



(12) Ausschließungspatent

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1 Patentgesetz

(19) DD (11) 252 425 A5

4(51) F 28 F 25/10
F 28 F 25/12

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) AP F 28 F / 295 631 4
(31) P3541887.7(22) 27.10.86
(32) 27.11.85(44) 16.12.87
(33) DE

(71) siehe (73)

(72) Pohl, Hans Ch., Dipl.-Ing.; Kloster, Friedrich W.; Schlag, Eberhard, Dipl.-Ing., DE

(73) Krupp Koppers GmbH, 4300 Essen 1, DE

(54) Wärmetauscher zur Kühlung Feststoffe enthaltender Gase

(55) Wärmetauscher, Kühlung, Feststoffe, Gase, Kohlevergasungsanlage, Gaseintritts- und Gasaustrittsseite, Rohrböden, Einströmdüsen, Stauflächen

(57) Die Erfindung betrifft einen Wärmetauscher zur Kühlung Feststoffe enthaltender Gase, insbesondere von Gasen aus einer Kohlevergasungsanlage. Dieser weist eine Vielzahl von Wärmetauscherrohren (1) auf, die von den Gasen durchströmt werden und die auf der Gaseintritts- und Gasaustrittsseite in Rohrböden (2) eingelassen sind. An der Gaseintrittsseite sind auf die Wärmetauscherrohre (1) koaxial Einströmdüsen (4) aufgesetzt, die entgegen der Strömungsrichtung der Gase trompetenförmig erweitert sind bis zur allseitigen Berührung mit den gleichartig ausgebildeten benachbarten Einströmdüsen (4'), im wesentlichen ohne Bildung senkrecht zur Anströmrichtung liegender Stauflächen. Fig. 1

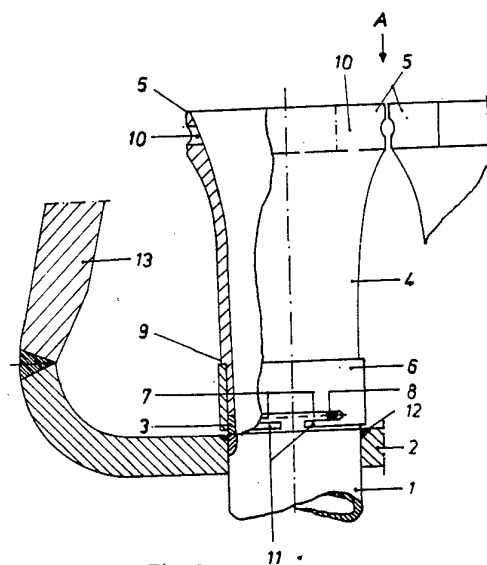


Fig. 1

Patentansprüche:

