



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

① CH 686 800 A5

⑤ Int. Cl.<sup>6</sup>: F 25 B 009/14  
F 24 J 003/00

**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENTCHRIFT** A5

⑲ Gesuchsnummer: 01157/94

⑦ Inhaber:  
Jean Eggmann, Allmendstrasse 47c,  
5400 Baden (CH)

⑳ Anmeldungsdatum: 18.04.1994

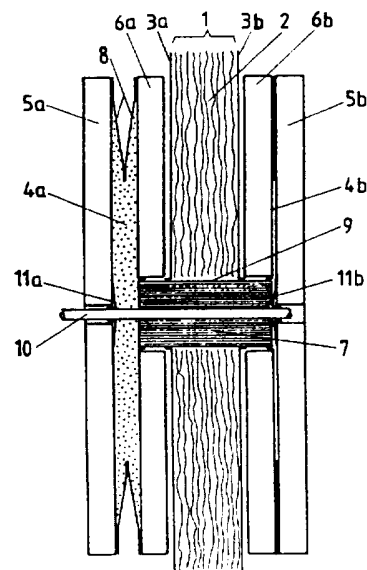
㉔ Patent erteilt: 28.06.1996

④ Patentschrift  
veröffentlicht: 28.06.1996

⑦ Erfinder:  
Eggmann, Jean, Baden (CH)

⑤ **Vorrichtung zur Erzeugung von Kälte oder Wärme unter Wärmetransport durch eine Isolierwand nach dem Prinzip des Stirlingprozesses.**

⑥ Vorrichtung zur Erzeugung von Kälte oder Wärme unter Wärmetransport durch eine kalte Seite und eine warme Seite trennende Isolierwand (1) nach dem Prinzip des Stirlingprozesses, z.B. für Kältemaschinen oder Wärmepumpen. Die Isolierwand (1) besteht aus der Isolation (2) und der Verschalung (3a, 3b). Die Räume (4a, 4b) sind mit Prozessmedium gefüllt. Sie sind begrenzt durch die beweglichen Kolbenplatten (5a, 5b) und die feststehenden Platten (6a, 6b). Je eine bewegliche Platte (5a, 5b) und eine feste Platte (6a, 6b) sind durch je zwei Membranen (8) verbunden. Der Kompressionsraum (4a) auf der warmen Seite der Isolierwand (1) ist über den Rekuperator (7) mit dem Expansionsraum (4b) auf der kalten Seite der Isolierwand verbunden. Die Ausgestaltung auf beiden Seiten der Isolierwand ist identisch. Der Rekuperator (7) ist in einem Rohr (9), das die Isolierwand durchdringt, eingepasst. Während die Platte (5a) direkt bewegt wird, wird die Platte (5b) über den zentralen Stab (10) bewegt. Der Stab (10) ist über Membranen (11a, 11b), die die veränderliche Distanz der Platten (5a, 5b) aufnehmen, verbunden. Alle Verbindungen sind fest und gasdicht, so dass ein hermetisch abgeschlossener Raum entsteht, in dem das Prozessmedium unverlierbar eingeschlossen ist. Dadurch wird erreicht, dass Kälte oder Wärme mit geringem Energieaufwand erzeugt werden kann, ohne die Umwelt zu belasten.



## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Erzeugung von Kälte oder Wärme unter Wärmetransport durch eine kalte Seite und eine warme Seite trennende Isolierwand nach dem Prinzip des Stirlingprozesses und ein Verfahren zum Betrieb der Vorrichtung. Die bisher im Gebrauch stehenden Kältemaschinen und Wärmepumpen verwenden fast ausschliesslich verschiedene FCKW Prozessmedien. Die für die Umwelt schädlichsten dürfen heute nicht mehr verwendet werden. Es müssen deshalb andere Prozessmedien gefunden werden. Die Suche geht hauptsächlich in Richtung von Ersatz-Medien, die in den bestehenden Geräten verwendet werden können. Diese Medien sind jedoch nur bedingt umweltverträglicher.

