



⑫

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

④⑤ Veröffentlichungstag der Patentschrift :  
**28.04.93 Patentblatt 93/17**

⑤① Int. Cl.<sup>5</sup> : **F28D 7/08**

②① Anmeldenummer : **90102376.2**

②② Anmeldetag : **07.02.90**

⑤④ **Wärmetauscher.**

③⑩ Priorität : **11.02.89 DE 3904140**

④③ Veröffentlichungstag der Anmeldung :  
**22.08.90 Patentblatt 90/34**

④⑤ Bekanntmachung des Hinweises auf die  
Patenterteilung :  
**28.04.93 Patentblatt 93/17**

⑧④ Benannte Vertragsstaaten :  
**CH ES FR GB IT LI**

⑤⑥ Entgegenhaltungen :  
**EP-A- 0 228 581**  
**CH-A- 223 395**  
**DE-A- 3 401 567**  
**FR-A- 2 266 866**  
**FR-A- 2 540 984**  
**US-A- 2 519 084**

⑦③ Patentinhaber : **MTU MOTOREN- UND  
TURBINEN-UNION MÜNCHEN GMBH**  
**Dachauer Strasse 665 Postfach 50 06 40**  
**W-8000 München 50 (DE)**

⑦② Erfinder : **Hagemeister, Klaus**  
**Manzostrasse 28b**  
**W-8000 München 50 (DE)**

⑦④ Vertreter : **Baum, Wolfgang, Dipl.-Ing.**  
**MTU MOTOREN- UND TURBINEN-UNION**  
**MÜNCHEN GMBH Dachauer Strasse 665**  
**W-8000 München 50 (DE)**

**EP 0 383 173 B1**

Anmerkung : Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents 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

Die Erfindung betrifft einen Wärmetauscher gemäß Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Ein derartiger Wärmetauscher ist aus der DE-A- 35 43 893 bekannt; dabei sind eine Anzahl S-förmig gekrümmter Profilröhrchen zwischen einem Sammelrohr und einem Matrixumlenkabschnitt angebracht. Durch die Krümmung der einzelnen Profilröhrchen ergeben sich eine Reihe von Vorteilen gegenüber gradlinig verlaufenden Profilröhrchen. Diese Lösung hat jedoch den Nachteil, daß der individuelle Dehnungsausgleich eines Profilröhrchens einen Querausschlag in Bezug auf das es umgebende Kollektiv von Profilröhrchen nur an denjenigen Stellen zur Folge hat, an denen die Abstandshalter der maximalen Auslenkungspunkte angeordnet sind. Dadurch wird der Dehnungsausgleich behindert, sofern er das in der Abstandshalterung vorhandene Spiel überschreitet.

Hiervon ausgehend ist es Aufgabe der Erfindung, einen Wärmetauscher gemäß Oberbegriff des Patentanspruchs 1 derart zu verbessern, daß unter allen Betriebsbedingungen ein ungehinderter Dehnungsausgleich der Profilröhrchen stattfinden kann, ohne daß sich der Wärmetauscher ungezielt verformt.

Die gestellte Aufgabe wird durch die im Kennzeichnungsteil des Patentanspruchs 1 angegebenen Merkmale erfindungsgemäß gelöst.

Die erfindungsgemäße Aneinanderreihung von Kurvenabschnitten ergibt über die gesamte Länge eines Profilröhrchens einen vollständigen Wellenzug, der ein kontrolliertes Ausknicken eines gesamten Röhrchens bzw. eines gesamten Röhrchenkollektivs einer Schicht bei Relativdehnungen durch Wärmedehnungen oder durch stoßbedingte Dehnungen bzw. Stauchungen im Verhältnis zu deren äußeren Einspannung ermöglicht. Die Profilröhrchen können sich somit trotz beidseitig fixierter Einspannungen und fester Verbindung an den Stellen der Abstandshalter kontrolliert und nur mit geringen inneren Spannungen unter der Wirkung von Temperaturdifferenzen und -gradienten in der Länge ausdehnen und kontrahieren, ohne daß die Strömungsquerschnitte zwischen benachbarten Profilröhrchen wesentlich verändert werden. Es muß dabei betont werden, daß die Profilröhrchen aus einem Stück gefertigt sind, und die einzelnen Kurvenabschnitte lediglich gebogene Teilabschnitte eines Profilröhrchens darstellen.