1. Wärmetauscher zur Kühlung Feststoffe enthaltender Gase, insbesondere von Gasen aus einer Kohlevergasungsanlage, der eine Vielzahl von Wärmetauscherrohren aufweist, die von den Gasen durchströmt werden und die auf der Gaseintritts- und Gasaustrittsseite in Rohrböden eingelassen sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß an der Gaseintrittsseite auf die Wärmetauscherrohre (1) koaxial Einströmdüsen (4) aufgesetzt sind, die entgegen der Strömungsrichtung der Gase trompetenförmig erweitert bis zur allseitigen Berührung mit den gleichartigen benachbarten Einströmdüsen (4'), im wesentlichen ohne Bildung senkrecht zur Anströmrichtung liegender Stauflächen ausgebildet sind.
2. Wärmetauscher nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Kontur der Einströmdüsen (4; 4') so gestaltet ist, daß der Anströmwinkel der mit Feststoffen beladenen Gase 14° nicht überschreitet.
3. Wärmetauscher nach den Ansprüchen 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Anströmwinkel der Einströmdüsen (4; 4') vom Berührungspunkt (5) mit den Nachbardüsen bis zum Ansatz an das Wärmetauscherrohr stetig bis auf Null abnimmt.
4. Wärmetauscher nach den Ansprüchen 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Länge der Einströmdüse (4) so bemessen ist, daß sich eine laminare Grenzschicht-Dicke zwischen 1,0 und 1,2 mm ausbildet.
5. Wärmetauscher nach den Ansprüchen 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß benachbarte Einströmdüsen (4; 4') sich scharfkantig berühren und die Düsen zur Berührungsstelle (5) hin abgerundet ausgebildet sind, wobei der Radius (R) 5 mm nicht überschreitet.
6. Wärmetauscher nach den Ansprüchen 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Einströmdüsen (4) auf die Wärmetauscherrohre (1) lösbar aufgesetzt sind.
7. Wärmetauscher nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Zentrierring (6) mittels einer bajonettartigen Schließanordnung (7) mit dem Wärmetauscherrohr (1) verbunden ist und daß die Einströmdüse (4; 4') in den Zentrierring (6) eingesetzt und an diesem durch Punktschweißung (9) befestigt ist.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft einen Wärmetauscher zur Kühlung Feststoffe enthaltender Gase, insbesondere von Gasen aus einer Kohlevergasungsanlage, der eine Vielzahl von Wärmetauscherrohren aufweist, die von den Gasen durchströmt werden und die auf der Gaseintritts- und Gasaustrittsseite in Rohrböden eingelassen sind.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Bei der Kohlevergasung unter hohen Temperaturen wird ein Rohgas erzeugt, das Feststoffe enthält. Diese Feststoffe setzen sich zusammen aus unvergastem Kohleteilchen, aus Kohleasche sowie aus Schlacketeilchen. Bevor die Feststoffe aus dem Gas entfernt werden können, muß das eine Temperatur von mehr als 1000°C aufweisende Gas zunächst abgekühlt werden. Eine Abkühlung des Gases ist auch deshalb erforderlich, weil die üblichen Verfahren zur Entschwefelung des Gases im allgemeinen bei Temperaturen unter 150°C arbeiten.

Um die in dem heißen Rohgasstrom enthaltene fühlbare Wärme wirtschaftlich zu nutzen, wird das Gas durch einen Wärmetauscher geleitet, wo das Gas einen Teil seiner fühlbaren Wärme an ein wärmeaufnehmendes Medium abgibt. Bevorzugt verwendet man hierbei Röhrenwärmetauscher, bei denen das wärmeaufnehmende Medium Wasser ist und die somit zur Dampferzeugung dienen. Das Feststoffe enthaltende Gas wird dabei durch die Wärmetauscherrohre geführt, während das Kesselspeisewasser sich in dem Raum zwischen dem Außenmantel des Wärmetauschers und der Außenseite der Wärmetauscherrohre befindet. Es ist selbstverständlich auch möglich, als wärmeaufnehmendes Medium Naßdampf zu verwenden und durch Wärmeaufnahme aus dem heißen Gasstrom überhitzten Dampf zu erzeugen. Es ist ferner die Verwendung eines beliebigen Gases oder auch einer anderen Flüssigkeit als Wasser als wärmeaufnehmendes Medium möglich. Bei der Führung des Gases durch die Wärmetauscherrohre hindurch wird die Gasgeschwindigkeit so gewählt, daß die Rohrrinnenwandungen nicht durch Ablagerungen verschmutzen und sich somit die Wärmeübertragungsverhältnisse während des Betriebes des Wärmetauschers nicht wesentlich ändern. Gasgeschwindigkeiten zwischen 20 und 50 m/s haben sich zur Einstellung der gewünschten Wärmeübergangsverhältnisse und Selbstreinigung als geeignet erwiesen. Auf der Gaseintrittsseite des Wärmetauschers muß sich das einströmende Gas auf die einzelnen Wärmeaustauscherrohre verteilen. Es erfährt dabei Richtungsänderungen und Beschleunigungen, die eine gleichmäßige Strömungsbildung im Einlauf der Wärmetauscherrohre zunächst stören. Die Einlaufstrecke, das ist die Strecke zwischen dem Eintritt in das Rohr und der Ausbildung einer homogenen Rohrströmung, ist um so größer, je ungünstiger der Rohreinlauf gestaltet ist. Ungünstig sind abrupte Querschnitts- und Richtungsänderungen, günstig Kanalförmigkeiten, die mäßige Beschleunigungen erlauben und Querkomponenten in der Strömung vermeiden.