Bei Vorrichtungen, die den Stirlingprozess anwenden, ergeben sich zur Hauptsache folgende Verlustquellen:

- Medienverlust durch Stopfbüchsen, Kolbenringe und Durchführungen
- Zur Schmierung von reibenden Teilen werden dem Prozessmedium teilweise Schmiermittel beigegeben, die sich störend auswirken
- Totraum (Volumenanteil des Gesamtvolumens, der nicht veränderbar ist)
- Wärmeübergang (der Stirlingprozess ist ein geschlossener Kreislauf, dem die thermische Energie (Wärme) durch Wärmeübertragung zu- und abgeführt werden muss. Dazu ist eine Temperaturdifferenz notwendig, die von der zu übertragenden Leistung abhängig ist. Die Prozess Temperaturdifferenz erhöht sich um die Übertragungstemperaturdifferenzen  $\Delta t_w$  auf der warmen und  $\Delta t_k$  auf der kalten Seite. Dadurch erhöht sich die nötige Arbeit um eine gewünschte Kühl- oder Heiztemperatur zu erzeugen)
- Rekuperator-Verluste

a. Auch hier sind Übertragungstemperaturdifferenzen nötig, so dass nur die durch diese reduzierte Wärmemenge gespeichert und übertragen werden kann

b. Strömungsverluste; beim Durchströmen des Prozessmediums durch den Rekuperator treten Druckverluste auf

c. Wärmeleitung; Wärme fliesst von der warmen zur kalten Seite des Rekuperators

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung zur Erzeugung von Kälte oder Wärme unter Wärmetransport durch eine kalte Seite und eine warme Seite trennende Isolierwand zu schaffen, z.B. von Kältemaschinen oder Wärmepumpen, die mit einem in jeder Beziehung umweltverträglichen Prozessmedium betrieben werden und die bisher verwendeten Vorrichtungen, die die Umwelt schädigen, ersetzen kann. Auch soll der Energieaufwand reduziert werden.

Zur Lösung dieser Aufgabe wurde eine Vorrichtung gefunden, bei der ein Kompressionsraum zur Wärmeabgabe auf der einen Seite einer Isolierwand und ein Expansionsraum zur Wärmeaufnahme auf der anderen Seite dieser Isolierwand angeordnet

und über einen Rekuperator miteinander verbunden sind, und Kompressionsraum, Expansionsraum und Rekuperator mit einem gasförmigen Prozessmedium gefüllt sind.

Die erfindungsgemässe Vorrichtung arbeitet nach dem Prinzip des Stirlingprozesses, der als verlustfreier Prozess wie der Carnotprozess beim Einsatz zum Wärmetransport das Minimum an Antriebsenergie-Aufwand für den Transport einer bestimmten Wärmemenge ergibt. Als Prozessmedium kann ein Gas, wie Helium, Luft oder Wasserstoff eingesetzt werden, das die Umwelt in keiner Weise beeinträchtigt. Eine weitere Reduktion des Energieaufwandes ermöglicht der Einsatz der Vorrichtung zusammen mit Vacuum-Isolation, wodurch sehr wenig Wärme verloren geht. Ferner hat die Vorrichtung den Vorteil, dass verschiedene Verluste der bekannten Vorrichtungen vermieden werden. Wegen des hermetisch geschlossenen Raums geht kein Prozessmedium verloren, ein konstant bleibender Betrieb ist gewährleistet. Reibungsverluste beweglicher Teile entfallen, es ist kein Schmiermittel im Prozessmedium nötig. Grosse Wärmeleitfähigkeit des Prozessmediums, dessen dünne Schicht und grosse Flächen auf den Umgebungsseiten ergeben kleine Temperaturdifferenzen für die Übertragung der Wärme, damit wird der Prozess nur wenig negativ beeinflusst. Der Rekuperator kann durch Formgebung und Materialwahl optimiert werden. Der Totraum beim Prozessablauf ist praktisch auf das Hohlvolumen des Rekuperators beschränkt.

Die nachfolgend beschriebenen Diagramme und Zeichnungen erläutern das Prinzip und zeigen als Beispiel einer Ausführung der vorliegenden Erfindung eine Vorrichtung, die für eine Kältemaschine oder eine Wärmepumpe gleich geeignet ist:

Fig. 1 zeigt den Prozess im Temperatur-Entropie-Diagramm und gibt den Vergleich zwischen Carnot- und Stirlingprozess. Es sind die vier Prozessschritte ersichtlich:

In Schritt I ist mit a bis b resp. mit a' bis b' die isotherme Verdichtung (Kompression) wiedergegeben. Es muss Energie zugeführt werden und gleichzeitig Wärme abgeführt werden.