In Folge der S-förmigen Krümmung der Profilröhrchen erfolgt der Ausgleich von Verbiegungen in der Ebene einer Profilröhrchenschicht durch Torsion der Kurvenabschnitte zwischen Abstandshaltern, wodurch ein geringerer Widerstand gegen Verbiegungen und somit geringere Spannungen gegenüber ungekrümmten Profilröhrchen erzielbar sind.

Der erhebliche Vorteil der neuen Formgestaltung der Profilröhrchen liegt darin, daß die Abstandshalter an den Stellen ihrer maximalen Auslenkungspunkte und den Zwischenpunkten spielfrei fixiert werden können, wodurch das Kollektiv der Profilröhrchen an diesen Stellen gegen Schwingungen und Stoßkräfte fest abgestützt werden kann. Der Dehnungsausgleich erfolgt dann durch Stauchen oder Strecken der Profilröhrchen auf jeweils der Länge zweier aneinander stoßender Kurvenabschnitte, d.h. zwischen je zwei Fixierpunkten, die entlang einer gesamten Rohrstrecke zumindest zweimal auftreten. Für die gleiche Relativdehnung ergeben sich dabei Querauslenkungen, die etwa um den Faktor 3 geringer sind als diejenigen von bekannten Ausführungen.

In bevorzugter Weiterbildung der Erfindung weisen die Kurvenabschnitte konstante Krümmungsradien auf, wodurch eine einfache Herstellbarkeit der Kurvenabschnitte erreichbar ist. Dabei ist es von Vorteil, wenn alle Kurvenabschnitte den gleichen Krümmungsradius aufweisen, der etwa im Bereich von 1 bis 2fachen Länge der Kurvenabschnitte beträgt. Bei einem beispielsweise aus acht Kurvenabschnitten zusammengesetzten Profilröhrchen lassen sich auf diese Weise die für die Durchströmung wichtigen Abstände zwischen den Profilröhrchen auch bei großen Temperaturdifferenzen ausreichend groß halten. Die Stellen minimalen Abstandes zwischen zwei Profilröhrchen treten an den Wendepunkten auf, d.h., an Stoßstellen zweier entgegengesetzt gekrümmter Kurvenabschnitte.

In alternativer Ausbildung der Erfindung weisen die Kurvenabschnitte sinusförmigen Kurvenverlauf auf. Dabei sind zwei alternative Ausführungsformen eines sinusförmigen Kurvenverlaufes möglich. Gemäß einer bevorzugten Alternative bilden zwei Kurvenabschnitte zusammen einen vollständigen Sinuszug, wobei die gedachte Winkelachse die gradlinige Verbindung zweier Fixierpunkte darstellt. Somit entsprechen die Fixierpunkte dem Winkel 0 bzw.  $2\pi$  während die Wendestellen, an denen zwei entgegengesetzt gekrümmte Kurvenabschnitte auf einander treffen dem Winkel  $\pi/2$  entspricht.

Gemäß einer alternativen Ausführungsform bilden zwei Kuvenabschnitte zusammen einen halben Kosinuszug. D. h. die gedachte Winkelachse ist parallel gleich beabstandet zu den Profilröhrchentangenten an den beiden Fixierstellen. Die beiden Fixierstellen entsprechen somit den Winkeln 0 und  $\pi$ .

Eine weitere vorteilhafte Ausbildung der Erfindung sieht vor, daß die Profilröhrchen etwa ellipsenartigen Querschnitt aufweisen, wobei die einzelnen Kurvenabschnitte um die Halbachse mit dem geringeren Biege- widerstandsmoment gebogen sind. Ein derartig ellipsenartiger Querschnitt ermöglicht eine aerodynamisch gün-

stigere Umströmung der einzelnen Profilröhrchen. Alternativ wäre es doch auch denkbar, die Profilröhrchen mit Kreisquerschnitt zu fertigen, um eine vereinfachte Herstellung zu erzielen.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt:

Fig. 1 eine schematische Seitenansicht eines Wärmetauschers mit einem Profilröhrchen zwischen zwei teilweise dargestellten Sammelbehältern und

Fig. 2 eine Draufsicht des Wärmetauschers mit einer Profilröhrchenreihe zwischen den beiden teilweise dargestellten Sammelbehältern.

