

(12)

## Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 526/2009  
(22) Anmeldetag: 02.04.2009  
(45) Veröffentlicht am: 15.07.2011

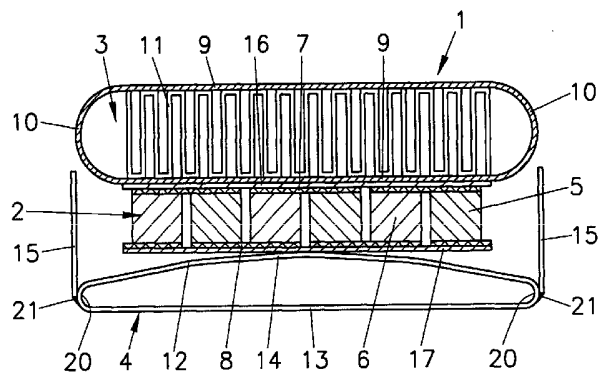
(51) Int. Cl. : **B60K 11/00** (2006.01)  
**B60K 13/04** (2006.01)  
**H01L 35/30** (2006.01)  
**H01L 35/32** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:  
DE 102005005077A1  
DE 102005051309A1  
DE 1539330A1 EP 1203923A2  
US 2006/0157102A1  
JP 11-036981A

(73) Patentinhaber:  
AVL LIST GMBH  
A-8020 GRAZ (AT)  
(72) Erfinder:  
SALZGEBER KURT DR.  
LASSNITZHÖHE (AT)

### (54) THERMOELEKTRISCHE GENERATOREINHEIT

(57) Die Erfindung betrifft eine thermoelektrische Generatoreinheit (1) mit zumindest einem thermoelektrischem Modul (2), welches mit einer Seite einen Abgaswärmetauscher (3) und mit der gegenüberliegenden Seite einen Kühlmittelwärmetauscher (4) thermisch kontaktiert, wobei der Kühlmittelwärmetauscher als Flachkanal (4) ausgeführt ist, dessen dem thermoelektrischen Modul (2) zugewandte Wand (12) elastisch verformbar ist. Erfindungsgemäß weist die elastisch verformbare Wand (12) des Flachkanals (4) im unverbauten Zustand eine näherungsweise zylindrische Auswölbung (14) auf, deren Kontur im verbauten Zustand flach gepresst ist, wobei der Flachkanal (4) im verbauten Zustand über verschweißte Seitenwände (15) direkt mit dem als Flachrohr (3) ausgeführten Abgaswärmetauscher verbunden ist und wobei die Seitenwände (15) an gekrümmten Wandabschnitten (10, 20) des Flachkanals (4) und des Flachrohrs (3) befestigt sind.



**Fig. 1**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine thermoelektrische Generatoreinheit mit zumindest einem thermoelektrischem Modul, welches mit einer Seite einen Abgaswärmetauscher und mit der gegenüberliegenden Seite einen Kühlmittelwärmetauscher thermisch kontaktiert, wobei der Kühlmittelwärmetauscher als Flachkanal ausgeführt ist, dessen dem thermoelektrischen Modul zugewandte Wand elastisch verformbar ist.

**[0002]** Thermoelektrische Generatoren (TEG) zur Erzeugung von elektrischer Energie unter Ausnutzung einer Temperaturdifferenz, beispielweise im Zusammenhang mit Kraftfahrzeugen, bei welchen die Abgaswärme einer Brennkraftmaschine ausgenützt wird, sind bereits seit längerer Zeit bekannt. Das thermoelektrische Modul derartiger Generatoreinheiten besteht aus einer Reihe von p- und n-dotierten Schenkeln, die an deren Enden mit elektrischen Kontakten versehen sind. Dabei wird der Seebeck-Effekt ausgenützt, bei welchem die Temperaturdifferenz zwischen zwei Enden (einem Hochtemperaturabschnitt und einem Niedrigtemperaturabschnitt) eines Metalls oder eines Halbleiterteils eine Potentialdifferenz hervorruft.