Schritt II b bis c zeigt die adiabate Zustandsänderung bei konstanter Entropie beim Carnotprozess, b' bis c zeigt die gleichvolumige Zustandsänderung beim Stirlingprozess, wobei die Wärme, die durch die Entropieänderung anfällt, im Rekuperator gespeichert wird.

Schritt III c bis d zeigt die isotherme Expansion mit Energieabgabe und Wärmezufuhr.

Schritt IV d bis a ist die adiabate Zustandsänderung bei konstanter Entropie im Carnotprozess und d bis a' ist die gleichvolumige Zustandsänderung im Stirlingprozess, wobei die im Rekuperator gespeicherte Wärmeenergie wieder vom Prozessmedium aufgenommen wird. Die Flächen a - b - e - f und a' - b' - e' - f' repräsentieren die zugeführten Kompressionsenergien und gleichzeitig die Wärme, die abgeführt werden muss bei der Kältemaschine oder die Nutzwärme bei der Wärmepumpe. Die Fläche c - d - e - f repräsentiert die anfallende Expansionsenergie und gleichzeitig die Wärme, die zur Kühlung über das Umgebungstemperaturniveau

gehoben werden muss, respektive die Umgebungswärme, die zur Heizung auf die nötige, erhöhte Temperatur gehoben werden muss. Die Flächen  $a - b - e - f$  des Carnotprozesses und  $a' - b' - e' - f'$  des Stirlingprozesses sind gleich und  $c - d - e - f$  ist identisch. Somit sind die beiden Prozesse gleich. Die Differenz der Flächen  $a - b$  resp.  $a' - b'$  und  $c - d$  entspricht der nötigen Antriebsenergie. Das Verhältnis der Fläche  $c - d - e - f$  zur Fläche  $a' - b' - c - d$  gibt die Leistungsziffer der Kühlung wieder und dasjenige der Fläche  $a' - b' - e' - f'$  zur Fläche  $a' - b' - c - d$  die Leistungsziffer der Wärmepumpe, d.h. das Verhältnis der Nutzwärme zu einer gegebenen Antriebsenergie.  $T_w$  und  $T_k$  sind die Umgebungstemperatur und die Kühltemperatur bei einer Anwendung zur Kälteerzeugung resp. die Heiztemperatur und die Umgebungstemperatur bei einer Anwendung als Wärmepumpe. Das obere Prozesstemperaturniveau ist um  $\Delta t_w$  höher, das untere um  $\Delta t_k$  tiefer, da diese Temperaturdifferenzen zur Übertragung der Wärme nötig sind. Somit wird die nötige Antriebsleistung durch die Summe  $\Delta t_w + \Delta t_k$  erhöht. Sie ist im Verhältnis  $T_w - T_k + \Delta t_w + \Delta t_k$  zu  $T_w - T_k$  grösser. Es ist ersichtlich, dass der zusätzliche Energieaufwand für eine Kälte- oder Wärmeleistung für gegebene Verhältnisse umso kleiner ist, je kleiner diese Temperaturdifferenzen sind.

Fig. 2 zeigt im oberen Teil die idealen zeitlichen Zustandsänderungen des Prozessmediums auf der kalten Seite der Vorrichtung, im unteren Teil diejenigen auf der warmen Seite der Vorrichtung. Von a bis b wird das Medium auf der warmen Seite komprimiert, während auf der kalten Seite ideal kein Medium ist. Von b bis c wird das Prozessmedium unter Abgabe von Wärme an den Rekuperator von der warmen auf die kalte Seite verschoben. Von c bis d expandiert das Medium auf der kalten Seite und von d bis a wird das expandierte Medium unter Aufnahme von Wärme aus dem Rekuperator auf die warme Seite verschoben. Damit ist der Zyklus beendet.