Bei Vorhandensein der eingangs erwähnten Feststoffe im Gasstrom führen die geschilderten ungünstigen Strömungsverhältnisse durch Strömungsablösung nach Richtungsänderungen, Rezirkulation und Umströmung von Ecken und Kanten zu starken Abrasionen auf der Rohrinneinnenseite. Es hat sich gezeigt, daß insbesondere im Einlaufbereich der Wärmetauscherrohre solche Ausschabungen auftreten, die zu einer erheblichen Abnahme der Wandstärke der Rohre in diesem Bereich führen, so daß der Betrieb des Wärmetauschers nicht mehr sicher ist. Die verschlissenen Rohre müssen dann verschlossen werden, was zu einer Verringerung der wirksamen Wärmeaustauschfläche und zur Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit in den noch betriebenen Wärmetauscherrohren führt. Die höhere Strömungsgeschwindigkeit wiederum hat wegen des damit verbundenen Anwachsens der Verschleißintensität eine weitere Verkürzung der Lebensdauer des Wärmetauschers zur Folge.

Sobald ein größerer Teil der Wärmetauscherrohre die erwähnten starken Verschleißerscheinungen aufweist, muß eine Neuberohrung des Wärmetauschers durchgeführt werden. Unbefriedigend ist es hierbei, daß bei einem beispielsweise 7 m langen Rohr der Verschleiß nur auf einer Länge von ca. 400 mm, gerechnet vom Einlauf her, auftritt, das übrige Rohr dagegen völlig unbeschädigt ist.

Man hat auch schon die Intervalle zwischen Neuberohrungen dadurch verlängert, daß man Einsteckhülsen, Rohre also, deren Außendurchmesser dem Innendurchmesser der Wärmetauscherrohre angepaßt ist, über die Schadstelle schiebt und diese damit abdeckt. Es zeigte sich jedoch, daß unmittelbar hinter dem Ende der Einsteckhülse infolge der plötzlichen Querschnittserweiterung wieder Strömungsablösung mit Wirbelbildung, Rezirkulation und Abrasion auftrat. Man konnte dann zwar zu gegebener Zeit diese Einsteckhülsen gegen eine zweite, gegebenenfalls später auch eine dritte, längere Hülse auswechseln, die den gesamten bisher verschlissenen Bereich überdeckt, jedoch ist die Möglichkeit des Auswechselns, bezogen auf die immer größer werdende Länge der Hülse, erfahrungsgemäß begrenzt.

Ziel der Erfindung

Es ist das Ziel der Erfindung, einen Wärmetauscher zur Kühlung Feststoffe enthaltender Gase zur Anwendung zu bringen, der verbesserte Gebrauchswerteigenschaften, besonders in bezug auf seine Reparaturanfälligkeit und Betriebszeit, aufweist.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Wärmetauscher zur Kühlung von Gasen aus einer Kohlevergasungsanlage, der eine Vielzahl von Wärmetauscherrohren aufweist, die von den Gasen durchströmt werden und die auf der Gaseintritts- und Gasaustrittsseite in Rohrböden eingelassen sind, zu schaffen, bei dem der Verschleiß im Bereich des Einlaufes der Wärmetauscherrohre auf ein Minimum reduziert wird.