**[0003]** Beispielsweise ist aus der DE 10 2005 005 077 A1 ein thermoelektrischer Generator für eine Brennkraftmaschine bekannt geworden, der an einen Abgaskanal angeschlossen ist. Der Generator weist ein heißes Teil auf, welches an dem Abgaskanal angeordnet ist und ein kaltes Teil (Kühlmittelwärmetauscher), welches mit dem Kühlkreislauf der Brennkraftmaschine in Verbindung steht. Die einzelnen Teile des thermoelektrischen Generators sind konzentrisch um den Abgaskanal angeordnet, und werden durch einzelne außen umlaufende, kreisförmige Halteteile an die Oberfläche des Abgaskanals angepresst, wobei zwischen den Kühlmittelwärmetauscherelementen und den kreisförmigen Halteteilen elastische Elemente angeordnet sind, um die thermoelektrischen Generatorelemente in einem Zustand zu halten, in welchem sie zwischen den heißen Teilen und den kalten Teilen des Generators derart eingepresst sind, dass eine durch unterschiedliche thermische Ausdehnung der einzelnen Komponenten hervorgerufene Relativbewegung ermöglicht wird. Das Problem besteht also darin, eine Abfolge bestehend aus Abgaswärmetauscher, thermoelektrischem Modul und Kühlmittelwärmetauscher möglichst gleichmäßig zusammenzupressen, so dass ein guter thermischer Kontakt gewährleistet ist, wobei allerdings Spannungen aufgrund unterschiedlicher Wärmeausdehnung der einzelnen Bestandteile ausgeglichen werden müssen, um Beschädigungen zu vermeiden.

**[0004]** Aus der DE 10 2005 051 309 A1 ist in diesem Zusammenhang ein thermoelektrischer Generator bekannt geworden, der einen flächigen Abgaswärmetauscher aufweist, wobei zumindest zwei thermoelektrische Elemente vorgesehen sind und der Abgaswärmetauscher sandwichartig zwischen den beiden thermoelektrischen Elementen angeordnet ist. Die Baueinheit wird außen durch zwei Kühlmittelwärmetauscher abgeschlossen, wobei die Baugruppe aus Abgaswärmetauscher und thermoelektrischen Elementen sandwichartig zwischen den beiden Kühlmittelwärmetauschern angeordnet ist. Die Kühlmittelwärmetauscher weisen nach außen zeigende zungenförmige Befestigungslaschen auf, die mit Durchgangsöffnungen versehen sind. Zusätzlich ist noch eine zentrale Bohrung durch alle Bauelemente der Generatoreinheit vorgesehen, wobei zur Flächenpressung und Fixierung der einzelnen Elemente sowohl in den Durchgangsöffnungen, als auch in der zentralen Bohrung Schrauben mit Kontermuttern vorgesehen sind. Anstelle der Schraubverbindung können auch Federklammern verwendet werden.

**[0005]** Des weiteren ist auch aus der US 2006/0157102 A1 ein System zur Nutzung der Abfallwärme, beispielsweise aus einer Brennkraftmaschine bekannt, welche in einem flachen Aufbau einen zentralen Hochtemperatur-Wärmetauscher mit einer innen liegenden Lamellenstruktur aufweist, wobei an beiden Seiten thermoelektrische Module angelagert sind. Die Außenseite beider thermoelektrischer Module wird jeweils von einem Niedertemperatur-Wärmetauscher thermisch kontaktiert, wobei auch der Niedertemperatur-Wärmetauscher eine innen liegende Lamellenstruktur aufweist. Das heiße Abgas im Hochtemperatur-Wärmetauscher und das Kühlmedium im Niedertemperatur-Wärmetauscher werden parallel jedoch in entgegengesetzten Richtungen durch die thermoelektrische Generatoreinheit geführt.

**[0006]** Aus der DE 1 539 330 A1 ist eine thermoelektrische Anordnung bekannt, welche gemäß einer ersten Ausführungsvariante in einer zylindrischen Anordnung um ein zentrales Wärmetauscherrohr (Warmseite) eine Vielzahl über den Umfang verteilte, kleinere Wärmetauscherrohre (Kaltseite) aufweist. Zwischen den als Flachkanal ausgeführten Wärmetauscherrohren der Kaltseite sind Thermoschenkel eines Thermogenerators angeordnet, wobei die Flachkanäle senkrecht zur Rohrachse in Richtung der Achse der Thermoschenkel elastisch verformbar sind. Die Wärmetauscher sind über Widerlager und Schrauben mit dem zentralen Wärmetauscher der Warmseite verschraubt, so dass - ähnlich wie bei der bereits oben zitierten DE 10 2005 005 077 A1 - eine zylindrische Gesamtstruktur mit unebener Oberfläche entsteht.

**[0007]** Aufgabe der Erfindung ist es, ausgehend von den eingangs beschriebenen Vorrichtungen zur Energieerzeugung eine thermoelektrische Generatoreinheit vorzuschlagen, welche konstruktiv möglichst einfach aufgebaut ist, wobei mit einfachen Mitteln eine gleichmäßige, dauerhafte Verpressung der einzelnen Strukturelemente der Generatoreinheit erzielt werden soll.