Fig. 3 zeigt im Schnitt die Anordnung und den Aufbau der Vorrichtung zur Erzeugung von Kälte und Wärme unter Wärmetransport durch eine kalte Seite und eine warme Seite trennende Isolierwand 1 bestehend aus der Isolation 2 und deren Verschalung 3a; 3b. Im Zwischenraum zwischen den Verschalungen herrscht vorzugsweise ein Vacuum. Ersichtlich sind die mit dem Prozessmedium gefüllten Räume 4a; 4b. Sie sind begrenzt durch die beweglichen Kolbenplatten 5a; 5b und die feststehenden Platten 6a; 6b. Je eine bewegliche Kolbenplatte 5a; 5b und eine feststehende Platte 6a; 6b sind durch je zwei ringförmige, am inneren Rand sich dichtend berührende Membranen 8 verbunden. Der Kompressionsraum 4a auf der warmen Seite der Isolierwand 1 ist über den Rekuperator 7 mit dem Expansionsraum 4b auf der kalten Seite verbunden. Die Ausgestaltung auf beiden Seiten der Isolierwand ist identisch. Der Rekuperator 7 ist in einem Rohr 9, das die Isolierwand 1 durchdringt, eingepasst. Während die Platte 5a direkt bewegt wird, wird die Platte 5b über den zentralen Stab 10 bewegt. Der Stab 10 ist über Membranen 11a; 11b,

die die veränderliche Distanz der Platten 5a; 5b aufnehmen, mit diesen verbunden. Alle Verbindungen sind fest und gasdicht, so dass ein hermetisch abgeschlossener Raum entsteht, in dem das Prozessmedium unverlierbar eingeschlossen ist.

Fig. 4 zeigt in kleinerem Massstab die jeweiligen Stellungen der beweglichen Platten 5a, 5b zu Beginn resp. am Ende der aus Fig. 2 ersichtlichen Schritte I, II, III, IV.

Die beweglichen und die feststehenden Platten sind, wie oben erwähnt, am äusseren Rand durch zwei ringförmige, sich am inneren Rand dichtend berührende Membranen verbunden. Dies lässt praktisch beliebig viele Arbeitshübe, also nahezu unbegrenzte Lebensdauer zu. Das Verbindungsrohr, in das der Rekuperator eingepasst ist, durchdringt die Isolierwand und ist an beiden Enden mit deren Verschalung verbunden. Alle Verbindungen, auch diejenigen mit dem zentralen Betätigungsstab sind fest und gasdicht. Die veränderliche Distanz zwischen den beiden beweglichen Platten und den festen Verbindungen mit dem Betätigungsstab wird durch Membranen aufgenommen. So entsteht ein hermetisch geschlossener Raum, der evakuiert und mit einem gasförmigen Prozessmedium, welches eine möglichst hohe Leitfähigkeit besitzt, vorzugsweise Helium oder Wasserstoff, auf den vorbestimmten Druck gefüllt wird.

Die Membranen vermeiden Verluste durch gleitende Reihung und damit die Notwendigkeit von Schmiermitteln. Die gasdichten Verbindungen verhindern den Medienverlust. Durch die Verwendung von Helium oder Wasserstoff mit hoher Wärmeleitfähigkeit als Prozessmedium, dem kleinen Hub, also geringer Prozessmedienschichtdicke, aber entsprechend grosser innerer Fläche, wird die zur Übertragung der Wärme nötige Temperaturdifferenz auf der Prozesseite klein. Auf der Umgebungsseite, auf die die Wärme abgegeben, respektive von der sie aufgenommen wird, kann ohne zusätzlichen Aufwand für die Luftbewegung nur mit konvektivem Wärmeübergang gerechnet werden, der relativ gering ist. Eine Oberflächenvergrösserung auf der dem Prozessmedium abgewandeten Seite durch Rippen oder Stegverbindungen zu einer zweiten Platte ermöglicht es, auch auf dieser Seite die Wärme mit einer kleinen Temperaturdifferenz zu übertragen. Falls die Wärmeenergie von oder zu einer ausgedehnten Oberfläche geleitet werden muss, kommt das bekannte Wärmerohrprinzip zur Anwendung. Der Rekuperator muss möglichst viel der Energiedifferenz zwischen der warmen und kalten Seite des Prozesses speichern. Er soll aus einem Material mit hoher Wärmekapazität sein. Diese ist gross, wenn das Produkt aus spezifischer Masse mal spezifischer Wärme gross ist. Das Volumen und die Struktur des Rekuperators ist durch das Optimum zwischen den Forderungen eines möglichst kleinen Totraumes, einer grossen Speicherkapazität, kleinen Strömungsverlusten und den konstruktiven Gegebenheiten bestimmt. Wird bei der Materialwahl darauf geachtet, dass das Material eine möglichst kleine Wärmeleitfähigkeit hat und/oder wird der Rekuperator in Richtung des Wärmeflusses unterbrochen und mit Zwischenlagen kleiner