Zur Lösung dieser Aufgabe schlägt die Erfindung vor, daß an der Gaseintrittsseite auf die Wärmetauscherrohre koaxial Einströmdüsen aufgesetzt sind, die entgegen der Anströmrichtung der Gase trompetenförmig erweitert sind bis zur allseitigen Berührung mit den gleichartig ausgebildeten benachbarten Einströmdüsen, im wesentlichen ohne Bildung senkrecht zur Anströmrichtung liegender Staufflächen.

Die Erfindung sieht ferner vor, daß die Kontur der Einströmdüsen so gestaltet ist, daß der Anströmwinkel α der mit Feststoffen beladenen Gase 14° nicht überschreitet. Es hat sich gezeigt, daß ein solcher Anströmwinkel einerseits der Forderung nach einer möglichst geringen Abrasion weitestgehend entspricht. Andererseits erlaubt ein Anströmwinkel dieser Größe eine Baulänge der Einströmdüsen in konstruktiv noch vertretbaren Maßen, während ein flacherer Winkel zwar abrasiv günstiger wäre, konstruktiv aber übergroße Baulängen bewirken würde.

Zur Minimierung der Abrasion hat es sich weiterhin als günstig erwiesen, wenn der Anströmwinkel der Einströmdüsen vom Berührungspunkt mit den Nachbardüsen bis zum Ansatz an das Wärmetauscherrohr in Strömungsrichtung stetig bis auf Null abnimmt.

Eine besonders günstige Düsenkontur (Innenoberfläche der Einströmdüse) wird dann erreicht, wenn der sich ständig über die Länge der Einströmdüse) ändernde Durchmesser folgender Gleichung genügt:

$$d_x = d_o + (d_H - d_o) \cdot e^{-\left(\frac{H}{x} - 1\right)}$$

Darin bedeuten:

d_x = der sich über die Lauflänge der Düse ändernde Innendurchmesser der Düse

d_H = der größte Innendurchmesser der Düse

d_o = der kleinste Innendurchmesser der Düse, gleichzeitig Innendurchmesser des Wärmetauscherrohres

H = Länge der Einströmdüse

X = laufende Länge der Einströmdüse an der Stelle x für d_x .

Gemäß der Gleichung ändert sich die Kontur der Einströmdüse entsprechend dem Verlauf einer Exponentialkurve, die einen gleichmäßigen und stetigen Übergang zur Strömungsachse und Rohrsenkrechten beschreibt und die Einströmdüse konstruktiv darstellbar macht. Durch diese Rezirkulation und Abrasion durch auftreffende Feststoffpartikel werden bis auf ein Minimum verringert.

Ein Problem bei der Realisierung der erfindungsgemäßen Wärmetauscher Ausbildung ist das versatzfreie, koaxiale Aufsetzen der Einströmdüse auf das Wärmetauscherrohr, da Fertigungstoleranzen nicht auszuschließen sind und ein Versatz wieder die Gefahr der Strömungsstörung mit nachfolgender Wirbelablösung und daraus resultierender Abrasion im Wärmetauscherrohr bedeuten würde.

Nun ist es aus der Strömungslehre bekannt, daß nur solche Unebenheiten die Strömung stören, deren zur Strömungsrichtung senkrechte Ausdehnung größer ist als die Dicke der laminaren Strömungsgrenzschicht, die sich zwischen Wandung und turbulenter Strömung im inneren Teil des Stromes ausbildet. Die Dicke dieser laminaren Grenzschicht, bei der in Wandnähe ein Geschwindigkeitsabfall der Strömung bis auf Null erfolgt, hängt bei einer ungestörten Strömung von deren Lauflänge entlang der Wandung ab und nimmt mit der Lauflänge zu.