**[0008]** Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass die elastisch verformbare Wand des Flachkanals im unverbauten Zustand eine näherungsweise zylindrische Auswölbung aufweist, deren Kontur im verbauten Zustand flach gepresst ist, sowie dass der Flachkanal im verbauten Zustand über verschweißte Seitenwände direkt mit dem als Flachrohr ausgeführten Abgaswärmetauscher verbunden ist, wobei die Seitenwände an gekrümmten Wandabschnitten des Flachkanals und des Flachrohrs befestigt sind. Durch die erfindungsgemäße Maßnahme wird die elastisch vorgespannte Wand des als Formrohr bzw. Flachkanal ausgeführten Kühlmittelwärmetauschers beim Zusammenbau definiert elastisch verformt, wodurch die erforderlichen Anpresskräfte erzeugt und dauerhaft aufrecht erhalten werden.

**[0009]** Die im unverbauten Zustand erforderliche Kontur der näherungsweise zylindrischen (prismatischen) Wand kann entsprechend der Biegebalkentheorie für konstante Streckenlast und mäßiger Verdrehsteifigkeit an den Auflagepunkten ermittelt werden. Ergänzend kann die unverspannte Kontur mittels Finite Element Analyse des TEG-Moduls hinsichtlich gleichmäßiger Anpressung aller TEG-Schenkel optimiert werden.

**[0010]** Zur inneren Versteifung und Maximierung des gassetigen Wärmeübergangs kann der als Flachrohr ausgeführte Wärmetauscher Lamellen aufweisen, die die gegenüberliegenden Flachseiten gegeneinander abstützen.

**[0011]** Erfindungsgemäß bilden die mit dem Abgaswärmetauscher und dem Kühlmittelwärmetauscher verschweißten Seitenwände zusammen mit front- und rückseitigen Stirnwänden der Generatoreinheit einen geschlossenen Innenraum, in welchem das thermoelektrische Modul geschützt angeordnet ist. Die Seitenwände weisen lediglich elektrische Durchführungen für das thermoelektrische Modul auf.

**[0012]** Die Dichtschweißung, mit welcher der Kraftschluss zwischen den vorgespannten Elementen hergestellt wird, erfolgt in seitlichen Wandabschnitten, der die Wärmetauscher bildenden Formrohre, wodurch die Maximaltemperatur an den temperaturempfindlichen Elementen des thermoelektrischen Moduls während der Schweißung unter 700°C gehalten werden kann.

**[0013]** Die Erfindung wird im Folgenden anhand von Zeichnungen näher erläutert.

**[0014]** Es zeigen:

**[0015]** Fig. 1 eine erfindungsgemäße thermoelektrische Generatoreinheit in einer Schnittdarstellung in unverbautem Zustand,

**[0016]** Fig. 2 die Generatoreinheit gemäß Fig. 1 in verbautem Zustand,

**[0017]** Fig. 3 und 4 eine Variante der erfindungsgemäßen thermoelektrischen Generatoreinheit in unverbautem und verbautem Zustand,

**[0018]** Fig. 5 eine weitere Variante der erfindungsgemäßen thermoelektrischen Generatoreinheit in einer Schnittdarstellung gemäß Fig. 2,

**[0019]** Fig. 6 eine Variante der erfindungsgemäßen thermoelektrischen Generatoreinheit in einer Draufsicht, Fig. 7 die Generatoreinheit gemäß Fig. 6 in einer Stirnansicht, sowie Fig. 8 die Generatoreinheit in einer Schnittdarstellung gemäß Linie VIII - VIII in Fig. 6.

**[0020]** Die in den Fig. 1 und 2 dargestellte thermoelektrische Generatoreinheit 1 weist ein thermoelektrisches Modul 2 auf, welches mit einer Seite einen Abgaswärmetauscher 3 und mit der anderen Seite einen Kühlmittelwärmetauscher 4 thermisch kontaktiert.

**[0021]** Das thermoelektrische Modul 2 besteht in bekannter Weise aus einer Reihe n- und p-dotierten Schenkeln 5, 6 (N- und P-Legs), die an den Enden mit elektrischen Kontakten 7, 8 versehen sind und zusammenschaltete Peltierelemente ergeben, deren nach außen führende Anschlussleitungen hier nicht dargestellt sind.

**[0022]** Der Abgaswärmetauscher ist als Flachrohr 3 ausgeführt und weist zwei gegenüberliegende Flachseiten 9 auf, die beispielsweise über gekrümmte bzw. abgerundete Wandabschnitte 10 verbunden sind. Im Bereich der gegenüberliegenden Flachseiten 9 sind Lamellen 11, vorzugsweise ein einstückiger Lamellenzug, angeordnet, welche zu den Flachseiten 9 im Wesentlichen rechtwinkelig angeordnet sind und der Maximierung des gaseitigen Wärmeübergangs dienen, wobei gleichzeitig eine Versteifung des Flachrohrs 3 erzielt wird.