Wärmeleitung versehen, ist die Wärmeleitung ebenfalls gering. Durch Beachtung der oben aufgeführten Gesichtspunkte ist es möglich, die Gesamt-Verluste des Rekuperators klein zu halten.

Es ist aus Untersuchungen bekannt, dass weitere Verluste vermieden werden können, wenn jeder Prozessschritt vollständig abgeschlossen ist, bevor der nächste folgt (Fig. 2). Dies erfordert einen entsprechenden Antrieb der beweglichen Platten, der durch eine Kurvensteuerung, ein Hebelsystem, einen Magneten, einen Linearmotor oder mit elektronischer Steuerung verwirklicht werden kann.

Wie oben beschrieben, erfolgt die Wärmeübertragung gegenüber der Umgebung beim Stirlingprozess durch Wärmedurchgang. Er nimmt mit der Anzahl der Prozesszyklen pro Zeiteinheit kaum zu, mit der umgekehrt die aufzuwendende Leistung nahezu proportional zunimmt. Damit steigen die Wärmeübertragungstemperaturdifferenzen, was zur Reduktion der Leistungsziffer, d.h. dem Verhältnis zwischen Kälte- oder Wärmeleistung und der Antriebsleistung führt. Dem wirkt im vorgeschlagenen Gerät hauptsächlich die Wärmeleitung durch den Rekuperator von der warmen zur kalten Seite des Prozesses entgegen. Bei gegebener Temperaturdifferenz fließt eine konstante Wärmemenge pro Zeiteinheit. Je mehr Zyklen pro Zeiteinheit ablaufen, desto kleiner wird der anteilige Wärmeverlust. Daraus resultiert eine optimale Anzahl Zyklen pro Zeiteinheit. Wird das Gerät für den jeweiligen Anwendungsfall gerade so ausgelegt, dass es im Dauerbetrieb ungefähr im Optimalpunkt kontinuierlich arbeitet, so ergibt sich ein minimaler Antriebsenergieverbrauch. Die vorübergehenden Betriebsbedingungen, die grössere Wärmeleistungen benötigen, wie Anfahren und vergleichbare Erfordernisse können durch Steigerung der Zyklenzahl des Prozessablaufes abgedeckt werden. Somit soll im vorliegenden Fall die Regelung des Bedarfs an Kühl- oder Wärmeleistung nicht durch eine Ein/Aus-Regelung, sondern durch Regelung der Zyklenzahl des Prozessablaufes erfolgen, so dass das Gerät dauernd gerade bei der Geschwindigkeit läuft, die den Bedarf deckt oder den stationären Bedarf innert nützlicher Frist erreicht.

Dies kann durch Regelung der Zyklenzahl des Prozessablaufes in Abhängigkeit von der Abweichung von der Solltemperatur erfolgen.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Erzeugung von Kälte oder Wärme unter Wärmetransport durch eine kalte und eine warme Seite trennende Isolierwand (1) nach dem Prinzip des Stirlingprozesses, dadurch gekennzeichnet, dass ein Kompressionsraum (4a) zur Wärmeabgabe auf der einen Seite der Isolierwand (1) und ein Expansionsraum (4b) zur Wärmeaufnahme auf der anderen Seite dieser Isolierwand angeordnet und über einen Rekuperator (7) miteinander verbunden sind, und Kompressionsraum, Expansionsraum und Rekuperator mit einem gasförmigen Prozessmedium gefüllt sind.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass jeder Raum (4a, 4b) im wesent-

lichen durch je eine feststehende Platte (6a, 6b) und eine bewegliche Kolbenplatte (5a, 5b) gebildet ist, und die Isolierwand (1) zwischen beiden feststehenden Platten angeordnet ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass jeder genannte Raum (4a, 4b) nach aussen durch zwei ringförmige, am inneren Rande miteinander verbundene Membranen (8) dichtend abgeschlossen ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 2, gekennzeichnet durch Antriebsmittel zur schrittweisen Bewegung der beiden Platten (5a, 5b).