In Fig. 1 ist ein Profilröhrchen 1 dargestellt, daß mittels zweier Befestigungspunkte 2a, 2b an zwei nur teilweise gezeichneten Sammelbehältern 3a und 3b angebracht ist. Dabei kann einer der beiden Sammelbehälter 3a, 3b auch ein Umlenkabschnitt einer beispielsweise U-förmigen Profilrohrmatrix sein. Parallel zum Profilröhrchen 1 sind eine Vielzahl gleichartiger, regelmäßig beabstandeter Profilröhrchen 4 vorgesehen, die zusammen mit dem gezeigten Profilröhrchen 1 eine vollständige Matrix bilden, durch die ein Strömungsmedium beispielsweise vom Sammelbehälter 3a zum Sammelbehälter 3b geleitet wird. Dabei wird der innerhalb der Profilröhrchen 1,4 fließende Fluidstrom von einem außen im Kreuzstrom vorbeifließenden Fluidstrom, dessen Strömungsrichtung mit 12 bezeichnet ist, zum Wärmetausch veranlaßt. Üblicherweise wird der innerhalb der Profilröhrchen 1,4 strömende Fluidstrom dabei aufheizt.

Das in Fig. 1 dargestellte Profilröhrchen 1 besteht im wesentlichen aus acht gleichlangen Kurvenabschnitten 5, die an den Wendestellen 6 aneinander anschließen. Dabei sind die Kurvenabschnitte 5 nur verschieden gekrümmte Bereiche des integral hergestellten Profilröhrchens 1, d. h., es werden keine Vielzahl von Kurvenabschnitten 5 zusammengefügt, sondern ein Profilröhrchen 1 wird entsprechend in die Kurvenabschnitte gebogen. Ferner sind die Kurvenabschnitte 5 abwechselnd entgegengesetzt -nach links bzw. nach rechts- gekrümmt zur Bildung einer schlangenlinienartigen Kontur, die einem im wesentlichen S-förmigen Verlauf überlagert ist.

Das Profilröhrchen 1 weist zwei Punkte maximaler Auslenkung 7a und 7b auf, zwischen denen ein von beiden Punkten 7a, 7b gleichweit entfernter Zwischenpunkt 8 vorgesehen ist. Im Bereich zwischen den Punkten maximaler Auslenkung 7a und 7b sind je zwei Kurvenabschnitte 5 so angeordnet, daß die Krümmungsmittelpunkte auf abwechselnd entgegengesetzten Seiten des Profilröhrchens 1 liegen, so daß alternierend eine Links- und Rechtskrümmung vorhanden ist. Insgesamt liegen vier Kurvenabschnitte 5 zwischen den Punkten maximaler Auslenkung 7a und 7b.

Die Tangenten 11 an den Profilröhrchensverlauf in den Punkten maximaler Auslenkung 7a, 7b und im Zwischenpunkt 8 sind parallel. Ferner sind an den Punkten 7a, 7b und 8 Abstandshalter 9 vorgesehen, mit denen die Abstände zu benachbarten Profilröhrchen 4 - die aus Übersichtsgründen in Fig. 1 nicht eingezeichnet sind - eingehalten werden (Fixierpunkte). Die Tangenten 11 an den Befestigungspunkten 2a, 2b sind ebenfalls parallel zu den obengenannten Tangenten.

Die Kurvenabschnitte 5 können konstante Krümmungsradien aufweisen, so daß sie als Kreisabschnitte anzusehen sind, oder sie können sinusförmigen Verlauf haben.

Im Betrieb wird der Wärmetauscher thermischen Dehnungen ausgesetzt sein, wobei gleichzeitig die Sammelbehälter 3a, 3b und die Abstandshalter 9 ortsfest fixiert sein können. Dadurch ergibt sich der mit 10 bezeichnete, gestrichelt eingezeichnete Verlauf des Profilröhrchens 1, der also eine Thermodehnung des Profilröhrchens 1 zuläßt, ohne daß eine Gesamtformänderung des Wärmetauschers eintritt. Bei einer derartigen thermisch bedingten Verformung der Kurvenabschnitte 5 des Profilröhrchens 1 tritt an denjenigen Wendestellen 6, die nicht gleichzeitig Fixierpunkte 7a, 7b, 8 sind, die größtmögliche Annäherung an benachbarte Profilröhrchen 4 auf, während aufgrund der Abstandshalter 9 an den letztgenannten Fixierpunkten keinerlei Veränderung des Abstandes zwischen einzelnen Profilröhrchen 1,4 zu beobachten ist. Um unter allen Betriebsbedingungen eine für den Durchfluß notwendigen Mindestabstand benachbarter Profilröhrchen 1, 4 zu erhalten, ist der Krümmungsradius der Kurvenabschnitte 5 bzw. die Amplitude des sinusförmigen Kurvenabschnittes 5 derart zu bemessen, daß bei maximaler temperaturinduzierter Dehnung die Minimalabstände noch so groß sind, daß die minimal zulässigen Strömungsquerschnitte zwischen benachbarten Profilröhrchen 1,4 nicht unterschritten werden. Beispielsweise bei einer Dicke der Profilröhrchen 1,4 von 1,6 mm und einer Temperaturdifferenz zwischen warmem und kaltem Zustand von 100 K ist der Krümmungsradius bei einer Länge der Kurvenabschnitte von 2,5 cm etwa im Bereich von 3 - 4 cm zu wählen.