Soll nun eine Störung der laminaren Strömung in der Einströmdüse vermieden und damit negativen Auswirkungen auf die Werkstoffhaltbarkeit vorgebeugt werden, muß die Länge der Einströmdüse so groß gewählt werden, daß sich eine Grenzschicht solcher Dicke ausbilden kann, die alle Unebenheiten einhüllt. Solche Unebenheiten entstehen eben auch beim Aufsetzen der Einströmdüse an der Stoßstelle (Übergangsstellen) zwischen Düse und Wärmetauscherrohr. An dieser Stelle muß die Dicke der Grenzschicht also größer sein als die durch die Maßtoleranzen der Fertigung entstehenden Abweichungen vom Idealmaß der Werkstücke, wie die Bildung einer Stufe beim Übergang von der Düse zum Rohr.

Es wurde nun gefunden, daß im vorliegenden Fall die erforderliche Dicke der Strömungsgrenzschicht zwischen 1,0 und 1,2 mm liegt.

Demgemäß wird gemäß einem weiteren Merkmal der Erfindung vorgeschlagen, daß die Länge der Einströmdüse so bemessen ist, daß sich eine laminare Grenzschicht-Dicke zwischen 1,0 und 1,2 mm ausbildet.

Die Erfindung sieht ferner vor, daß benachbarte Einströmdüsen sich scharfkantig berühren und die Düsen zur Berührungsstelle hin abgerundet ausgebildet sind, wobei der Radius R 5 mm nicht überschreitet. Mit dieser Maßnahme wird die Bildung ebener, senkrecht zur Anströmrichtung liegender Stauflächen minimiert und damit die Voraussetzung dafür geschaffen, daß sich eine ungestörte laminare Unterschicht ausbilden kann. Diese Maßnahme sowie die Begrenzung des Anströmwinkels auf 14° müssen realisiert sein, unabhängig von der Rohranordnung des Wärmetauschers, d. h. sowohl bei einer 90°- oder 60°-Teilung als auch bei jeder anderen Teilung. Bei einer 60°-Teilung beispielsweise geht die Einströmdüse sich erweiternd von einer runden in einen Sechseck-Querschnitt über, wobei die Forderung nach einem Anströmwinkel α von höchstens 14° in der Sechseck-Diagonalen gilt. Der Anströmwinkel für den Sechseck-Innenkreis ist naturgemäß kleiner.

Bei der konstruktiven Ausführung des erfindungsgemäßen Wärmetauschers müssen folgende Forderungen gleichzeitig erfüllt sein:

1. Die Einströmdüse muß konzentrisch und an den Rohrwänden im wesentlichen versatzfrei, d. h. mit einer Stufe, die kleiner ist als die Grenzschichtdicke, an das Wärmetauscherrohr anschließen, wobei das Wärmetauscherrohr ca. 10 mm über den Rohrboden hinausragt.
2. Einströmdüse und Wärmetauscherrohr müssen dauerhaft so form- und kraftschlüssig verbunden sein, daß trotz der thermischen Expansion und Kontraktion Flugstaub nicht in die Stoßfuge eindringen kann und so durch Schlitzaufweitung die Wandströmung zerstört.
Das gilt insbesondere, wenn die Wärmetauscherachse gegenüber der Senkrechten geneigt ist und der Wärmetauscher dadurch Schwerkraftkomponenten ausgesetzt ist.
3. Die einzelnen Einströmdüsen müssen so eingesetzt werden können, daß — je nach Rohranordnung im Wärmetauscher — z. B. ein Sechseck- oder Viereck-Muster in der Ebene des Gasstromeintritts entsteht.
4. Falls Schweißnähte zwischen Wärmetauscherrohr und Rohrboden undicht werden, muß die Möglichkeit gegeben sein, einzelne Einströmdüsen zu entfernen.

Es ist im Sinne der Erfindung, daß ein Zentrierring mittels einer bajonettartigen Schließanordnung mit dem Wärmetauscherrohr verbunden ist und daß die Einströmdüse in den Zentrierring eingesetzt und an diesem durch Punktschweißung befestigt ist.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert werden. In der zugehörigen Zeichnung zeigen:

Fig. 1: eine Einströmdüse (teilweiser Schnitt) und das daran anschließende, in einem Rohrboden eingelassene Wärmeaustauscherrohr;

Fig. 2: eine Ansicht in Richtung des Pfeiles A in Fig. 1.