5. Vorrichtung nach den Ansprüchen 2 und 4, dadurch gekennzeichnet, dass die schrittweise Bewegung der beiden Kolbenplatten (5a, 5b) jeweils in der gleichen Richtung erfolgt, wobei im ersten Schritt eine Kompression des Prozessmediums erfolgt, im zweiten Schritt eine Förderung des Prozessmediums aus dem Kompressionsraum (4a) durch den Rekuperator (7) in den Expansionsraum (4b), im dritten Schritt eine Expansion des Prozessmediums erfolgt und im vierten Schritt eine Förderung des Prozessmediums aus dem Expansionsraum durch den Rekuperator in den Kompressionsraum.

6. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Rekuperator (7) in einem Rohr (9) untergebracht ist, welches sich durch die Isolierwand (1) hindurch erstreckt.

7. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die dem Prozessmedium abgewandte Oberfläche der beweglichen Kolbenplatten (5a, 5b) und der feststehenden Platten (6a, 6b) durch Rippen vergrößert ist.

8. Verfahren zum Betrieb der Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass zur Regelung der Wärmeleistung der Vorrichtung die Bewegungsgeschwindigkeit der beiden Platten (5a, 5b) verändert wird, abhängig von der Abweichung von einer erwünschten, einstellbaren Temperatur.