Bei der in Fig. 2 dargestellten Draufsicht ist zu sehen, daß die Profilröhrchen 1,4 breiter sind als in der Seitenansicht gemäß Fig. 1, was darauf zurückzuführen ist, daß die Profilröhrchen 1,4 etwa ellipsenförmigen Querschnitt aufweisen. Zweckmäßigerweise erfolgt die Anströmung in der mit 12 bezeichneten Richtung und somit in Richtung der großen Achse der ellipsenförmigen Profilröhrchen 1,4. Entlang regelmäßig beabstandeter Stellen sind die Abstandshalter 9 angebracht, die sowohl die in Richtung der großen Ellipsenachse beabstandeten Profilröhrchen 1,4 (Fig. 2) als auch die in Richtung der kleinen Achse beabstandeten Profilröhrchen 1,4 (Fig. 1) in einem definierten Abstand halten.

**Patentansprüche**

1. Wärmetauscher, bei dem zwei Sammelbehälter (3a,3b) über eine Vielzahl von gleichmäßig beabstandeten Profilröhrchen (1,4) miteinander verbunden sind, wobei die Profilröhrchen (1,4) S-förmig gekrümmt sind und an ihren Punkten (7a,7b) maximaler Auslenkung und an von diesen gleich weit entfernten, Fixierpunkte ausbildenden Zwischenpunkten (8) Abstandshalter (9) aufweisen, mit denen die Abstände zu benachbarten Profilröhrchen festgelegt sind, dadurch gekennzeichnet, daß die Profilröhrchen (1,4) eine Anzahl aneinanderstoßender Kurvenabschnitte (5) aufweisen, wobei zwischen benachbarten Fixierpunkten (7a,8; 7b,8) zwei entgegengesetzt gekrümmte Kurvenabschnitte (5) liegen und die Profilröhrchentangenten (11) in den Punkten maximaler Auslenkung (7a, 7b) und den Zwischenpunkten (8) etwa parallel sind.
2. Wärmetauscher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Kurvenabschnitte (5) konstante Krümmungsradien aufweisen.
3. Wärmetauscher nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß jedes Profilröhrchen (1) acht Kurvenabschnitte (5) aufweist, derart, daß zwischen den Punkten maximaler Auslenkung (7a, 7b) und den Befestigungspunkten (2a, 2b) an den Sammelbehältern (3a,3b) einerseits sowie dem Zwischenpunkt (8) andererseits je zwei Kurvenabschnitte (5) vorgesehen sind, und die Profilröhrchentangenten (11) in den Befestigungspunkten (2a, 2b) an den Sammelbehältern (3a,3b) mit den Profilröhrchentangenten (11) in den Zwischenpunkten (8) fluchten.
4. Wärmetauscher nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Krümmungsradius das 1 - 2fache, vorzugsweise das 1,6fache der Länge der Kurvenabschnitte beträgt.
5. Wärmetauscher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Kurvenabschnitte (5) sinusförmigen Kurvenverlauf aufweisen.
6. Wärmetauscher nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Kurvenabschnitte (5) zusammen einen vollständigen Sinuszug ( $0 \dots 2\pi$ ) ergeben.
7. Wärmetauscher nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Kurvenabschnitte (5) zusammen einen halben Cosinuszug ( $0 \dots \pi$ ) ergeben.
8. Wärmetauscher nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Profilröhrchen (1) Kreisquerschnitt aufweisen.
9. Wärmetauscher nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Profilröhrchen (1) etwa elliptischen Querschnitt aufweisen, wobei die Krümmung um die Halbachse mit dem geringeren Biege widerstandsmoment erfolgt.