Ein Wärmetauscherrohr 1 ist so in einen Rohrboden 2 eingeschweißt, daß ein Rohrstummel 3 von 10 bis 15 mm Länge über den Rohrboden 2 herausragt. Auf das Wärmetauscherrohr 1 bzw. den Rohrstummel 3 ist eine Einströmdüse 4 lösbar aufgesetzt. Diese Einströmdüse 4 ist entgegengesetzt zur Strömungsrichtung der mit Feststoffen beladenen Gase (Pfeil B) trompetenförmig erweitert bis zur Berührung mit benachbarten Einströmdüsen 4'. Zur Berührungsstelle hin sind die Düsen, wie bei R angedeutet, abgerundet ausgebildet, um in diesem Bereich praktisch keine Stauflächen zu bilden. Die nebeneinander liegenden Einströmdüsen 4; 4' bilden bei einer 60°-Teilung eine Anordnung gemäß Fig. 2.

Die Befestigung der Einströmdüse 4; 4' am Wärmetauscherrohr 1 erfolgt mittels eines Zentrierringes 6, der konzentrisch über den Rohrstummel 3 gestülpt wird. Der Zentrierring 6 weist eine bajonettartige Schließanordnung 7 auf, die durch Drehen des Zentrierringes 6 eine formschlüssige Befestigung zwischen den Schlitzen der Schließanordnung 7 und einem am Rohrstummel 3 befestigten Verriegelungsdorn 8 ermöglicht. Die Einströmdüse 4, die entsprechend den Abmessungen des Zentrierringes 6 abgedreht worden ist, wird in den Zentrierring 6 eingesetzt und durch einen Schweißpunkt 9 mit diesem verbunden. Auf diese Weise können alle Einströmdüsen 4; 4' eingesetzt und befestigt werden, bis auf die letzte. Bei dieser Einströmdüse 4; 4' kann nur der Zentrierring 6 verriegelt werden, die Fixierung der Einströmdüse 4; 4' mit dem Zentrierring 6 durch einen Schweißpunkt 9 ist aus Platzgründen natürlich nicht mehr möglich. In diesem Fall erfolgt die Fixierung an einer Berührungsstelle zwischen benachbarten Einströmdüsen, etwa am Berührungspunkt 5.

Wenn eine einzelne Einströmdüse 4; 4' entfernt werden muß, wird in die Bohrungen 10 der Düse ein geeignetes Werkzeug eingesetzt, mit dem eine Zugkraft ausgeübt werden kann. Dabei verformen sich die Flanken 11 der Schließanordnung 7 und die Verbindung zwischen Einströmdüse 4 und Wärmetauscherrohr 1 wird unter Gewalteinwirkung gelöst.

Entsprechend können benachbarte Einströmdüsen 4; 4' entfernt werden, so daß der Rohrboden 2 für örtliche Reparaturen freigelegt werden kann. Nach Ausbesserung beispielsweise einer Schweißstelle 12 zwischen Wärmetauscherrohr 1 und Rohrboden 2 kann dann die Montage der Einströmdüse 4; 4' wie vorstehend beschrieben durchgeführt werden. Die Zwischenräume zwischen den Einströmdüsen 4; 4' werden mit hitzebeständiger Mineralfaser ausgefüllt, um die Einwanderung von Flugstaub in die Verriegelung zu verhindern. Der Übergangsbereich zwischen Einströmdüse 4; 4' und Kesselwand 13 wird ebenfalls mit keramischer Faser und einer Deckschicht aus Feuerbeton abgedeckt, wobei durch Anordnung eines Faserfilzes parallel zur äußeren Düsenkontur das Eindringen von Feuerbeton zwischen die Einströmdüsen 4; 4' verhindert wird.