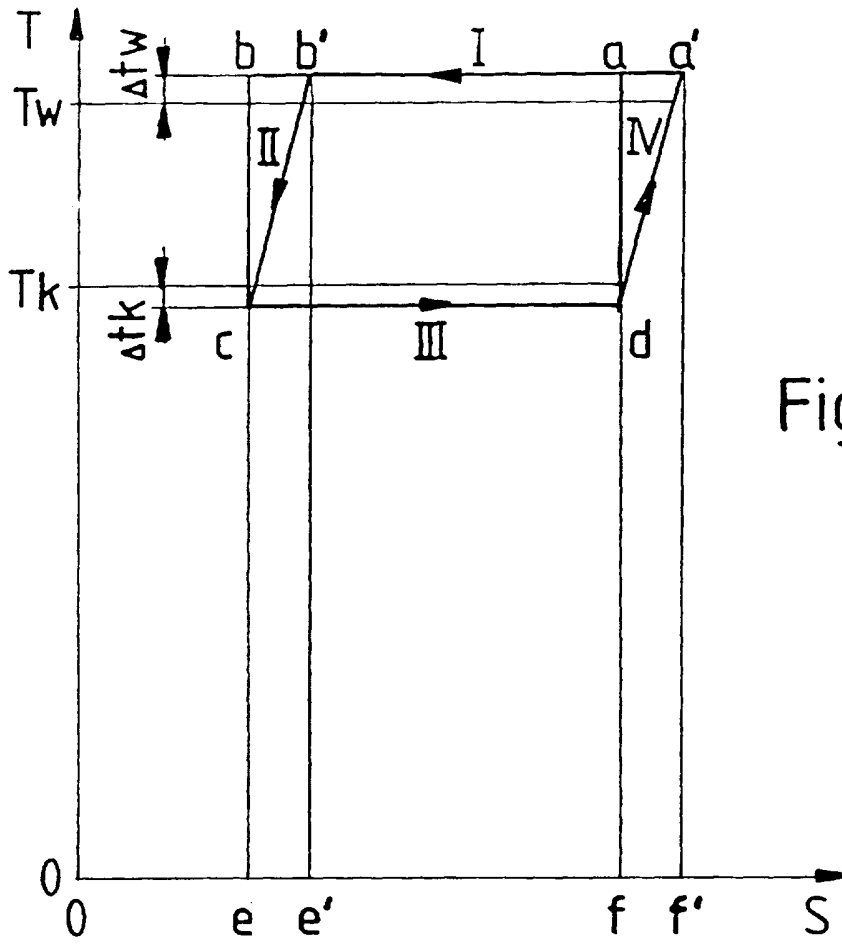


Fig. 1

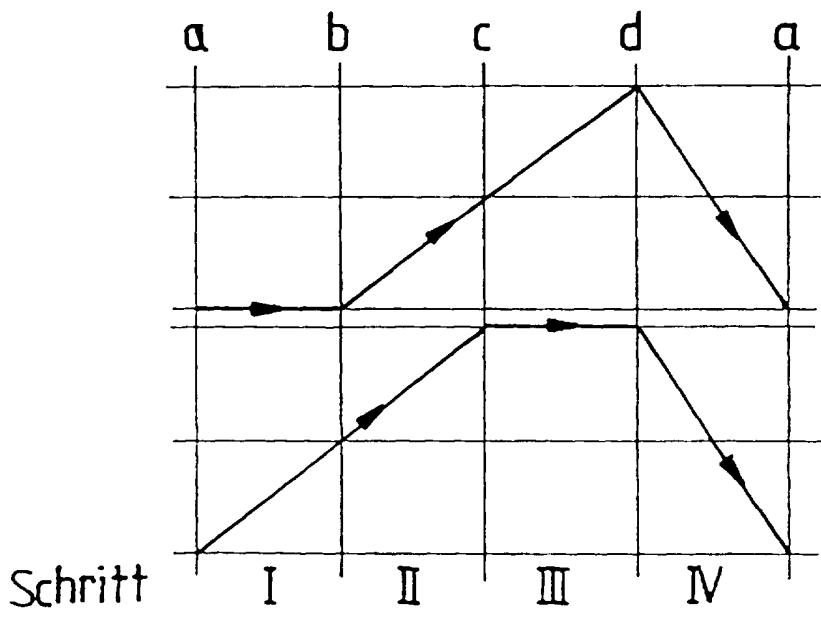


Fig. 2