**Claims**

1. Heat exchanger in which two collector containers (3a, 3b) are connected to one another via a plurality of regularly spaced small profiled pipes (1, 4), wherein the small profiled pipes (1, 4) are curved in an S-shaped manner and comprise at their points (7a, 7b) of maximum deflection and at intermediate points (8) which are at the same distance from the latter and form securing points, space retainers (9) determining the spacings from adjacent small profiled pipes, characterized in that the small profiled pipes (1, 4) comprise a plurality of abutting curved sections (5), wherein two sections (5) curved in opposite directions to one another are located between adjacent securing points (7a, 8; 7b, 8) and the tangents (11) of the small profiled pipes are approximately parallel at the points of maximum deflection (7a, 7b) and the intermediate points (8).
2. Heat exchanger according to Claim 1, characterized in that the curved sections (5) have constant radii of curvature.
3. Heat exchanger according to Claim 2, characterized in that each small profiled pipe (1) comprises eight curved sections (5) such that two curved sections (5) are provided in each case between the points (7a,

7b) of maximum deflection and the securing points (2a, 2b) on the collector containers (3a, 3b) on the one hand and the intermediate point (8) on the other, and the tangents (11) of the small profiled pipes at the securing points (2a, 2b) are flush with the tangents (11) of the small profiled pipes at the intermediate points (8) on the collector containers (3a, 3b).

4. Heat exchanger according to Claim 2 or 3, characterized in that the radius of curvature is 1 - 2 times, preferably 1.6 times, the length of the curved sections.
5. Heat exchanger according to Claim 1, characterized in that the curved sections (5) extend sinusoidally.
6. Heat exchanger according to Claim 5, characterized in that two curved sections (5) together produce a complete sine path ( $0 \dots 2\pi$ ).
7. Heat exchanger according to Claim 5, characterized in that two curved sections (5) together form a half cosine path ( $0 \dots \pi$ ).
8. Heat exchanger according to any one of the preceding claims, characterized in that the small profiled pipes (1) have a circular cross-section.
9. Heat exchanger according to any one of Claims 1 to 7, characterized in that the small profiled pipes (1) have an approximately elliptical cross-section, the curvature being produced about the half-axis with the smaller bending strength moment.

## Revendications

1. Echangeur de chaleur à deux collecteurs (3a, 3b) reliés par un grand nombre de petits tubes profilés (1, 4) écartés régulièrement, ces petits tubes (1, 4) étant cintrés en forme de S et en leurs points (7a, 7b) de déflexion maximale et en des points de fixation éloignés de façon équidistante de ces points il y a des organes d'écartement (9) qui constituent des points intermédiaires (8) fixant l'écartement des petits tubes profilés voisins, échangeur caractérisé en ce que les petits tubes profilés (1, 4) ont un nombre de segments de courbes (5) successifs et entre les points de fixation voisins (7a, 8 ; 7b, 8) on a deux segments de courbes (5) à courbure opposée et les tangentes (11) des petits tubes profilés aux points de déflexion maximale (7a, 7b) et aux points intermédiaires (8) sont sensiblement parallèles.
2. Echangeur de chaleur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les segments de courbes (5) ont des rayons de courbure constants.
3. Echangeur de chaleur selon la revendication 2, caractérisé en ce que chaque petit tube profilé (1) comporte huit segments de courbes (5), de façon qu'entre les points de déflexion maximale (7a, 7b) et les points de fixation (2a, 2b) sur les collecteurs (3a, 3b), d'une part, ainsi qu'au niveau du point intermédiaire (8), d'autre part, on a chaque fois deux segments de courbes (5) et les tangentes aux petits tubes profilés (11) aux points de fixation (2a, 2b) sur les collecteurs (3a, 3b) sont alignées sur les tangentes (11) aux points intermédiaires (8) des petits tubes profilés.
4. Echangeur de chaleur selon la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce que le rayon de courbure correspond à 1-2 fois et de préférence à 1,6 fois la longueur du segment courbe.
5. Echangeur de chaleur selon la revendication 1, caractérisé en ce que les segments de courbes (5) ont un tracé sinusoidal.
6. Echangeur de chaleur selon la revendication 5, caractérisé en ce que deux segments de courbes (5) forment par réunion une onde sinusoïdale complète ( $0 \dots 2\pi$ ).
7. Echangeur de chaleur selon la revendication 5, caractérisé en ce que la réunion de deux segments courbes (5) forme une demi-onde de courbe cosinus ( $0 \dots \pi$ ).
8. Echangeur de chaleur selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que les petits tubes profilés (1) ont une section circulaire.

9. Echangeur de chaleur selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que les petits tubes profilés (1) ont une section sensiblement elliptique et le cintrage se fait autour du demi-axe correspondant au couple résistant de cintrage le plus faible.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