**[0023]** Der Kühlmittelwärmetauscher ist als Formrohr bzw. Flachkanal 4 ausgeführt, wobei die dem thermoelektrischen Modul 2 zugewandte Wand 12 im verbauten Zustand elastisch vorgespannt ist. Bei dem in den Fig. 1 und 2 dargestellten Beispiel ist die gegenüberliegende Wand 13 des Kanals 4 flach ausgeführt und beispielsweise über gekrümmte Wandabschnitte 20 mit der elastisch vorgespannten Wand 12 verbunden. Gemäß Fig. 1 weist die Wand 12 des Flachkanals 4 im unverbauten Zustand eine näherungsweise zylinderartige (prismatische) Auswölbung 14 auf, deren Kontur im verbauten Zustand (siehe Fig. 2) flach gepresst ist. Die Kontur der Auswölbung 14 ist derart optimiert, dass im zusammengebauten Zustand eine gleichmäßige Verpressung der N- und P-Legs 5, 6 erreicht werden kann.

**[0024]** Bei der Herstellung wird die Gesamtstruktur gemäß Fig. 1, mit bereits angeschweißten Seitenwänden (siehe Schweißnaht 21 im Wandabschnitt 20) in einer geeigneten Vorrichtung zusammengepresst, bis die Endbereiche der Seitenwände 15 an den Wandabschnitten 10 des Abgaswärmetauschers 3 anliegen. Danach wird der Kraftschluss mit einer Schweißnaht 21 am Wandabschnitt 10 hergestellt, so dass der Flachkanal 4 im verbauten Zustand über vorzugsweise dicht verschweißte Seitenwände 15 mit dem als Flachrohr 3 ausgeführten Abgaswärmetauscher verbunden ist.

**[0025]** Zur Reibwertminderung und Verbesserung der thermischen Kontaktierung zwischen dem Abgaswärmetauscher 3 und dem thermoelektrischen Modul 2 ist eine Gleitschicht 16, beispielsweise eine Karbonfolie oder eine MoS<sub>2</sub>-Beschichtung vorgesehen. Weiters ist zur Verbesserung der thermischen Kontaktierung zwischen dem thermoelektrischen Modul 2 und dem Kühlmittelwärmetauscher 4 eine Kontaktschicht, beispielsweise eine Diamond-Like-Carbon (DLC)-Schicht angeordnet.

**[0026]** Durch die entlang der Schweißnähten 21 mit dem Abgaswärmetauscher 3 und dem Kühlmittelwärmetauscher 4 dicht verschweißten Seitenwände 15 und die front- und rückseitigen Stirnwände 18 des Generators (siehe z.B. Fig. 8) wird ein geschlossener Innenraum 19 gebildet, der das thermoelektrische Modul 2 schützend aufnimmt. Durch diese gekapselte Anordnung können Korrosionsschäden an der thermoelektrischen Generatoreinheit weitgehend vermieden werden, wobei der geschlossene Innenraum 19 zur Minimierung der konvektiven Wärmeleitung mit einem Hochtemperaturschaum, beispielsweise mit einem Keramikschaum, ausgeschäumt werden kann. Es entsteht dadurch eine kompakte Generatoreinheit mit allseits glatten, ebenen Oberflächen.

**[0027]** Bei der in den Fig. 3 und 4 dargestellten Ausführungsvariante ist zu beiden Seiten des als Flachkanal 4 ausgeführten Kühlmittelwärmetauschers jeweils ein thermoelektrisches Modul 2 angeordnet, wobei hier beide Wände 12 des Flachkanals 4 elastisch vorgespannt sind (siehe

Fig. 3). Nach dem Zusammenbau und der Verschweißung der Seitenwände 15 mit den Wandbereichen 10 der zu beiden Seiten angeordneten Wärmetauscher 3 entsteht auch hier eine kompakte Einheit (siehe Fig. 4), deren frei bleibende Innenräume 19 ausgeschäumt werden können. Diese Ausführungsform weist einen minimierten gaseitigen Wärmestromwiderstand auf und kann besonders vorteilhaft bei Dieselmotoren im Bereich der Abgasrückführstrecke und im Abgasbereich angewendet werden.

[0028] Fig. 5 zeigt eine Ausführungsform, die besonders vorteilhaft im Zusammenhang mit Otto-Motoren zur Anwendung kommt. Die Variante weist einen zentralen Abgaswärmetauscher 3 auf, welche an beiden Seiten thermoelektrische Module 2 und an der Außenseite jeweils einen Kühlmittelwärmetauscher 4 aufweist. Die Variante ist hier in bereits zusammengebautem Zustand dargestellt.

[0029] Schließlich ist in den Fig. 6 bis 8 eine leistungsstarke Ausführungsvariante dargestellt, bei der mehrere thermoelektrische Module 2, die jeweils von einem Abgaswärmetauscher 3 und einem Kühlmittelwärmetauscher 4 benachbart sind, in zwei Stapeln A und B sandwichartig zu einer thermoelektrischen Generatoreinheit 1 zusammengefasst sind.