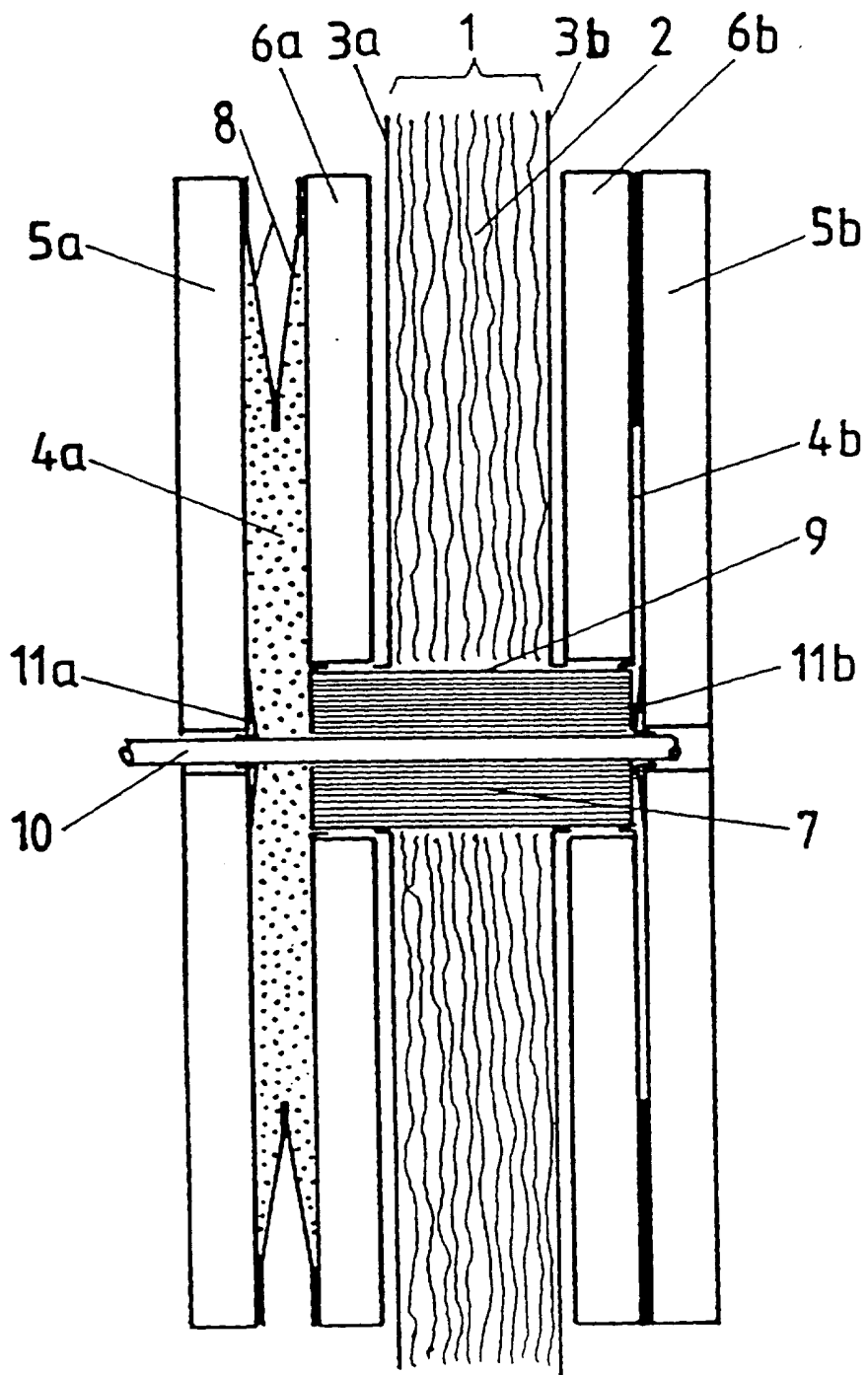


Fig. 3

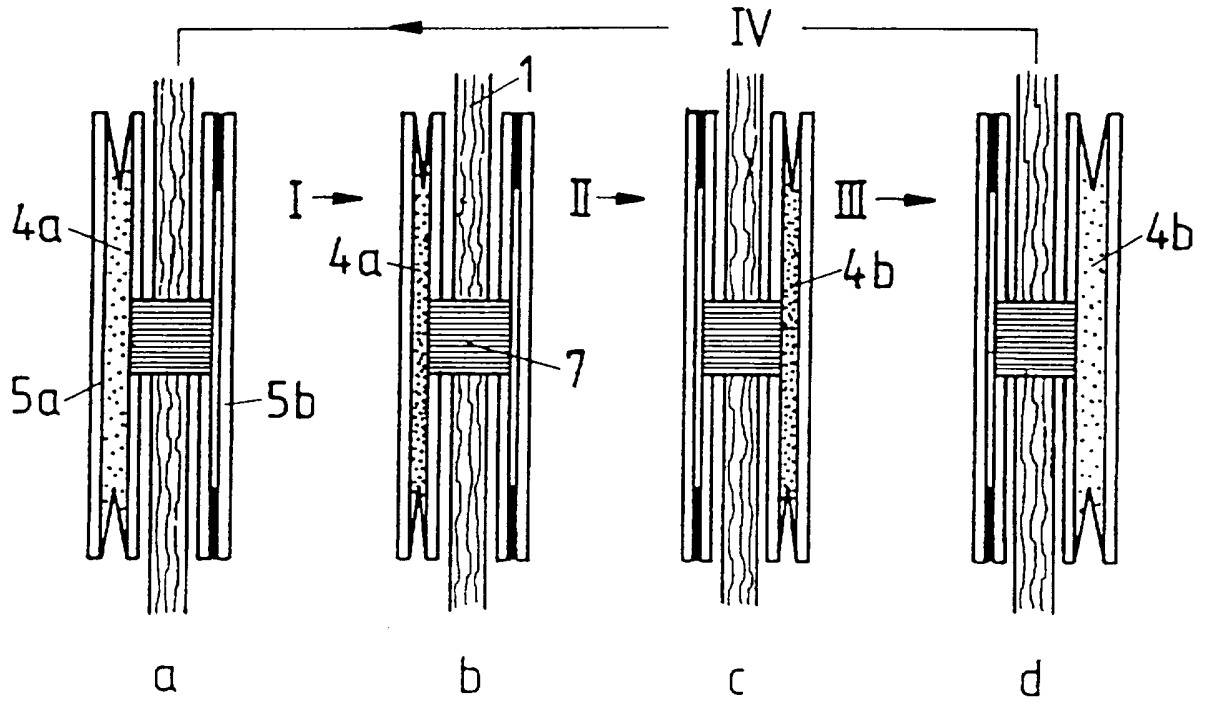


Fig.4