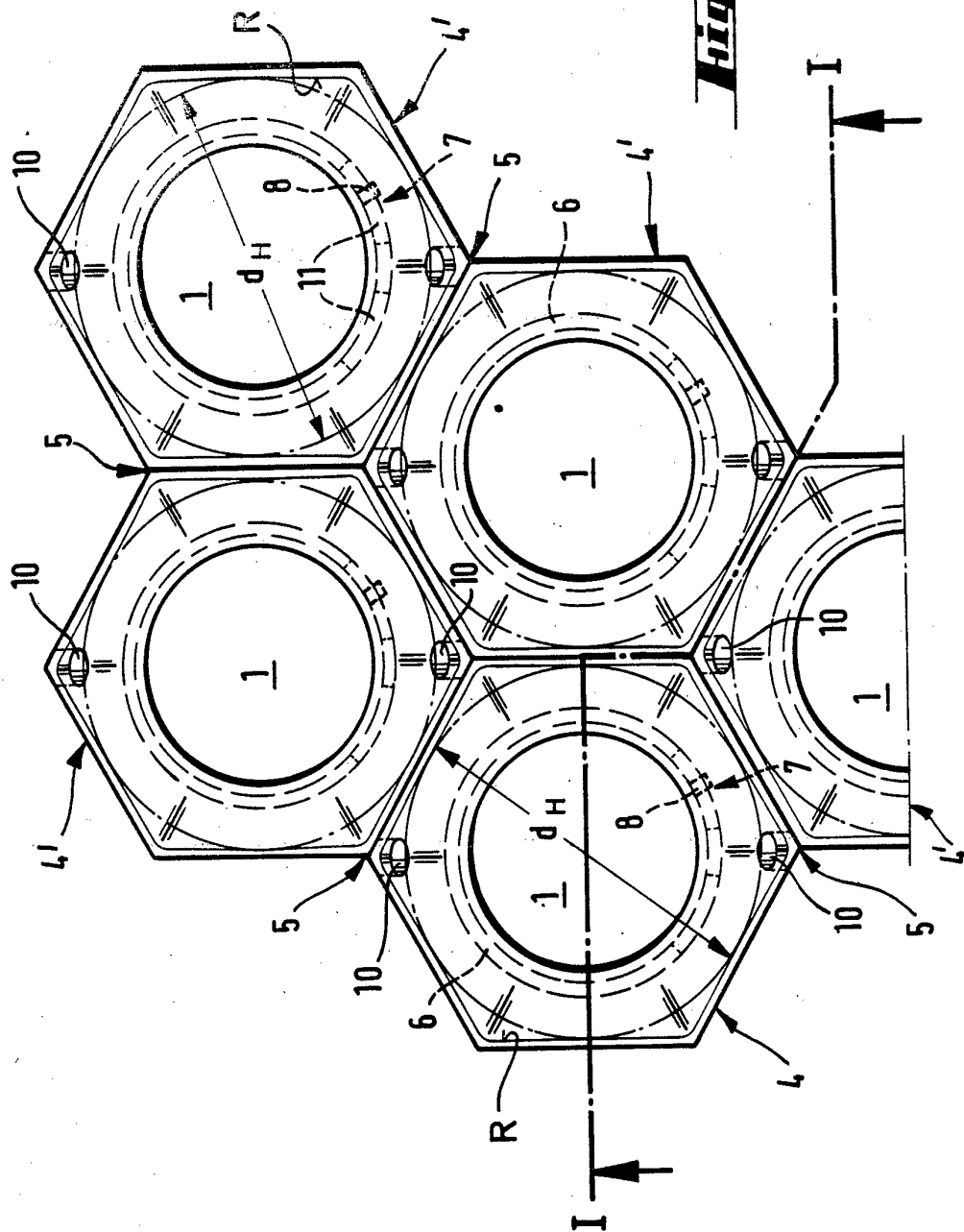


Fig. 2 (A)