[0030] Fig. 6 zeigt eine Draufsicht gemäß Pfeil VI in Fig. 7, Fig. 7 eine Stirnansicht und Fig. 8 eine Schnittdarstellung. Die Generatoreinheit 1 weist eine front- und eine rückseitige Stirnwand 18 auf, in welcher sich acht Gaseintritts- und Gasaustrittsöffnungen 25, 26 befinden, die mit den acht Abgaswärmetauschern 3 strömungsverbunden sind. Die zugeordneten Kühlmittelwärmetauscher 4, weisen jeweils einen seitlichen Kühlwassereinlass 22 sowie Kühlwasserauslass 23 auf, wobei zwischen den Stapeln A und B Kühlwasserüberleitungen 24 vorgesehen sind.

## Patentansprüche

1. Thermoelektrische Generatoreinheit (1) mit zumindest einem thermoelektrischem Modul (2), welches mit einer Seite einen Abgaswärmetauscher (3) und mit der gegenüberliegenden Seite einen Kühlmittelwärmetauscher (4) thermisch kontaktiert, wobei der Kühlmittelwärmetauscher als Flachkanal (4) ausgeführt ist, dessen dem thermoelektrischen Modul (2) zugewandte Wand (12) elastisch verformbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die elastisch verformbare Wand (12) des Flachkanals (4) im unverbauten Zustand eine näherungsweise zylindrische Auswölbung (14) aufweist, deren Kontur im verbauten Zustand flach gepresst ist, sowie dass der Flachkanal (4) im verbauten Zustand über verschweißte Seitenwände (15) direkt mit dem als Flachrohr (3) ausgeführten Abgaswärmetauscher verbunden ist, wobei die Seitenwände (15) an gekrümmten Wandabschnitten (10, 20) des Flachkanals (4) und des Flachrohrs (3) befestigt sind.
2. Thermoelektrische Generatoreinheit (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der als Flachrohr (3) ausgeführte Abgaswärmetauscher Lamellen (11) zur Maximierung des gaseitigen Wärmeübergangs und zur Versteifung des Flachrohrs (3) aufweist.
3. Thermoelektrische Generatoreinheit (1) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Reibwertminderung und Verbesserung der thermischen Kontaktierung zwischen dem Abgaswärmetauscher (3) und dem thermoelektrischen Modul (2) eine Gleitschicht (16), beispielsweise eine Karbonfolie oder eine MoS<sub>2</sub>-Beschichtung, vorgesehen ist.
4. Thermoelektrische Generatoreinheit (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Verbesserung der thermischen Kontaktierung zwischen dem thermoelektrischen Modul (2) und dem Kühlmittelwärmetauscher (4) eine Kontaktschicht (17), beispielsweise eine DLC-Beschichtung, vorgesehen ist.
5. Thermoelektrische Generatoreinheit (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mit dem Abgaswärmetauscher (3) und dem Kühlmittelwärmetauscher (4) verschweißten Seitenwände (15) zusammen mit front- und rückseitigen Stirnwänden (18) der Generatoreinheit (1) einen bis auf elektrische Durchführungen für das thermoelektrische Modul (2) geschlossenen Innenraum (19) bilden.

6. Thermoelektrische Generatoreinheit (1) nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der geschlossene Innenraum (19) zur Minimierung der konvektiven Wärmeleitung mit einem Hochtemperaturschaum, beispielsweise einem Keramikschaum, ausgeschäumt ist.
7. Thermoelektrische Generatoreinheit (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass zu beiden Seiten des als Flachkanal (4) ausgeführten Kühlmittelwärmetauschers jeweils ein thermoelektrisches Modul (2) angeordnet ist und beide Wände (12) des Flachkanals (4) elastisch vorgespannt sind.
8. Thermoelektrische Generatoreinheit (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass mehrere thermoelektrische Module (2), die jeweils von einem Abgaswärmetauscher (3) und einem Kühlmittelwärmetauscher (4) benachbart sind, sandwichartig zu einer thermoelektrischen Generatoreinheit (1) zusammengefasst sind.

