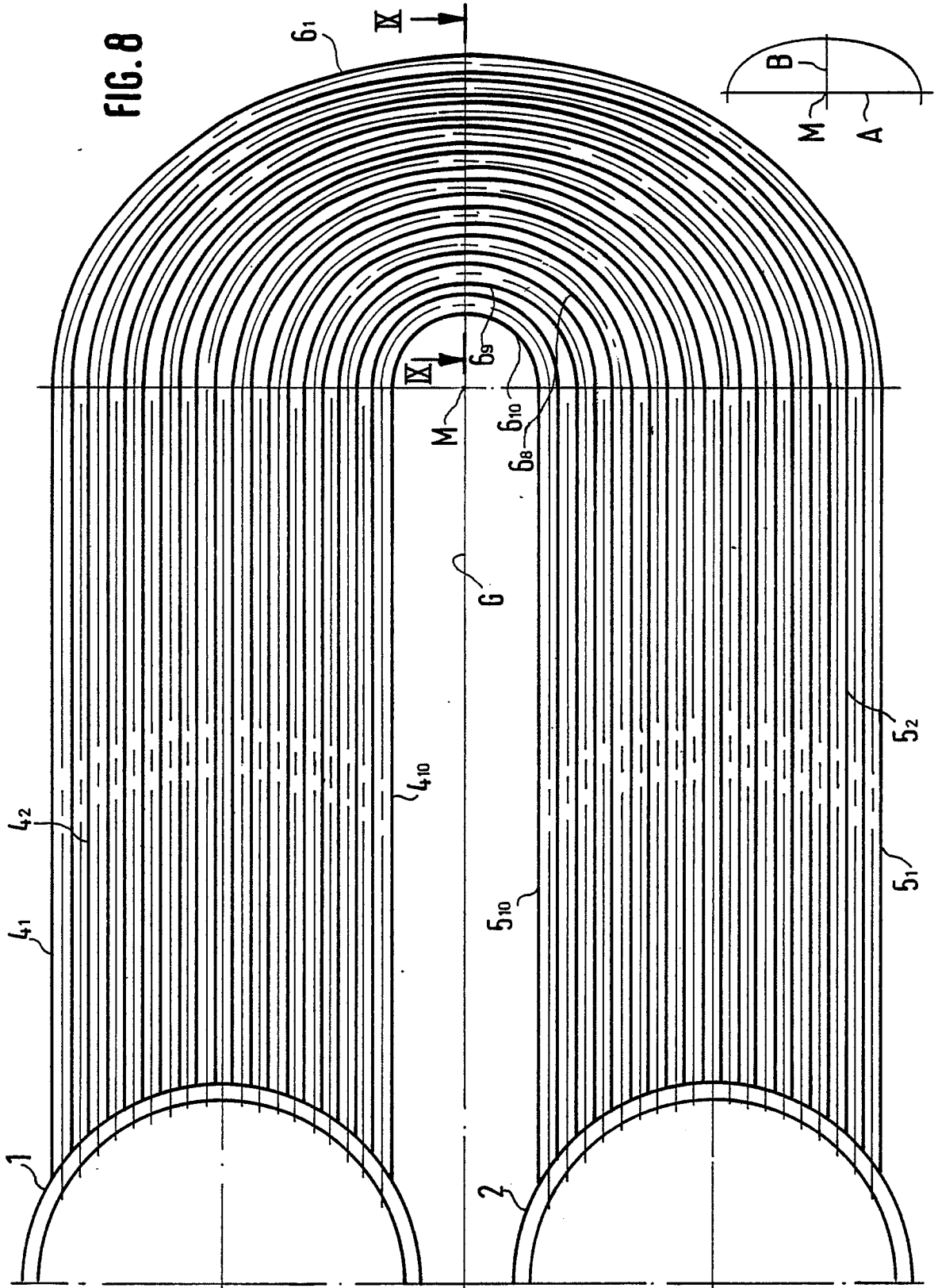
FIG. 4







**FIG. 8**



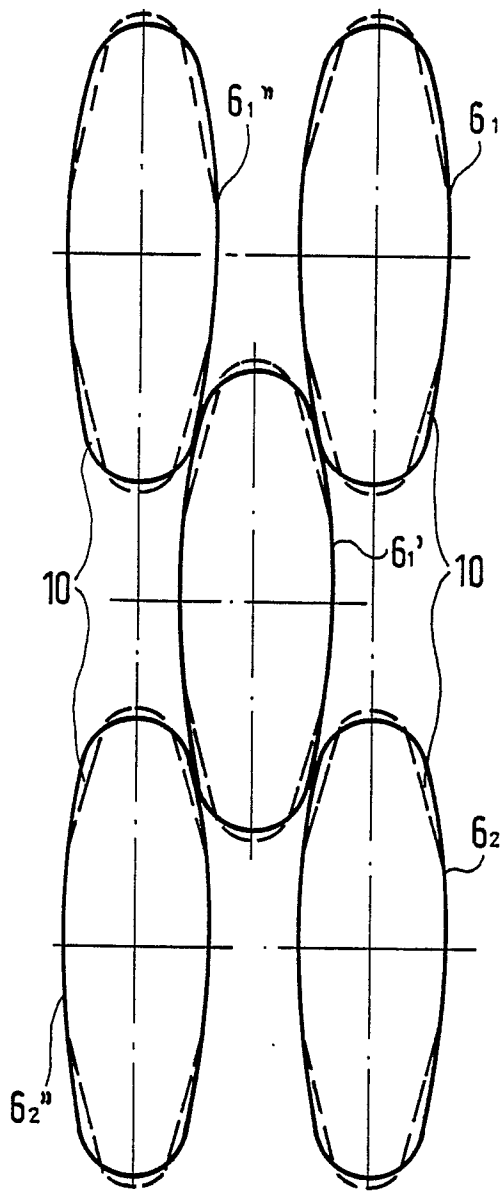


FIG. 10

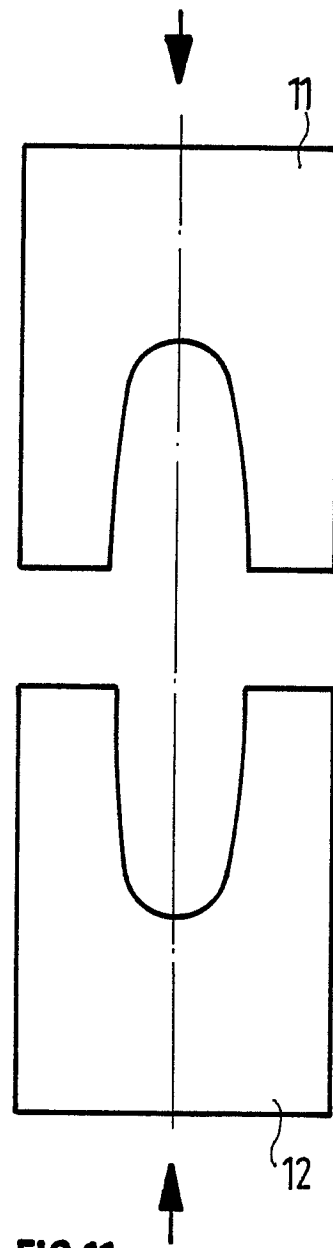


FIG. 11



Europäisches  
Patentamt

# EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 87 11 4629

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.4)
D, Y	GB-A-2 130 355 (MTU) * Insgesamt * ---	1-3	F 28 D 7/06
Y	FR-E- 52 074 (WELTERT) * Insgesamt * ---	1-3	
A	FR-A- 830 829 (AG FÜR TECHNISCHE STUDIEN) * Insgesamt * ---	1	
A	BE-A- 685 939 (BABCOCK) * Insgesamt * ---	1	
A	US-A-3 007 679 (WESTINGHOUSE) * Insgesamt * ---	1	
A	US-A-3 360 037 (BABCOCK) * Insgesamt * -----	1	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.4)
			F 28 D F 22 B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 25-01-1988	Prüfer SMETS E.D.C.
<b>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</b> X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument ..... & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			