**Hierzu 3 Blatt Zeichnungen**

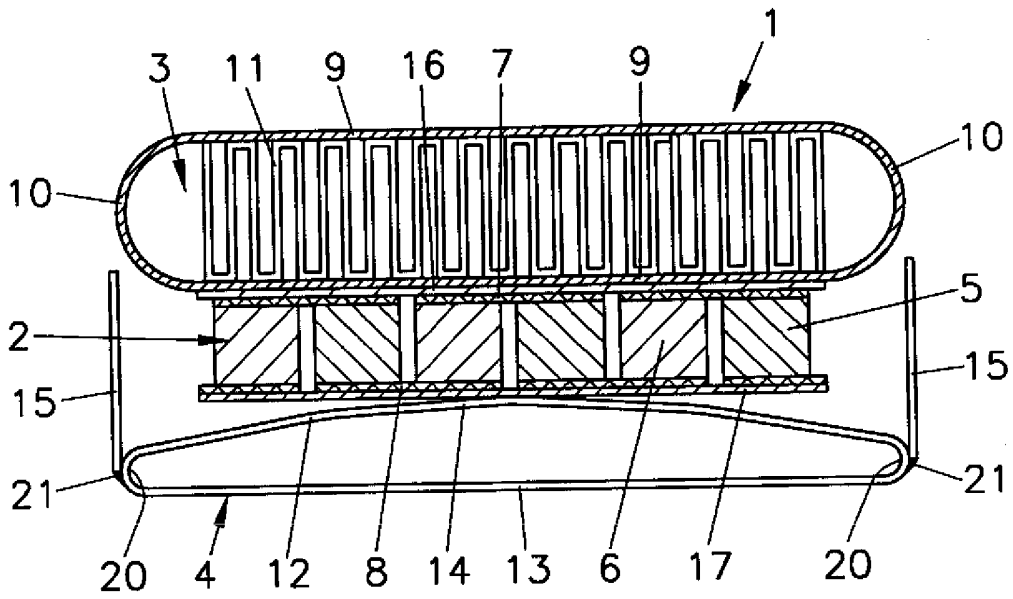


Fig.1

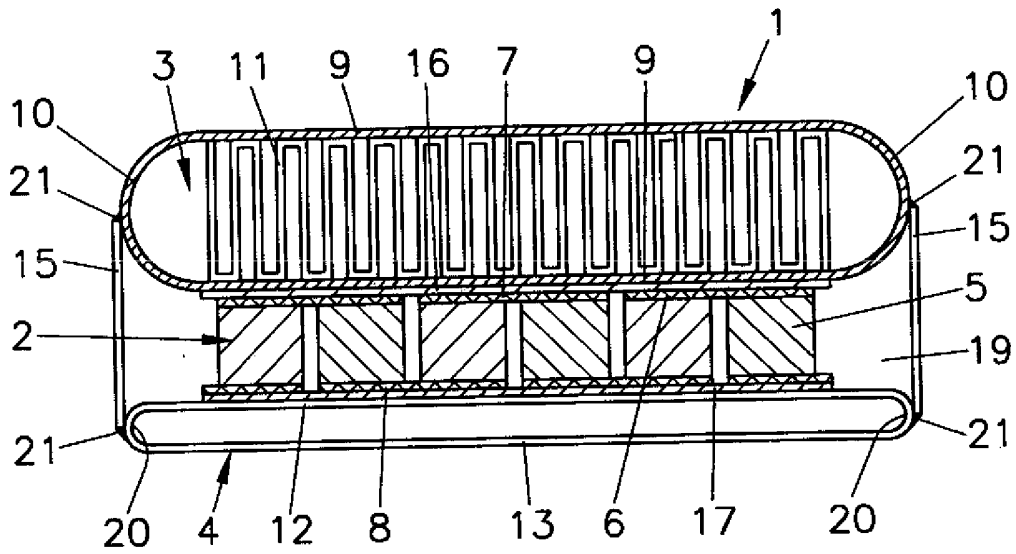


Fig.2

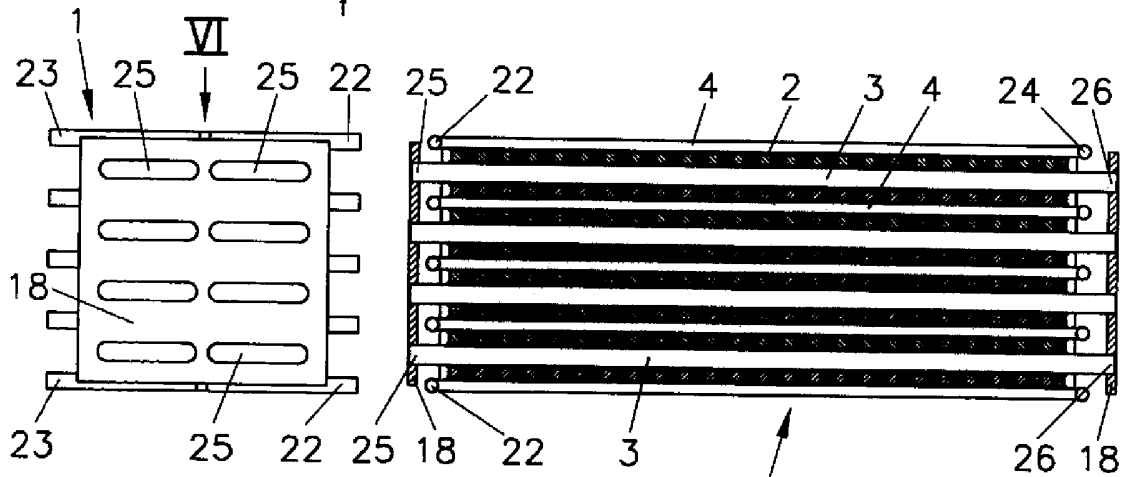
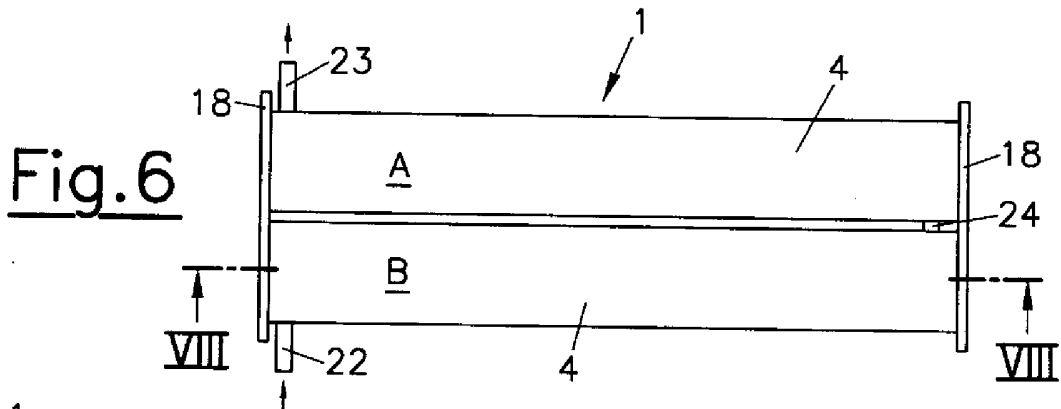
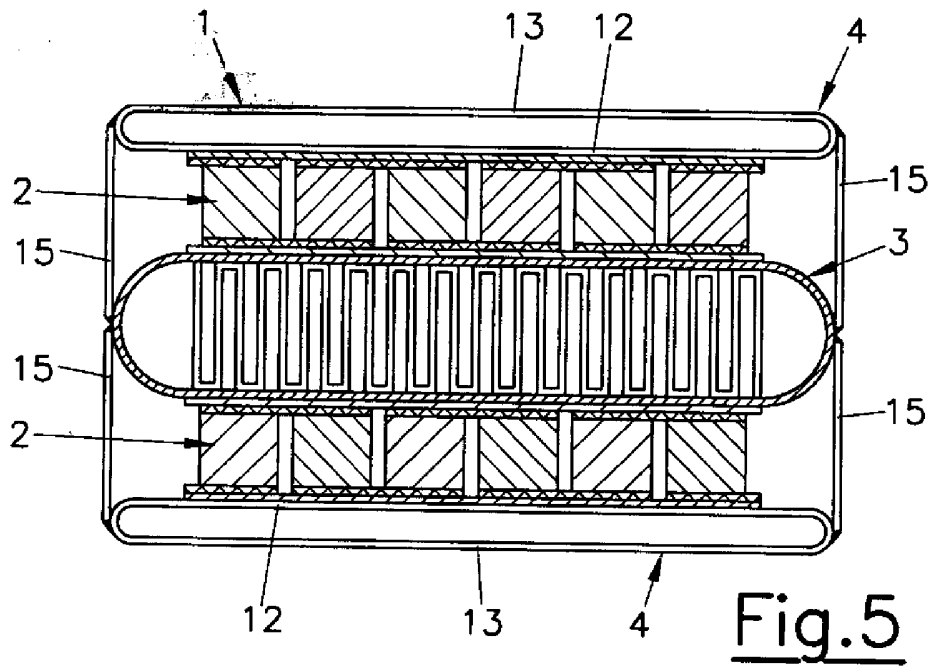


Fig. 7

Fig. 8

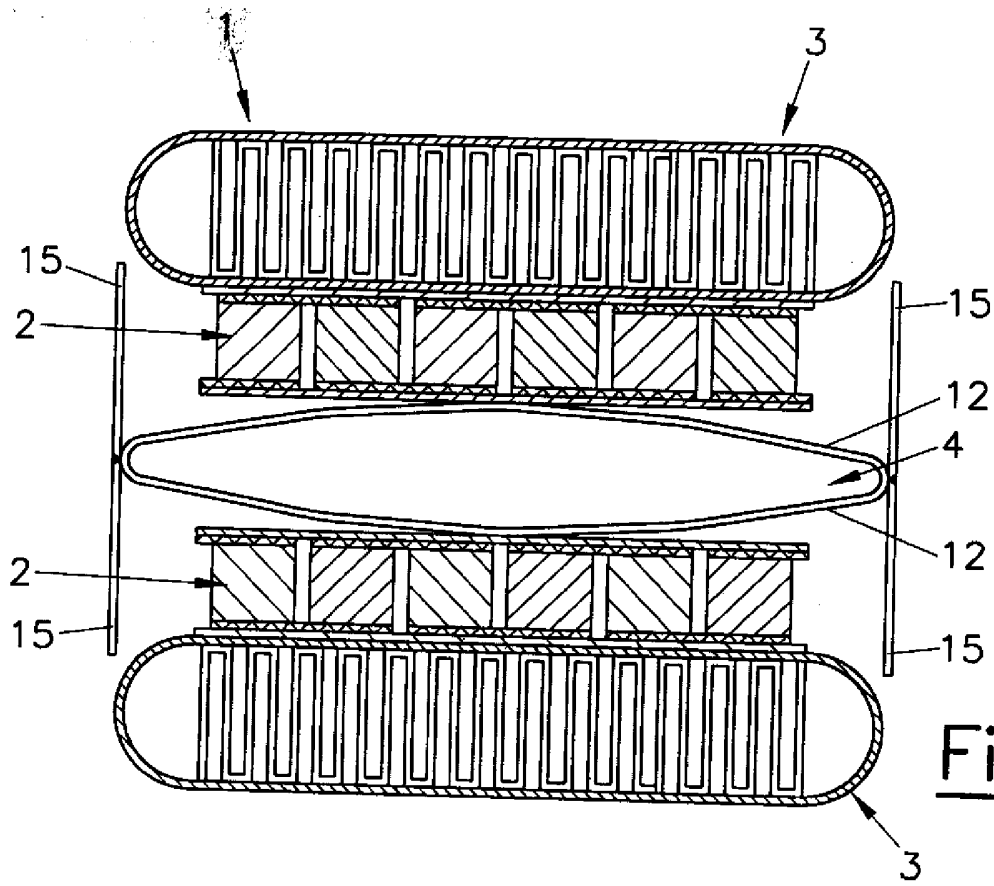


Fig.3

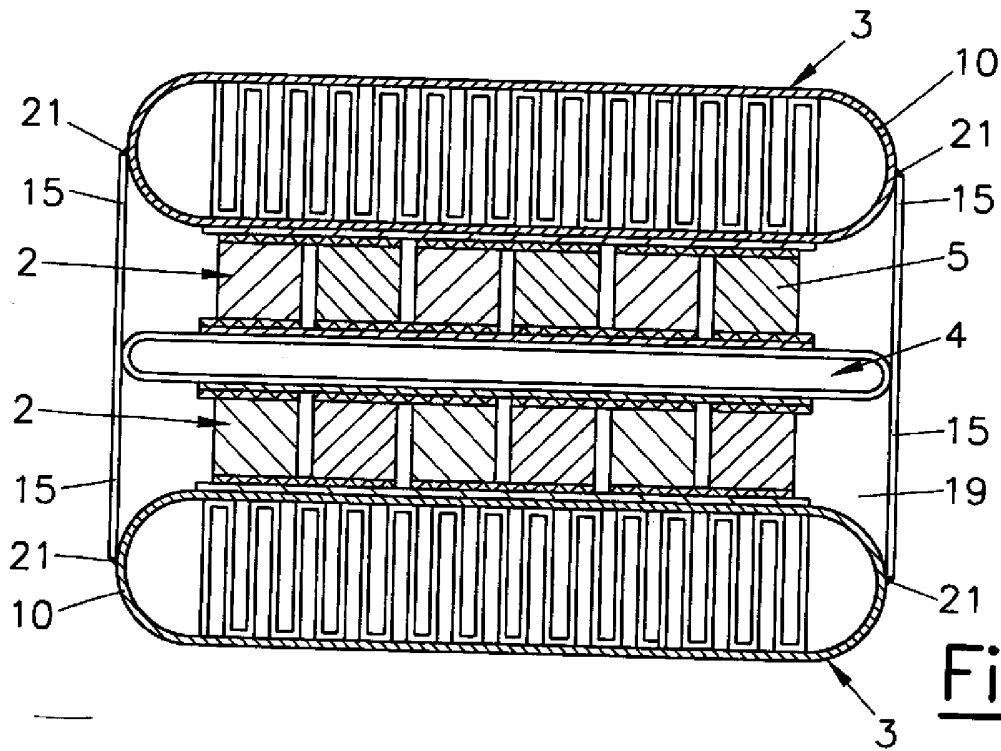


Fig.4